BAZI SÜS TAŞLARININ İMİTASYONLARININ YAPIMI, KARAKTERİZASYONLARI VE EKONOMİK ANALİZLERİ

Merve ARIYÜREK

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca
Lisanüstü Eğitim Enstitüsü Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalında
DOKTORA TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Prof.Dr. İskender IŞIK
Ortak Danışman: Prof. Dr. Murat HATİPOĞLU

Temmuz- 2021

KABUL VE ONAY SAYFASI

Merve ARIYÜREK tarafından hazırlanan "BAZI SÜSTAŞLARININ İMİTASYONLARININ YAPIMI, KARAKTERİZASYONLARI VE EKONOMİK ANALİZLERİ" adlı tez çalışması, aşağıda belirtilen jüri tarafından Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek OY BİRLİĞİ ile Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

07.07.2021

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Bu tezin hazırlanmasında Akademik kurallara riayet ettiğimizi, özgün bir çalışma olduğunu ve yapılan tez çalışmasının bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olduğunu, çalışma kapsamında teze ait olmayan veriler için kaynak gösterildiğini ve kaynaklar dizininde belirtildiğini, Yüksek Öğretim Kurulu tarafından kullanılmak üzere önerilen ve Dumlupınar Üniversitesi tarafından kullanılan İntihal Programı ile tarandığını ve benzerlik oranının % 4 çıktığını beyan ederiz. Aykırı bir durum ortaya çıktığı takdirde tüm hukuki sonuçlara razı olduğumuzu taahhüt ederiz.

Prof. Dr. İskender IŞIK

Merve ARIYÜREK

Prof. Dr. Murat HATİPOĞLU

BAZI SÜSTAŞLARININ İMİTASYONLARININ YAPIMI, KAREKTERİZASYONLARI VE EKONOMİK ANALİZLERİ

Merve ARIYÜREK

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Doktora Tezi, 2021

Tez Danışmanı: Prof. Dr. İskender IŞIK
Ortak Danışman: Prof. Dr. Murat HATİPOĞLU

ÖZET

Yeryüzünde bilinen 4000'den fazla mineral bulunmaktadır. Bu minerallerin sadece küçük bir kısmı süs taşı olarak kullanılmaktadır**.** Bir mineralin süs taşı olabilmesi için güzel olması, nadir bulunması ve dayanıklı olması gerekmektedir. Genel olarak süs taşı denildiğinde ilk akla gelenin mineraller olsa da laboratuar ortamında üretilen sentetik süs taşları ve imitasyon (taklit) süs taşları da süs taşı kavramı içinde yer almaktadır. Süs taşları dünyada çok büyük bir ticaret hacmine sahiptir.

Camlar, seramikler, polimerler, kompozitler ve cam-seramikler endüstrinin birçok alanında kullanılmakla beraber, gemolojik materyal olarak da yaygınca piyasaya sürülmektedirler. Günümüzde ileri teknoloji ürünü olan kompozitler ve özellikle cam-seramikler en yaygın taklit süstaşı üretiminde kullanılan materyallerdir. Doğal süs taşlarında dışa bağımlı olduğumuz gibi sentetik ve imitasyon süs taşı üretimleri de ülkemizde ekonomik boyutlarda yapılmamaktadır. Bu alanda da dışa bağımlı bir ülkeyiz. Bu nedenle bu çalışmada; 1) bazı süstaşlarının taklit özellikteki imitasyon imalatı için cam-seramik malzemeler laboratuvar şartlarında üretilmiştir ve 2) üretilen bu süs taşlarının ekonomik analizleri yapılmıştır. Böylece, taklit süs taşı konusunda dışa bağımlı olan Türkiye'nin bu sektörde dışa bağımlılığını azaltılacak ve hatta ihraç ederek ülkeye katma değer kazandıracak olması amaçlanmıştır.

Dünya'da son beş yılda ham ve işlenmiş süstaşlarının sirkülasyonunun, yaklaşık 100 milyar dolarlık (ABD) bir hacme ulaştığı görülmektedir. Ancak bunların sektördeki arz-talep dengesini karşılayamaması yüzünden, yapay (doğalın laboratuvarda üretilmiş birebir eşleniği) ve taklit (sadece renk ve görünüş özelliği benzeyen) süstaşlarının da ticareti gelişmiş ve son beş yıllık periyotta yaklaşık 50 milyar dolarlık bir paya ulaşmıştır. Bununla beraber, sentetik ve imitasyon olarak elde edilen süstaşlarının ticaret rakamlarının, doğal süstaşı üretim kaynaklarının giderek tükenmekte olması nedeniyle, her geçen yıl daha da artacağı kaçınılmaz bir gerçektir. Bu kadar yüksek bir ticaret hacmine sahip bir piyasa da Türkiye'nin söz sahibi

olabilmesi için imitasyon süstaşı üretilebilecek imkanların, laboratuvar düzeyinde de olsa araştırılmasının oldukça önemli olduğu açıktır.

Bu çalışmada cam seramik yapılı imitasyon süstaşı materyali üretimi için alüminyum oksit ve di sodyum tetra borat kullanılarak bir toz karışım hazırlanmıştır. Bu toz karışım, presleme yöntemi ile şekillendirilerek (pelet) kaboşon şekilde bisküviler elde edilmiştir. Üretilen bu örneğin renklendirilmesi amacı ile kobalt oksit, nikel oksit, krom oksit, demir oksit, bakır oksit ve mangan oksit kullanılarak farklı oranlarda doplama işlemi yapılmıştır. 600°C ve 650°C'de 30 dakika, 60 dakika ve 90 dakika sinterleme işlemi yapılmıştır. Elde edilen örneklerden en iyi imitasyon süs taşı niteliğinde olan sekiz örnek seçilerek karakterizasyon işlemi yapılmıştır. Mineralojik analiz (XRD), sertlik testi, özgül ağırlık ölçümü, mikro yapı için FE-SEM analizi, renk analizi, parlaklık ölçümü ve UV-VIS analizi yapılmıştır.

Yoğunluk ve özgül ağırlıkları, doplanmış olan örneklerin doplanmamış örneğe göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Mineralojik analiz neticesinde bulunması gereken sodyum borat ve alüminyum oksit fazları tespit edilmiştir. Sertlik için Vickers Mikro Sertlik Testi yapılmıştır. Genel olarak doplamanın sertliği arttırdığı görülmüştür. Ancak bazı örneklerde sertliğin düştüğü görülmüştür. Bunun nedeni ise yapılan FE-SEM mikro yapı analizinde görüldüğü üzere yapı içinde bulunan çatlak ve porozite miktarından kaynaklandığı görülmektedir. UV-VİS analizi süs taşları için önemli olan optik özelliklerinin belirlenmesi amacı ile yapılmıştır. Yansıma, absorblanma ve geçirgenlik değerleri analiz edilmiştir. UV dalga boyu aralığında en yüksek geçirgenlik, yansıma ve kırılma indisi değerine sahip olduğu görülmüştür. Glossmetre kullanılarak parlaklık ölçümü yapılmıştır. Parlaklık ölçümünde doplama malzemesinin miktarının artmasının parlaklığı arttırdığı görülmektedir. Örneklerin renk ölçümleri L*a*b cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Renklendirici oksit miktarının artması örnek renginin değişmesine sebep olmaktadır.

Sonuç olarak; opak, yeşil ve tonları, mavi, siyah, gri ve kahvemsi kırmızı renkli imitasyon süstaşları olabilecek malzemeler elde edilmiştir. Laboratuar şartlarında başarı ile elde edilen bu imitasyon süstaşları ile onların benzeri doğal eşleniği olan süstaşları (örneğin; sodalit, jadeit, aventurin, obsidyen, prehnit, agat, karnelyan, jasper, turkuaz) karşılaştırıldığında, imite süstaşlarının sertlik, parlaklık ve kırılma indisi değerlerinin, doğal olanlara göre oldukça düşük olduğu saptanmıştır. Ancak imitasyon süstaşlarında sadece görsel olarak benzemek amaçlandığı için diğer fiziksel ve kimyasal özelliklerinin aynı olması gerekmediğinden dolayı bu tolere edilebilir bir durum olarak yorumlanmıştır.

Yapılan ekonomik analizlere göre elde edilen bu imitasyon örneklerin doğal eşleniklerine göre yaklaşık 25 kat, sentetik eşleniklerine göre deyaklaşık 10 kat daha ekonomik olacağı hesaplanmıştır. Ancak endüstriyel boyutta üretimde daha da ekonomik bir üretimin söz konusu olacağı tahmin edilmektedir.

AnahtarKelimeler: Süstaşları, İmitasyon süstaşları, Cam-seramikler.

MANUFACTURE, CHARACTERIZATION AND ECONOMIC ANALYSIS OF SOME GEMSTONES IMITATION

Merve ARIYÜREK
Material Science and Engineering, PhDThesis, 2021
Thesis supervisor: Prof. Dr. İskender Işık
Thesis Co-Advisor: Prof. Dr. Murat Hatipoğlu

SUMMARY

There are more than 4000 known minerals on earth. Only a small part of these minerals are used as gemstones. Although naturally occurring minerals are the first thing that comes to mind when it comes to gemstones in general, synthetic gemstones and imitation gemstones produced in the laboratory are also included in the concept of gemstone.

The most important non-metallic materials that form the basis of materials and metallurgical science; 1) Glasses, 2) Ceramics, 3) Polymers, 4) Composites and 5) Glass-ceramics. Although these materials are used in many areas of industry, they are also widely marketed as gemological materials (imitation- artificial-simulant gemstones).

It is seen that the circulation of natural (mined) raw and processed gemstones in the world in the last five years has reached a volume of approximately 100 billion US dollars. However, due to their inability to meet the supply-demand balance in the industry, the trade of artificial (exactly the same as natural, produced in a laboratory) and imitation (unlike any other feature other than color and appearance) gemstones developed and reached a share of approximately 50 billion US dollars in the last five-year period. It is an inevitable fact that the trade figures of synthetic and imitation gemstones will increase each year, due to the fact that natural gemstone production resources are getting depleted. In order for Turkey to have a say in a market with such a high trade volume, the main objective of this study is to investigate the possibilities of producing imitation gemstones, even at the level of Research and Development.

In this study, a powder mixture was prepared by using aluminum oxide and di sodium tetra borate for the production of glass ceramic imitation gemstone material. This powder mixture (pellet) was shaped by pressing method and biscuits were obtained in the form of cabochons. In order to color this sample produced, doping was carried out at different rates using cobalt oxide, nickel oxide, chromium oxide, iron oxide, copper oxide and manganese

oxide.Sintering process was carried out at 600°C and 650°C for 30 minutes, 60 minutes and 90 minutes. Eight samples, which are the best imitation ornamental stones, were selected from the samples obtained and the characterization process was carried out. Mineralogical analysis (XRD), hardness test, specific gravity measurement, FE-SEM analysis for microstructure, color analysis, gloss measurement and UV-VIS analysis were performed.

Density and specific gravity of the doped samples were higher than the undoped samples. As a result of mineralogical analysis, sodium borate and aluminum oxide phases were determined. Vickers micro hardness test was performed for hardness. In general, doping has been found to increase hardness. However, it is observed that the hardness decreases in some samples. The reason for this is seen to be due to the amount of cracks and porosity in the structure as seen in the FE-SEM microstructure analysis. UV-VIS analysis was carried out to determine the optical properties that are important for ornamental stones. Reflection, absorption and transmittance values were analyzed. It was observed that it has the highest transmittance, reflection and refractive index values in the UV wavelength range. Luminance was measured using a glossmeter. In the gloss measurement, it is seen that increasing the amount of doping material increases the gloss. Color measurements of the samples were measured using the L*a*b device. Increasing the amount of coloring oxide causes the sample color to change.

As a result, materials that could be opaque, green and its shades, blue, black, gray and brownish red colored imitation gemstones were obtained. As a result, materials that could be opaque, green and its shades, blue, black, gray and brownish red colored imitation gemstones were obtained. Eight of the samples obtained were selected and many characterization processes were carried out in order to determine how similar they are to the natural species to be simulated.

When these imitate gemstones obtained from laboratory conditions and their similar natural counterparts are compared, the hardness, brightness and refractive index values of imite gemstones were found to be quite low compared to natural ones. However, this has been interpreted as a tolerable situation since imitation gemstones should only be visually similar and other physical and chemical properties do not have to be the same.According to the economic analysis calculations, it has been determined that these imitation samples will be estimated 25 fold cheaper than their natural equivalents and 10 fold cheaper than their synthetic equivalents. However, it is estimated that an even more economical production will be in question in industrial scale production.

Keywords: Gemstone, Imitation Gemstone, Glass-ceramic.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca ilgi, bilgi ve desteğini hiç esirgemeyen, bilgi ve tecrübesiyle çalışmamı yönlendiren ve yol gösteren tez danışmanım saygı değer hocam Prof. Dr. İskender IŞIK 'a içtenlikle teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım. Bu tezin hazırlanmasında başından itibaren yol gösteren, desteğini hiç esirgemeyen, tez ile ilgili görüş ve önerilerini sunan saygı değer hocam Prof. Dr. Murat HATİPOĞLU 'na teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın başlamasında, gelişmesinde ve sonuçlandırılmasında bilgi ve desteğiyle her zaman destek ve yardımcı olan tez izleme jüri hocam Prof. Dr. Veli UZ'a şükranlarımı sunarım. Çalışmamın yönlendirilmesinde ve değerlendirilmesinde değerli görüşleri ile bana yol gösteren tez izleme jüri hocam Prof. Dr. Gürsel YANIK'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmada gerçekleştirilen UV-VIS analizlerlerinin yapılmasında yardımcı olan Araştırma Görevlisi Fuat ÇELİK'e, FE-SEM analizlerinin yorumlanmasında yardımcı olan Eray ÇAŞIN'a, XRF analizlerinin yapılmasında yardımcı olan Ahmet GÜLAYDIN'a, elde edilen örneklerin zımparalanmasında yardımcı olan Tahir İYİOĞLUNA teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam boyunca yardımlarını esirgemeyen Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Öğretim üye ve elemanlarına sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Akademik hayatım boyunca maddi ve manevi desteğini esirgemeyen, beni her zaman destekleyip cesaretlendiren babam Ercan ARIYÜREK, annem Deniz ARIYÜREK ve kardeşlerim Melike ve Elif ARIYÜREK'e sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET 4
SUMMARY 7
ŞEKİLLER DİZİNİ 12
ÇİZELGELER DİZİNİ 23
KISALTMALAR VE KISALTMALAR DİZİNİ 26
1. GİRİŞ 27
2. GEMOLOJİ VE SÜS TAŞLARININ OLUŞUMU 43
2.1. Süs Taşı ve Gemolojinin Tanımları 43
2.2. Dünyanın İç Yapısı 47
2.3. Mineraler ve Kayaçlar 48
2.4. Yer Kabuğunda Kayaçların Oluşumu 49
2.4.1. Tortul kayaçlar 49
2.4.2. Volkanik Kayaçlar 52
2.4.3. Metamorfik Kayaçlar 52
2.5. Süs Taşlarının Oluşumu 52
2.6. Türkiye'de Bulunan Süs Taşları 56
2.7. Dünyadaki Süs Taşı Yatakları 60
3. MİNERALLERİN GRUPLANDIRILMASI 63
3.1. Fosfatlar 66
3.2. Oksitler 70
3.2.1. Korund (Yakut ve safir) 70
3.2.2. Spinel 71
3.2.3. Krizoberil 72
3.3. Karbonatlar 73
3.3.1. Azurit ve malakit 73
3.3.2. Rodokrozit 74
3.4. Silikatlar 75
4. SÜS TAŞLARININ FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ 94
4.1. Kristal Yapı ve Kimyasal Bileşim 94
4.2. Renk 94
4.3. Dilinim, Yarılma ve Kırılma 96
4.4. Sertlik 96
4.5. Özgül Ağırlık ve Yoğunluk 97
4.6. Parlaklık 98
4.7. Kırılma İndisi 99
5. SENTETİK, İMİTASYON VE İYİLEŞTİRİLMİŞ SÜS TAŞI ÜRETİM YÖNTEMLERİ. 101
5.1. 1. Vernueil Alev Füzyon Yöntemi 104
5.1.1. Czochralski yöntemi 105
5.1.2. Hidrotermal yöntem 106
5.1.3. Ergitme (Flux) yöntemi 108
5.2. Süs Taşlarının İyileştirilmesi 108
5.2.1. Isıl işlem 109
5.2.2. Difüzyon 109
5.2.3. Işınlama 111
5.2.4. Kimyasal iyileştirme 111
5.2.5. Boşluk-kırık doldurma 112
5.3. İmitasyon Materyallerinin Tanımlamaları ve Özellikleri 113

5.3.1. Silika (SiO_2) tabanlı camlar ... 113
5.3.2. Polimerler ... 114
5.3.3. Seramikler ... 114
5.3.4. Kompozitler (Kompozeler) ... 115
5.3.5. Cam-Seramikler ... 115
5.4. Taklit Süstaşı İmalatının GeçmiştenGünümüze Süreci ... 119
5.5. Önceki Çalışmalar ... 119
6. MATERYAL VE METOD ... 125
6.1. Kullanılan Hammaddelerin Karakterizasyonları ... 126
6.2. Karışımların Hazırlanması ... 134
6.3. Hazırlanan Tozların Şekillendirilmesi ... 135
6.4. Isıl İşlemler ... 136
6.5. Mineralojik Analizi (XRD) ... 137
6.6. Yoğunluk Ölçümü ... 139
6.7. Sertlik Ölçümü ... 139
6.7. Renk Analizi ... 140
6.8. UV-VIS Spektrofotometre ... 142
6.9. Mikro yapı analizi (Alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu FE-SEM) ... 143
6.10. Parlaklık Analizi ... 143
7. YAPILAN ANALİZ SONUÇLARI ... 145
7.1. Reçete ve Isıl İşlem Sonuçları ... 145
7.1.1.Kobalt oksit ile yapılan doplama çalışmaları ... 145
7.1.2. Nikel oksit ileyapılandoplama çalışmaları ... 150
7.1.3. Krom oksit ile yapılan doplama çalışmaları ... 155
7.1.4. Demir oksit ile yapılan doplama çalışmaları ... 157
7.1.5. Bakır oksit ile yapılan doplama çalışmaları ... 159
7.1.6. Mangan oksit ile yapılan doplama çalışmaları ... 164
7.2. Faz Analiz Sonuçları ... 168
7.3. Sertlik Ölçüm Sonuçları ... 173
7.4. Yoğunluk Hesaplanması ... 176
7.5. Renk Ölçüm Sonuçları ... 180
7.6. Parlaklık Ölçüm Sonuçları ... 187
7.7. FE-SEM Analiz Sonuçları ... 189
7.8. UV-VİS Analizi Sonuçları ... 222
8. EKONOMİK ANALİZ ... 240
9. TARTIŞMA VE ÖNERİLER ... 242
KAYNAKLAR DİZİNİ ... 248
ÖZGEÇMİŞ ... 264

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. Muhtelif renk ve yapıdaki süs taşları (Hatipoğlu, 2020). 43
Şekil 2.2. Dünyanın iç yapısı (www.bilimfili.com). 47
Şekil 2.3. Tortul, magmatik ve yerkabuğundaki metamorfik kayaçlar (Peter, 2005). 50
Şekil 2.4. Kayaç türleri arasındaki dönüşüm (www.cografyasozlugu.com). 51
Şekil 2.5. Kökensel bakımdan doğal yapılı süs taşlarını oluşturan bileşenler (Hatipoğlu, 2021). 53
Şekil 2.6. Süs taşlarının oluşumsal sınıflandırılması (Hatipoğlu, 2021). 55
Şekil 2.7. Süs taşlarının değersel sınıflandırılması (Hatipoğlu, 2021). 55
Şekil 2.8. Muğla Milas Pınarcık bölgesinde bulunan süs taşı kalitesindeki diaspor kristali (Hatipoğlu, 2010). 56
Şekil 2.9. Kütahya Şaphane Karamanca bölgesinde bulunan süs taşı kalitesindeki ateş opali (Hatipoğlu, 2010). 57
Şekil 2.10. Balıkesir Dursunbey Güğü bölgesinde bulunan süs taşı kalitesindeki ametist minerali (Selim, 2015). 57
Şekil 2.11. Çorum Mecitözü bölgesinde bulunan süs taşı kalitesindeki jasper (Mecitözü) minerali (Şahin ve Akova, 2019). 58
Şekil 2.12. Aydın ilinde bulunan süs taşı kalitesindeki dumanlı kuvars (Çiftçi vd., 2019). 58
Şekil 2.13. Erzurum Şenkaya bölgesinde bulunan süs taşı kalitesindeki krizopraz minerali (Çiftçi vd., 2019). 59
Şekil 2.14. Oltu taşı (https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/kiymetli-taslar). 59
Şekil 3.1. Fosfatın yapısı (Greenfield ve Clift, 1975). 67
Şekil 3.2. Turkuazın kristal yapısı (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Struct_ Turquoise. png). 68
Şekil 3.3. Mavi apatit (Brezilya) (https://en.wikipedia.org). 68
Şekil 3.4. $Ca_5(PO_4)_3F$ ve $Ca_5(PO_4)_3Cl$-Br Kristal yapısı (Li, 2015). 69
Şekil 3.5. Korund kristal yapısı. (a) İki O^{-2} (büyük daireler) tabakası arasında oktohedral boşluklar(küçük açık renk daireler) ve Al^{+3} (siyah daireler) düzenlemesinin şematik gösterimi. (üst O^{-2}tabakası gösterilmemiştir) . A1, A2 ve A3, bazal düzlem için altıgen safir hücrenin $[11\bar{2}0]$ dönüşümsel vektörleridir. (b) O^{-2} iyonlarının (açık daireler) ve Al^{+3} 'ün C3 ekseni yönünde paketlenme şeması (Dobrovinskaya, 2009). 71
Şekil 3.6. Spinel ($MgAl_2O_4$) kristal yapısının şematik gösterimi (https://libretexts.org/). 72

Şekil 3.7. Malakit $Cu_2(CO_3)(OH)_2$ kristal yapısı (a) Yapısal birim, [CO3] üçgeni ile birbirine bağlanmış bir yüz yüze oryantasyona sahip iki tür [CuO6] oktahedral katmandan oluşur. (b) İki [CuO6] oktahedra kenar paylaşımlıdır ve bir köşe oksijen yoluyla başka bir çifte bağlanır. İki tür kristalografik olarak farklı hidrojen vardır; bunlardan biri bir köşe oksijen yoluyla bir [CuO6] çiftiyle, diğeri ise bir uç oksijenle bağlanmıştır (Gao, 2020)..... 74
Şekil 3.8. Silika tetrahedron yapısı (Silisyum +4 yüke ve dört oksijenin her birinin yükü -2 olduğundan, silika tetrahedronun net yükü -4'tür) (Earle, 2015). 75
Şekil 3.9. Nezosilikatın kristal yapısı (Haldar, 2020; Earle, 2015). 76
Şekil 3.10. Olivinin kristal yapısı (Sarı renk ile gösterilenler SiO^-_4 tetrahedral yapıyı, kırmızı ve yeşil renk ile gösterilen iki farklı katyon bölgesini göstermektedir) (Alderton, 2020). 77
Şekil 3.11. Garnetin kristal yapısı (Kaung, 2019)..... 78
Şekil 3.12. Çift silikatların kristal yapısı (Haldar, 2020). 79
Şekil 3.13. Epidot'un kristal yapısı (White, 2017). 80
Şekil 3.14. Bir boyunca görülen $[SiO4]^{-4}$tetrahedra zincirleri (disfenoid olarak adlandırılır) Küçük kırmızı daireler oksijen atomlarıdır (Nespolo, 2020). 81
Şekil 3.15. C boyunca görülen $[SiO4]^{-4}$tetrahedra (aslında disfenoidler) zincirleri (Nespolo, 2020). 81
Şekil 3.16. Jadeitin kristal yapısı (Sarı renk Na, Mavi renk Al ve kırmızı renk O atomunu simgeler) (Yang, 2015). 82
Şekil 3.17. Amfibollerin kristal yapıları ve konumları (Biederman, 2015). 84
Şekil 3.18. Turmalinin kristal yapısının şematik diagramı (a) normal, (b) c-Eksenine göre paralel (Zhou, 2018)..... 86
Şekil 3.19. Berilin kristal yapısı (c eksenine paralel; Sarı renk ile gösterilen Si, yeşil renk ile gösterilen Be, Mavi renk ile gösterilen Al, Kırmızı renk ile gösterilen O) (Anovitz, 2013). 87
Şekil 3.20. Filosilikatların temel yapısı (Haldar, 2020). 87
Şekil 3.21. Tektosilikat yapısı, karmaşık bir çerçeve oluşturan her yönden dışa doğru giden birbirine bağlı tetrahedronlardan oluşur (Haldar, 2020). 88
Şekil 4.1. Elektromanyetik spekturum (https://prosafety.com.tr). 95
Şekil 4.2. Mohs ve Rossiwal sertlik skalası (Hatipoğlu, 2021). 97
Şekil 4.3. Işığın yansıması ve türleri (https://www.sciencelearn.org.nz/images/45-types-of-reflection). 99
Şekil 4.4. Optik ara yüzeyde ışığın yansıması ve kırılması (Hui, 2020)..... 100
Şekil 5.1. Sentetik olarak üretilmiş bazı süs taşları (Kane, 2009)..... 101
Şekil 5.2. Venueil alev füzyon yönteminin çalışma prensibi (Kawaminami vd, 2013)..... 105

Şekil 5.3. Czochralski yöntemi (Read, 2005). 106
Şekil 5.4. Czochralski yöntemi ile üretilmiş sentetik yakut (Sundberg, 2013). 106
Şekil 5.5. Hidrotermal kristal büyüme yöntemi ile üretilmiş sentetik zümrütler (Koivula vd. 1996). 107
Şekil 5.6. Kaplama ve difüzyon işlemi arasındaki fark (Gabash vd., 2008). 112
Şekil 6.1. Na_2O - B_2O_3 - Al_2O_3 fazdiyagramı (Wakasugivd. 1992; Wakasugivd. 1995; Binevvd. 2005; Chen vd. 2006'dan uyarlanmıştır). 125
Şekil 6.2. Renklendirici oksit olarak kullanılan Cr_2O_3 'ün XRD ile yapılan mineralojik analizi. 128
Şekil 6.3. Renklendirici oksit olarak kullanılan demir oksitin XRD ile yapılan mineralojik analizi. 129
Şekil 6.4. Renklendirici oksit olarak kullanılan kobalt oksitin XRD ile yapılan mineralojik analizi. 130
Şekil 6.5. Renklendirici oksit olarak kullanılan bakır oksitin XRD ile yapılan mineralojik analizi. 131
Şekil 6.6. Renklendirici oksit olarak kullanılan nikel oksitin XRD ile yapılan mineralojik analizi. 132
Şekil 6.7. Ana hammadde olarak kullanılan $Na_2B_4O_7$'nin XRD ile yapılan mineralojik analizi. (Amorf oluşum mevcuttur). 133
Şekil 6.8. Ana hammadde olarak kullanılan alüminyum oksitin mineralojik analiz sonucu. ... 134
Şekil 6.9. Karışımların hazırlanması amacı ile kullanılan bilyalı değirmenin görüntüsü (Boyut: 30x30cm). 135
Şekil 6.10. Hazırlanan tozların topaklanmasını önlemek amacı ile kullanılan agat havanın görüntüsü (Boyut: 8cm). 135
Şekil 6.11. Hazırlanan tozların şekillendirilmesi amacı ile kullanılan hidrolik presin görüntüsü (Boyut: 45x90cm). 136
Şekil 6.12. Hazırlanan tozların sinterlenmesi amacı ile kullanılan kamara tip fırının görüntüsü (Boyut 50x50cm). 137
Şekil 6.13. Rigaku Miniflex marka XRD cihazı görüntüsü (Boyut: 50cm). 138
Şekil 6.14. DPÜ İleri Teknoloji Merkezinde bulunan sinterlenmiş örneklerin mineralojik analizi için kullanılan panalytical empyrean marka XRD cihazı. 138
Şekil 6.15. Elde edilen imitasyon örneklerin sertliklerini ölçmek amacı ile kullanılan sertlik ölçüm cihazına ait görüntü (Boyut: 10x30cm). 140
Şekil 6.16. L*a*b renk koordinat sistemi (https://www.xrite.com/blog/lab-color-space). 141

Şekil 6.17.L*a*b Renk ölçüm cihazına ait görüntü (Boyut 25cm)..... 141
Şekil 6.18. UV Analizleri için kullanılan cihaza ait görüntü (Boyut: 530 x 410 x 210 mm). .. 142
Şekil 6.19. FE-SEM cihazına ait görüntü. 143
Şekil 6.20. Parlaklık ölçümü için kullanılan glossmetrenin görüntüsü (Boyut: 20cm). 144
Şekil 7.1. 600 ℃'de 60dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 0,025 gr Co_3O_4 ile doplanmış D7.11örneğinin görünümü (Örneğin Çapı:15mm)..... 145
Şekil 7.2. 650 ℃'de 30dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 0,025 gr Co_3O_4 ile doplanmış D7. 12 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm)..... 146
Şekil 7.3. 650 ℃'de 60dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 0,025 gr Co_3O_4 ile doplanmış D7. 13 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm)..... 146
Şekil 7.4. 650 ℃'de 90dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 0,025 gr Co_3O_4 ile doplanmış D7. 14 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm)..... 147
Şekil 7.5. 600 ℃'de 60dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 1 gr Co_3O_4 ile doplanmış D7. 15 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm). Doğal sodalit süs taşına (koyu mavi renk ve damarlı yapısı) renk ve yoğunluk bakımından nispeten en yakın benzerlik gösteren örnektir. 147
Şekil 7.6. 650 ℃'de 30dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 1 gr Co_3O_4 ile doplanmış D7. 16 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm). 148
Şekil 7.7. 650 ℃'de 60dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 1 gr Co_3O_4 ile doplanmış D7. 17 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm). 148
Şekil 7.8. 650 ℃'de 60dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 2 gr Co_3O_4 ile doplanmış D7. 18 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm). 149
Şekil 7.9. 650 ℃'de 60dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 3 gr Co_3O_4 ile doplanmış D7. 19 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm). Obsidiyen ve oniks süs taşına renk ve yoğunluk bakımından nispeten en yakın benzerlik gösteren örnektir. 149
Şekil 7.10. 600 ℃'de 60dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 0,025 gr NiO ile doplanmış D7. 21 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm)..... 150
Şekil 7.11. 650 ℃'de 30dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 0,025 gr NiO ile doplanmış D7. 22 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm)..... 151
Şekil 7.12. 650 ℃'de 60dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 0,025 gr NiO ile doplanmış D7. 23 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 10mm)..... 151
Şekil 7.13. 650 ℃'de 30dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 1 gr NiO ile doplanmış D7. 24 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm). 152
Şekil 7.14. 650 ℃'de 60dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 1 gr NiO ile doplanmış D7. 25 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm). 152

Şekil 7.15. 650 ℃'de 60dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 2 gr NiO ile doplanmış D7. 26 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm). 153
Şekil 7.16. 650 ℃'de 90dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 2 gr NiO ile doplanmış D7. 27 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm). 153
Şekil 7.17. 650 ℃'de 60dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 3 gr NiO ile doplanmış D7. 28 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm). Doğal Prehnit süs taşına renk ve yoğunluk bakımından nispeten en yakın benzerlik gösteren örnektir. 154
Şekil 7.18. 650 ℃'de 90dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 3 gr NiO ile doplanmış D7. 29 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm). 154
Şekil 7.19. 650 ℃'de 30dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 0,025 gr Cr_2O_3 ile doplanmış D7. 31 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 12mm)..... 155
Şekil 7.20. 650 ℃'de 60dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 0,025 gr Cr_2O_3 ile doplanmış D7. 32 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 8mm). Doğal aventurin süs taşına renk ve yoğunluk bakımından nispeten en yakın benzerlik gösteren örnektir. 156
Şekil 7.21. 650 ℃'de 30dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 1gr Cr_2O_3 ile doplanmış D7. 33 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm). 156
Şekil 7.22. 650 ℃'de 60dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 1gr Cr_2O_3 ile doplanmış D7. 34 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm). Doğal jadeit (yeşim taşı) süs taşına renk ve yoğunluk bakımından nispeten en yakın benzerlik gösteren örnektir. 157
Şekil 7.23. 650 ℃'de 90dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 0,025 gr. Fe_2O_3 ile doplanmış D7.41 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm)..... 158
Şekil 7.24. 650 ℃'de 60dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 1 gr. Fe_2O_3 ile doplanmış D7.42 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm)..... 158
Şekil 7.25. 650 ℃'de 90dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 1 gr. Fe_2O_3 ile doplanmış D7.43 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm).Doğal akik, jasper ve karnelyan süs taşına renk ve yoğunluk bakımından nispeten en yakın benzerlik gösteren örnektir. 159
Şekil 7.26. 650 ℃'de 30dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 0,025 gr. CuO ile doplanmış D7.51 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm)..... 160
Şekil 7.27. 650 ℃'de 60dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 0,025 gr. CuO ile doplanmış D7.52 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm)..... 161
Şekil 7.28. 650 ℃'de 90dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 0,025 gr. CuO ile doplanmış D7.53 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm)..... 161
Şekil 7.29. 600 ℃'de 60dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 1gr. CuO ile doplanmış D7.54 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm). 162

Şekil 7.30. 650 ℃'de 30dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 1gr. CuO ile doplanmış D7.55 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm) (Özellikle Cu içeren ve mavi renkli olan turkuaz, malakit, azurit ve krizokolla rengine benzeyen örnek). 162
Şekil 7.31. 650 ℃'de 60dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 1gr. CuO ile doplanmış D7.56 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm). 163
Şekil 7.32. 650 ℃'de 90dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 1gr. CuO ile doplanmış D7.57 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm). 163
Şekil 7.33. 600 ℃'de 60dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 0,025 gr. MnO ile doplanmış D7.61 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm)..... 165
Şekil 7.34. 650 ℃'de 30dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 0,025 gr. MnO ile doplanmış D7.62 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm)..... 165
Şekil 7.35. 650 ℃'de 60dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 0,025 gr. MnO ile doplanmış D7.63 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm)..... 166
Şekil 7.36. 600 ℃'de 60dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 1 gr. MnO ile doplanmış D7.64 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm)..... 166
Şekil 7.37. 650 ℃'de 30dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 1 gr. MnO ile doplanmış D7.65 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm)..... 167
Şekil 7.38. 650 ℃'de 60dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 1 gr. MnO ile doplanmış D7.66 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm)..... 167
Şekil 7.39. Katkısız D7 kodlu örneğin XRD kullanılarak yapılan mineralojik analiz sonucu. (1:Sodyum Borat ($Na_2B_2O_4$), 2:Alüminyum oksit (Al_2O_3), 3:Sodyum Alüminyum Oksit (Na_5AlO_4), 4: Alüminyum Borat ($Al_4B_2O_9$),5: Sodyum Oksit (Na_2O_2))..... 168
Şekil 7.40. D7.15 kodlu örneğin XRD kullanılarak yapılan mineralojik analiz sonucu. (1: Sodyum Borat ($Na_2B_2O_4$), 2:Sodyum alüminyum oksit ($NaAlO_2$), 3:Alüminyum Kobalt (Al13Co4), 4:Alüminyum Oksit (Al_2O_3)). 169
Şekil 7.41. D7.19 kodlu örneğin XRD kullanılarak yapılan mineralojik analiz sonucu. (1:Alüminyum Borat ($Al_4B_2O_9$), 2: Kobalt Alüminat ($CoAl_2O_4$), 3: Sodyum Borat ($Na_2B_2O_4$), 4: Alüminyum Oksit (Al_2O_3), 5: Sodyum Borat ($Na_5B_2O_6$)). 169
Şekil 7.42. D7.28 kodlu örneğin XRD kullanılarak yapılan mineralojik analiz sonucu. (1: Sodyum Borat ($Na_4B_2O_5$), 2: Nikel Oksit (NiO), 3: Alüminyum Oksit (Al_2O_3)). 170
Şekil 7.43. D7.32 kodlu örneğin XRD kullanılarak yapılan mineralojik analiz sonucu. (1: Alüminyum Krom Oksit ($(Al_{0.9}Cr_{0,1})_2O_3$), 2:Alüminyum oksit (Al_2O_3). 171

Şekil 7.44. D7.34 kodlu örneğin XRD kullanılarak yapılan mineralojik analiz sonucu. (1: Krom Oksit (Cr_2O_3), 2:Alüminyum Krom Oksit, ($(Al_{0.9}Cr_{0,1})_2O_3$), 3:Sodyum Alüminat ($NaAl_6O_{9,5}$), 4: Alüminyum Borat ($Al_4B_2O_9$), 5: Alüminyum oksit (Al_2O_3), 6: Bor Alüminyum (AlB_{10}). 171
Şekil 7.45. D7.43 Kodlu örneğin XRD kullanılarak yapılan mineralojik analiz sonucu. (1: Sodyum Demir Oksit ($Na_{10}Fe_{16}O_{29}$), 2: Hematit (Fe_2O_3), 3: Alüminyum Oksit (Al_2O_3), 4:Sodyum Borat ($Na_2B_4O_7$)..... 172
Şekil 7.46. D7.55 kodlu örneğin XRD kullanılarak yapılan mineralojik analiz sonucu. (1:Alüminyum Borat ($Al_4B_2O_9$), 2: Sodyum Borat (NaB_3O_5), 3: Alüminyum Oksit (Al_2O_3), 4: Bakır Borat ($Cu_3B_2O_6$), 5: Sodyum Alüminat (Na_5AlO_4), 6: Bakır Oksit (CuO)). 173
Şekil 7.47. İmitasyon olarak elde edilen örneklerin vickers sertlik değerleri. 174
Şekil 7.48. İmitasyon örneklerin mohs sertlik değeri ile doğal süs taşlarının mohs sertlik değeri. 176
Şekil 7.49. Sinterlenmiş örneklerin bulk yoğunluğu ve özgül ağırlıkları. 178
Şekil 7.50. D7 kodlu örneğin 500X büyütme görüntüsü. (Küresel boşluklar görülmektedir).. 190
Şekil 7.51.D7 kodlu örneğin 2500X büyütme görüntüsü. (Taneler köşeli ve ovaldir). 190
Şekil 7.52. D7 kodlu örneğin 5000X büyütme görüntüsü. (Yapıda çatlaklar bulunmaktadır). 191
Şekil 7.53. Şekil 7.52'de verilen büyütülmüş D7 kodlu örneğin SEM-BSE mikro yapı görüntüsü 1.(Açık renk ile görülen yerler atom numarası en büyük olan elementi temsil etmektedir). 191
Şekil 7.54. Şekil 7.53'de D7 kodlu örneğin EDX spekturumu (1). 192
Şekil 7.55. Şekil 7.52'de görülen büyütülmüş D7 kodlu örneğin SEM-BSE mikro yapı görüntüsü 2. (Açık renk ile görülen yerler atom numarası en büyük olan elementi temsil etmektedir). 192
Şekil 7.56. Şekil 7.55'de görülen D7 kodlu örneğin EDX spekturumu (2). 193
Şekil 7.57. D7.15 kodlu örneğin 500X büyütme görüntüsü. (Yapıda çatlaklar bulunmaktadır). 194
Şekil 7.58. D7.15 kodlu örneğin 2500X büyütme görüntüsü. (Taneler köşeli ve ovaldir). 195
Şekil 7.59. D7.15 kodlu örneğin 5000X büyütme görüntüsü. (Siyah görülen alanlar boşluklardan kaynaklanmaktadır). 195
Şekil 7.60. Şekil 7.59'da görülen D7.15 kodlu örneğin SEM-BSE mikro yapı görüntüsü (1). (Açık renk ile görülen yerler atom numarası en büyük olan elementi temsil etmektedir). 196
Şekil 7.61. Şekil 7.60'da görülen D7.15 kodlu örneğin EDX spekturumu (1). 196
Şekil 7.62. Şekil 7.59'da görülen D7.15 kodlu örneğin SEM-BSE mikro yapı görüntüsü (2). (Açık renk ile görülen yerler atom numarası en büyük olan elementi temsil etmektedir). 197

Şekil 7.63. Şekil 7.62'de görülen D7.15 kodlu örneğin EDX spektrumu (2). 197
Şekil 7.64. D7.19 kodlu örneğin 500X büyütme görüntüsü. (Camsı yapı görülmektedir). 198
Şekil 7.65. D7.19 kodlu örneğin 2500X büyütme görüntüsü. (Taneler köşeli ve oval yapıdadır). 199
Şekil 7.66. D7.19 kodlu örneğin 5000X büyütme görüntüsü. (Mikro çatlaklar bulunmaktadır). 199
Şekil 7.67. Şekil 7.66'da görülen D7.19 kodlu örneğin bölge SEM-BSE mikro yapı görüntüsü (1) (Açık renk ile görülen yerler atom numarası en büyük olan elementi temsil etmektedir). . 200
Şekil 7.68. Şekil 7.67'de görülen D7.19 kodlu örneğin EDX spekturumu (1). 200
Şekil 7.69. Şekil 7.66'da görülen D7.19 kodlu örneğin bölge SEM-BSE mikro yapı görüntüsü (2). (Açık renk ile görülen yerler atom numarası en büyük olan elementi temsil etmektedir). 201
Şekil 7.70. Şekil 7.69'da görülen D7.19 kodlu örneğin EDX spekturumu (2). 201
Şekil 7.71. D7.28 kodlu örneğin 500X büyütme görüntüsü (Küresel boşluklar ve çatlaklar görülmektedir)..... 202
Şekil 7.72. D7.28 kodlu örneğin 2500X büyütme görüntüsü (Çatlaklar ve boşluklar görülmektedir)..... 203
Şekil 7.73. D7.28 kodlu örneğin 5000X büyütme görüntüsü (Çatlaklar görülmektedir)..... 203
Şekil 7.74. Şekil 7.73'de görülen D7.28 kodlu örneğin SEM-BSE mikro yapı görüntüsü (1). (Açık renk ile görülen yerler atom numarası en büyük olan elementi temsil etmektedir). 204
Şekil 7.75. Şekil 7.74'de görülen D7.28 kodlu örneğin EDX spekturumu (1). 204
Şekil 7.76. Şekil 7.73'de görülen D7.28 kodlu örneğin SEM-BSE mikro yapı görüntüsü (2). (Açık renk ile görülen yerler atom numarası en büyük olan elementi temsil etmektedir). 205
Şekil 7.77. Şekil 7.76'da görülen D7.28 kodlu örneğin EDX spekturumu (2). 205
Şekil 7.78. D7.32 kodlu örneğin 500X büyütme görüntüsü (Küresel boşluklar görülmektedir). 206
Şekil 7.79. D7.32 kodlu örneğin 2500X büyütme görüntüsü (Amorf yapı görülmektedir ve taneler köşeli yapıdadır). 207
Şekil 7.80. D7.32 kodlu örneğin 5000X büyütme görüntüsü (Taneler köşeli yapıdadır ve boşluklar mevcuttur). 207
Şekil 7.81. Şekil 7.80'de görülen D7.32 kodlu örneğin bölge SEM-BSE mikro yapı görüntüsü (1) (Açık renk ile görülen yerler atom numarası en büyük olan elementi temsil etmektedir). . 208
Şekil 7.82. Şekil 7.81'de görülen örneğinEDX 1 spekturumu (1). 208
Şekil 7.83. Şekil 7.80'de görülen D7.32 kodlu örneğin bölge SEM-BSE mikro yapı görüntüsü (2) (Açık renk ile görülen yerler atom numarası en büyük olan elementi temsil etmektedir). . 209

Şekil 7.84. Şekil 7.83'de görülen D7.32 kodlu örneğin EDX spekturumu (2). 209
Şekil 7.85. D7.34 kodlu örneğin 500X büyütme görüntüsü (Camsı yapı ve gözenekler görülmektedir). 210
Şekil 7.86. D7.34 kodlu örneğin 2500X büyütme görüntüsü (Taneler köşeli yapıdadır). 211
Şekil 7.87. D7.34 kodlu örneğin 5000X büyütme görüntüsü (Siyah görülen yapıların amorf yapıdan kaynaklandığı düşünülmektdir). 211
Şekil 7.88. Şekil 7.87'de görülen D7.34 kodlu örneğin SEM-BSE mikro yapı görüntüsü (1) (Açık renk ile görülen yerler atom numarası en büyük olan elementi temsil etmektedir). 212
Şekil 7.89. Şekil 7.88'de görülen D7.34 kodlu örneğin EDX spekturumu (1). 212
Şekil 7.90. Şekil 7.87'de görülen D7.34 kodlu örneğin SEM-BSE mikro yapı görüntüsü (2) (Açık renk ile görülen yerler atom numarası en büyük olan elementi temsil etmektedir). 213
Şekil 7.91. Şekil 7.90'da görülen D7.34 kodlu örneğin EDX spekturumu (2). 213
Şekil 7.92. D7.43 kodlu örneğin 500X büyütme görüntüsü (Taneler köşeli yapıdadır ve amorf yapı mevcuttur). 214
Şekil 7.93. D7.43 kodlu örneğin 2500X büyütme görüntüsü (Siyah renkli görülen kısımların amorf yapıdan kaynaklandığı düşünülmektdir). 215
Şekil 7.94. D7.43 kodlu örneğin 5000X büyütme görüntüsü (Açık renk görülen taneciklerin demir elementi olduğu ve çözünmeden yapı içerisinde bulunduğu düşünülmektdir). 215
Şekil 7.95. Şekil 7.94'de görülen D7.43 kodlu örneğin SEM-BSE mikro yapı görüntüsü (1) (Açık renk ile görülen yerler atom numarası en büyük olan elementi temsil etmektedir). 216
Şekil 7.96. Şekil 7.95'de görülenD7.43 kodlu örneğin EDX spekturumu (1). 216
Şekil 7.97. Şekil 7.94'de görülen D7.43 kodlu örneğin SEM-BSE mikro yapı görüntüsü (2) (Açık renk ile görülen yerler atom numarası en büyük olan elementi temsil etmektedir). 217
Şekil 7.98. Şekil 7.97'de görülen D7.43 kodlu örneğin EDX spekturumu (2). 217
Şekil 7.99. D7.55 kodlu örneğin 500X büyütme görüntüsü (Yapıda küresel boşluklar görülmektedir). 218
Şekil 7.100. D7.55 kodlu örneğin 2500X büyütme görüntüsü (Amorf yapı üzerinde küçük tanecikler görülmektedir). 219
Şekil 7.101. D7.55 kodlu örneğin 5000X büyütme görüntüsü (Amorf yapı mevcuttur oluşan taneler köşeli yapıdadır). 219
Şekil 7.102. Şekil 7.101'de görülen D7.55 kodlu örneğin SEM-BSE mikro yapı görüntüsü (1) (Açık renk ile görülen yerler atom numarası en büyük olan elementi temsil etmektedir). 220
Şekil 7.103. Şekil 7.102'de görülen D7.55 kodlu örneğin EDX spekturumu (1). 220

Şekil 7.104. Şekil 7.101'de görülen D7.55 kodlu örneğin SEM-BSE mikro yapı görüntüsü (2) (Açık renk ile görülen yerler atom numarası en büyük olan elementi temsil etmektedir). 221
Şekil 7.105. Şekil 7.104'de görülen D7.55 kodlu örneğin EDX spekturumu (2). 221
Şekil 7.106. D7 kodlu örneğin dalga boyu yansıma grafiği (En yüksek yansıma değeri UV dalga boyu aralığında görülmektedir). 222
Şekil 7.107. D7 Kodlu örneğin dalga boyu geçirgenlik grafiği (En yüksek geçirgenlik değeri UV dalga boyu aralığında görülmektedir). 223
Şekil 7.108. D7.15 Kodlu örneğin dalga boyu yansıma grafiği (En yüksek yansıma değeri UV dalga boyu aralığında görülmektedir). 224
Şekil 7. 109. D7.15 kodlu örneğin dalga boyu geçirgenlik grafiği (En yüksek geçirgenlik değeri UV dalga boyu aralığında görülmektedir). 224
Şekil 7.110. D7.19 Kodlu örneğin dalga boyu yansıma grafiği (En yüksek yansıma değeri UV dalga boyu aralığında görülmektedir). 225
Şekil 7.111. D7.19 Kodlu örneğin dalga boyu geçirgenlik grafiği (En yüksek geçirgenlik değeri UV dalga boyu aralığında görülmektedir). 226
Şekil 7.112. D7.28 Kodlu örneğin dalga boyu yansıma grafiği (En yüksek yansıma değeri UV dalga boyu aralığında görülmektedir). 227
Şekil 7.113. D7.28 Kodlu örneğin dalga boyu geçirgenlik grafiği (En yüksek geçirgenlik değeri UV dalga boyu aralığında görülmektedir). 227
Şekil 7.114. D7.32 Kodlu örneğin dalga boyu yansıma grafiği (En yüksek yansıma değeri UV dalga boyu aralığında görülmektedir). 228
Şekil 7.115. D7.32 Kodlu örneğin dalga boyu geçirgenlik grafiği (En yüksek geçirgenlik değeri UV dalga boyu aralığında görülmektedir). 229
Şekil 7.116. D7.34 Kodlu örneğin dalga boyu yansıma grafiği (En yüksek yansıma değeri UV dalga boyu aralığında görülmektedir). 229
Şekil 7.117. D7.34 kodlu örneğin dalga boyu geçirgenlik grafiği (En yüksek geçirgenlik değeri UV dalga boyu aralığında görülmektedir). 230
Şekil 7.118. D7.43 Kodlu örneğin dalga boyu yansıma grafiği (En yüksek yansıma değeri UV dalga boyu aralığında görülmektedir). 231
Şekil 7.119. D7.43 Kodlu örneğin dalga boyu geçirgenlik grafiği (En yüksek geçirgenlik değeri UV dalga boyu aralığında görülmektedir). 231
Şekil 7.120. D7.55 Kodlu örneğin dalga boyu yansıma grafiği (En yüksek yansıma değeri UV dalga boyu aralığında görülmektedir). 232

Şekil 7.121. D7.55 Kodlu örneğin dalga boyu geçirgenlik grafiği (En yüksek geçirgenlik değeri UV dalga boyu aralığında görülmektedir). 233
Şekil 7.122. Katkısız D7 kodlu örneğin dalga boyu- kırılma indisi grafiği (En yüksek kırılma indisi değeri UV dalga boyu aralığında görülmektedir)..... 235
Şekil 7.123. 1 gr. Kobalt oksit ile doplanmış D7.15 kodlu örneğin dalga boyu- kırılma indisi grafiği (En yüksek kırılma indisi değeri UV dalga boyu aralığında görülmektedir). 235
Şekil 7.124. 3 gr. Kobalt oksit ile doplanmış D7.19 kodlu örneğin dalga boyu- kırılma indisi grafiği (En yüksek kırılma indisi değeri UV dalga boyu aralığında görülmektedir). 236
Şekil 7.125. 3 gr. Nikel oksit ile doplanmış D7.28 kodlu örneğin dalga boyu- kırılma indisi grafiği (En yüksek kırılma indisi değeri UV dalga boyu aralığında görülmektedir). 236
Şekil 7.126. 0,025 gr Krom oksit ile doplanmış D7.32 kodlu örneğin dalga boyu- kırılma indisi grafiği (En yüksek kırılma indisi değeri UV dalga boyu aralığında görülmektedir). 237
Şekil 7.127. 1 gr Krom oksit ile doplanmış D7.34 kodlu örneğin dalga boyu- kırılma indisi grafiği (En yüksek kırılma indisi değeri UV dalga boyu aralığında görülmektedir). 238
Şekil 7.128. 1 gr Demir oksit ile doplanmış D7.34 kodlu örneğin dalga boyu- kırılma indisi grafiği (En yüksek kırılma indisi değeri UV dalga boyu aralığında görülmektedir). 238
Şekil 7.129. 1 gr Bakır oksit ile doplanmış D7.55 kodlu örneğin dalga boyu- kırılma indisi grafiği (En yüksek kırılma indisi değeri UV dalga boyu aralığında görülmektedir). 239

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 1.1. Türkiye'de bulunan süs taşları ve lokasyonları (Toka ve Selim 2020). 29
Çizelge 1.2. Dünya süs taşı ihracat verileri (x 1000 ABD doları) (Elmas ve sentetik-imitasyon ve iyileştirilmiş süs taşları hariç) (www.trademap.org). 30
Çizelge 1.3. Türkiye'nin işlenmiş veya işlenmemiş süs taşları ithal ettiği ülkeler ve verileri (x 1000 ABD doları) (İşlenmiş ve ya işlenmemiş, ancak montürlenmemiş, elmaslar ve imitasyon süs taşları hariç) (www.trademap.org). 31
Çizelge 1.4. Türkiye'nin işlenmemiş ithal ettiği bazı süs taşlarının verileri (x 1000 ABD doları) (İşlenmemiş kabaca kesilmiş, elmas ve imitasyon süs taşları hariç) (www.trademap.org). 32
Çizelge 1.5. Türkiye'nin süs taşı ihracat verileri (x 1000 ABD doları) (Elmas ve imitasyon-sentetik ve iyileştirilmiş süs taşları hariç) (www.trademap.org). 37
Çizelge 1.6. Bazı ülkelerin sentetik ve imitasyon süs taşlarının ihracat verileri (x 1000 ABD doları) (www.trademap.org) 38
Çizelge 1.7. Türkiye'nin sentetik ve imitasyon süs taşı ithalat verileri (x 1000 ABD doları) (www.trademap.org). 39
Çizelge 1.8. Türkiye'nin sentetik ve imitasyon süs taşı ihracat verileri (x 1000 ABD doları) (www.trademap.org). 41
Çizelge 2.1. Magmatik ve metamorfik kayaçlarda yer alan süs taşları (Candar, 2007). 54
Çizelge 2.2. Dünyada bulunan süs taşı lokasyonları (Dill ve Weber, 2013). 60
Çizelge 3.1. Yer kabuğunda kayaç oluşturan ana mineral grupları ve yüzdeleri (Haldar ve Tišljar, 2014). 63
Çizelge 3.2. Ana mineral grupları ve bazı mineral örnekleri (Earle, 2015). 64
Çizelge 3.3. Oksitler ve hidroksitler grubundan ana kaya oluşturan mineraller (Haldar, Tišljar, 2014). 65
Çizelge 3.4. Silikat grubu minerallerin sınıfı, yaygın ismi, genel formülü, Si:O oranı ve örnekleri (Haldar, 2020). 76
Çizelge 3.5. SiO_2 grubu süs taşları (Balasubramanian, 2017). 88
Çizelge 5.1. Bazı süs taşlarının sentetik üretiminin krolonojik sırası (Kane, 2009). 103
Çizelge 5.2. Süstaşlarının saydam yapılı imitasyon türleri ve bunların piyasaya sürülüş yılları (Hatipoğlu 2021'den uyarlanmıştır). 116
Çizelge 5.3. Süstaşlarının saydam yapılı imitasyon türleri ve özellikleri (Hatipoğlu, 2021'den uyarlanmıştır). 116

Çizelge 6.1. Örneklerin adı, kullanılan hammaddelerin ağırlıkça yüzde oranları (Seçilen reçete-D7- koyu renk ile işaretlenmiştir). 126
Çizelge 6.2. Renklendirici oksit olarak kullanılan Cr_2O_3'ün XRF ile yapılan kimyasal analiz sonucu. 127
Çizelge 6.3. Renklendirici oksit olarak kullanılan demir oksitin XRF ile yapılan kimyasal analiz sonucu. 128
Çizelge 6.4. Renklendirici oksit olarak kullanılan kobalt oksitin XRF ile yapılan kimyasal analiz sonucu. 129
Çizelge 6.5. Renklendirici oksit olarak kullanılan bakır oksitin XRF ile yapılan kimyasal analiz sonucu. 130
Çizelge 6.6. Renklendirici oksit olarak kullanılan nikel oksitin XRF ile yapılan kimyasal analiz sonucu. 131
Çizelge 6.7. Ana Hammadde olarak kullanılan sodyum tetra boratın XRF ile yapılan kimyasal analiz sonucu. 132
Çizelge 6.8. Ana hammadde olarak kullanılan alüminyum oksitin XRF ile yapılan kimyasal analiz sonucu. 133
Çizelge 7.1. Co_3O_4 ile doplanmış D7 örneklerinin adı, Co_3O_4 miktarı, sinterleme sıcaklığı ve sinterleme süresi. En iyi imitasyon örnekleri koyulaştırılmıştır. 145
Çizelge 7.2. NiO ile doplanmış D7 örneklerinin adı, NiO miktarı, sinterleme sıcaklığı ve sinterleme süresi. En iyi imitasyon örneği koyulaştırılmıştır. 150
Çizelge 7.3. Cr_2O_3 ile doplanmış D7 örneklerinin adı, Cr_2O_3 miktarı, sinterleme sıcaklığı ve sinterleme süresi en iyi imitasyon örnekleri koyulaştırılmıştır. 155
Çizelge 7.4. Fe_2O_3 ile doplanmış D7 örneklerinin adı, Fe_2O_3 miktarı, sinterleme sıcaklığı ve sinterlemesüresi en iyi imitasyon örneği koyulaştırılmıştır. 157
Çizelge 7.5. CuO ile doplanmış D7 örneklerinin adı, CuO miktarı, sinterleme sıcaklığı ve sinterleme süresi en iyi imitasyon örnekleri koyulaştırılmıştır. 160
Çizelge 7.6. MnO ile doplanmış D7 örneklerinin adı, MnO miktarı, sinterleme sıcaklığı ve sinterleme süresi. 164
Çizelge 7.7. İmitasyon olarak elde edilen örneklerin Vickers Mikro sertlik değerleri. 173
Çizelge 7.8. İmitasyon olarak elde edilen örneklerin 7.1. denklemi ile dönüştürülmüş oldukları mohs sertlik değerleri. 175
Çizelge 7.9. Sinterlenmiş örneklerin ölçülen bulk yoğunluğu ve özgül ağırlığı. 177
Çizelge 7.10. İmitasyon olarak elde edilen örneklerin L*a*b renk değerleri. En yakın imitasyonların adları koyulaştırılmıştır. 181

Çizelge 7.11. Elde edilen imitasyon örneklerinin glossmetre ile ölçülen parlaklık değerleri... 187
Çizelge 7.12. 60°'de ölçülen parlaklık değerine göre parlaklık sınıflandırılması (www.korozyon doktoru.org)..... 188
Çizelge 7.13. Avrupa ve Amerika standartlarına göre parlaklık değerleri sınıflandırılması (www.korozyon doktoru.org)..... 189
Çizelge 7.14. Şekil 7.54'de görülen EDX spekturumunun ağırlıkça element içeriği (1). 192
Çizelge 7.15. Şekil 7.56'da görülen EDX spekturumunun ağırlıkça element içeriği (2). 193
Çizelge 7.16. Şekil 7.61'de görülen EDX spekturumunun örneğin ağırlıkça element içeriği (1). 196
Çizelge 7.17. Şekil 7.63'de görülen EDX spekturumunun ağırlıkça element içeriği (2). 197
Çizelge 7.18. Şekil 7.68'de görülen EDX spekturumunun ağırlıkça element içeriği (1). 200
Çizelge 7.19. Şekil 7.70'de görülen EDX spekturumunun ağırlıkça element içeriği (2). 201
Çizelge 7.20. Şekil 7.75'de görülen EDX spekturumunun ağırlıkça element içeriği (1). 204
Çizelge 7.21. Şekil 7.77'de görülen EDX spekturumununağırlıkça element içeriği (2). 205
Çizelge 7.22. Şekil 7.82'de görülen EDX spekturumununağırlıkça element içeriği (1) 208
Çizelge 7.23. Şekil 7.84'de görülen EDX spekturumunun ağırlıkça element içeriği (2). 209
Çizelge 7.24. Şekil 7.89'da görülen EDX spekturumunun ağırlıkça element içeriği (1). 212
Çizelge 7.25. Şekil 7.91'de görülen EDX spekturumunun ağırlıkça element içeriği (2). 213
Çizelge 7.26. Şekil 7.96'da görülen EDX spekturumunun ağırlıkça element içeriği (1). 216
Çizelge 7.27. Şekil 7.98'de görülen EDX spekturumunun ağırlıkça element içeriği (2). 217
Çizelge 7.28. Şekil 7.103'de görülen EDX spekturumunun ağırlıkça element içeriği (1). 220
Çizelge 7.29. Şekil 7.105'de görülen EDX spekturumunun ağırlıkça element içeriği (2). 221
Çizelge 8.1. İmitasyon olarak elde edilen süs taşlarının reçete maliyeti. 240
Çizelge 8.2. İmitasyon olarak elde edilen örneklerin hammadde maliyeti ve işçilik, enerji ve hammadde dahil toplam maliyeti. 241

KISALTMALAR VE KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltma	Açıklama
MgO	Magnezyum Oksit
Co_3O_4	Kobalt Oksit
NiO	Nikel Oksit
Cr_2O_3	Krom Oksit
Fe_2O_3	Demir Oksit
CuO	Bakır Oksit
Mn_3O_4	Mangan Oksit
Al_2O_3	Alüminyum Oksit
$Na_2B_4O_7$	Di sodyum tetra borat
$Al_4B_2O_9$	Alüminyum Borat
$CoAl_2O_4$	Kobalt Alüminat
$Na_2B_2O_4$	Sodyum Borat
B	Bor
Al	Alüminyum
Cr	Krom
Fe	Demir
Cu	Bakır
Ni	Nikel
Co	Kobalt
O	Oksijen
mm	Milimetre
gr	gram
SEM	Taramalı Elektron Miktorkobu
XRD	X-Işınları Difraksiyonu
XRF	X-Işınları Florasans
% a	Ağırlıkça Yüzde
A.Z.	Ateş Zahiyatı
GGG	Godalinyum Garnet Granat
CZ	Kübik Zirkonya
YAG	Yitrium Alüminyum Garnet

1. GİRİŞ

İnsanlığın başladığı tarihten itibaren süs taşları zenginlik, statü ve güç amaçlı kullanılmıştır. Bir mineralin süs taşı olarak kabul edilmesinde en önemli parametreler güzelliği, nadir olarak bulunması ve darbelere karşı dayanıklı olmasıdır. Genel olarak süs taşı dendiği zaman ilk akla gelen doğal olarak oluşan mineraller olsa da bazı organik malzemeleri örneğin, kehribar, inci, mercan ve teknoloji sonucu laboratuar ortamında oluşturulan sentetik ve imitasyon süs taşlarını da içermektedir. Gemoloji bilimi mineralojinin bir alt dalıdır ve süs taşlarının oluşumu ve özelliklerini inceleyen bir bilim dalıdır (www.mta.gov.tr). Doğada 4000 den fazla farklı mineral bulunmaktadır. Ancak bunların çok az bir bölümü süs taşı olarak kullanılmaktadır. Süs taşları yapısal olarak oksitler, karbonatlar, sülfatlar, sülfirler, fosfatlar, halitler ve silikatlar olmak üzere yedi gruba ayrılmaktadır. Ancak en çok kullanılan süs taşlarının oksit, fosfat, karbonat ve silikat grubunda bulunduğu söyleyebiliriz.

Süs taşları genellikle volkanik değişimler sonucunda oluşmaktadır. Granit, gnays gibi oluşumlarda ve nehir yataklarında süs taşlarına rastlamaktayız (Fernie, 2013). Süs taşları hem birincil (ana kayada) hem de ikincil oluşumlarda bulunur. İkincil birikintiler (tortul yataklar olarak da bilinir), kayaçlarınsonradan yoğunlaştığı ve alüvyon, elüvyal ve deniz ortamlarında bulunabilen erozyon süreçlerine maruz kalan birincil kayaçlardan itibaren yataklaşmışlardır. Süs taşları, magmatik kayaçlarda (örn. bazaltik safir), metamorfik kayaçlarda (örn. yeşim taşı) veya tortul kayaçlarda oluşabilir (Cartier, 2019).

Çoğu insan süs taşlarının mineral olduğunu bilmemektedir. Doğadan ham halde elde edilen süs taşı kalitesindeki bir mineral düzgün bir şekilde işlendiği ve cilalandığı zaman süs taşı olarak kabul edilmektedir. Bir mineralin süs taşı olabilmesi için gerekli bazı parametreler vardır (Wise,2020). Bunlar;

- Görsel olarak al benisi yüksek (çekici)
- Yüksek şeffaflık ve kusursuz yapıya sahip
- İyi bir renk ve parlaklığa sahip
- Dayanıklı
- Nadir olarak bulunur
- Taşınabilir ve modaya uygun, olmasıdır.

Süs taşı kalitesinde olan her mineral mükemmel olmamaktadır. Oluşum şartlarına bağlı olarak bu süs taşlarında bazı yapısal sorunlar olmaktadır. Bu süs taşlarının iyileştirmeye ihtiyacı

olmaktır. Süs taşlarına uygulanan iyileştirme işlemleri ile yapısında bulunan çatlakların yok edilmesi, renk ve parlaklığın daha iyi olmasını sağlanmaktadır. Süs taşlarına uygulanan iyileştirme işlemleri, Isıl işlem, difüzyon, ışıma, boyama, ağartma, empenye ve yüksek sıcaklık ve yüksek basınç gibi uygulamalardır.

Doğal süs taşlarının yanı sıra laboratuar ortamında üretilen sentetik ve imitasyon süs taşları da süs taşı piyasasında çokça bulunmaktadır. Sentetik süs taşları doğal süs taşları ile kimyasal özellikleri, sertlik, parlaklık ve renk gibi fiziksel özellikleri bire bir benzemektedir. Ancak imitasyon süs taşları sadece görüntü olarak doğal süs taşlarına benzerdir.

Türkiye süs taşı potansiyeli içerisinde henüz ekonomik getirisi yeterince fark edilmemiş birçok kaynak vardır. Anadolu'ya bakıldığında birçok bölgede süs taşı kaynağı olduğu görülmektedir. Türkiye'de bulunan süs taşları ve lokasyonları Çizelge 1.1'de verilmiştir.

Çizelge 1.1'de görüldüğü gibi Eskişehir, Kütahya, Balıkesir, İzmir, Yozgat ve Ankara gibi birçok şehrimizde süs taşı kaynaklarının olduğu görülmektedir. Ancak süs taşı yatakları ve üretim kapasitemiz olmasına rağmen süs taşı piyasasında Türkiye dışa bağımlı ülke konumundadır. Süs taşı kaynakları hammadde olarak ihraç edilmektedir. Ham olarak ihraç edilen süs taşlarını işlenip geri ithal etmekteyiz. Ham olarak değil de bu süs taşlarının işlenip pazarlanması halinde ülke için çok büyük bir katma değer elde edileceği düşünülmektedir. Sadece Türkiye'de bulunma ve rezerv miktarı açısından 6 süs taşının önemli olduğu bilinmektedir Bunlar arasında dumanlı kuvars, mavi kalsedon, krisopraz, diaspor, sepiolit ve jet (oltutaşı) bulunur. Dumanlı kuvars, Büyük Menderes Havzası güneyinde bulunur. Kalsedon oluşumları Çanakkale ve Sarıcakaya'da (Eskişehir) bulunmaktadır. Krisopraz; Bursa, Alaşehir (Manisa) sarımsı yeşil renkli, Biga (Çanakkale), Sivrihisar (Eskişehir) ve Şenkaya (Erzurum) koyu yeşil renkte elde edilmektedir. Diaspor, Milas (Muğla), Söke (Aydın), Tire (İzmir), Bolkardağı Gerdek kilise bölgesi ve Saimbeyli (Adana) 'da oluşur. Sepiyolit; Kıbrısçık-Köroğlu (Bolu), Eskişehir ve Konya ile sınırlıdır. Jet (Oltutaşı) Oltu bölgesinde (Erzurum) oluşur. Bunlar aynı zamanda Türkiye'nin değeri olan süs taşları olarak kabul edilir, ham olarak ihraç edilir (Çiftçi vd., 2019).

Çizelge 1.1. Türkiye'de bulunan süs taşları ve lokasyonları (Toka ve Selim, 2020).

Süs Taşı İsmi	**Türkiye'de Bulunduğu Bölge**
Diaspor	Muğla/Milas
Ateş Opali	Kütahya/ Şaphane
Rubellit	Yozgat/Sarıkaya-Çekerek-Sorgun
Morganit	Yozgat/Sarıkaya-Çekerek-Sorgun
Helidor	Yozgat/Sarıkaya-Çekerek-Sorgun
Goşenit	Yozgat/Sarıkaya-Çekerek-Sorgun
Akuvamarin	Manisa/Demirci
Ametist	Balıkesir/Dursunbey
Dumanlı Kuvars	Aydın/Koçarlı-Karacasu
Kaya Kristali (Renksiz Kuvars)	Aydın/Karacasu, Hakkari/Yüksekova
Siyah Mercan	İzmir/Çandarlı Körfezi
Ay taşı	Aydın/Çine
Kemmererit	Erzincan/Çayırlı
Mavi Kalsedon	Eskişehir/Sarıcakaya,Bolu/Kıbrısçık, İzmir/Seferihisar-Aliağa-Bergama, Afyon/Bayat, Ankara/Beypazarı, Tokat/Zile
Mor Kalsedon	Eskişehir/Sarıcakaya, Ankara/Beypazarı
Gri Kalsedon	Çanakkale/Merkez
Druse Kalsedon	Sivas/Yıldızeli, Yozgat/Çekerek
Çubuklu Agat	Ankara/Çubuk
Bantlı Agat	Ankara/Çubuk, Eskişehir/Sarıcakaya-İnönü, İzmir/Aliağa, Bolu/Kıbrısçık, Yozgat/Merkez
Yosun Agat	Ankara/Çubuk
Karneol	Ankara/Çubuk
Jasper	Eskişehir/Sivrihisar
Krizopras	Çanakkale/Biga, Eskişehir/Sivrihisar
Opal	Bolu/Kıbrıscık, Afyon/Bayat, Eskişehir/Sivrihisar, Kütahya/Yoncalı-Köprüören
Dentritli Opal	Eskişehir/İnönü, Kütahya/Merkez, Bilecik/Bozüyük
Siyah Obsidyen	Nevşehir/Acıgöl, Niğde/Çiftlik-Bor, Çankırı/Orta
Kahverengi Obsidyen	Kars/Sarıkamış
OltuTaşı (Jet)	Erzurum/Oltu
Lületaşı (Sepiyolit)	Eskişehir/Mihaliççık
Almandin	İzmir/Menderes
Spesartit	Yozgat/Sarıkaya
Rodonit	İzmir/Menderes-Güzelbahçe
Mor Jadeit	Bursa/Orhaneli
Nefrit	Manisa/Gördes
Şörl	Manisa/Demirci
Hematit	Balıkesir/Havran, Sivas/Divriği

Süs taşları çok büyük bir ticaret hacmine sahiptir. Dünyanın en çok işlem gören 402. ürünü olmuştur. Çizelge 1.2'de Dünya süs taşı piyasası ihracat oranları görülmektedir.

Çizelge 1.2. Dünya süs taşı ihracat verileri (x 1000 ABD doları) (Elmas ve sentetik-imitasyon ve iyileştirilmiş süs taşları hariç) (www.trademap.org).

İhracatçı Ülke	**2017**	**2018**	**2019**
Amerika Birleşik Devletleri	2 137 675	2 315 768	2 258 171
Hong Kong	2 224 995	1 703 328	1 739 451
Tayland	1 206 407	1 226 985	1 442 603
Mynmar (Burma)	359,985	892,880	778,375
İsviçre	894,430	906,555	706,378
Hindistan	464,472	445,820	427,712
İtalya	163,112	249,489	361,914
Singapur	335,892	373,272	339,900
Birleşik Arap Emirlikleri	394,183	335,624	290,822
Birleşik Krallık	212,904	161,491	268,697
Sri Lanka	153,364	287,604	238,148
Almanya	253,987	253,983	182,155
Mozambik	97,612	198,273	179,663
Brezilya	147,428	148,076	171,257
Fransa	220,024	246,009	162,993
Çin	8,142	136,759	98,021
Toplam	9 872 347	10 319 284	10 323 102

Çizelge 1.2'de görüldüğü gibi elmas ve imitasyon olarak üretilenler harici süs taşı ihracat oranı 2019 yılı verilerine göre 103 231020000 ABD dolarıdır. Bu payın en büyük kısmını Amerika Bileşik Devletleri, Hong Kong, Tayland, Mynmar, İsviçre ve Hindistan almaktadır. Amerika Bileşik Devletleri 22 581 710 000 dolarlık oranla Dünya Süs taşı ihracat rakamlarının yaklaşık %20'sini bünyesinde bulundurmaktadır. 2017, 2018 ve 2019 ihracat rakamlarına bakıldığında ihracat oranlarında büyüme gerçekleştiği görülmektedir. 2017 yılında 98 723 470 000 dolar iken, 2018 yılında 103 192 840 000 dolar ve 2019 yılında ise bu rakam 103 231 020 000 dolar seviyesine çıkmıştır. Buradan anlaşılacağı gibi süs taşı piyasasında giderek büyüme gerçekleştiği görülmektedir. Çizelge 1.3'de Türkiye'nin ithal ettiği süs taşı rakamları görülmektedir.

Çizelge 1.3. Türkiye'nin işlenmiş veya işlenmemiş süs taşları ithal ettiği ülkeler ve verileri (x 1000 ABD doları) (İşlenmiş ve ya işlenmemiş, ancak montürlenmemiş, elmaslar ve imitasyon süs taşları hariç) (www.trademap.org).

İhracatçı Ülke	**2017**	**2018**	**2019**
Tayland	827	1,278	2,121
Hong Kong	208	963	1,963
Hindistan	279	308	271
Almanya	129	239	233
Çin	153	87	171
Sri Lanka	59	165	161
Brezilya	182	120	99
ABD	112	516	65
Zambia	31	3	31
Endonezya	0	0	28
Uruguay	0	16	25
Bulgaristan	4	5	24
Pakistan	2	1	21
Kolombiya	0	0	20
Peru	0	0	15
Güney Afrika	0	3	12
İtalya	93	71	8
Bileşik Arap Emirlikleri	308	25	7
Fransa	6	8	6
Kore	0	0	4
Morocco	8	11	4
Madagaskar	0	16	3
Meksika	0	3	3
İsviçre	14	12	2
Kongo	0	3	1
İran	0	0	1
Kenya	0	0	1
Litvanya	0	0	1
Malavi	0	0	1
Nambia	8	2	1
Katar	0	0	1
Sierra Leone	0	1	1
Avusturya	0	2	0
İsrail	3	0	0
Japonya	4	1	0
Malezya	0	1	0
Hollanda	0	2	0
Polonya	2	0	0
Portekiz	0	1	0
Romanya	44	0	0
Rusya	6	0	0

Çizelge 1.3. Türkiye'nin işlenmiş veya işlenmemiş süs taşları ithal ettiği ülkeler ve verileri (x 1000 ABD doları) (İşlenmiş ve ya işlenmemiş, ancak montürlenmemiş, elmaslar ve imitasyon süs taşları hariç)(Devam).

Suudi Arabistan	0	2	0
Zimbabve	0	1	0
İspanya	2	0	0
Birleşik Krallık	1	5	0
Toplam	2,484	3,870	5,296

Türkiye süs taşı piyasasında dışa bağımlı bir ülke olduğu bilinmektedir. Dünya süs taşı ihracat rakamlarına (Çizelge 1.2) bakıldığında büyük ticaret hacmi olduğu görülürken, Türkiye'nin ithal ettiği oranın ne kadar az olduğu Çizelge 1.3'de verilen rakamlardan anlaşılmaktadır. Türkiye'nin en çok ithalat yaptığı ülkeler ise sırasıyla, Tayland ve Hong Kong'dur. Bu iki ülke Türkiye'nin süs taşı ithalat oranının büyük bir kısmını temsil etmektedir. Tayland ve Hong Kong'dan sonra en çok ithalat yapılan ülkeler ise, Hindistan, Almaya, Çin, Amerika Bileşik Devletleri gelmektedir. Çizelge 1.2'de Dünya süs taşı ihracat oranlarında en büyük payı alan Amerika Bileşik devletleri olmasına rağmen Türkiye'nin süs taşı ithal ettiği ülkeler arasında çok büyük bir paya sahip olmadığı görülmektedir. Amerika Birleşik Devletlerin'den 2018 yılında en yüksek oranda süs taşı ithal ettiğimiz Çizelge 1.3'de görülmektedir. Birleşik Arap Emirlikleri ile Türkiye arasındaki ithalat rakamlarına bakıldığında ise 2017 yılında yüksek oranda ithal ettiğimiz görülürken 2018 ve 2019 yıllarında bu rakamların azaldığı açıkça görülmektedir. Çizelge 1.4'de Türkiye'nin ithal ettiği işlenmemiş sadece kabaca şekillendirmiş süs taşı ithalat rakamları verilmiştir. Türkiye'nin süs taşı ihracat rakamları ise Çizelge 1.5'de verilmektedir.

Çizelge 1.4. Türkiye'nin işlenmemiş ithal ettiği bazı süs taşlarının verileri (x 1000 ABD doları) (İşlenmemiş kabaca kesilmiş, elmas ve imitasyon süs taşları hariç) (www.trademap.org).

İhracatçı Ülke	**2017**		**2018**		**2019**	
Hong Kong	**Toplam**	**31**	**Toplam**	**130**	**Toplam**	**847**
	Yakut	2	Yakut	11	Yakut	155
	Safir	5	Safir	2	Safir	44
	Zümrüt	25	Zümrüt	105	Zümrüt	642
	Diğer	0	Diğer	11	Diğer	5
Tayland	**Toplam**	**78**	**Toplam**	**84**	**Toplam**	**184**
	Yakut	17	Yakut	10	Yakut	32
	Safir	58	Safir	50	Safir	81
	Zümrüt	0	Zümrüt	1	Zümrüt	26
	Diğer	2	Diğer	23	Diğer	45
Brezilya	**Toplam**	**39**	**Toplam**	**38**	**Toplam**	**67**
	Yakut	0	Yakut	0	Yakut	0

Çizelge 1.4. Türkiye'nin işlenmemiş ithal ettiği bazı süs taşlarının verileri (x 1000 ABD doları) (İşlenmemiş kabaca kesilmiş, elmas ve imitasyon süs taşları hariç) (Devam).

	Safir	0	Safir	0	Safir	0
	Zümrüt	26	Zümrüt	0	Zümrüt	60
	Diğer	13	Diğer	38	Diğer	7
Çin	**Toplam**	**1**	**Toplam**	**3**	**Toplam**	**53**
	Yakut	0	Yakut	0	Yakut	0
	Safir	0	Safir	0	Safir	0
	Zümrüt	0	Zümrüt	0	Zümrüt	0
	Diğer	1	Diğer	3	Diğer	53
Endonezya	**Toplam**	0	**Toplam**	0	**Toplam**	27
	Yakut	0	Yakut	0	Yakut	0
	Safir	0	Safir	0	Safir	0
	Zümrüt	0	Zümrüt	0	Zümrüt	0
	Diğer	0	Diğer	0	Diğer	27
Bulgaristan	**Toplam**	4	**Toplam**	5	**Toplam**	24
	Yakut	0	Yakut	0	Yakut	0
	Safir	0	Safir	0	Safir	0
	Zümrüt	0	Zümrüt	0	Zümrüt	0
	Diğer	4	Diğer	5	Diğer	24
Amerika Bileşik Devletleri	**Toplam**	11	**Toplam**	7	**Toplam**	22
	Yakut	2	Yakut	0	Yakut	0
	Safir	1	Safir	0	Safir	0
	Zümrüt	0	Zümrüt	0	Zümrüt	5
	Diğer	7	Diğer	7	Diğer	17
Pakistan	**Toplam**	2	**Toplam**	1	**Toplam**	21
	Yakut	0	Yakut	0	Yakut	0
	Safir	0	Safir	0	Safir	0
	Zümrüt	0	Zümrüt	0	Zümrüt	0
	Diğer	2	Diğer	1	Diğer	21
Kolombiya	**Toplam**	0	**Toplam**	0	**Toplam**	20
	Yakut	0	Yakut	0	Yakut	0
	Safir	0	Safir	0	Safir	
	Zümrüt	0	Zümrüt	0	Zümrüt	20
	Diğer	0	Diğer	0	Diğer	0
Hindistan	**Toplam**	26	**Toplam**	4	**Toplam**	13
	Yakut	4	Yakut	0	Yakut	0
	Safir	6	Safir	0	Safir	0
	Zümrüt	15	Zümrüt	0	Zümrüt	4
	Diğer	2	Diğer	4	Diğer	9
Güney Afrika	**Toplam**	0	**Toplam**	3	**Toplam**	12
	Yakut	0	Yakut	0	Yakut	0
	Safir	0	Safir	0	Safir	0
	Zümrüt	0	Zümrüt	0	Zümrüt	0
	Diğer	0	Diğer	3	Diğer	12
Fransa	**Toplam**	0	**Toplam**	8	**Toplam**	4
	Yakut	0	Yakut	0	Yakut	0
	Safir	0	Safir	0	Safir	0
	Zümrüt	0	Zümrüt	0	Zümrüt	0

Çizelge 1.4. Türkiye'nin işlenmemiş ithal ettiği bazı süs taşlarının verileri (x 1000 ABD doları) (İşlenmemiş kabaca kesilmiş, elmas ve imitasyon süs taşları hariç) (Devam).

	Diğer	0	Diğer	8	Diğer	4
Morocco	**Toplam**	5	**Toplam**	2	**Toplam**	4
	Yakut	0	Yakut	0	Yakut	0
	Safir	0	Safir	0	Safir	0
	Zümrüt	0	Zümrüt	0	Zümrüt	0
	Diğer	5	Diğer	2	Diğer	4
İtalya	**Toplam**	0	**Toplam**	0	**Toplam**	3
	Yakut	0	Yakut	0	Yakut	0
	Safir	0	Safir	0	Safir	0
	Zümrüt	0	Zümrüt	0	Zümrüt	0
	Diğer	0	Diğer	0	Diğer	3
Madagaskar	**Toplam**	0	**Toplam**	4	**Toplam**	3
	Yakut	0	Yakut	0	Yakut	0
	Safir	0	Safir	0	Safir	0
	Zümrüt	0	Zümrüt	0	Zümrüt	0
	Diğer	0	Diğer	4	Diğer	3
Meksika	**Toplam**	0	**Toplam**	1	**Toplam**	3
	Yakut	0	Yakut	0	Yakut	0
	Safir	0	Safir	0	Safir	0
	Zümrüt	0	Zümrüt	0	Zümrüt	0
	Diğer	0	Diğer	1	Diğer	3
Almanya	**Toplam**	7	**Toplam**	3	**Toplam**	2
	Yakut	0	Yakut	0	Yakut	0
	Safir	0	Safir	0	Safir	0
	Zümrüt	0	Zümrüt	0	Zümrüt	0
	Diğer	7	Diğer	3	Diğer	2
Kongo	**Toplam**	0	**Toplam**	3	**Toplam**	1
	Yakut	0	Yakut	0	Yakut	0
	Safir	0	Safir	0	Safir	0
	Zümrüt	0	Zümrüt	0	Zümrüt	0
	Diğer	0	Diğer	3	Diğer	1
Kenya	**Toplam**	0	**Toplam**	0	**Toplam**	1
	Yakut	0	Yakut	0	Yakut	1
	Safir	0	Safir	0	Safir	0
	Zümrüt	0	Zümrüt	0	Zümrüt	0
	Diğer	0	Diğer	0	Diğer	0
Malawi	**Toplam**	0	**Toplam**	0	**Toplam**	1
	Yakut	0	Yakut	0	Yakut	0
	Safir	0	Safir	0	Safir	0
	Zümrüt	0	Zümrüt	0	Zümrüt	0
	Diğer	0	Diğer	0	Diğer	1
Namibia	**Toplam**	8	**Toplam**	2	**Toplam**	1
	Yakut	0	Yakut	0	Yakut	0
	Safir	0	Safir	0	Safir	0
	Zümrüt	0	Zümrüt	0	Zümrüt	0
	Diğer	8	Diğer	2	Diğer	1
Katar	**Toplam**	0	**Toplam**	0	**Toplam**	1

Çizelge 1.4. Türkiye'nin işlenmemiş ithal ettiği bazı süs taşlarının verileri (x 1000 ABD doları) (İşlenmemiş kabaca kesilmiş, elmas ve imitasyon süs taşları hariç) (Devam).

	Yakut	0	Yakut	0	Yakut	0
	Safir	0	Safir	0	Safir	1
	Zümrüt	0	Zümrüt	0	Zümrüt	0
	Diğer	0	Diğer	0	Diğer	0
Sierra Leone	**Toplam**	0	**Toplam**	1	**Toplam**	1
	Yakut	0	Yakut	0	Yakut	0
	Safir	0	Safir	0	Safir	0
	Zümrüt	0	Zümrüt	0	Zümrüt	0
	Diğer	0	Diğer	1	Diğer	1
Zambiya	**Toplam**	0	**Toplam**	2	**Toplam**	1
	Yakut	0	Yakut	0	Yakut	0
	Safir	0	Safir	0	Safir	0
	Zümrüt	0	Zümrüt	0	Zümrüt	0
	Diğer	0	Diğer	2	Diğer	1
Sri Lanka	**Toplam**	0	**Toplam**	2	**Toplam**	0
	Yakut	0	Yakut	0	Yakut	0
	Safir	0	Safir	1	Safir	0
	Zümrüt	0	Zümrüt	0	Zümrüt	0
	Diğer	0	Diğer	0	Diğer	0
Portekiz	**Toplam**	0	**Toplam**	1	**Toplam**	0
	Yakut	0	Yakut	0	Yakut	0
	Safir	0	Safir	0	Safir	0
	Zümrüt	0	Zümrüt	0	Zümrüt	0
	Diğer	0	Diğer	1	Diğer	0
Rusya	**Toplam**	6	**Toplam**	0	**Toplam**	0
	Yakut	0	Yakut	0	Yakut	0
	Safir	0	Safir	0	Safir	0
	Zümrüt	0	Zümrüt	0	Zümrüt	0
	Diğer	6	Diğer	0	Diğer	0
Suudi Arabistan	**Toplam**	0	**Toplam**	2	**Toplam**	0
	Yakut	0	Yakut	0	Yakut	0
	Safir	0	Safir	0	Safir	0
	Zümrüt	0	Zümrüt	0	Zümrüt	0
	Diğer	0	Diğer	2	Diğer	0
Zimbabwe	**Toplam**	0	**Toplam**	1	**Toplam**	0
	Yakut	0	Yakut	0	Yakut	0
	Safir	0	Safir	0	Safir	0
	Zümrüt	0	Zümrüt	0	Zümrüt	0
	Diğer	0	Diğer	1	Diğer	0
İspanya	**Toplam**	2	**Toplam**	0	**Toplam**	0
	Yakut	0	Yakut	0	Yakut	0
	Safir	0	Safir	0	Safir	0
	Zümrüt	0	Zümrüt	0	Zümrüt	0
	Diğer	2	Diğer	0	Diğer	0
Birleşik Arap Emirlikleri	**Toplam**	53	**Toplam**	0	**Toplam**	0
	Yakut	2	Yakut	0	Yakut	0
	Safir	8	Safir	0	Safir	0

	Çizelge 1.4. Türkiye'nin işlenmemiş ithal ettiği bazı süs taşlarının verileri (x 1000 ABD doları) (İşlenmemiş kabaca kesilmiş, elmas ve imitasyon süs taşları hariç) (Devam).					
	Zümrüt	43	Zümrüt	0	Zümrüt	0
	Diğer	0	Diğer	0	Diğer	0
	Toplam	1	**Toplam**	0	**Toplam**	0
	Yakut	0	Yakut	0	Yakut	0
Birleşik Krallık	Safir	0	Safir	0	Safir	0
	Zümrüt	0	Zümrüt	0	Zümrüt	0
	Diğer	1	Diğer	0	Diğer	0
Toplam	273		307		1,316	

Çizelge 1.4'de Türkiye'nin işlenmemiş ham halde ithal ettiği süs taşı rakamları görülmektedir. Çizelge 1.3'de Türkiye'nin işlenmiş ya da işlenmemiş süs taşı ithalat hacmi görülmektedir. Çizelge 1.3 ve Çizelge 1.4'deki veriler incelendiğinde ham halde ithal ettiğimiz oran işlenmiş halde ithal ettiğimiz orana göre çok düşüktür. Bu rakamın özellikle 2017 ve 2018 yıllarında çok düşük olduğu dikkat çekmektedir. 2019 yılında ise bu rakam 13 160 000 dolara çıkmıştır. Bu ithalat neticelerine göre Türkiye'de süs taşı işlemeciliğinin geliştiği söylenebilir. Ham ve işlenmemiş süs taşı ithalatı yaptığımız ülkeler arasında en büyük pay Hong Kong, Tayland, Brezilya ve Çin olduğu görülmektedir. Süs taşları bu değerlendirmede dört kısma ayrılmıştır. Bunlar; yakut, safir, zümrüt ve diğer süs taşları. Çizelge 1.4'de görüldüğü gibi ithalat oranlarında yakut, zümrüt ve safir, diğer süs taşlarının gerisinde kalmaktadır. Safir; Birleşik Arap Emirlikleri, Hindistan, Amerika Birleşik Devletleri, Hong Kong ve en yüksek oranla Tayland'dan ithal edilmiştir. Yakut; Hindistan, Amerika Birleşik Devletleri, Tayland ve Hong Kong'dan ithal edilmiştir. Zümrüt ise Hindistan, Birleşik Arap Emirlikleri, Brezilya ve en yüksek oranla Hong Kong'dan ithal edilmiştir. Çizelge 1.4'de verilen 2017 ve 2018 verileri incelendiğinde ithalat yapılan süs taşlarının çoğunluğunun yakut, safir ve zümrüt olduğu söylenebilir. 2019 yılında ise; ithal edilen 13 160 000 dolar değerinde süs taşı ithalatının 6 420 000 dolarının Hong Kong'dan ithal edilen zümrüt olduğu görülmektedir. Çizelge 1.5.'de Türkiye'nin süs taşı ihracat rakamları görülmektedir.

Çizelge 1.5. Türkiye'nin süs taşı ihracat verileri (x 1000 ABD doları) (Elmas ve imitasyon-sentetik ve iyileştirilmiş süs taşları hariç) (www.trademap.org).

İthalatçı Ülke	**2017**	**2018**	**2019**
Hong Kong	190	17	1,298
Belçika	0	0	111
ABD	196	172	86
Almaya	29	2	69
Birleşik Arap Emirlikleri	20	8	30
Hindistan	544	40	22
Avustralya	0	0	20
Lübnan	0	0	18
Tayland	252	341	18
Ukrayna	0	3	13
Fransa	126	72	11
Romanya	0	0	7
Georgia	0	0	5
Birleşik Krallık	1	0	5
Irak	0	0	4
Bulgaristan	159	2	0
Belarus	4	0	0
Kıbrıs	14	0	0
Yunanistan	8	0	0
İsrail	0	0	0
İtalya	92	144	0
Japonya	0	5	0
Kazakistan	0	8	0
Jordan	4	0	0
Meksika	26	5	0
Hollanda	8	15	0
Toplam	1,671	834	1,717

Çizelge 1.3 ve Çizelge 1.5'da görüldüğü gibi Türkiye'nin süs taşı ithalat ve ihracat rakamları incelendiğinde ithalat oranının ihracat oranına göre neredeyse 4 kat fazla olduğu görülmektedir. İhraç ettiğimiz ülke olarak en büyük payı 12 980000 dolarla Hong Kong almaktadır. Hong Kong'dan sonra Belçika, Amerika Birleşik Devletleri, Almanya ve Birleşik Arap Emirlikleri gelmektedir. 2017, 2018 ve 2019 ihracat rakamlarına bakıldığında, 2019 yılındaki ihracat oranının en yüksek olduğu görülmektedir. Özellikle 2018 yılında ihracat rakamlarında 2017 ve 2019 yıllarına göre büyük bir düşüş görülmektedir. İtalya 2017 yılında 920,000 dolar değerinde süs taşı ithal ederken 2019 yılında Türkiye'den ithalat yapmadığı görülmektedir. Ayrıca, Japonya, Kazakistan, Hollanda, Meksika, Jordan, Azerbeycan, Bulgaristan, Belarus, Kıbrıs, Yunanistan ve İsrail 2019 yılında Türkiye'den süs taşı ithalatı

yapmamıştır. Hindistan, Tayland ve Fransa ise 2017 yılındaki ithalat verileri yüksek iken 2019 yılında bu miktarın azaldığı Çizelge 1.5'de görülmektedir.

Süs taşı piyasası incelendiğinde bu piyasada doğal süs taşlarının olduğu düşünülemez. Bu ekonomide büyük bir payda sentetik, imitasyon ve iyileştirilmiş olarak üretilen süs taşlarınındır. Çizelge 1.6 'da Dünya Sentetik ve İmitasyon Süs taşı ihracat rakamları görülmektedir.

Çizelge 1.6. Bazı ülkelerin sentetik ve imitasyon süs taşlarının ihracat verileri (x 1000 ABD doları) (www.trademap.org).

İhracatçı Ülke	**2017**	**2018**	**2019**
Çin	166,620	191,748	262,772
Amerika Bileşik Devletleri	97,501	102,253	125,724
Tayland	86,285	80,250	70,944
Avusturya	32,803	42,038	37,240
Hong Kong (Çin)	308,974	523,129	641,971
Birleşik Krallık	26,390	33,972	24,090
Hindistan	219,880	265,172	450,324
Çek Cumhuriyeti	10,098	7,750	5,955
Fransa	19,834	20,424	20,743
Almanya	22,696	26,707	23,197
Belçika	8,018	12,522	24,115
İtalya	2,566	3,414	1,843
Japonya	57,865	44,642	45,553
Litvanya	0	0	2
Birleşik Arap Emirlikleri	228,145	283,819	209,985
İran	0	0	3
Morocco	0	0	0
İsviçre	30,516	33,169	32,373
Sri Lanka	2,033	1,168	1,124
Endonezya	0	1	1
Malezya	7,079	8,536	25,076
İsrail	2,857	4,221	11,870
Lübnan	420	426	316
Taipei, Çin	18,756	15,414	8,096
Polonya	208	358	248
Rusya	106,332	84,957	70,495
İspanya	11	33	155
Toplam	1 533 660	1 947 287	2 240 454

Sentetik süs taşı ihracat oranı en yüksek 6 419 710 000 dolar ile Hong Kong en başta gelmektedir. Hong Kong'dan sonra Hindistan (4 503 240 000 dolar), Çin (2 627 720 000 dolar) ve Birleşik Arap Emirlikleri (2 099 850 000 dolar) sentetik süs taşı ihracat piyasasında önde gelen ülkeler arasındadır. Çizelge 1.3'de görülen süs taşı ihracat oranları ile Çizelge 1.7'de

görülen sentetik ve imitasyon süs taşı ihracat oranları incelendiğinde, sentetik ve imitasyon süs taşı ihracat oranlarının daha az olduğu görülmektedir. Doğal olan süs taşı ihracat oranları sentetik ve imitasyon süs taşı ihracat oranlarına göre neredeyse 5 kat fazla olduğu görülmektedir. Sentetik ve imitasyon süs taşı ihracat oranları göz önüne alındığında Hong Kong yüksek ihracat oranına sahip iken, doğal süs taşları ihracat oranları göz önüne alındığında en yüksek ihracat oranının Amerika Birleşik Devletleri olduğu görülmektedir. Buradan anlaşıldığı üzere özellikle Hong Kong ve Amerika Birleşik Devletleri hem doğal süs taşı piyasasında hem de sentetik ve imitasyon süs taşı piyasasında büyük bir yeri olduğu görülmektedir. Çizelge 1.7'de Türkiye'nin sentetik ve imitasyon süs taşı ithalat verileri görülmektedir.

Çizelge 1.7. Türkiye'nin sentetik ve imitasyon süs taşı ithalat verileri (x 1000 ABD doları) (www.trademap.org).

İhracatçı	**2017**	**2018**	**2019**
Çin	1,621	1,186	1,090
Amerika Bileşik Devletleri	163	75	240
Tayland	43	81	163
Avusturya	297	307	131
Hong Kong (Çin)	164	150	88
Birleşik Krallık	3	30	50
Hindistan	33	72	46
Çek Cumhuriyeti	14	18	29
Fransa	77	25	29
Almanya	3	36	5
Belçika	0	0	4
İtalya	22	4	4
Japonya	25	7	4
İran	0	0	1
Morocco	0	1	1
İsviçre	6	2	1
Litvanya	0	0	2
BAE	14	1	2
Endonezya	1	0	0
İsrail	1	12	0
Lübnan	0	2	0
Malezya	37	0	0
Taipei, Çin	11	41	0
Polonya	0	0	0
Rusya	0	30	0
İspanya	1	0	0
Toplam	2,535	2,084	1,891

Çizelge 1.7.'de gösterilen Türkiye'nin Sentetik ve İmitasyon süs taşı ithalat verileri incelendiğinde en çok ithal edilen ülkeler arasında en büyük pay Çin'e aittir. Çin'i, Çin'e göre

çok daha düşük oranla Amerika Birleşik Devletleri ve Tayland takip etmektedir. 2017, 2018 ve 2019 yıllarına ait ithalat verileri incelendiğinde sentetik ve imitasyon süs taşı ithalat oranının azaldığı görülmektedir. Oysaki Çizelge 1.3 'de görülen doğal süs taşı ithalat verileri incelendiğinde Türkiye'nin ithal ettiği oranın arttığı görülmektedir. Doğal olan süs taşlarının ithal edildiği ülkeler arasında en çok ithalat yapılan ülkeler Tayland, Hong Kong ve Hindistan yer alırken Çin ve Amerika Birleşik Devletleri daha aşağı konumda iken, sentetik ve imitasyon süs taşı ithalat oranlarında ilk sırada yer aldıkları görülmektedir. Dünya sentetik ve imitasyon süs taşı ihracat verilerinde (Çizelge 1.6) görüldüğü üzere Hong Kong en yüksek ihracat payına sahipken Türkiye Hong Kong'dan daha az miktarda sentetik ve imitasyon süs taşı ithal ettiği göze çarpmaktadır. Çizelge 1.8'de Türkiye'nin Sentetik ve İmitasyon İhracat verileri görülmektedir.

Çizelge 1.8'de verilen Türkiye'nin sentetik ve imitasyon ihracat verileri incelendiğinde bu pazarda Türkiye'nin Pazar payının ne kadar küçük olduğu dikkat çekmektedir. Özellikle Çizelge 1.6'da verilen sentetik ve imitasyon süs taşı ihracat rakamlarında Hong Kong 22 404540000 dolar ihracat rakamına sahip iken Türkiye sadece 1 230 000 dolar pazar payına sahiptir. 2017, 2018 ve 2019 verileri incelendiğinde sentetik ve imitasyon süs taşı ihracat oranlarının azaldığı görülmektedir. Türkiye'nin en çok sentetik ve imitasyon süs taşı ithal ettiği ülkeler Amerika birleşik Devletleri ve Birleşik Arap Emirlikleridir. 2019 yılında Avustralya, Avusturya, Belçika, Çin, Fransa, Georgia, Almanya, İran, Irak, İsrail, Libya, Montenegro, Polonya, İspanya, İsveç ve Birleşik Krallık gibi ülkelere sentetik ve imitasyon süs taşı ihracatının olmadığı görülmektedir. Almanya, Fas, Avusturya, Romanya ve Yunanistan ile 2017 ve 2018 ihracat rakamları incelendiğinde büyük bir düşüşün olduğu görülmektedir. Bu düşüşten dolayı 2019 yılında sentetik ve imitasyon süs taşı ihracatının düştüğü açık bir şekilde ortadadır.

Çizelge 1.8. Türkiye'nin sentetik ve imitasyon süs taşı ihracat verileri (x 1000 ABD doları) (www.trademap.org).

İthalatçı	**2017**	**2018**	**2019**
Amerika Birleşik Devletleri	129	62	64
Birleşik Arap Emirlikleri	73	109	19
Tayland	0	1	12
Yunanistan	6	26	5
Rusya	0	0	5
Hindistan	0	4	5
Lübnan	1	0	2
Moldova	1	0	2
Morocco	18	4	2
Danimarka	1	1	1
Kırgızistan	0	0	1
Romanya	11	14	1
Suudi Arabistan	0	0	1
Avustralya	0	1	0
Avusturya	0	23	0
Belçika	0	4	0
Çin	1	0	0
Franss	2	0	0
Georgia	1	0	0
Almanya	21	0	0
İran	5	1	0
Irak	2	0	0
İsrail	2	1	0
Libya	3	1	0
Montenegro	1	0	0
Polonya	1	4	0
İspanya	0	1	0
İsveç	0	2	0
Birleşik Krallık	1	0	0
Toplam	280	259	123

Süstaşlarının yaygınlığı hem antik dönemlerde hem de günümüzde, çok büyük bir ticaret hacmine sahiptir. Dünya'da son beş yılda doğal (ocaktan çıkarıldığı halde) ham ve işlenmiş süstaşlarının sirkülasyonunun, yaklaşık 100 milyar Amerikan dolarlık bir hacme ulaştığı görülmektedir. Ancak bu rakam içerisinde en büyük payı, yaklaşık % 60'lık oranda ham ve işlenmiş (yani cilalanıp parlatılmış) elmas almaktadır. Bunu yaklaşık % 35'lik oranda ham ve işlenmiş renkli taşlar ve de kalan % 15'lik oranda inci yer almaktadır.

Bunların arz-talep dengesini karşılayamaması yüzünden, yapay (doğalın laboratuvarda üretilmiş birebir aynısı) ve taklit (renk ve görünüş dışında hiçbir özelliği benzemeyen) süstaşlarının da ticareti son beş yıllık periyotta yaklaşık 50 milyar Amerikan dolarlık bir pay

oluşturmaktadır. Bununla beraber, sentetik ve imitasyon olarak elde edilen süstaşlarının ticaret rakamlarının, doğal süstaşı üretim kaynaklarının giderek tükenmekte olması nedeniyle, her geçen yıl daha da artacağı kaçınılmaz bir gerçektir. Bu durum, aslında sentetik ve imitasyon süstaşı piyasasının ne denli bir büyüme potansiyelinin olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmanın temel amacı; süs taşı ticaret hacmi değerlendirildiğinde Türkiye'nin süs taşı piyasasında aktif bir rolü olmadığı görülmektedir. Mevcut kaynaklarımıza rağmen bu kaynakların yeteri kadar değerlendirilmediği ve dışa bağımlı bir ülke konumunda olduğumuz açıkça görülmektedir. Doğal süs taşlarında dışa bağımlı olduğumuz gibi sentetik ve imitasyon süs taşı üretimleri de ülkemizde ekonomik boyutlarda yapılmamaktadır. Bu alanda da dışa bağımlı bir ülke halindeyiz. Bu kadar yüksek bir ticaret hacmine sahip bir piyasa da Türkiye'nin söz sahibi olması ve şimdilik sadece imitasyon süs taşı üretilebilecek imkanların Ar-GE düzeyinde de olsa araştırılması bu çalışmanın temel amacıdır. Dolayısıyla bu tezin kapsamı, sentetik süstaşı üretimi yerine, taklit özellikte imitasyon süstaşları üzerinedir. Bu çalışmada bazı süstaşlarının cam-seramikler olarak imitasyon üretimlerinin yapılıp yapılamayacağı konusunda bir Ar-Ge çalışması ve elde edilen materyallerin süstaşı olarak ekonomik analizlerinin yapılması hedeflenmiştir. Böylece, Türkiye'nin imitasyon süstaşı talebinin dışa bağımlılığını azaltacak ve hatta ihraç edebilecek miktarlarda üretiminin yapılarak, ülkeye katma değer kazandırılabileceği vurgulanmıştır.

.

2. GEMOLOJİ VE SÜS TAŞLARININ OLUŞUMU

2.1. Süs Taşı ve Gemolojinin Tanımları

Süstaşı (gemstone);

- Özgün fiziko-kimyasal özelliklerinden kaynaklanan güzellik ve albenilik
- Ender bulunma
- İri kristal olma
- Şekillendirmeye uygunluk

olarak ifade edilebilecek nedenler sonucu özel değer kazanmış "mineral, kayaç ve taşlaşmış organik malzeme" için geçerli genel bir tanımlamadır. Günümüzde, tanımlanan ve piyasada ticareti yapılan yaklaşık 300 adet süstaşı bulunmaktadır (Savaşçın ve Hatipoğlu, 1985, Hatipoğlu, 2020a). Genel olarak süstaşı denildiğinde ilk akla gelenin doğal oluşan malzemeler olsa dalaboratuar ortamında üretilen yapay (sentetik) süstaşları ve taklit (imitasyon, artifişil-simulant)malzemeler deyukardaki tarife uyduğu sürece, süstaşı kavramı içerisinde değerlendirilmektedir. Şekil 2.1 'de çeşitli renk ve yapıdaki süs taşları görülmektedir.



Şekil 2.1. Muhtelif renk ve yapıdaki süs taşları (Hatipoğlu, 2020b).

Tüm bunların yanı sıra süstaşları, ilgili fiziksel, psikolojik ve hatta geleneksel yönleri ile geniş bir etki sahası oluşturarak, reklam ve pazarlama sektörünün etkin elemanlarından biri olarak da varlık göstermektedir. Bu süstaşlarının insanlarla buluşması yaklaşık 35.000 yıl evveline veya daha gerisine kadar dayanmaktadır (Dubin, 1995; Rapp, 2009). Kütlesel ve kristalin görünüşlü süstaşları; mineralojiksel fenomenleri (görüngüleri) olan özgün renk, şekilsel görünüş ve fiziko-kimyasal özelliklerinden dolayı, ender bulunmaları nedeniyle, insanlık tarihin ilk dönemlerinden bu yana en genel tabiriyle Ar-gem-ma'lara (Arkeo-Gemoloji-Materyal) büyüsel anlamlar atfedilerek, kötü güçlerin yaklaşmalarını engelleyen alternatif birer 'pasif savaş aracı' ve şifa, huzur, mutluluk, bereket gibi 'olumlu olgulara manipüle aracı' yani «muska» olarak kullanılmışlardır (Hatipoğlu, 2020a). Nitekim süstaşı işlemeciliği ve süstaşlı mücevherlerin yapımı, ilk insanlarda hem dünyevi hem de uhrevi amaçlar için, tılsımlı boncuk yapımı (yuvarlağımsıdan silindire kadar çeşitli şekilli ve içi delinmiş objeler) şeklinde başlamıştır. Takibinde ise kubbemsi yapıda kabaşon kesimli deliksiz taşlar (gliptikler) ortaya çıkmıştır. Dolayısı ile din, tılsım, büyü ve uğur gibi amaçlara hizmet eden bu taşların kullanımı, zaman içerisinde ölü hediyesi, tanrılara sunu, imtiyaz ve sınıf göstergesi, sosyal statü ve medeni durum göstergesi, kabileler arası imleme aracı, simgesel iletişim aracı, ticari meta aracı ve tabii ki hem geçmişte hem de günümüzde geçerliliğini koruyan süslenme gibi amaçlara hizmet etmiştir. Halen geçerliliğini koruyan diğer önemli fonksiyon ise, inançlar olup, kötü gözlerden korunma, mevcut kötülükleri defetme, yaşam kalitesini maddi/manevi ve fiziksel anlamda yükseltme gibi amaçları içermektedir.

Gemoloji takı ve mücevherlerde kullanılan doğada doğal olarak oluşabilen değerli ve yarı değerli süs taşlarını inceleyen bir bilim dalıdır. Ayrıca süs taşı özelliği taşıyan her türlü malzemenin, yeryuvarı oluşumundan, tüketicinin beğeni ve kullanımına kadar geçen süreçteki her yöntem ve işlemi konu alan bir bilimsel ve ticari uğraşı olarakda tanımlayabiliriz. Süs taşları doğada doğal olarak oluşabilmelerinin yanı sıra, aynı kimyasal ve fiziksel özelliklerine sahip laboratuar ortamında üretilebilen sentetik yada, kimyasal yapısı farklı olarak üretilen imitasyon olarakta bulunmaktadır. Gemoloji bilimi bir süs taşının doğal, sentetik, imitasyon yada işlem görüp görmediği hakkında da bilgi verir.

Gemolojinin alt dalları;

- Süs Taşı Madenciliği (Süs taşlarının yer kabuğunda oluşumu, bulunuşu, aranması ve eldesi)
- Süs taşlarının İşlemeciliği (Lapidary) (Süs taşlarının her türlü işleme teknikleri kullanılarak şekillendirilmesi, kesilmesi, parlatılması ve cilalanması)

- Süs taşlarının tanımlanması (Süs taşlarının ham olarak ya da işlenmiş şekillerde bilimsel inceleme yöntemi ile tanımlanması ve kimliklendirilmesi).
- Süs taşlarının renk ve saflık tedavileri (Süstaşlarının ısıtma, ışıma, boyama, delme vb.yöntemleriyle renk ve saflık değerlerini arttırma, İyileştime ve zenginleştirme işlemleri)
- Süs taşlarının sentetiği (Süs taşlarının HP-HT, CVD, Eriyikten büyütme, Ergiyikten Büyütme ve hidrotermal yöntemler kullanılarak labaratuvarda yapay ve sentetik olarak üretilmeleri)
- Süs taşının mıhlaması (Süs taşlarının soymetaller üzerine montürlenmesi (kakma ve sade işlemeciliği)),
- Süs taşının antikası (Arkeo-Gemoloji)
- Süs taşının insan hayatı üzerinde şifasal ve terapisel etkileri (Litoterapi) (Hatipoğlu vd., 2018).
- Süs taşının hukuku (Adli Gemoloji) dir.

Bir süs taşının mücevher malzemesi olarak kullanıp kullanılmayacağı bazı kriterlere bağlıdır. Bu özelliklerden ilki ve en bariz olanı güzelliktir. Bir süs taşının daha somut özelliklerinde farklı olarak güzellik ölçülebilir bir miktar değildir, ancak esas olarak taşın görünümü ile ilişkili öznel faktörlere bağlıdır. Süs taşı şeffaf renkli ise renk derinliği ve şeffaflık derecesi ana faktörlerden olabilir. Süs taşlarını değerli ya da yarı değerli olarak sınıflandırmak yanlış olabilir. Bunun aksine mücevher olarak daha kıymetli metaller ile kullanıldığı göz önüne alınabilir. Örneğin Dünyada ve Türkiye'de en çok kullanılan süs taşlarının başında elmas gelmektedir. Bilindiği üzere elmas kıymetli olduğu bilinen altın ile birleştirilerek mücevherat taşı olarak kullanılmaktadır. Bu noktada elmasın özellikleri 4C olarak bilinen renk, karat, berraklık ve kesim özellikleri değerini belirlemektedir. Burada anlaşılacağı gibi güzellik, optik saflık ve renksizlik özellikleri ön plandadır. Ancak gümüş gibi altından daha değeri düşük olan metaller ile kombinlenen opal gibi süs taşlarında ise belirleyici faktör mücevher yüzeyinin altından gelen renk oyunu olabilir (Read, 1988).

Nadirlik yani az bulunma tüm süs taşlarında bir dereceye kadar bulunması gereken başka bir özelliktir. Genel olarak düşünüldüğünde az bulunan süs taşının daha değerli olduğu düşünülmektedir. Bu arz ve talebin bir sonucu olduğundan bir taşın nadirliği hem modadan hem de süs taşının mevcudiyetindeki varyasyonlarından etkilenebilir.

Bir süs taşında bulunması gereken en önemli özelliklerden biri de sertliği ve dayanıklılığıdır. Bu, güzellik ve nadirlikten daha nitel bir özelliktir. Sertlik bir süs taşı için en önemli özelliklerin başında gelmektedir.

Süstaşlarının özelliklerinin değişik yöntemler kullanarak tespit edilmesi ve bu özellikleri ile adlandırılması, sentetiklerinden ve/veya taklitlerinden ayırt edilebilmesi için yapılmaktadır. Süstaşlarının incelenmesi;

- Mineralojik İnceleme (Süstaşının tahribine dayanır. Sadece ham veya çok örnekli işlenmiş faset ve/veya kabaşon süstaşları için uygulanmaktadır).
- Gemolojik İnceleme (Süstaşına zarar vermeme esasına dayanır. Ham ve/veya işlenmiş faset ve/veya kabaşon süstaşları için uygulanmaktadır).

Süstaşlarının büyük kısmı kristal yapılıdır. Oluşum biçimleri;

Magmatik-Volkanik Oluşum: Bunların büyük çoğunluğu magma içinde ve yer kabuğunun içindeki eriyik gazlarla veya yerkabuğunun yüzeyine ulaşan volkanik lav buharları içerisinde oluşmaktadır.

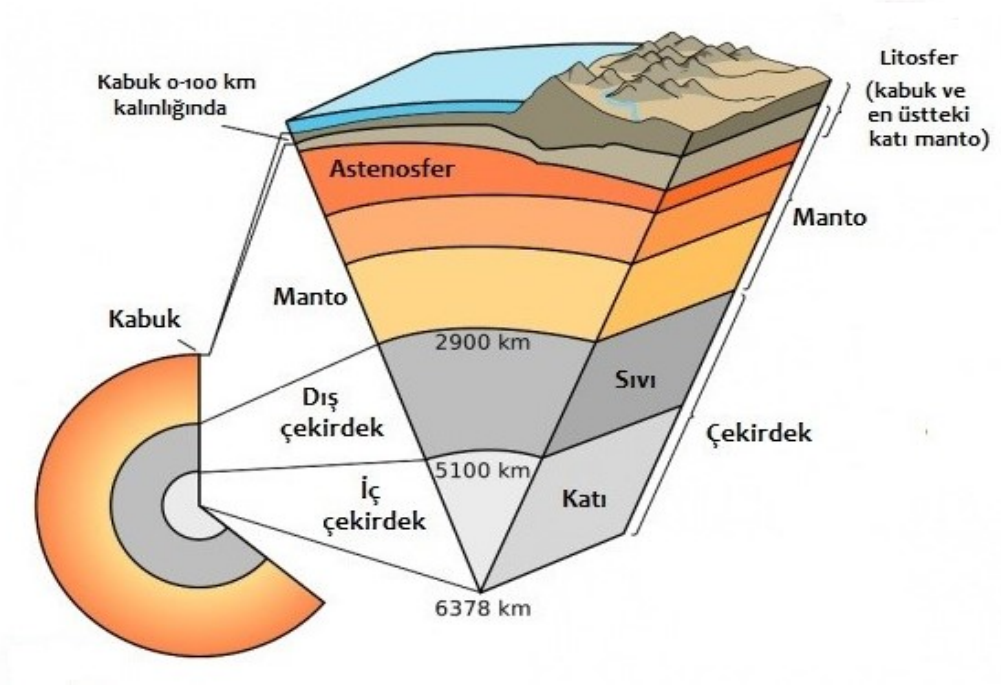
Tortul (Sedimanter) Oluşum: Sulu çözeltilerden ya da yerkabuğu yüzeyine yakın veya üzerindeki organizmaların yardımıyla büyüyerek kristalleşmektedirler.

Başkalaşım (Metamorfik) Oluşum: Mineraller yerkabuğunda daha derin kısımlardaki yüksek sıcaklık ve büyük basınç altında var olan minerallerin yeniden kristalleşmesiyle oluşmaktadır. Süstaşları, hemen hemen her tür kayacın içinde birincil olarak ve özellikle plaser ortamlarında yoğunluk faktörüne göre ayrımlaşarak ikincil olarak daha bol gözlenebilmektedir (Hatipoğlu, 2007).

Süstaşlarının işlenerek değerlendirilmesi sürecinde: kesme, tıraşlama, düzeltme, aşındırma, cilalama, delme, kabaşonlama, fasetleme, tamburlama, oyma, mozaik vb, yöntemlerin bir veya birkaçı kullanılarak, ham halden ürün haline getirilmektedir. Bahsedilen yöntemlerle işlenen ve genelde ametalik özellikte olmaları nedeniyle süstaşları takı olarak (kolye, küpe, broş, yüzük taşları) veya dekoratif obje olarak (biblo, vazo, heykel, anahtarlık, mühür sapı, baston başı vb.) birçok alanda kullanılarak ekonomik bir değer sunmaktadır. Her tür süstaşından (mineral türü (örn. Elmas, yakut, topaz, almandin, turkuvaz, kuvarslar: jasper, ametist, dağ kristali vb.), kayaç türü (örn. Lapis lazulli, jade, obsidyen, bazalt, serpantinit vb.) ve taşlaşmış organik malzeme (örn. İnci, mercan, kehribar, fildişi vb.) türü) işleme ve oyma yapılabilmektedir.

2.2. Dünyanın İç Yapısı

Dünya, Güneş dediğimiz yıldızın en içteki üçüncü gezegenidir. Depremlerin sismik dalga kayıtlarının incelenmesinden de anlaşılacağı gibi yapısı, bir merkezi çekirdek, bir manto ve bir kabuktan oluşur. Çekirdek, Dünya'nın yarıçapının neredeyse yarısını oluşturur. Ancak çekidek Dünya hacminin yalnızca % 16,1'ini oluşturur (Şekil 2.2). Dünya'nın hacminin büyük bir kısmını oluşturan % 82,5 oranla mantosudur ve yalnızca küçük bir kısmı % 1,4 oranla kabuk kısmını oluşturmaktadır.



Şekil 2.2. Dünyanın iç yapısı (www.bilimfili.com).

Kabuk, en dıştaki ve en ince tabakadır. Kabuk nispeten soğuk olduğu için sert, güçlü kayaçlardan oluşur. Okyanusların altındaki kabuk, kıtalarınkinden farklıdır. Okyanus kabuğu 5 ila 10 kilometre kalınlığındadır ve çoğunlukla bazalt adı verilen koyu, yoğun bir kayadan oluşur. Buna karşılık, kıtasal kabuğun ortalama kalınlığı yaklaşık 20 ila 40 kilometredir, ancak dağ sıralarının altında 70 kilometre kalınlığa kadar çıkabilir (Panchuk, 2019).

Manto, kabuğun hemen altında yer alır. Neredeyse 2900 kilometre kalınlıktadır ve Dünya hacminin yüzde 82,5' nu oluşturur. Manto neredeyse tamamen katı kayaçdır, ancak sürekli hareket halindedir ve çok yavaş akar. Kompozisyonu ultramafiktir, yani mafik kayalardan daha fazla demir ve magnezyum içerirken daha az silis içermektedir. Mantoda daha yüksek kayalar tipik olarak olivin ve piroksen minerallerinin hakim olduğu bir kayaç olan

peridotitten oluşur. Mantoda daha düşük olan aşırı basınçlar mineralleri dönüştürür ve granat içeren eklojit gibi kayalar oluşturur (Panchuk, 2019).Manto boyunca kimyasal bileşim benzer olsa da, derin kısımlara inildikçe Dünya sıcaklığı ve basıncı artar. Bu değişiklikler, manto kayasının kuvvetinin derinliğe göre değişmesine neden olur ve böylece manto içinde katman oluştururlar. Mantonun üst kısmı iki katmandan oluşur. Bunlar Litosfer ve Astenosferdir.

Litosfer (Taş küre olarakda bilinir) en üstteki mantodur ve nispeten soğuktur, bundan dolayı sert, güçlü kayaçlardan oluşur. Aslında, mekanik davranışı, kabuğunkine benzer. Hem en üstteki manto hem de kabuk dahil olmak üzere Dünya'nın dış kısmı litosferi oluşturur.

Astenosfer yaklaşık 75 ila 125 kilometre arasında değişen bir derinliktetir. Litosferin güçlü, sert yapısı yerini zayıf, plastik özellikte olan astenosfere bırakır. Kayaç özelliklerindeki bu değişiklik, yalnızca birkaç kilometrelik dikey bir mesafede meydana gelir ve derinlikle artan sıcaklıktan kaynaklanır. Sıcaklık kademeli olarak artmasına rağmen, kayanın erime noktasına yakın olduğu bir eşiği geçer. Sonuç olarak, astenosferin yüzde 1 ila 2'si sıvıdır ve astenosfer mekanik olarak zayıf ve plastiktir. Plastik olduğu için astenosfer yavaş, belki de yılda birkaç santimetre hareket eder (Thompsan ve Turk, 1997).

Çekirdek, daha az miktarda nikel içerirken temel olarak demirden oluşmaktadır. Kükürt, oksijen veya silikon gibi daha hafif elementler de mevcut olabilir. Çekirdek aşırı derecede sıcaktır (~ 3500 ° ila 6000 ° C'den fazla). Dış çekirdek sıvıdır ancak iç çekirdek katıdır çünkü bu derinlikteki basınç o kadar yüksektir ki, çekirdeğin erimesini engeller (Panchuk, 2019).

2.3. Mineraler ve Kayaçlar

Çok eski zamanlardan beri mineraller, kayaçlar ve toprak, her canlı varlığın büyümesi gelişmesi ve hayatta kalması için önemlidir. Bu da bizi mineraller ve kayaçlar ve topraklar hakkında daha fazla bilgi sahibi olmaya zorlamıştır.

Mineraller, düzenli bir içyapıya sahip, belirli bir kimyasal bileşime ve ayırt edici fiziksel özelliklere sahip olan ve doğal olarak oluşan inorganik kristalin katılardır. Esas olarak inorganik süreçlerden oluşup, çevre koşullarına göre bunlar sıcaklık, basınç, nem, akışkan kimyası gibi özellikler sonucunda kararlı ya da kararsız yapıya sahip olan, kendine ait spesifik fiziksel özellikleri olan (renk, kristal yapı, sertlik, dilinim, parlaklık, kırılma indisi) katılardır.

Mineraller kayaçların ayrılmaz parçasıdır ve farklı süreçlerle oluşur. Bu süreçler;

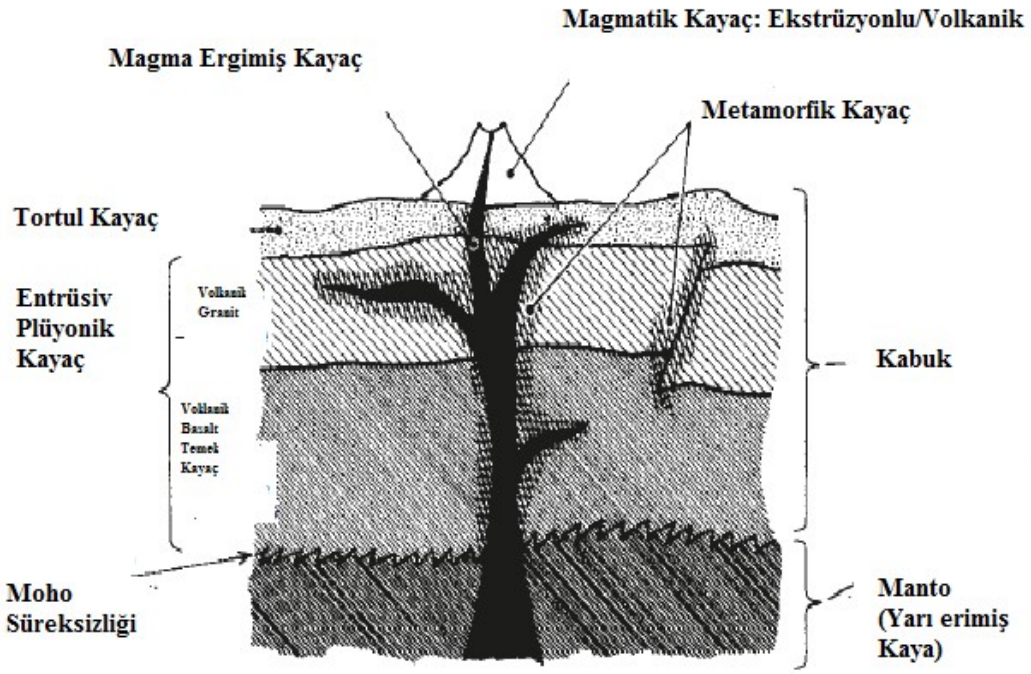
1. Magmanın kristalizasyonu (silikat bileşimi), olivin, piroksenler ve plajiyoklaz gibi "pirojenez" süreçleri,

2. Gaz ve buharlardan kristalleşme, Turmalin gibi "pnömatoliz" süreçleri,
3. Sıcak çözeltiden kristalizasyon, florit ve galen gibi "hidrotermal" işlemler,
4. Sulu çözeltilerden minerallerin kristalizasyonu ve biriktirilmesi, deniz suyundan aragonit ve kalsit salgılanması gibi "hidrojenez veya hidrogenez" süreçleri,
5. Buharlaşma süreçleri ve şiddetli buharlaşmaya bağlı olarak yüksek konsantrasyonlu sulu çözeltilerin "buharlaşması", alçıtaşı, anhidrit ve halit gibi;
6. Dinamik metamorfizma, fay bölgeleri gibi yüksek ila orta gerilim bölgeleri ile ilişkilidir. Kataklastik, kayaların açısal parçalar halinde ezilmesi ve öğütülmesi, dinamik metamorfik bölgelerde meydana gelir ve kataklastik doku verir.
7. "Temas metamorfizması", magmanın daha soğuk yerli kayaçlarına girmesinin neden olduğu sıcaklık artışının bir sonucu olarak tipik olarak müdahaleci magmatik kayaçlar etrafında meydana gelir. Kontak metamorfizma etkilerinin mevcut olduğu saldırıyı çevreleyen alana metamorfik aureol denir. Temas metamorfik kayaçlar genellikle "hornfels" olarak bilinir. Kontak metamorfizması ile oluşan kayaçlar, güçlü deformasyon belirtileri göstermeyebilir ve genellikle ince tanelidir.
8. Sulu çözeltiler ve atmosferik koşullar katı mineraller üzerindeki etkisi "otojenik" mineraller oluşturabilir. Kimyasal reaksiyon, su ve CO_2'nin etkisi altında yeni mineraller oluşturarak hafifkarbonik asit $(H)^+ + (HCO_3)^-$ oluşturabilir. Bu zayıf karbonikasidin feldispatlar üzerindeki etkisi kaolinit mineralinioluşturabilir.
9. Organizmaların yaşam süreçleri ve biyokimyasal süreçler, kabuklar veya mercan iskeletleri oluşturmak için kalsit veya aragonit salgılanması gibi biyojenik minerallerden kaynaklanmaktadır(Haldar, 2020).

2.4. Yer Kabuğunda Kayaçların Oluşumu

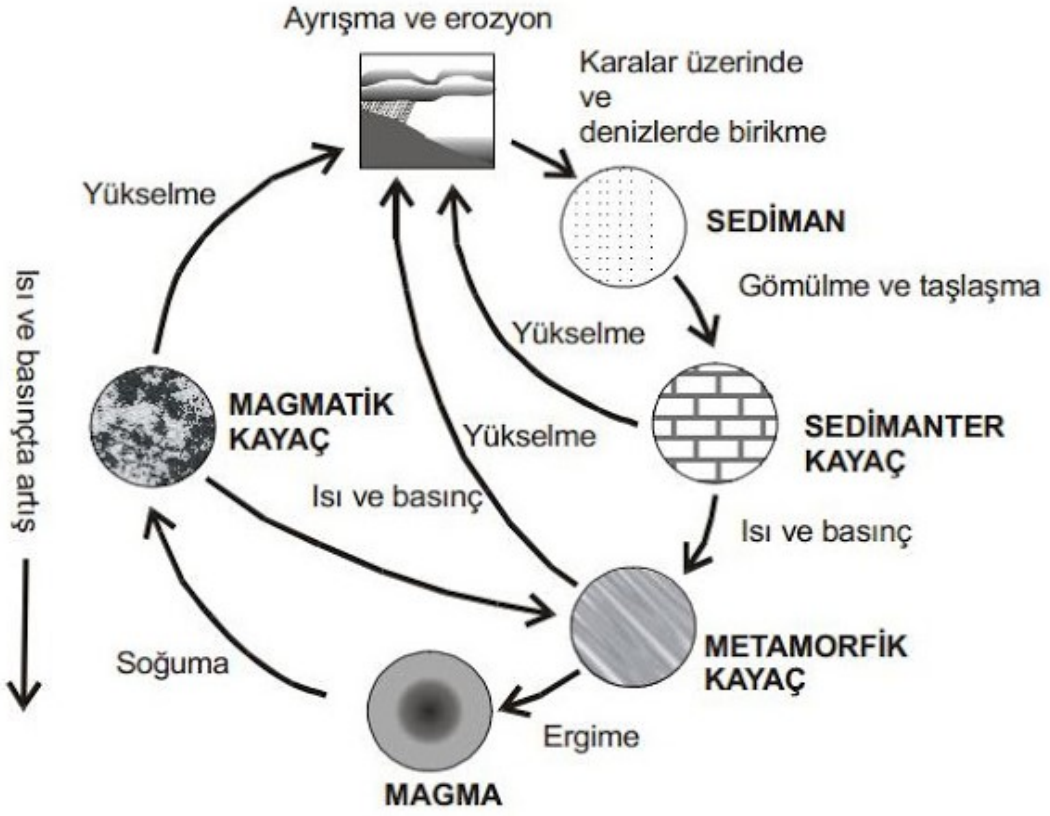
2.4.1. Tortul kayaçlar

Dünya'nın yapısı, kabuğun kendisini oluşturan üç farklı katmandan oluşur (Şekil 2.3). En üst ve en ince katman, esas olarak ve kumtaşı ve kireçtaşının tabakaları tarafından sıkıştırılarak kabuğun orta katmanında önceden var olan eski kayalardan yağmur, rüzgâr ve akan suyun etkisiyle aşınan ince kum, çakıl ve kil birikintilerinden oluşur. Oluşum mekanizmalarından dolayı bu üst katman kayaçlarına tortul kayaçlardenir.



Şekil 2.3. Tortul, magmatik ve yerkabuğundaki metamorfik kayaçlar(Read, 2005).

Tortu oluşumu için temel gereksinim, öncelikle yeryüzünün kayalık kabuğunun evriminde yer alan, magmatik, metamorfik ve daha eski tortul kayalardan oluşan altta yatan malzemelerin varlığıdır. Erozyon ve çökelme süreci, evrimi ile Dünya yüzeyinde devam eder, böylece kabuktaki tortul örtü boyutu ve kalınlığı artar. Kayaç konfigürasyonu yerel ve küresel tektonik hareketler, volkanizma ve eşzamanlı ilişkili erozyonla değişir. Diğer tortul kayaç kaynakları, rüzgar, su veya buzla transferinden ve birikmesinden sonra volkanik malzemelerin birikmesinden kaynaklanan ve piroklastik kayaçlar olarak bilinen kalıntıları da içerir (Boggs, 2009; Tucker, 2003). Yerin iç ve dış güçleri arasındaki etkileşme kayaç dönüşümünü ortaya çıkarır (Şekil 2.4). Yani magmatik tortul ve metamorfik kayaçlar birbiriyle aşınma ve erezyon gibi dış olaylarla ve tektonik kuvvetler gibi iç olaylarla birbirine dönüşebilir (Işık, 2007).



Şekil 2.4. Kayaç türleri arasındaki dönüşüm(www.jeolojibilgi.blogspot.com).

Sedimanlar ve tortul kayaçlar, fiziksel, kimyasal, biyokimyasal ve jeolojik süreçlerin türüne göre iki temel gruba ayrılır. Mineral kaynaklarının çoğu tortul kökenlidir. Tüm mineral yakıtlar, yani petrol, doğal gaz, kömür, linyit ve yağlı şist, bazı özel durumlar dışında, sadece tortularda hapsedilir. Taşlaşmış tortulardaki petrol ve gaz dolu gözenekler, kömür ve yağlı şist tortul kayalardır. Pek çok metalik ve ametalik mineral, örneğin demir cevherinin çoğu ve kısmen manganez, bakır, uranyum ve magnezyum tortul kayaçlar tarafından barındırılır.

Ayrıca birçok tortul kayaç, çimento (marn ve kireçtaşı), cam(kuvars kumu), seramik ve porselen (kil ve kaolinit), tuğla ve kiremit (kil) ve beton gibi yapı malzemeleri (agregalar) üretiminde doğrudan hammadde olarak kullanılmaktadır. Kireçtaşı, dolomit, kumtaşı, çakıl, ve kum mimari veya yapı taşı (kireçtaşı, dolomit, kumtaşı) olarak kullanılır. Tüm mineral fosfat, nitrat ve potasyum gübreleri mineral tuzlar (halit, karnalit) ve alçıtaşı anhidrit tortul kökenlidir. Tortul kayaçlar, bugün tüm insanlığın vazgeçilmezi haline gelen tatlı su için mükemmel kaynak veya ortamlardır (Haldar, 2020).

2.4.2. Volkanik Kayaçlar

Kabuğun orta tabakası, erimiş magmanın katılaşmasıyla oluşur. Magmatik olarak tanımlanan kayaçlardan oluşur ve bunlar çoğunlukla granittir. Alt tabaka ayrıca magmatik kayaçlar içerir. Bunlar daha koyu ve daha yoğundur ve esas olarak bazaltlardan ve silika içeriği düşük, demir ve magnezyum yönünden zengin diğer bazik ve ultra bazik kayaçlardan oluşur. Orta ve alt tabakalarda katılaşan magmatik kayaçlara, plütonik veya abisal kayaçlar, üst tabakadan püsküren ve kabuğun yüzeyinde magmanın hızlı soğumasıyla oluşan kayaçlara ekstrüzif veya volkanik olarak adlandırılır (Read, 2005).

2.4.3. Metamorfik Kayaçlar

Metamorfik kayaçlar başkalaşım kayaçlarıdır. Başkalaşım sonucu değişiklikle çok zor anlaşılacağı gibi öncesinde kayacın türünü anlayamayacak kadar belirgin de olabilir. Kayaçların her türü metamorfize edilmiş-tortul, magmatik ve diğer metamorfik kayaçlar olabilir. Bu değişim çoğu kez kayaçların yeni kristal yapıya sahip olmasına neden olmaktadır. Yeni minerallerin oluşumu esnasında dokusunda farklılaşmaya sebep olabilir. Metamorfizma, genellikle basınç ve sıcaklıktan dolayı diğer maddeler tarafından nüfus etmeden meydana gelir. Dünya kabuğunda derinlere doğru gidildikçe basınç ve sıcaklık artışından dolayı veya kıtasal hareketlerin sonucu veya magmatik aktivite sonucu başkalaşım meydana gelir. Kayaçlara, magmatik malzemeden gelen gazlar ve sıvılar veya mineral içeren yer altı suyunun süzülmesi yoluyla sızabilir (Zim ve Shaffer, 2016).Metamorfizma sırasında başka hiçbir kimyasal bileşen bulunmadığından mineral içeriği değişmez. Kireçtaşının mermere dönüşmesi bu genellemenin bir örneğidir. Bir diğeri, kuvars kumtaşının, yeniden kristalize edilmiş kuvars tanelerinden oluşan bir kayaç olan kuvarsite metamorfizmasıdır.

Metamorfik gruplarda en sık görülen kayaçoluşturan mineraller, karakteristik bileşenler olarak temsil edilen distenit, sillimanit, zoisit, stavrolit, granat, biyotit, talk ve grafiti içerir. Klorit ve serisit, düşük dereceli (hafif) metamorfizmanın özellikleridir. Siyanit ve stavrolit, metamorfizmanın yüksek dereceli (daha yoğun) olaylarının izleridir. Kuvars gibi bazı mineraller, tüm metamorfizma koşullarında oluşabilir ve orijinal kayaçlardan kalıntılar olarak yer alır(Read, 2005).

2.5. Süs Taşlarının Oluşumu

Süs taşları yeryüzünde farklı jeolojik ortamlarda oluşmaktadır. Süs taşlarının oluştuğu ve bulunduğu yerler kökenlerinin belirlenmesinde oldukça önemlidir. Süs taşları kökensel olarak üç gruba ayrılmaktadır. Bunlar Şekil 2.5'de görülmektedir.



Şekil 2.5. Kökensel bakımdan doğal yapılı süs taşlarını oluşturan bileşenler (Hatipoğlu,2021).

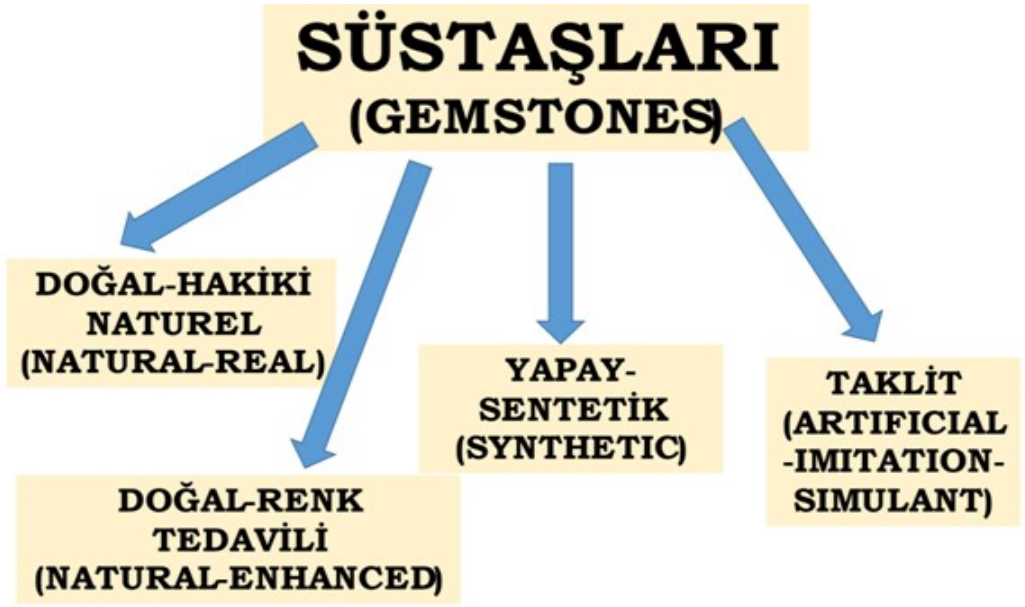
Bir mücevherin kökeni, Dünya'nın kabuğundaki veya mantosundaki oluşum yeridir. Kehribar gibi organik maddeler dışında tortul kayaçlar birincil mücevher malzemesi içermez. Bununla birlikte, önceden var olan altere kayaçlar daha ağır mineraller (yani mücevher mineralleri) içeriyorsa, bunlar yıkanmış ve ikincil veya alüvyal birikintiler oluşturmak için depolanmış (yataklanmış) olabilir. Bu değerli taşlar genellikle suda aşınmış çakıl taşları olarak son bulur ve Brezilya, Myanmar (Burma) ve Sri Lanka'nın değerli taş sedimentlerinde görülebilir. Opal'in kökeni, kayaçların çatlak ve yarıklarında ince silika jel malzemesi damarları olarak katılaşan düşük sıcaklıkta silika içeren su ile başlar (Read, 2005).

Feldspat ve kuvars, turmalin, beril, topaz ve zirkon gibi önemli süs taşlarının çoğu, kabuğun orta ve alt kısımlarında daha yavaş soğuma hızı sayesinde büyük kristallerin oluşmasınısağlayanmagmatik kayaçlarda oluşmaktadır. Erimiş magmada zümrüt, aleksandrit, yakut ve safir gibi süs taşlarıoluşmaktadır. Kayaçlar mağmadan itibaren soğurken bazı kimyasal olaylar meydana gelmektedir. Bu olayların sonucunda granat, andalüzit, serpantin, nefrit ve jadeit gibi süs taşları metamorfik kayaçlarda oluşmaktadır (Read,2005). Çizelge 2.1'de Magmatik ve Metamorfik Kayaçlarda bulunan süs taşları yer almaktadır.

Çizelge 2.1. Magmatik ve metamorfik kayaçlarda yer alan süs taşları(Candar, 2007).

Magmatik Kayaçlarda Yer Alan Süs Taşları		**Metamorfik Kayaçlarda Yer Alan Süstaşları**
UltraBazik Kayaçlarda Bulunanlar	**Pegmatitlerde Bulunanlar**	Lapis Lazuli
Sfen	Anatas	Fluorit
Zirkon	Spodümen	Grossüler
Granat	Apatit	Yakut,
Kuvars	Topaz	Mavi Yakut
Topaz	Aksinit	Skapolit
Feldspat	Turmalin	Andradit
Enstatit	Zümrüt	Zümrüt
Hipersten	Zirkon	Sfalerit
Diyopsit	Fluorit	Jadeit
Olivin	Lazulit	Apatit
Pirop	Kordiyerit	Aksinit
Gök Yakut	Granat	Sfen
	Disten	Nefrit
	Beril	Steatit
	Krizoberil	Japs
		Kordiyerit
		Turmalin
		Epidot
		Diyopsit
		Zensit

Şekil 2.6 ’da süs taşlarının oluşumsal sınıflandırılması yer almaktadır. Oluşumsal olarak süs taşlarını doğal hakiki süs taşları, doğal renk tedavili süs taşları, yapay sentetik süs taşları ve taklit imitasyon süs taşları olarak dörde ayrırabiliriz.



Şekil 2.6. Süs taşlarının oluşumsal sınıflandırılması (Hatipoğlu,2021).

Şekil 2.7'de süs taşlarının genel olarak sınıflandırılması görülmektedir. Bunlarda tanınmış ve az tanınmış süs taşları olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır.



Şekil 2.7. Süs taşlarının değersel sınıflandırılması (Hatipoğlu,2021).

2.6. Türkiye’de Bulunan Süs Taşları

Türkiye maden ve süs taşı bakımından zengin bir ülkedir. Türkiye’de bulunan süstaşları ve konumları Çizelge 1.1’de görülmüştür. Türkiye’de başlıca en önemli süs taşları diaspor, ateş opali, jasper, krizopras, ametist ve dumanlı kuvarstır.

Dünyada diaspor birçok yerde bulunmasına ve işlenmesine rağmen, sadece Türkiye'nin güneybatısındaki Muğla-Milas-Pınarcık bölgesindeki tortularda gem kalitesinde diaspor (Şekil 2.8) bulunmaktadır. Diaspor kristallerinin çoğu Oligosen'den (37.8 mya) Miyosen'e (23.8 mya) uzanan tektonik aktivite ile bozulmuştur, bu nedenle mineral örneklerinden ziyade cevher olarak ("zultanit" olarak pazarlanır) kullanım için daha uygundurlar (Hatipoğlu vd. 2010a).



Şekil 2.8. Muğla Milas Pınarcık bölgesinde bulunan süs taşı kalitesindeki diaspor kristali (Örnek ağırlığı yaklaşık 480gr.) (Hatipoğlu vd.,2010a).

Gem kalitesinde ateş opalde Türkiye'nin Kütahya-Şaphane-Karamanca bölgesinde bulunur (Şekil 2.9) Kütahya iline bağlı Şaphane ilçesinin yaklaşık 10 kilometre kuzeybatısındaki Simav ilçesinin hemen doğusundadır. Ateş opali, riyolitteki vesikülleri doldurur.



Şekil 2.9. Kütahya Şaphane Karamanca bölgesinde bulunan süs taşı kalitesindeki ateş opali(Örnek uzunluğu yaklaşık 15cm.) (Hatipoğlu vd., 2010a).

Karakteristik bir özelliğe sahip olan ve mor renkli ametistminerali Balıkesir Dursunbey-Güğü köyü civarında, Çanakkale Lâpseki, Yozgat-Divanlı, Ordu-Gülköy, Giresun Şebinkarahisar'da bulunmaktadır. Şekil 2.10'da ametist mineralinin görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 2.10. Balıkesir Dursunbey Güğü bölgesinde bulunan süs taşı kalitesindeki ametist minerali (Örnek Uzunluğu yaklaşık 12cm.) (Selim, 2015).

Çorum'un Mecitözü ilçesi kırsalında uzun yıllardır çakmak taşı olarak kullanılan taş Mecitözü taşıdır. Mecitözü Taşı (Şekil 2.11) aslında bir silikat minerali olan jasperdir. Yörede çıkan jasperler 2. ve 3. kalite taşlardır. Çok çeşitli renkleri bulunan bu mineralin özellikle yörede en karakteristiği olan "Ballı Akik" adıyla bilineni dikkat çekmektedir.



Şekil 2.11. Çorum Mecitözü bölgesinde bulunan süs taşı kalitesindeki jasper (Mecitözü) minerali (ÖrnekUzunluğu Yaklaşık 10cm.) (Şahin ve Akova, 2019).

Dumanlı kuvars, koyu gri-siyah renkli kuvars çeşitlerinden biridir (Şekil 2.12). Alpler, Colorado ve California'da (Kuzey Amerika) nadiren görülür. Türkiye'deki oluşumu, Türkiye'nin metamorfik komplekslerinden biri olan Menderes Masifi ile sınırlıdır. Büyük Menderes havzasında masifin güney kesiminde yüzeye çıkan mafik minerallerden oluşan metamorfik kayaçlarda bulunur. Yeri Aydın ili olup, Çine, Ovacık ve Koçarlı ilçe sınırları içinde birkaç kır köyünü kapsamaktadır. Konak kayaçları, kayrak, filit, şist ve gnays gibi değişken dereceli metamorfik kayaçlardır. Dumanlı kuvars bu kayaların çatlakları içinde lokal olarak bulunur. Başlıca kullanımı takı ve süs eşyasıdır. Tip mevki, yöredeki Mersinbelen köyüdür (Çiftçi vd., 2019).



Şekil 2.12. Aydın ilinde bulunan süs taşı kalitesindeki dumanlı kuvars (ÖrnekUzunluğu Yaklaşık 10cm.) (Çiftçi vd., 2019).

Krisopraz miktarda nikel içeren değerli bir kalsedon çeşididir. Renk soluk açık yeşilden elma yeşiline değişir (Şekil 2.13). Yarı saydam ve opaktır. Amerika Bileşik Devletleri (California, Oregon ve Arizona) ve Doğu Hindistan'da bulunmaktadır. Türkiye'de sarımsı yeşil renkli krisopraz Alaşehir (Manisa), Biga (Çanakkale)'da, koyu yeşil renkli örnekler Sivrihisar (Eskişehir), Şenkaya (Erzurum) İkizce köyü (Bursa), Zümrüt ve Turnalı köylerinde görülür. Erzurum'da "Şenkaya Zümrüt" olarak adlandırılmaktadır (Çiftçi vd., 2019).



Şekil 2.13. Erzurum Şenkaya bölgesinde bulunan süs taşı kalitesindeki krizopraz minerali (Çiftçi vd., 2019).

Oltu taşı olarak bilinen Jet minerali 180 milyon yıllık ağaçların opak, siyah, kömürleşmiş fosilleşmiş sürüklenme odunudur (Şekil 2.14). Ahşabın yüksek basınçla ayrışmasından oluşur. Jet, kimyasal olarak kahverengi kömür veya linyit ile ilişkilidir, ancak daha sağlam ve serttir, kömürden çok obsidiyene benzer. Jet, dört bin yılı aşkın süredir mücevher olarak kullanılmaktadır. Türkiye'de Oltu ilçesinde (Erzurum) Tutlu, Yeşilbağlar, Güllüce ve Güzelsu köyleri çevresinde 300'den fazla yerde bulunmakta ve çıkarılmaktadır(Çiftçi vd., 2019)



Şekil 2.14.(a) Tesbih Tanesi Olarak İşlenmişve (b) Ham Oltu taşı Örnekleri (Örnek Boyutları Yaklaşık 2cm., 5cm.) (www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/kiymetli-taslar).

2.7. Dünyadaki Süs Taşı Yatakları

Süs taşı kalitesinde minerallerin birikintileri nadirdir. Çünkü oluşumları için gerekli jeolojik koşullar nadiren elde edilmektedir. Süs taşlarının birincil süs taşı yataklarında oluşması için gereken istisnai koşullar;

- Bazıları nadir veya nadir olan yeterli konsantrasyonlarda gerekli ve esas olmayan elementleri,
- Uygun termobarometrik koşulları ve
- Süs taşı kristallerinin gelişebileceği uygun bir fiziksel ortamı içerir (Wise, 2020).

Süs taşları dünyanın birçok yerinde bulunmaktadır. Süs taşı olarak en çok kullanılan, elmas, zümrüt, safir ve yakut dışında da birçok önemli süs taşları bulunmaktadır. Süs taşları çeşitli gruplara ayrılmaktadır. Bu grupların oluşum sebepleri içerisinde bulunan renklendirici atomlardan kaynaklanmaktadır. Bu süs taşlarının ait olduğu gruplar ve lokasyonlar Çizelge 2.2'de görülmektedir.

Çizelge 2.2. Dünya'da Bulunan Süs Taşı Lokasyonları(Dill ve Weber, 2013).

Grup Adı	Bulunan Süs Taşları	Bulunduğu Yerler
Krom İçeren Süstaşları	Uvarovit, Krom Diopsit ve Mtorolit	Angola, Avustralya, Bostwana, Brazilya, Kanada, Çin,Çek Cumhuriyeti, Etiopya, Finlandiya, Fransa, Yunanistan, Hindistan, İtalya, Japonya, Kazakistan, Moracco, Mozambik, Norveç, Pakistan, Filipinler, Amerika Birleşik Devletleri, Rusya, Güney Afrika, Türkiye (Erzurum), Zimbavve
Nikel İçeren Süstaşları	Krizopraz	Avustralya, Hindistan, Tanzanya
Demir İçeren Süstaşları	Hematit, Pirit	Brezilya, Peru, İspanya, Amerika, İtalya, Büyük Britanya
Mangan İçeren Süstaşları	Rodokrosit, Rodonit ve Sugilit	Arjantin, Avustralya, Brezilya, Kanada, Çin, Finlandiya, Peru, Rusya, Güney Afrika, İsveç, Amerika
Berilyum İçeren Süstaşları	Beril, Zümrüt, Krizoberil (Alexandrite), Phenakite, Akuamarin, Ökaz, Hambergit, Rodizit, Taaffeit ve Tugtupit	Afganistan, Arjantin, Avustralya, Brezilya, Çin, Kolombiya, Kongo Demokratik Cumhuriyeti, Danimarka, Mısır, Büyük Britanya, Hindistan, Madagaskar, Mozombik, Myanmar, Nambia, Nijerya, Norveç, Pakistan, Rusya, Somali, Güney Afrika, Sri Lanka, Tanzanya, Ukrayna, Amerika, Vietnam, Zambia, Zimbawne
Bakır İçeren Süstaşları	Turkuaz, Malakit, Azurit ve Krizokolla	Avustralya, Brezilya, Çin, Kongo Demokratik Cumhuriyet, Mısır, Büyük Britanya, İran, İsrail, Kazakistan, Meksika, Nijerya, Pakistan, Rusya, Senegal, Amerika, Özbekisten
Tungusten İçeren Süstaşları	Şelit	Sri Lanka

Çizelge 2.2. Dünya'da Bulunan Süs taşı Lokasyonları (Devam).

Lityum İçeren Süstaşları	Spodümen (Gizliit, Kunzit), Ambliygonit	Afganistan, Brezilya, Madagaskar, Mynmar, Amerika, Rusya, Nijerya, Sri Lanka.
Çinko İçeren Süstaşları	Sfalerit	İspanya
Bor İçeren Süstaşları	Aksinit, Aanburit, Datolit, Turmalin, Dravit, Elbait, Paraiba-Turmalin, İndigolit, Rubelit, Schoerl, Dumortierit, Jeremejevit, Kornerupin, Painit, Serendibit, Sinhalit, Pudretit	Afganistan, Avustralya, Brezilya, Bolivya, Çin, Kolombiya, Kongo Demokratik Cumhuriyeti, Danimarka, Finlandiya, Hindistan, Madagaskar, Meksika, Mozambik, Mynmar, Nambia, Nepal, Nijerya, Pakistan, Rusya, Sri Lanka, Tanzanya, Amerika, Vietnam, Zambia, Zımbavne
Stronsiyum İçeren Süstaşları	Selesit	Madagaskar, Amerika
Flor İçeren Süstaşları	Topaz	Afganistan, Avustralya, Brezilya, Kanada, Çin, Fransa, Almanya, Büyük Britanya, Hindistan, Japonya, Kazakistan, Kenya, Madagaskar, Meksika, Moracco, Mozambik, Mynmar, Nepal, Nijerya, Pakistan, Rusya, Peru, Güney Afrika, İspanya, Sri Lanka, İsviçre, Amerika, Vietnam, Zambia, Zımbavne
Fosfor İçeren Süstaşları	Apatit, Lazulit	Avustralya, Brezilya, Hindistan, Madagaskar, Meksika, Mynmar, Pakistan, Portakiz, Sri Lanka, Amerika
Silika İçeren Süstaşları	Kaya kristali, Sitrin, Ametist, Gül kuvars, Kalsedon, Akik, Jasper, Opal, Obsidiyen, Oniks	Afganistan, Algeria, Arjantin, Avustralya, Bolivya, Brezilya, Burindi, Kanada, Kongo, Danimarka, Etipyo, Finlandiya, Fransa, Almanya, Büyük Britanya, Honduras, Hindistan, Endonezya, İtalya, Japonya, Kazakistan, Kenya, Madagaskar, Meksika, Monglia, Moracco, Mozambik, Mynmar, Nijerya, Pakistan, Peru, Polonya, Rusya, Suudi Arabistan, Slovakya, Somali, Güney Afrika, İspanya, Sri Lanka, Tanzanya, Türkiye(Simav, Ankara)
Süstaşı kalitesinde Feldspathoids	Lapis lazuli , Skapolit, Sodalite, Hauyne	Afganistan, Bolivia, Brezilya, Kanada, Hindistan, Mozambik, Mynmar, Nambia, Pakistan, Rusya, Sri Lanka, Tanzanya.
Süstaşı Kalitesinde Amfibol	Kaplan Gözü, Şahin Gözü, Nuumit	Avustralya, Danimarka, Güney Afrika
Prehnit	Prehnit	Avustralya, Amerika
Jet ve Amber	Jet, Amber	Büyük Britanya, Domonik Cumhuriyeti, Italya, Meksika, Myanmar, Rusya, Romanya, Amerika

Çizelge 2.2. Dünya'da Bulunan Süs taşı Lokasyonları (Devam).		
Süstaşı Kalitesinde Garnet	Pyrope, Spessartite, Almandin, Grossularite, Andradit	Afganistani Arjantin, Avustralya, Brezilya, Kanada, Çin, Çek Cumhuriyeti, Etiopya, Finlandiya, Almanya, Büyük Britanya, Yunanistan, Hindistan, İtalya, Japonya, Kazakistan, Kenya, Madagaskar, Meksika, Mongolia, Mozambik, Mynmar, Nijerya, Norveç, Pakistan, Rusya, Güney Afrika, Sri Lanka, Tanzanya, Tayland, Ukrayna, Amerika, Zambia
Elmas	Elmas	Angola, Avustralya, Bostwana, Brezilya, Kamerun, Kanada, Orta Afrika Cumhuriyeti, Çin, Kongo, Kongo Demokratik Cumhuriyeti, Gabon, Büyük Britanya, Endonezya, Rusya, Güney Afrika, Tanzanya, Tayland, Venzuella, Zimbabve
Korundum ve Spinel Süstaşları	Yakut, Safir, Padparadscha, Spinel	Afganistan, Avustralya, Brezilya, Burundi, Kambodia, Kamerun, Çin, Kolombiya, Danimarka, Finlandiya, Fransa, Büyük Britanya, Hindistan, Kenya, Laos, Makedonya, Madagaskar, Malavi, Meksika, Mozambik, Myanmar, Nepal, Nijerya, Norveç, Pakistan, Rusya, Güney Afrika, Sri Lanka, Tanzanya, Tayland, Amerika, Vietnam, Zimbabve,

Çizelge 2.2'de görüldüğü gibi Dünya'nın her yerinde bir süs taşı oluşumu vardır. En önemli süs taşı lokasyonlarının başında, Afganistan, Hindistan, Mynmar, Güney Afrika, Madagaskar gelmektedir.

3. MİNERALLERİN GRUPLANDIRILMASI

Bilinen 4000'den fazla farklı mineral bulunmaktadır. Ancak belli başlı mineraller kayaçları oluşturan temel bileşenlerdir. Bilimsel araştırmalar, yer kabuğu minerallerinin Çizelge 3.1'de gösterildiği gibi öncelikle feldispatlar, kuvars, piroksenler, amfibol ve olivinden oluştuğunu göstermektedir.

Çizelge 3.1. Yer kabuğunda kayaç oluşturan ana mineral grupları ve yüzdeleri (Haldar ve Tišljar,2014).

Mineral Grupları	**% (Ağırlıkça)**
Feldspat grubundan mineraller	57,9
Piroksenler, amfiboller ve olivin	16,4
Kuvars	12,6
Demir Oksit	3,7
Mika	3,3
Kalsit	5,0
Kil Minerali	1,0
Diğer Tüm Mineraler	3,6

Mineraller öncelikle fiziksel özellikleri dikkate alınarak sınıflandırılmıştır. 19. Yüzyılın başlarında kimyasal çalışmaların ağırlık kazanması ile birlikte minerallerin kimyasal yapılarına göre sınıflandırma işlemi yapılmaya başlandı. İlk çalışma, fiziksel ve kimyasal özelliklere dayalı sınıflandırmayı içeriyordu, ancak kimyasal bilginin hızla ilerlemesiyle, tamamen kimyasal sınıflandırma kısa süre sonra bu hibrit şemanın yerini aldı. İlk olarak elektronegatif elementlere dayalı bir sistem geliştirildi, burada mineral sınıfları anyonların ve radikallerin ortak oluşumuyla tanındı. Birçok mineralog kristal yapının minerallerin sınıflandırılmasında temel olması gerektiğini ileri sürdü (Hawthorne, 1985).

Mineraller, negatif yüklü iyonlarına yani anyonlarına göre sınıflandırılır. Anyonlar basit olabileceği gibi karmaşıkta olabilir. Basit anyon tek negatif yüklü iyona sahip olandır, örnek olarak O^{-2} verilebilir. İki veya daha fazla atom bir araya gelerek oluşturdukları bağ sonucu daha fazla anyon sayısına sahip olduğunda karmaşık anyon olarak adlandırılır. Bunlara örnek olarak karbonatlar $(CO_3)^{-2}$ ve silikatlar $(SiO_4)^{-4}$ 'tür. Mineraller, oksitler, sülfürler, sülfatlar, fosfatlar, karbonatlar ve silikatlar olarak Çizelge 3.2 'de görüldüğü gibi sınıflandırılmıştır.

Çizelge 3.2. Ana Mineral Grupları ve Bazı Mineral Örnekleri(Earle,2015).

Grup Adı	**Örnek Mineraller**
Oksitler	Hematit (Fe_2O_3), Korundum (Al_2O_3), Su (H_2O)
Sülfitler	Galen (PbS), Pirit (FeS_2), Kalkopirit ($CuFeS_2$)
Sülfatlar	Alçıtaşı ($CaSO_4$), Barit ($BaSO_4$) (Sülfatların sülfürlerden farkı; Sülfatlar SO_4^{-2}'ye sahipken sülfürler S^{-2} iyonuna sahiptir).
Halitler	Florit (CaF_2), Halit (NaCl) (Halojenür mineralleri anyon olarak halojen elementlere sahiptir - periyodik tablonun sağ tarafındaki ikinci son sütundaki mineraller, F, Cl, Br vb.)
Karbonatlar	Kalsit ($CaCO_3$), Dolomit ($Ca,Mg)CO_3$)
Fosfatlar	Apatit ($Ca_5(PO_4)3(OH)$, Turkuaz ($CuAl_6(PO_4)4(OH)_8.5H_2O$
Silikatlar	Kuvars (SiO_2), Feldspat ($NaAlSi_3O_8$), Olivin $(Mg,Fe)_2SiO_4$Kuvarsda anyon oksijendir ve bu nedenle,kuvarsınbir oksit olduğu tartışılabilirken, her zaman silikatlarla sınıflandırılır.
Doğal Mineraller	Altın (Au), Elmas (C), Sülfür (S), Bakır (Cu)

Oksit minerallerinde anyon olarak oksijen (O^{-2}) bulunur, ancak karbonat (CO_3^{-2}), sülfat (SO_4^{-2}) ve silikat (SiO_4^{-4}) gibi oksijen komplekslerine sahip olanları hariç tutarlar. En önemli oksitler demir oksitler hematit ve manyetittir (sırasıyla Fe_2O_3 ve Fe_3O_4). Bunların her ikisi de önemli demir cevherleridir. Korundum (Al_2O_3) bir aşındırıcıdır, ancak yakut ve safir çeşitlerinde de değerli bir taş olabilir. Oksijen ayrıca hidroksil anyonu (OH^-) oluşturmak için hidrojen ile birleştirilirse, mineral hidroksit olarak bilinir. Bazı önemli hidroksitler, sırasıyla demir ve alüminyum cevherleri olan limonit ve boksittir. Donmuş su (H_2O) bir mineraldir, ancak sıvı halde su, normal bir kafesi olmadığı için mineral değildir**.** Başta silis, demir ve alüminyum olmak üzere oksit ve hidroksit mineralleri grubundan bazı mineraller çok önemli ve yaygın mineral bileşenleridir. Grup içinde en çok bulunanlar Çizelge 3.3'de görülmektedir.

Sülfitler S^{-2}anyonlu minerallerdir ve sırasıyla kurşun, çinko, bakır ve molibdenin en önemli cevherleri olan galena (PbS), sfalerit (ZnS), kalkopirit ($CuFeS_2$) ve molibdenit (MoS_2) içerir. Diğer bazı sülfit mineralleri pirit (FeS2), bornit (Cu5FeS4), stibnit (Sb2S3) ve arsenopirittir (FeAsS).

Sülfatlar, SO_4^{-2} anyonlu minerallerdir ve bunlar arasında anhidrit ($CaSO_4$) ve alçıtaşı ($CaSO_4.2H_2O$) ve baryum ve stronsiyum sülfatları, barit ($BaSO_4$) ve selestit ($SrSO_4$) bulunur. Tüm bu minerallerde katyon, sülfat iyonu üzerindeki –2 yükünü dengeleyen +2 yüke sahiptir.

Halojenürler bu şekilde adlandırılır çünkü anyonlar halojen elementleri klor, flor, brom vb. İçerir. Örnekler, halit (NaCl), kriyolit (Na_3AlF_6) ve florit (CaF_2) 'dir.

Çizelge 3.3. Oksitler ve Hidroksitler Grubundan Ana Kaya Oluşturan Mineraller(Haldar ve Tišljar,2014).

	Oksit	Hidroksit
Silikon	Kuvars SiO2 Kalsedon =Fibröz Kuvars	
Alüminyum	Korundum Al_2O_3	Gibsit γ-Al(OH)3 Bohmit γ AlOOH Diaspor α AlOOH
Demir	Hematit Fe_2O_3 Magnetit FeO. Fe_2O_3	Götit α FeOOH Limonit
Demir ve Krom	Kromit FeO. Cr_2O_3	
Demir ve Titanyum	Limenit FeO.TiO_2	
Titanyum	Rutil TiO_2	
Manganat	Pirolüzit MnO_2	Psilomelan MnO. $MnO_2.nH_2O$
Magnezyum ve Alüminyum	Spinel MgO. Al_2O_3	

Karbonatlar, anyonun CO_3^{-2}kompleksi olduğu mineralleri içerir. Karbonat, kalsit ($CaCO_3$), magnezit ($MgCO_3$), dolomit ((Ca, Mg) CO_3) ve siderit ($FeCO_3$) gibi mineraller oluşturmak için +2 katyonlarla birleşir. Bakır mineralleri olan malakit ve azurit de karbonattır.

Fosfat minerallerinde anyon PO_4^{-3}kompleksidir. Önemli bir fosfat minerali, dişlerin yapımında kullanılan apatittir (Ca_5 $(PO_4)_3(OH)$). Silikat mineralleri, SiO_2 ile SiO_4^- arasında değişen oranlarda silikon ve oksijen elementlerini içerir (Earle,2015).

Tüm minerallerin en dayanıklısı olan ve bir element (karbon) olarak bulunan elmas haricinde tüm süs taşları element bileşikleridir. Gemolojik amaçlar için, bunlar dört ana oksit, karbonat, fosfat ve silikat grubuna ayrılabilir (Read,2005);

Oksit formda bulunan süs taşları oksijenle birleştirilmiş bir metalden oluşur. Bunlar genellikle serttir ve kimyasal saldırılara karşı dirençlidir. Örnek olarak;

- Krizoberil $BeAl_2O_4$
- Korundum Al_2O_3
- Kuvars ve Kalsedon SiO_2
- Spinel $MgAl_2O_4$

Karbonat formda bulunan süs taşları, karbonik asidin metaller üzerindeki etkisiyle oluşur. Bunlar yumuşaktır ve asitler tarafından etkilenir. Örnek olarak;

- Kalsit $CaCO_3$
- Malahit $Cu_2(OH)_2CO_3$

- Rodokrozit $MnCO_3$

Fosfat formda bulunan süs taşları, fosforik asidin metaller üzerindeki etkisiyle üretilir Bunlar yumuşaktır ve asit saldırısına karşı çok dirençli değildir. Örnek olarak;

- Apatit $Ca_5(F,Cl)(PO_4)_3$
- Turkuaz Bakır ve alüminyumun kompleks hidratlı fosfatı$CuAl_6(PO_4)_4(OH)_8 \cdot 4H_2O$

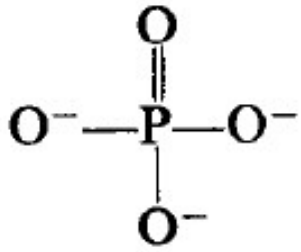
Silikat forma bulunan süs taşları, silisik asitlerin metaller üzerindeki etkisinden kaynaklanır Bunlar sert ve çok dayanıklıdır. Süs taşlarının birçoğu silikat formda bulunmaktadır. Örnek Olarak;

- Beril $Be_3Al_2(SiO_3)_6$
- Feldspat Grubu Süs taşları Kalsiyum, potasyum veya sodyum ile kombinasyon halinde alüminyum silikatlar
- Garnet Grup Süs taşları Çeşitli magnezyum, manganez, demir, kalsiyum, alüminyum ve krom kombinasyonlarının silikatları
- Jadeit $NaAl(SiO_3)_2$
- Nefrit Karmaşık kalsiyum, magnezyum veya demir silikat
- Peridot $(Mg,Fe)_2SiO_4$
- Rodonit $MnSiO_3$
- Topaz $Al_2(F,OH)_2SiO_4$
- Turmalin Alüminyum ve demirden oluşan karmaşık bir borosilikat
- Zirkon $ZrSiO_4$

3.1. Fosfatlar

Fosfat mineralleri, çok çeşitli katyonlar ve anyonlardan oluşan çok atomlu fosfat anyonunu (PO_4^{-3}) içerirve 300'den fazla bilinen varyantla geniş ve çeşitli bir mineral grubu oluşturur. Fosfat minerallerinin ayırt edici bir özelliği çözünebilirliğinin az olmasıdır. Fosfat kayaçları yüksek oranda fosfat minerali içermektedir. Genel olarak, yüksek biyolojik üretkenliğe sahip tortul ortamlarda oluşurlar, magmatik kökenli de olabilirler (Jones,2021).

Fosfatların X ışını kırınım çalışmaları, her fosfor atomunun dört yüzlü olarak düzenlenmiş dört oksijen atomuna bağlı olduğunu göstermektedir. Kızılötesi ve Raman özellikleri, çözelti içinde dört yüzlü $PO4^{-3}$ ‘ün varlığını gösterir. Anyonik yapı Şekil 3.1’de gösterilmektedir;

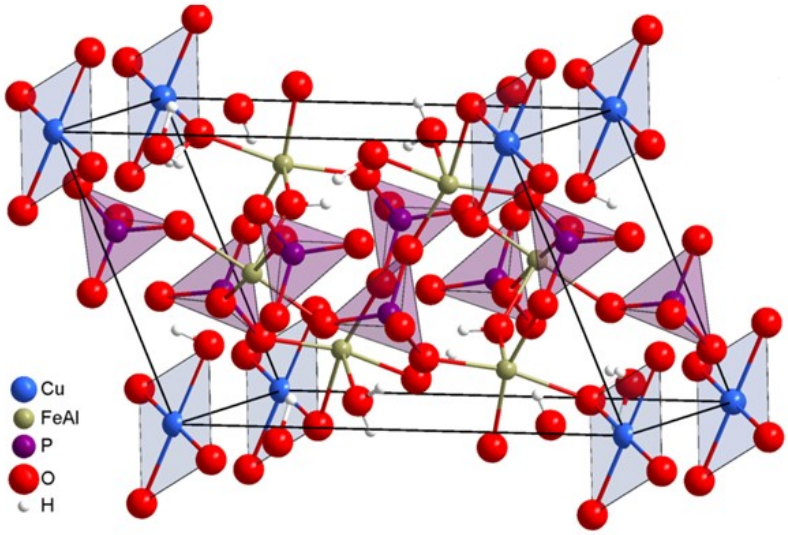


Şekil 3.1. Fosfatın yapısı (Greenfield ve Clift,1975).

P-O bağlarının oksijen atomları diğer atomlara kovalent olarak bağlı, fosfor-oksijen bağlarının üçünün çift bağ olarak tanımlanan dördüncüsünden daha uzun olduğu sürece çok dikkate değerdir. Diğer yandan, PO_4^{-3} iyonu ile komşuları arasındaki ilişki iyonik olduğunda (inorganik fosfatlarda olduğu gibi), herhangi bir O^- iyonunu herhangi bir pozitif metal iyonuyla ilişkilendirmek imkânsızdır ve bunun tersi de geçerlidir. Bu koşullarda P-O bağları tipik olarak eşit uzunluktadır ve fosfor atomunun beş değerli temsili yanıltıcıdır (Greenfield ve Clift,1975).

Fosfat içeren minerallerden süs taşı olarak kullanılan en önemli süs taşları; turkuaz ve apatittir.

Turkuaz; triklinik kristal sisteme sahip sulu bakır alüminyum fosfat mineralidir (Frost vd., 2006). İçerisinde bulunan Cu ve Fe oranına göre mavi, yeşil ve mavimsi yeşil bir renge sahiptir. Mavi turkuazlarda Cu/Fe oranı daha yüksektir (Nikbakht vd., 2017). Turkuaz, yakut, zümrüt ve safir gibi parlak bir mineral değildir ancak süs taşı olarak mücevherat ve kuyumculuk sektörlerinde en çok kullanılan süs taşlarından biridir. Yeryüzünde sadece birkaç yerde asidik ve bakır açısından zengin yer altı sularının, fosfor ve alüminyum içeren mineraller ile reaksiyona girdiği bölgelerde oluşmaktadır. Turkuazın formülünde Cu^{+2} ve Fe^{+2} genellikle A bölgesinin ikamesi olarak kabul edilir (Abdu vd., 2011). Al^{+3} ve Fe^{+3} B bölgesinde yer almaktadır (Şekil 3.2) (Sejkora vd., 2006; Sejkora vd., 2011).



Şekil 3.2. Turkuazın kristal yapısı (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Struct_ Turquoise.png).

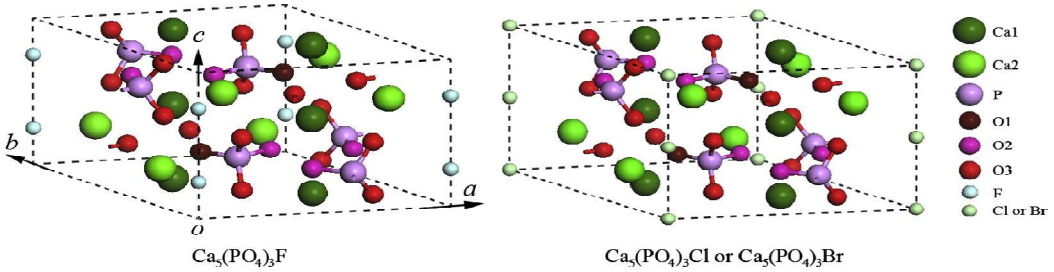
Fosfat grubunda bulunan turkuaz mineralinin MOHS Sertlik Skalasına göre sertliği 5-6 civarındadır. Kırılma indisi 1,61, özgül ağırlığı ise 2,60-2,90 civarındadır. Özgül ağırlık işlenmiş ya da işlenmemiş olmasına göre içindeki porozite miktarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Choudhary, 2010).

Apatit dünyada doğal olarak oluşan magmatik kayaçlarda en bol bulunan fosfattır. Bir tür kalsiyum fosfat türü olan kalsiyum apatitler iyi renk ve iyi bir kristal yapıya sahip olduklarında süs taşı olarak kullanılabilmektedir (Şekil 3.3). Kalsiyum apatitlerin kimyasal formülü $Ca_5(PO_4)_3X$'dir. X negatif değerliliğe sahiptir, halojen grubu ya da OH'ı temsil etmektedir (Li vd., 2015).



Şekil 3.3. Mavi apatit (Brezilya) (https://en.wikipedia.org) (Örnek Uzunluğu Yaklaşık 8cm.).

Şekil 3.4'de hekzagonal kristal yapıya sahip $Ca_5(PO_4)_3F$ ve $Ca_5(PO_4)_3Cl$-Br'ün kristal yapısı görülmektedir. Kristal yapıda c ekseni boyunca uzanan F,Cl ve Br iyonu ile on Ca otomu ile çevrelenen altı PO_4 grup yer almaktadır. On kalsiyum atomu eşdeğer olmayan Ca1 ve Ca2 bölgesinde düzenlenmiştir. Her Ca1 trigonal prizma olarak adlandırılan prizma yüzeylerinde ortaya çıkan 3 uzun bağ ve altı kısa bağ ile dokuz oksijen atomuna bağlıyken, Ca2 altı oksijen atomu ve düzensiz bir beşgen piramit oluşturan F,Cl ve Br ile bağlıdır. 24 oksijen iyonu O1, O2 ve O3 olarak farklı oksijen bölgesi aralığında dağılırken, F, Cl ve Br iyonları Ca üçgeninin merkezinde bulunur vealtı kat spiral eksene paralel olarak konumlanır (Li vd., 2015).



Şekil 3.4. $Ca_5(PO_4)_3F$ ve $Ca_5(PO_4)_3Cl$-Br Kristal yapısı (Li,2015).

3.2. Oksitler

Oksitler, oksijenin bir veya birden fazla metal oksit ile yaptığı bileşiklerdir. Oksitler basit ve çoklu oksitler olarak sınıflandırılır. Basit oksitler oksijenin tek bir metal ile yaptığı bileşiklerdir. Çoklu oksitler ise oksijenin birden fazla metal oksit ile yaptığı bileşiklerdir (Karakaya ve Çelik, 1998).

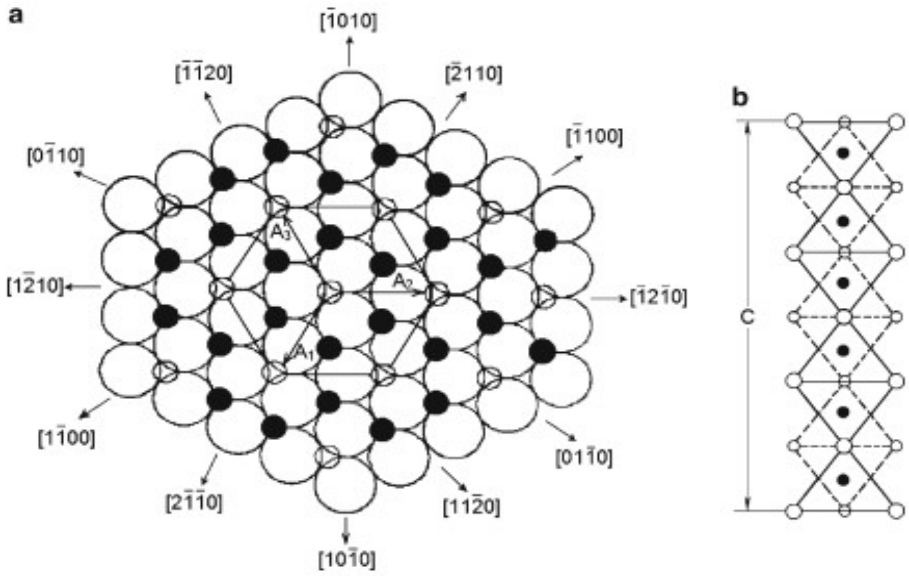
Süs taşlarının en çok bulunduğu sınıflardan biride oksit grubudur. Özellikle yakut, safir, spinel ve krizoberil oksit gruba ait süs taşıdır.

3.2.1. Korund (Yakut ve safir)

Alümina α, γ, ɵ, B gibi çok çeşitli kristal yapıda bulunmaktadır. Bunların arasında α-Al_2O_3 yüksek mukavemeti, muhteşem aşınma direnci, düşük elektrik iletkenliği ve mükemmel kimyasal kararlılığı nedeni ile seramik malzemelerde, refrakter malzemelerde, aşındırıcı malzemelerde ve süs taşı olarak yaygın olarak kullanılmaktadır (Su vd., 2020).

α- Al_2O_3 yani korund gibsitin ($Al(OH)_3$)genellikle 1000°C'nin üstündeki sıcaklıklarda kalsinasyonu ile elde edilebilmektedir. Hidrotermal koşullar altında birçok malzeme düşük sıcaklıklarda sentezlenebilmektedir. Bu yöntemle 450 °C'lik sıcaklıkla 20 MPa'lık bir basınç uygulayarak korund elde edilebilir (Kaiser vd., 1994). Ayrıca α- Al_2O_3 sol-gel, yüksek sıcaklıkta yanma ve çökeltme gibi birçok kimyasal yöntem ile elde edilebilmektedir (Su vd., 2020).

Korundun kristal kafesi Al^{+3} ve O^{-2} iyonlarından oluşur. O^{-2} iyonları kristal kafeste hekzagonal olarak paketlenmiştir (Şekil 3.5). Al^{+3} katyonları simetri merkezi olmayan kristalin alanda bir arada bulunur. Bu katyonlar sıkıca paketlenmiş O^{-2} iyonları arasındaki oktohedral boşluklarda bulunur ve bu boşlukların üçte ikisini doldurmaktadır. Oktohedral boşluk altı O^{-2} iyonları ile çevrilmiştir. O^{-2} ve Al^{+3} iyon yarıçaplarından dolayı katyonlar anyon paketinin boşlukları arasında yer alır. Katyonlar kafesi deforme ederler ancak oktohedron konumunun kararlılık sınırları dışına çıkamazlar (Dobrovinskaya vd., 2009).



Şekil 3.5. Korund kristal yapısı. (a) İki O^{-2} (büyük daireler) tabakası arasında oktohedral boşluklar(küçük açık renk daireler) ve Al^{+3} (siyah daireler) düzenlemesinin şematik gösterimi. (üst O^{-2}tabakası gösterilmemiştir) . A1, A2 ve A3, bazal düzlem için altıgen safir hücrenin [$112\bar{}0$] dönüşümsel vektörleridir. (b) O^{-2} iyonlarının (açık daireler) ve Al^{+3} 'ün C3 ekseni yönünde paketlenme şeması (Dobrovinskaya vd., 2009).

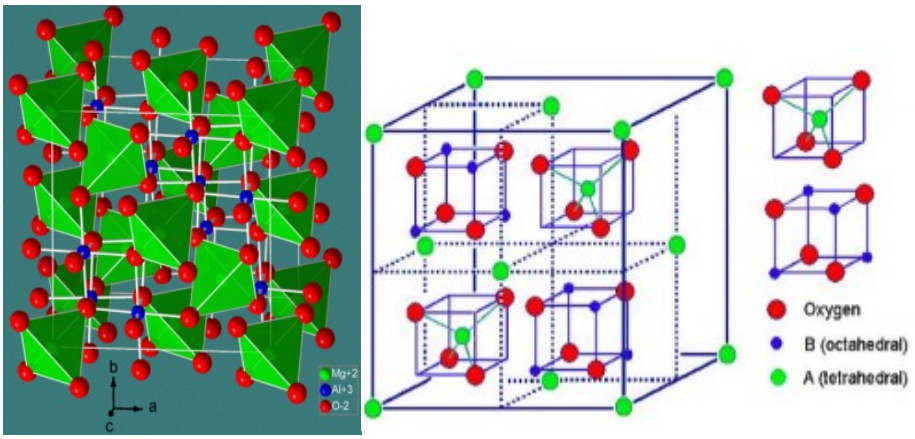
Yakut çok renkli olan korundum grubunun kırmızı renkli olan süs taşıdır. Bünyesinde Al_2O_3'ün yanında çok çok az miktarda Cr iyonu içermektedir. Az miktarda Al^{+3} iyonlarının yerine Cr^{+3} iyonlarının yer değiştirdiği Al_2O_3 fazı içerir. Her Cr^{+3} iyonu sekizyüzlü olarak altı O^{-2} iyonu tarafından çevrelenmiştir. Çevreleyen oktohedral ortam Cr^{+3} iyonunu yeşil-sarı bölgede soğurarak kırmızı renk emisyonu verecek şekilde etkilemektedir (Sakthivel vd., 2017). Doğal yakutta Si^{+4}, Mg^{+3}, Ti^{+4}, V^{+3}, Fe^{+3} ve karbon gibi safsızlıkların yanında rutil gibi inklüzyonda bulunabilir (Sutherland vd., 2015, Sahoo vd., 2015). Korun minerali Afganistan, Burma, Kenya, Mozambik, Tacikistan, Tanzanya, Tayland ve Vietnam'da bulunmaktadır (Cartier, 2019).

3.2.2. Spinel

Geçiş metal oksit içeren spinel yapılı bileşikler fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle büyük bir önem taşımaktadır. Spinellerin özellikleri kristal yapı ve kimyasal bileşime göre değişebilmektedir. Spineller normal ve ters olmak üzere iki yapıda bulunabilir (Zhandun vd., 2021).

Normal spinelin yapısı AB_2O_4 olarak formüle edilir, A ve B tetrahedral ve oktohedral olarak koordine edilmiş katyonlarken, O ise bir anyondur. Bu yapı daha sonra $MgAl_2O_4$ olarak adlandırılmıştır. Spinel yapısında sıkı paketlenmiş bir anyon dizisi vardır. A bölgesi katyonları

tetrahedral boşlukların sekizde birini dolduruken, B bölgesi katyonları oktohedral boşlukların ikide birini doldurmaktadır. Daha fazla yüke sahip Al katyonları altı tane oksijen atomuyla çevrili olan oktohedral bölgesi tercih etmektedir (Şekil 3.6). Ters spinelde A bölgesi iyonlarının B bölgesi iyonlarının yarısının yer değiştirdiği alternatif bir düzlem oluşur. Ters spinellerin formülü $B^{+3}(A^{+2}B^{+3})O_4$ olarak tanımlanmıştır. Burada iki değerlikli A^{+2} ve üç değerlikli B^{+3} iyonlarının yarısı oktohedral bölgelerde bulunur, diğer üç değerlikli B iyonları ise tetrahedral bölgelerde bulunmaktadır (Zhandun vd., 2021). Spinelin formülünde belirtilen A, Mg harici farklı atomlarıda bünyesinde barındırabilir. Bunlar Ni, Co, Zn, Mn ve Fe'dir (Venkataramana vd., 2020; Boudiaf vd., 2020; Mohanty vd., 2020; Kunde ve Sehgal, 2020; Zhandun vd., 2021).



Şekil 3.6. Spinel ($MgAl_2O_4$) kristal yapısının şematik gösterimi (https://libretexts.org/).

Süstaşı olarak kullanılan spinel kübik kristal sınıftadır ve karakteristik kristal şekli arka arkaya iki oktehedrondur. Kimyasal formülü MgAl2O4, kırılma indisi 1,718, özgül ağırlığı 3,60 ve sertliği 8'dir. Spinelin rengi ise kırmızı, turuncu, mor, mavi ve siyah olabilmektedir. Spinellerin kırmızı rengi içerisindeki Cr atomlarına bağlıdır. Cr atomu ne kadar fazla ise renk okadar kırmızıdır. Spinellerin turuncu olmasının nedeni ise Fe ve Cr karışımından kaynaklanmaktadır. Spinel kristalleri doğada yaygın olarak bulunur (www.gia.edu).

Süs taşı kalitesinde olan spineller, Mynmar, Tacikistan, Vietnam, Nepal, Pakistan, Tanzanya ve Kenya'da bulunmaktadır. Vietnam'daki spinel oluşumları mermerlerin içerisinde görülmektedir. Cr-V taşıyan spineller Himalaya ve Doğu Afirika'da meydana gelir ve metamorfik koşullar altında oluşmuştur (Fallick vd., 2019).

3.2.3.Krizoberil

Krizoberil $BeAl_2O_4$ kimyasal formülüne ve ortorombik kristal yapıya sahiptir. Genellikle yassı ve kısa prizmatik kristaller oluşturur, fakat (130) ikizlenmesi yaygındır. Sertliği

8.5, özgül ağırlığı ise 3,5-3,8 arasındadır. Krizoberil genellikle altın sarısı, yeşilimsi ve kahverengimsi sarı renktedir. Renk Al^{+3} iyonunun yerine Fe^{+3} iyonunun yer değiştirmesinden kaynaklanmaktadır. En değerli iki krizoberil çeşidi aleksandirit ve kimofandır. Aleksandiritin rengi doğal ışıkta yeşilimsi maviye, parlak ışık altında ise koyu kırmızıya kadar değişiklik gösterir. Kristal yapıda Al^{+3} iyonunun yerine Cr^{+3} iyinonun geçmesinden dolayı bu renk değişikliği görülmektedir (Groat vd., 2014). Krizoberil %20 oranında BeO ve %80 oranında Al_2O_3 içermektedir (Trindade vd., 2020). Krizoberil, Brezilya, Burma, Hindistani Madagaskar, Rusya, Sri Lanka, Tanzanya ve Zimbavne'de bulunmaktadır (Cartier, 2019).

3.3. Karbonatlar

Karbonat grubu mineralleri $(CO_3)^{-2}$ yapıya sahiptir. Karbonat grubunun birçok çeşidi vardır. Ancak süs taşı olarak kullanılan karbonat grubu mineralleri, Malahit, Azurit ve Rodokrozittir. Karbonat grubu dört ana bölüme ayrılır. Bunlar kalsit grubu, dolomit grubu, aragonit grubu ve $(OH)^-$ monoklinik karbonat grubudur. Kalsit rombohedral kristal sisteme ait olup termodinamik olarak kararlı bir mineraldir. Kalsit süs taşı olarak kullanılmaz Ortarombik formda olan aragonit de bol miktarda bulunmaktadır ama öncelikle deniz organizmalarının iskelet yapısında ve genç tortullarda bulunmaktadır. Aragonit daha yoğun formadadır bundan dolayı $CaCO_3$ fazı yüksek sıcaklıklarda kararlıdır, fakat düşük sıcaklıklarda kalsit daha kararlı bir yapıdadır. Dolomit karbonat kayaçlarında en bol bulunan karbonat çeşitlerinden biridirancak kalsit ve aragonit gibi organizmaların iskelet bileşeni olarak oluşmaz (Mackenzie, 2013).

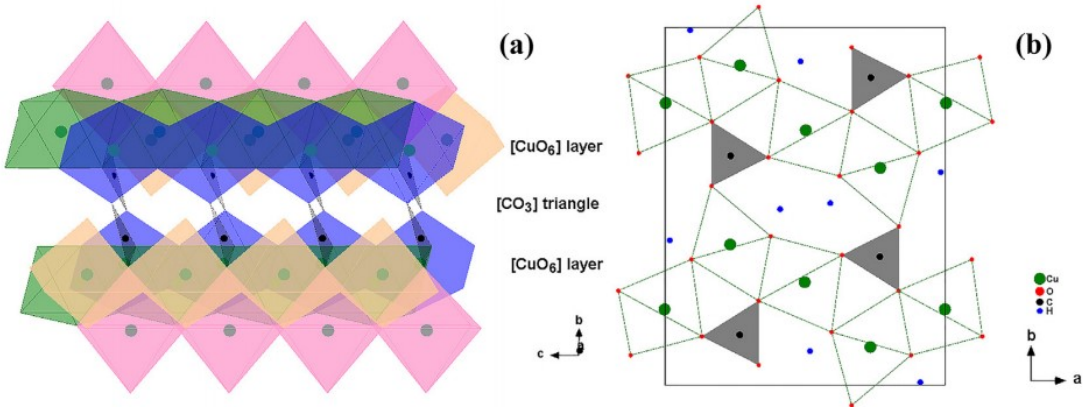
3.3.1. Azurit ve malakit

Malakit ($Cu_2CO_3(OH)_2$) bakır karbonat grubuna ait en önemli minerallerden biridir. Önemli olmasının asıl nedeni parlak yeşil rengi ve malakit yapısının kendine has sahip olduğu çeşitli desenleridir. Malakitin bu değişik yüzey yapısı malakit yataklarının morfolojisinden kaynaklanmaktadır (Bublikova vd., 2019). Bünyesinde % 57,5 bakır içermektedir. Seyreltik asitlerde kolaylıkla çözülebilmektedir. Asitte çözünme olayı (3.1) ile gösterilen reaksiyon ile gerçekleşir (Nicol, 2018).

$$Cu_2CO_3(OH)_2 + 4H \rightleftharpoons 2\,Cu^{+} + CO_2 + 3H_2O \quad (3.1)$$

Malakit en iyi bilinen sekonder Cu mineralidir ve tipik olarak Cu sülfürlerin ayrışması sonucu Cu yataklarının oksidasyon bölgesinde oluşan bir mineraldir. En eski bakır kaynağı olan malakit, antik çağlardan beri yeşil pigment ve süs taşı olarak kullanılmaktadır. Mavi bakır karbonat olarak adlandırılan azurit su emilimi ve CO_2 kaybı nedeniyle malakite dönüşür (Lebernegg vd., 2013).

Şekil 3.7 ’de malakitin kristal yapısı gösterilmektedir. Malakit, ac düzlemine paralel ve [CO_3]üçgen ile birbirine bağlanmış [CuO_6] oktahedral katmanlardan oluşan monoklinik bir yapıdadır. Yapısal bir birimi oluşturan, yüz yüze yönelimli iki tür [CuO_6] tabakası vardır. Her katman, c ekseni boyunca uzanan üç tip [CuO_6] zincirinden oluşur. Her zincirde, iki [CuO_6] oktahedra kenar paylaşılır ve bir köşe oksijen yoluyla başka bir çifte bağlanır. [CO_3] üçgenlere bağlanan [CuO_6] -oktahedra, [CO_3] 'ün ab-düzlemine yarı paralel ve kristalografik olarak ters düzenlemelerde olmasını kısıtlar (Gao vd., 2020).



Şekil 3.7. Malakit $Cu_2(CO_3)(OH)_2$ kristal yapısı (a) Yapısal birim, [CO3] üçgeni ile birbirine bağlanmış bir yüz yüze oryantasyona sahip iki tür [CuO6] oktahedral katmandan oluşur. (b) İki [CuO6] oktahedra kenar paylaşımlıdır ve bir köşe oksijen yoluyla başka bir çifte bağlanır. İki tür kristalografik olarak farklı hidrojen vardır; bunlardan biri bir köşe oksijen yoluyla bir [CuO6] çiftiyle, diğeri ise bir uç oksijenle bağlanmıştır(Gao vd., 2020).

Malakitin sertliği 3,5-4 arasında ve özgül ağırlığı 3,6-4,05 arasında değişmektedir. Azuritin kimyasal bileşimi %69,2 CuO, %25,6 CO_2, %5,6 H_2O ve % 55,3 Cu içermektedir. Malakitin kimyasal bileşimi ise % 71,9 CuO, %19,9 CO_2, %8,2 H_2O ve % 57,5 CuO içermektedir. Malakit ve azurit monoklinik kristal yapıya sahiptir (Karakaya ve Çelik, 1998).

Azurit ve malakit en çok Namibyai Fas, İngiltere, Burma, Yunanistan, Fransa,Güney Avustralya ve Yeni Gallerde bulunmaktadır (www.minerals.net).

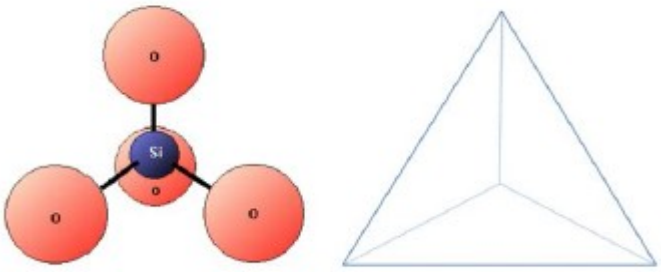
3.3.2. Rodokrozit

Rodokrozit süs taşı ticaretinde yaygın olmayan trigonal yapıda bir manganez karbonattır($MnCO_3$). Çekici bir pembe rengine sahip ve sertliği 3,5-4 civarındadır. (10¯11)’de bölünmesi mükemmeldir. Genellikle yarısaydam ve opak olarak ince agregalar olarak oluşmaktadır. İçerisinde bulunan safsızlıklardan dolayı üzerinde beyaz ve pembe desen

görülmektedir. Süs taşı kalitesinde rodokrozit Güney Afrika'daki Kalahari Çölü bölgesinde, Kolarado, Brezilya, Arjantin ve Çin'de bulunmaktadır (Zwan vd., 2018).

3.4. Silikatlar

Yerkabuğunun kayaçlarını oluşturan minerallerin büyük çoğunluğu silikat mineralleridir. Bunlar kuvars, feldispat, mika, amfibol, piroksen, olivin gibi mineralleri ve çok çeşitli kil minerallerini içerir. Tüm bu minerallerin yapı taşı, dört oksijen atomu ve bir silikon atomunun birleşimi olan silika tetrahedrondur. Bunlar, oksijen atomları aracılığıyla çizilen düzlemler bir tetrahedron oluşturacak şekilde düzenlenmiştir (Şekil 3.8). Silikon iyonunun yükü +4 olduğundan ve dört oksijen iyonunun her birinin yükü –2 olduğundan, silika tetrahedronun net yükü –4'tür (Earle,2015).



Şekil 3.8. Silika tetrahedron yapısı (Silisyum +4 yüke ve dört oksijenin her birinin yükü -2 olduğundan, silika tetrahedronun net yükü -4'tür)(Earle,2015).

SiO_2'nin özellikleri ve dünyada bol bulunması nedeniyle eski zamanlardan bu yana silika mineralleri, süs taşı olarak mücevherat sektöründe ve farklı uygulama alanlarında kullanılmaktadır. Endüstride hem tekli kuvars kristalleri hem de polikristal malzeme olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Bazı gelişmiş uygulamalar için sentetik kuvars kristallerinede ihtiyaç duyulmaktadır.

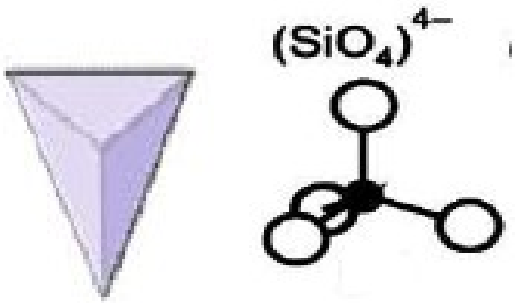
Silikat grubu mineralleri kristal yapıları göz önüne alınarak altıayrı sınıfa ayrılmıştır (Çizelge 3.4).

Nesosilikat yapısında SiO4-tetrahedra, karşılıklı oksijen iyonu ile sadece boşluklar arasındaki katyonlarla doğrudan bağlantılı değildir (Haldar, 2020). SiO_4^- tetrahederi birbiri ile ve aralarındaki bir katyonla iyonik bağ yapmaktadır (Karakaya, 1998). Paketlenmesinin iyi olmasından dolayı yüksek yoğunluğa ve yüksek sertliğe sahiptir Nesosilikatların en önemli örnekleri garnet grubu ve olivin grubu mineralleridir.

Çizelge 3.4. Silikat grubu minerallerin sınıfı, yaygın ismi, genel formülü, Si:O oranı ve örnekleri (Haldar, 2020).

Sınıf	Yaygın İsmi	Genel Formülü	Si:O Oranı	Örnek
Nesosilikatlar	Ada Silikatları	SiO_4	1:4	Olivin, Garnet
Sorosilikatlar	Çift Silikatlar	Si_2O_7	1:3:5	Epidot Grup
Inosilikatlar	Zincir Silikatlar	SiO_3 – Si_8O_{22}	1:3 yada 4:11	Piroksen ve Amfibol
Siklosilikatlar	Halka Silikatlar	Si_6O_{18}	1:3	Beril ve Turmalin
Filosilikatlar	Tabaka Silikatlar	Karmaşık ve Değişken	1:2:5	Mika ve Kil Mineralleri
Tektosilikatlar	Çerçeve Silikatlar	Karmaşık ve Değişken	1:2	Feldspat, Zeolit, Kuvars

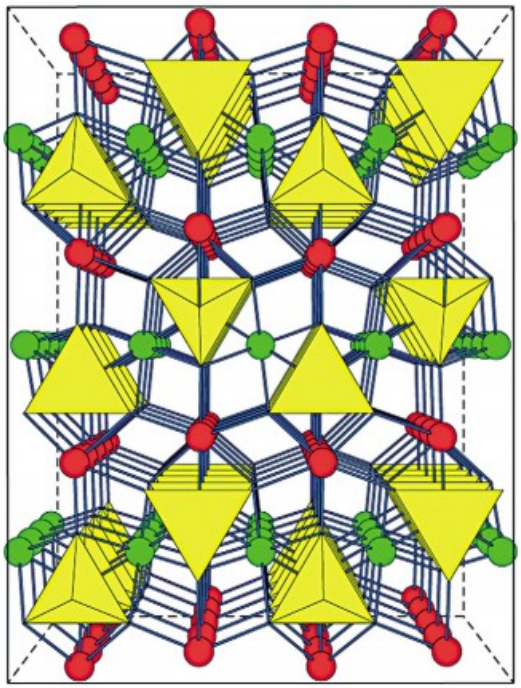
Şekil 3.9 ‘da nesosilikat sınıfının kristal yapısı görülmektedir.



Şekil 3.9. Nezosilikatın kristal yapısı (Haldar, 2020; Earle,2015).

Olivin kristalleri; ortorombik simetriye ve bağlayıcı oksijen atomlarını paylaşmayan tek SiO_4^- tetrahedrallerinin düzenlenmesi ile oluşan bir yapıya sahiptir. Olivin yapısının tetrahedral birimlerini oluşturan oksijen atomları x eksenine dik düzlemde düzenlenmiştir ve her düzlemde oksijen atomları hegzagonal olarak dizilmiştir. Tetrahedra, tetrahedrayı birbirine bağlayan eşdeğer olmayan iki katyon bölgesine sahiptir ve birim hücrenin x ve y yönlerinde dönüşümlü olarak yukarı ve aşağı olarak tetrahedrayı işaret etmektedir. Katyon alanlarının yarısı tetrehedral tabanları (M1) arasındaki bir simetri merkezinde, yarısı ise tetrehedral kenarları (M2) ve tabanları arasındaki düzlemde bulunmaktadır. Katyonların bulunduğu her bölge bitişik SiO_4^- tetrahedranın oksijen atomları ile altı bağlantı yapmasına rağmen, katyon bölgeleri geometrik olarak birbirinden ayrıdır (Şekil 3.10). Yüksek sıcaklıklarda hem M1 hem de M2 bölgelerinin

katyon-oksijen bağ uzunlukları artar ancak SiO_4^- tetrahedra bağ uzunluğu aynı kalır, buda Si-O bağ gücünün daha yüksek olduğunu gösterir. Doğal olivinlerde Mg^{+2} ve Fe^{+2} katyon bölgesi içerisine girer (Alderton, 2020). Benzer iyonik boyutları nedeniyle Mg^{+2} ve Fe^{+2} her iki katyon bölgesinde de bulunabilir. Olivinin içerisinde Ni, Ca, Co, Al, Cr, Li, Sc, V ve P elementleri bulunabilmektedir (Tollan vd., 2020).



Şekil 3.10. Olivinin kristal yapısı (Sarı renk ile gösterilenler SiO^-_4 tetrahedral yapıyı, kırmızı ve yeşil renk ile gösterilen iki farklı katyon bölgesini göstermektedir)(Alderton, 2020).

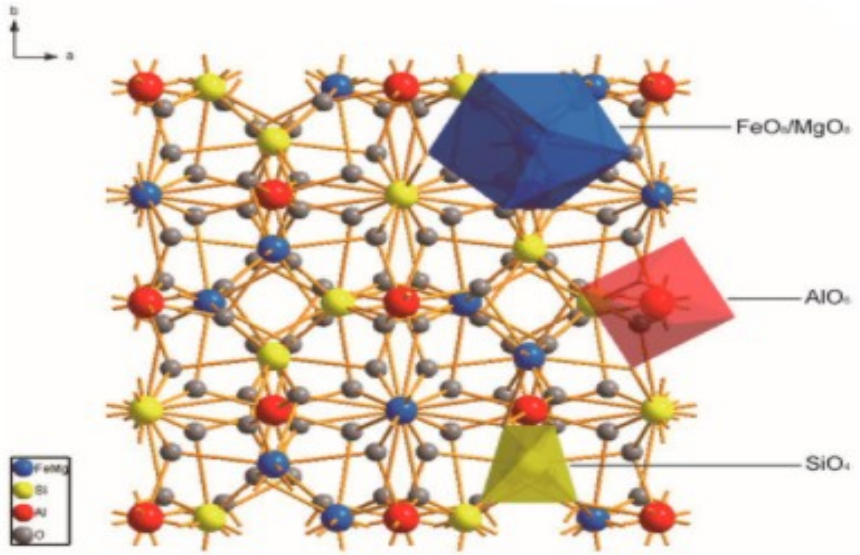
Olivin genellikle yeşil renklidir ancak sarı-yeşil, yeşilimsi sarı ve kahverengi de olabilmektedir. Sertliği 6,5-7 civarında ve özgül ağırlığı 3,2 ile 4,4 arasında değişmektedir (www.geology.com).

Garnet; Garnet grubu mineraller özellikle metamorfik kayaçlarda bulunmasına rağmen bazı magmatik ve tortul kayaçlarda da bulunmaktadır. Bu grubun altı önemli minerali vardır. Bunlar (Howie, 2005);

- Pirop $Mg_3Al_2Si_3O_{12}$
- Almandin $Fe_3^{+2}Al_2\ Si_3O_{12}$
- Spesartin $Mn_3Al_2\ Si_3O_{12}$
- Grassular $Ca_3Al_2\ Si_3O_{12}$

- Andradit $Ca_3(Fe^{+3}, Ti)_2Si_3O_{12}$
- Uvarorit $Ca_3Cr_2Si_3O_{12}$'dir.

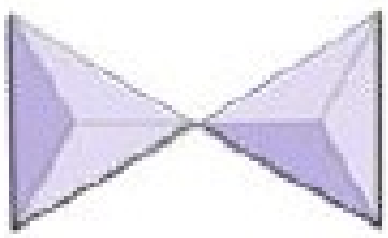
Kimyasal olarak garnet, Ca, Mg, Al, Mn, Fe, Cr, Ti ve silika içermektedir. Almandin granat grubunun en yaygın olanıdır ve diğerlerine nazaran daha büyük molekül içermektedir. Garnet $X_3Y_2(SiO_4)_3$ genel formülüne sahip nezosilikat grubu mineralidir. X olarak adlandırılanlar genel olarak iki değerlikli katyonlar (Ca^{+2}, Mg^{+2}, Fe^{+2}) Y olarak adlandırılanlar ise 3 değerlikli katyonlar (Al^{+3}, Fe^{+3}, Cr^{+3}) oktohedral ve tetrahedral çerçevede yer alırlar (Şekil 3.11). Garnetler en çok dokohedral (on iki yüzlü) kristal yapıda bulunurlar, fakat hepsi birbirine eşit ve dik üç eksene sahip izometrik sistemde yer almaktadırlar. Garnetler bölünme göstermezler bundan dolayı stres altında kırıldığı yada çatladığı zaman düzensiz parçalara ayrılmaktadırlar (Venkateswarulu vd., 2012).



Şekil 3.11. Garnetin kristal yapısı (Kaung vd., 2019).

Garnetlerin rengi değişkenlik göstermektedir. Pirop, Almandin ve Spesartin kırmızı, turuncu, kahverengi ve siyahın çeşitli tonlarında iken; Grosüler, Andradit ve Uvarorit yeşil, sarı, kahverengi ve siyah tonlarındadır (Alderton, 2020). Garnetin sertliği garnetin kimyasal formülündeki değişkenlik gibi 6,5 ile 7,5 arasında değişmektedir. Almadin ve Pirop 7-7,5 sertliğe, Andrarit ve Uvarorit 6,5-7 sertliğe, Grosular ve Spesartin ise 6,5 ile 7,5 arasında sertliğe sahiptir. Özgül ağırlığı ise 3,57 ile 4,20 arasındadır (www.geology.com).

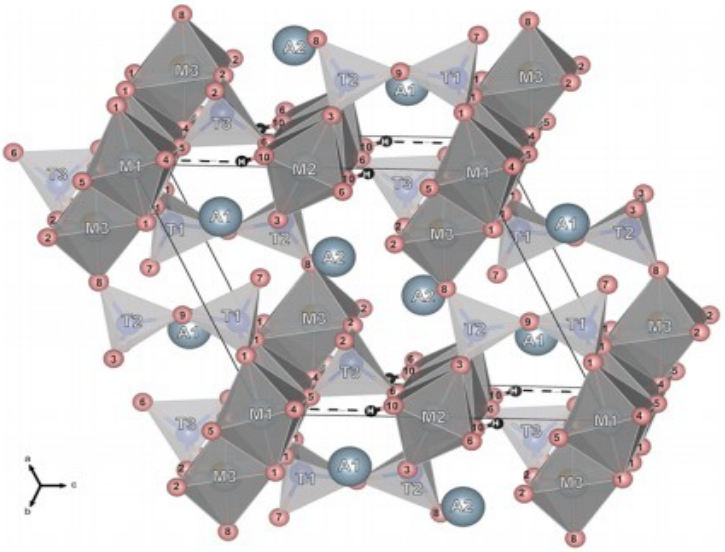
Çift Silikatlar (sorosilikat); $(Si_2O_7)^{-6}$ veya 2: 7 oranında izole edilmiş çift tetrahedra gruplarına sahiptir (Şekil 3.12). Sorosilikatlar arasında epidot, zoisit ve vesuvianit dışında önemli petrojenik mineraller yoktur.



Şekil 3.12.Çift silikatların kristal yapısı (Haldar, 2020).

Epidot [Ca_2Al_2 (Fe^{+3}; Al) (SiO_4) (Si_2O_7) O (OH)], alüminyumun bir kısmının üç değerlikli demir ile ikame edildiği bir kalsiyum alüminyum silikat mineralidir. Demir sadece% 10 Al ile değiştirirse, beyaz renge sahip olur ve klinozoisit olarak adlandırılır. Eğer Fe % 10 ile %40 arasında alüminyum ile yer değiştirirse, sarı ve koyu gri tonları ile tipik bir yeşil renge sahip olur. Epidot, monoklinik sistemde kristalleşir. Kristaller prizmatiktir, uzama yönü tek simetri düzlemine diktir. Hidrotermal koşullarda düşük ve yüksek sıcaklıklarda (100 °C - 450 °C) su buharı varlığında oluşur ve dinamik ve temas metamorfizmasında meydana gelebilir. Epidot, magmatik kayaçların bir bileşenidir (Haldar, 2020).

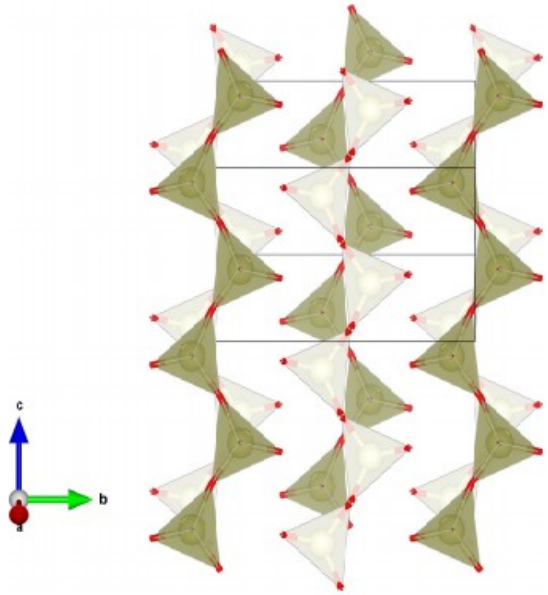
Yapısal olarak oktahedra iki zincir halinde düzenlenmiştir. Birinci zincirde zikzak düzenlemesi oluşturmak amacıyla her iki tarafa dönüşümlü olarak eklenen M1 oktahedra ile M3 oktahedrayı paylaşan kenarlar içermektedir (Şekil 3.13). İkinci zincir ise sadece kenar paylaşan M2 oktahedrayı içermektedir. M1,M2 ve M3 farklı boyuttadır ve Fe^{+3} ilk aşamada M3 yapısının içerisine girer ardından M1bölgesineyerleşir, ancak M2 bölgesinde sadece Al bulunmaktadır. Kafes parametreleri Fe içeriği ile ilişkilidir. Kafes parametresi olan a, b ve c uzunlukları Fe miktarının artması ile artar. A ve c'nin uzunlukları yaklaşık olarak aynı büyüklükte artarken, b uzunluğu bunlara göre iki kat daha fazla artar (White vd., 2017).



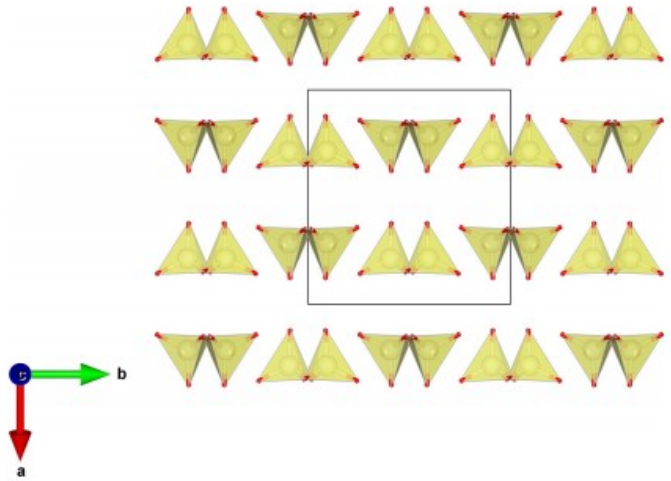
Şekil 3.13. Epidot'un kristal yapısı (White vd., 2017).

Zincir Silkatlar (ınosilikat); tek zincirler için SiO_3 1:3, çift zincirler için Si_4O_{11} 4:11oranında birbirine kenetlenen silikat tetrahedra zincirlerine sahiptir. Tek zincirli olanlar piroksen grubunda iken çift zincirliler amfibol grubudur.

Piroksenler, inosilikatlar olarak sınıflandırılan kaya oluşturan minerallerdir. Yapıları, dört oksijen atomu ile çevrelenmiş silikonun birbirine kenetlenmiş zincirlerine dayanmaktadır. Her Si ve O grubu genellikle, ideal çok yüzlü şekle göretetrahedron yapıdadır. Aslında, bir dörtyüzlünün yüzleri eşkenar üçgenler iken, $[SiO_4]^-$ silikatların çok yüzlü yüzleri zorunlu olarak eşkenar değildir. Bu yapı birçokyüzlü disfenoid olarak adlandırılır. Zincir yolu boyunca piroksenlerde iki tetrahedra yapı vardır. Aynı zincirdeki tüm tetrahedralar, tetrahedronun dördüncü tepe (tepe oksijen atomu) ve taban (taban oksijen atomu) ile oluşturulan üç köşeli izoyönelimlidir. Üç taban oksijen atomundan biri, her iki tetrahedra arasında paylaşılır. Komşu zincirler dönüşümlü olarak tabanları ya da uçları birbirine bakacak şekilde yönlendirilebilir ve iki zincir arasında çeşitli katyonlar bulunabilir (Şekil 3.14 ve Şekil 3.15) (Nespolo, 2020).



Şekil 3.14. Bir boyunca görülen $[SiO4]^{-4}$tetrahedra zincirleri (disfenoid olarak adlandırılır) Küçük kırmızı daireler oksijen atomlarıdır(Nespolo, 2020).



Şekil 3.15. C boyunca görülen $[SiO4]^{-4}$tetrahedra (aslında disfenoidler) zincirleri (Nespolo,2020).

Alkali piroksenler, kristalleşen ortamda bol miktarda sodyum gerektirir; bu nedenle granitler, siyenitler ve nefelin siyenitleri gibi alkali kayalar ve bunlara karşılık gelen volkanik kayalar: riyolitler, trakitler ve fonolitler için tipiktirler. Genellikle alkali amfibollerle iç içe büyürler.

Jadeit, $NaAlSi_2O_6$ kimyasal formülüne sahip, yüksek basınç ve yüksek sıcaklık metamorfizması sonucu oluşan nadir bir mineraldir, eşitlik 3.2'de görüldüğü gibi albit ve nefelin birleşerek jadeiti oluşturmaktadır.

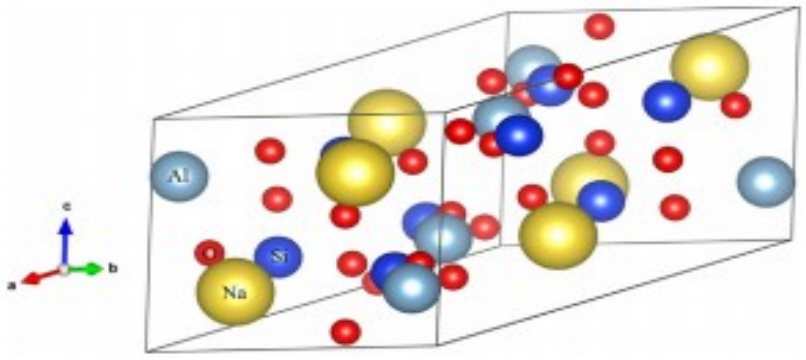
$$NaAlSiO_4 + NaAlSi_3O_8 \leftrightarrows 2NaAlSi_2O_6 \quad (3.2).$$

(Albit) (Nefelin) (Jadeit)

Jadeitin bileşimi albit ve nefelin arasındadır. Ortam koşullarında jadeit kristalleşmez, kristalleşmesi için yüksek basınca ihtiyaç duyulmaktadır. Jadeit yeşim taşı adı altında bilinen iki süs taşından biridir. Diğeri ise nefritir. Ancak jadeit daha nadir bulunur ve bundan dolayı daha değerlidir (Nespolo, 2020).

Jadeit, süs taşı kalitesine sahip bir tür polikristalin agregadır. Kimyasal formülü $NaAlSi_2O_6$'dır ve ağırlıkça% 59,4 SiO_2, %25,2 Al_2O_3 ve % 15,4 Na_2O'dan oluşmaktadır. Dikey ve yatay olarak örülmüş çok sayıda küçük lifli kristalden oluşan yoğun bir kompakt yapı, jadeite yüksek sertlik ve yüksek tokluk özellikleri sağlar (Zhao vd., 2018). Renksiz olan jadeitte herhangi bir pigment iyonu bulunmamaktadır. Yeşil renkli jadeitte ise renk sağlayıcı olarak Cr atomu bulunmaktadır. Ayrıca mor renkli jadeit ise Mn atomundan kaynaklanmaktadır (Zhao vd., 2018).

Jadeit (uzay grubu C2 / c), paralel olarak sekiz yüzlü olarak koordine edilmiş alüminyum tabakalarından ve c eksenine paralel uzanan SiO_4 tetrahedral zincirlerle birbirine bağlanmış sekiz bağlı sodyum polihedradan oluşur. Jadeitin kristal yapı özellikleri Şekil 3.16' da gösterilmektedir (Yang vd., 2015).



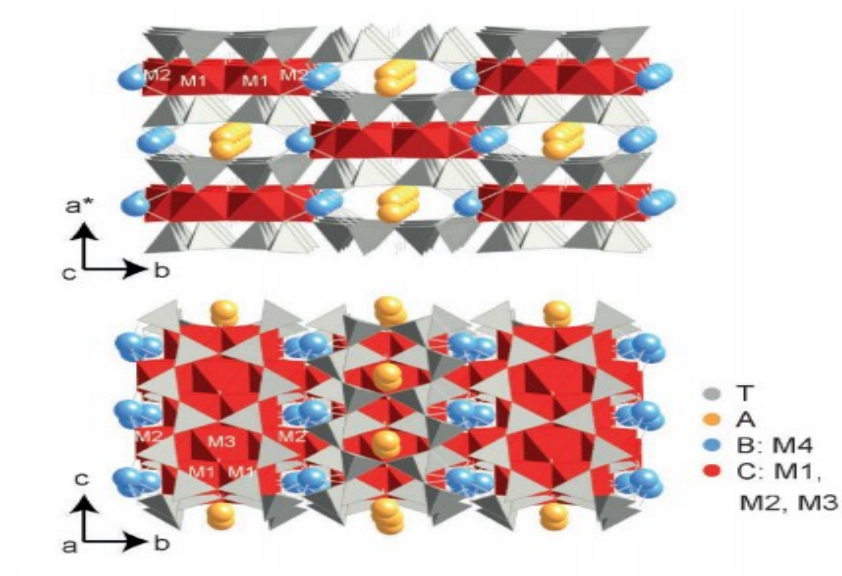
Şekil 3.16. Jadeitin kristal yapısı (Sarı renk Na, Mavi renk Al ve kırmızı renk O atomunu simgeler)(Yang vd., 2015).

Amfiboller; bileşimsel olarak en çeşitli mineral gruplarından biridir ve bu çeşitlilik, oluştukları granitler, peralkalin diyoritler, peridotit ve yüzeye yakın hidrotermal olarak

değiştirilmiş sedimanlar arasında değişen çok farklı kayaç türlerinden kaynaklanmaktadır. Bu bileşimsel çeşitliliğin ana sebebi, kristalografik bölgesinde bulunan Be'den Pb'ye kadar değişen katyon çeşitliliği ve çok farklı atomik boyut ve elektronik konfigürasyonda ki bileşenlerin yapısında bulunması ile ilgilidir. Amfibol yapısında bulunan çok çeşitli katyonlara ek olarak, F, Cl ve OH'yi içeren anyonda yapısında bulunmkatadır (Welch, 2020).

Amfibol $A_{0\text{-}1}B_2C_5T_8O_{22}(OH, F, Cl)_2$ genel formülüne sahip ınosilikattır. Bu genel formülde A; Na ve K'yı simgeler. B; Ca, Na, Fe^{+2}, Mn, Li, Mg'u gösterir. C ise Mg, Fe^{+2}, Fe^{+3}, Al, Ti, Mn, Ni, Cr, Li, Zn'u göstemektedir. T ile ifade edilen ise Al ve Si'dır. Amfibolleri tanımlatan ana yapısal öğe $[(T_4O_{11})^{-6}]_n$Al ve Si tetrahedral olarak koordine edilmiş çift zincirleridir. Aynı çift zincirli tüm tetrahedralar aynı yöne bakarken, karşıt yöndeki iki çift zincir oktohedral olarak koordine edilmiş katyonlardan oluşan bir bağ ile başlanmaktadır (Şekil 3.17). Bu katyonlar, bulunduğu yere göre oktahedranın değişken distorsiyonlarına sahip üç bölgeden (M1, M2 ve M3 ile adlandırılan) birinin içinde bulunur. M3 oktahedra, bitişik oktahedra ile altı kenarı paylaşır, M2 alanları sekiz yüzlü üç kenarı ve iki M4 polihedranın her biri ile bir kenarı paylaşır. M1, oktahedra ile beş kenarı ve M4 polihedron ile birini paylaşır. M1, M2 ve M3 bölgesinin boyutları, belirli bir bölgenin barındırdığı katyonun yarıçapına bağlıdır. Ek olarak, M1 ve M3 oktahedra boyutları da $(OH)^-$, F^- ve Cl^- miktarından etkilenir. İki tetrahedra çift zincir ve oktahedral şerit, I-kirişler olarak adlandırılanları oluşturur. Komşu kirişler, M4 (B) ve A bölgelerindeki katyonlarla bağlanır. M4 bölgesindeki katyonlar genellikle altı kattan daha yüksek bir koordinasyona sahiptir ve koordinasyon sayısı katyonun büyüklüğüne göre belirlenir. A bölgesi çevreleyen 12 oksijen atomuyla koordine edilir ve boş, kısmen dolu veya dolu olabilir (Biederman vd., 2015).

Siklosilikatlar veya halka silikatlar; 1:3 oranında ya da $(Si_xO_{3x})^{-2}$ tetrahedra halka oluşturacak şekilde bağlanmıştır. Bu mineral grupları, üç üyeli olarak $(Si_3O_9)^{-6}$, dört üyeli olarak $(Si_4O_{12})^{-8}$ ve altı üyeli olarak $(Si_6O_{18})^{-12}$ olarak halka şeklinde bulunurlar. Üç üyeli olarak; Bentonit ($BaTi(Si_3O_9)$), dört üyeli olarak; Aksinit [$(Ca, Fe, Mn)_3Al_2(BO_3)(Si_4O_{12})(OH)$], altı üyeli olarak ise; Beril (zümrüt) ($Be_3Al_2(Si_6O_{18})$, Kordiyerit $(Mg, Fe)_2Al_3(Si_5AlO_{18})$ ve Turmalin $((Na, Ca)\ (Al, Li, Mg)_3\ (Al, Fe, Mn)_6\ (Si_6O_{18})\ (BO_3)_3\ (OH)_4$) örnek olarak verilebilir (Haldar, 2020).



Şekil 3.17. Amfibollerin kristal yapıları ve konumları (Biederman vd., 2015).

Halka silikat grubunda altı üyeli olanlar en önemli minerallerdir. Özellikle beril ve turmalin süs taşı olarak kullanılan en önemli öğelerdendir.

Turmalin, çevrenin korunması için termal enerjinin toplanması veya yeni enerji, termoelektrik malzeme ve mücevher gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılan piroelektrik bir malzemedir (Nakamura ve Kubo, 1992; Lang, 2004; Xie vd., 2017; Wu vd., 2016, Huang vd., 2016).

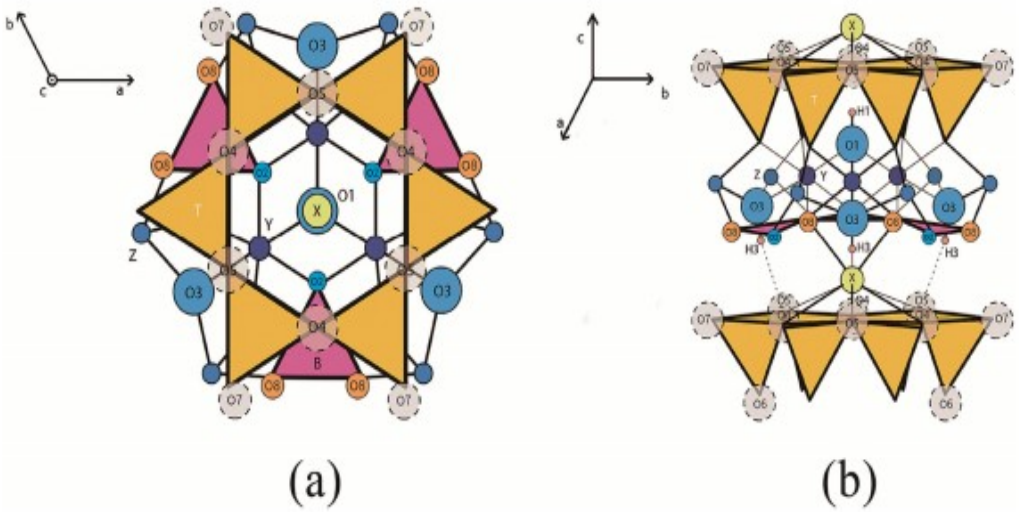
Turmalin, çok çeşitli jeolojik ortamlarda bazı granitik kayalarda ve hidrotermal birikintilerde yaygın olarak bulunan bir mineraldir. Kimyasal çeşitliliği, geniş stabilite aralığı, düşük element difüzyon hızı ve değişime karşı direnci nedeniyle, turmalin, oluştuğu magma veya hidrotermal sıvı hakkında kompozisyon bilgilerini saklı tutmaktadır (Qiao vd., 2019). Turmalin yüksek miktarda bor içeren bir borosilikat mineralidir. Kimyasal formülü $XY_3Z_6(T_6O_{18})(BO_3)_3V_3W$'tür. Bu formülde X: Na, K, Ca; Y: Fe, Mg, Al, Zn, Li, Ti; Z: Al, Fe, Cr, V; T: Al, Si; V: OH, O; W: OH, O ve F'yi temsil etmektedir (Yu vd., 2018).

Turmalin renksizden, kırmızı, pembe, sarı, turuncu, yeşil, mavi ve menekşe rengine kadar değişen özellikle renk yelpazesi ile ünlü bir mineraldir. Turmalinde renk değişikliğine sebep olanlar kristal alan geçişleri, aralıklı yük transfer etkileşimleri ve renk merkezleridir. Geçiş elementleri Fe^{+2}, Fe^{+3}, Mn^{+2}, Mn^{+3}, Ti^{+4}, Cu^{+2}, V^{+3} turmalinde önemli renk oluşturan madde ya da kramofor olarak rol oynar. Renge sebep olan bu atomlar Y ve Z paylaşmlı

oktohedral bölgelerin içine girer, kristal alan etileşimleri ve aralıklı yük transfer etkileşimleri turmalinin renk yoğunluğunu etkilemektedir. Turmalin 1.61- 1.67 arasında orta dereceli kırılma indisine ve Mohs Sertlik Skalasına göre 7.5 sertliğe sahip bir mineraldir (Pezzotta ve Lours, 2011).

Turmalin Kalifornia, Kanada, Kenya, Brezilya, Madagaskar, Mozambik, Nijerya, Tanzanya, Zambiya, İtalya, Rusya, Afganistan, Myanmar, Pakistan ve Sri Lanka'da bulunmaktadır.

Turmalinin kristal yapısı, R3m uzay grubu ile trigonal sistemdir. Genel olarak turmalinin kristal yapısı, farklı pozisyonlarda metal katyonlardan ve etraflarındaki anyonlardan oluşan farklı koordinasyonlu polihedralar ile tanımlanır. Bu iyonik gruplardaki ideal katyon yükleri sırasıyla +1, +2, +3 ve +4'tür. Şekil 3.18'de gösterildiği gibi [BO_3] ve [SiO_4] grubu üçgen olarak gösterilmektedir ve altı üyeli halka içerisinde tetrahedral olarak gösterilmektedir. [BO_3] grubu X ve Y oktohedra ile bağlantılı olan altı üyeli halka içinde eğik bir biçimde yerleşmiştir. Kimyasal formülde yer alan W merkezde c bölgesi boyunca yerleşmiş ve V (kristalografik verilerde O3 olarak belirtilen), [ZO_6], [YO_6] oktahedron tarafından paylaşılmaktadır. Turmalinin birim hücresinde dokuz [BO_3] polihedra, onsekiz [TO_4] tetrahedra, onsekiz [ZO_6] oktahedra, dokuz [YO_5] oktahedra ve üç [XO_9] polihedra yer almaktadır (Zhou vd., 2018).

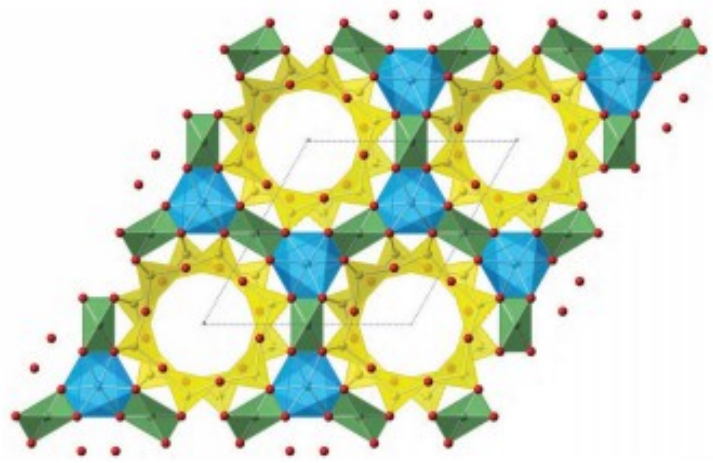


Şekil 3.18. Turmalinin kristal yapısının şematik diagramı (a) normal, (b) c-Eksenine göre paralel (Zhou vd., 2018).

Beril; Siklosilikat mineral grubu üyesi ve kimyasal formülü $Be_3Al_2Si_6O_{18}$ olan, berilyumun en yaygın mineralidir. Be tetrahedra ve Al oktahedra ile birbirine bağlanan Si tetrahedradan oluşan bir halka yapıya sahiptir. Kristal kafese çeşitli başka atomlarda dahil olabilir, bu durum yapısal bozulmaya neden olmaktadır. Örneğin, Li, tetrahedral bölgede Be'nin yerini alabilirken, üç değerlikli olan Fe^{+3}, Sc^{+3}, Cr^{+3} veya V^{+3} veya iki değerlikli Fe^{+2}, Mg^{+2} veya Mn^{+2}katyonlar, oktahedral bölgede Al'in yerini alabilir. Yerine geçme sırasında, bağlantı yerlerinde tek değerlikli katyonların (Na^{+}, Rb^{+}, K^{+} veya Cs^{+}) dahil edilmesi yoluyla yük dengesi korunur (Lum vd., 2016).

Saf beril renksizdir. Berilin yeşil çeşidi olan zümrüt, rengini oktahedral bölgede bulunan Al atomunun yerine geçen Cr veya V atomundan almaktadır. Sc'de minerallere soluk yeşil renk veren bir atomdur. Zümrütte yer alan Cr, V ve Sc atom konsantrasyonun miktarı eser element aralığında bulunmaktadır (Aurisicchio vd., 2018). Berilin diğer çeşitleri ise mavi renkte demir katkılı olan akuamarin, sarı renkte demir katkılı olan helidor, pembe renkte mangan katkılı olan ise morganittir (Lum vd., 2016).

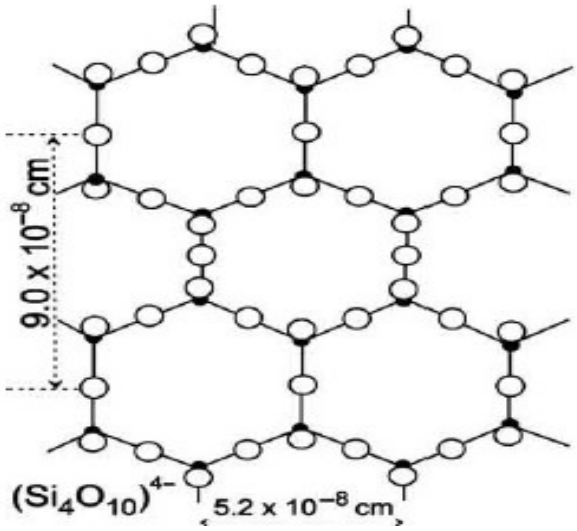
Beril hekzagonal kristal yapısına sahiptir. P6/m2/c2/c uzay grubunda ve 6/m2/m2/m nokta grubunda kristalleşir (Groat vd., 2008). Şekil 3.19'da gösterilen berilin kristal yapısı AlO_6 oktahedra, BeO_4 ve SiO_4 tetrahedradan oluşmaktadır. SiO_4 tetrahedral halkaları c eksenine paralel bağlantı oluşturur ve Be tetrahedral bölge ve Al oktohedral bölgeler ile bağlantılıdır (Fridrichová vd., 2018).



Şekil 3.19. Berilin kristal yapısı (c eksenine paralel; Sarı renk ile gösterilen Si, yeşil renk ile gösterilen Be, Mavi renk ile gösterilen Al, Kırmızı renk ile gösterilen O) (Anovitz vd., 2013).

Beril Brezilya, Güney Afrika, Myanmar, Rusya, Ukrayna, Kanada, Çin, Amerika Bileşik Devletleri ve Afganistan'da bulunmaktadır (Hu ve Lu, 2020). Beril grubuna ait olan zümrüt hem çok değerli bir süs taşı olmasının yanı sıra ayarlanabilir laser kristali olarak da bilinmektedir (Mei vd.,2016). Berilin kırılma indisi 2,6 ile 2,8 arasında değişmektedir. Berilin mohs sertlik ölçeğine göre sertliği 7,5 ile 8 arasında değişen sert bir mineraldir (www. geology.com).

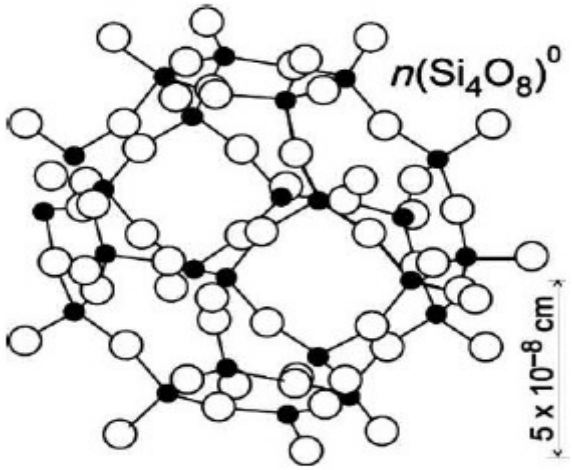
Filosilikatların temel yapısı, sonsuz tabakalar halinde dışa doğru uzanan birbirine bağlı altı üyeli SiO_4^{-4} tetrahedra halkalarından oluşmaktadır. Her bir tetrahedra yapısında bulunan dört oksijenden üçü, Şekil 3.20 'de gösterildiği gibi diğer tetrahedrallerle paylaşılır. Filosilikatlar arasında en önemli petrojenik mineraller talk-pirofillit, mika, klorit, vermikülit, smektit ve kaolinit-serpantindir(Haldar, 2020).



Şekil 3.20. Filosilikatların temel yapısı (Haldar, 2020).

Tektosilikatlar, SiO_4 veya SiO_4 ve AlO_4 tetraederlerinin bütün oksijenlerini diğer tetraederlerle paylaşarak üç boyutlu bir yapı oluştururlar. Yapıda Al bulunduğu zaman Si: Al oranı 3:1 yada 1:1 olur. Bu durumda Si_3AlO_8 veya $SiAlO_4$ şeklinde ifade edilir. Si/Al+O oranı her zaman 1:2'dir. Bundan dolayı diğer silikat gruplarından ziyade SiO_2 yapısına yakındır (Karakaya ve Çelik, 1998). Tektosilikatlar, $[Al_xSi_yO_{2(x+y)}]^{-x}$, karmaşık bir çerçeve oluşturan her

yönde dışa doğru giden birbirine bağlı tetrahedronlardan oluşur (Şekil 3.21). Tektoslikatlar dört gruba ayrılmaktadır. Bunlar SiO_2 grubu, Zeolit grubu, feldspat grubu ve feldspatoid grubudur.



Şekil 3.21. Tektosilikat yapısı, karmaşık bir çerçeve oluşturan her yönden dışa doğru giden birbirine bağlı tetrahedronlardan oluşur (Haldar, 2020).

SiO_2 grubu; SiO_2 farklı kristal yapılarda bulunmaktadır. Bunlar düşük kuvars (α kuvars), yüksek kuvars (β kuvars), tridimit, kristobalit ve amorf yapıda olan opaldir. α kuvars kıta kabuğundaki en genel mineraldir ve en sık karşılaşılan polimorftur. α kristobalit genellikle seramik endüstrisinde karşımıza çıkmaktadır. Kristal yapılarda, farklı bağ uzunluklarına ve bağ açılarına sahip silikon ve oksijen bağı her zaman rastgele bir modelde kırılır. α Kuvars ve α kristobalitin kristal yapılarındaki farklı atomik düzenleme ve Si- O bağı bölünmesinin farklı biçimleri yüzey mikroyapısında farklılıklara sebep olur (Tang vd., 2015).

Tektosilikat grubuna ait önemli süs taşları özellikle SiO_2 grubunda görülmektedir. SiO_2 grubu üçe ayrılmaktadır. Çizelge 3.5'de SiO_2 grubu ve bu gruba ait süs taşları görülmektedir.

Çizelge 3.5. SiO_2 grubu süs taşları (Balasubramanian, 2017).

SiO_2 Grubu		
Kristal	KriptoKristal	Amorf
✓ Ametist	✓ Agat	✓ Opal
✓ Süt Kuvars	✓ Kalsedon	
✓ Dumanlı Kuvars	✓ Jasper	
✓ Sitrin	✓ Oniks	
✓ Mavi Kuvars	✓ Kaplan Gözü	
✓ Gül Kuvars	✓ Karmelian	
✓ Aventurin	✓ Krizopras	

Kristal kuvars çeşidi süs taşları; ametist, dumanlı kuvars, pembe(gül) kuvars, mavi kuvars, süt kuvars, sitrin ve aventurindir. Ametist, renkli alfa kuvarsın en popüler çeşididir (Dumanska-Slowik vd., 2017). Karakteristik kırmızı-mor renkli bu taş, antik çağlardan beri çukur işlemeli mücevherler için kullanılmıştır. Yoğun bir renge sahip olmasına rağmen, ametistteki Si bölgelerinin içine nüfus eden Fe içeriği 10-100 ppm aralığında oldukça düşük miktardadır.

Ametist Türkiye'de Balıkesir Dursunbey bölgesinde (Korkut vd., 2011), Brezilya (Baggio vd., 2015), Uruguay, Arjantin, Paraguay (Pertille vd., 2013)'da bolca bulunan bir süs taşıdır. Gül kuvarsta içerisinde bulunan safsızlıklardan dolayı pembe renkli bir süs taşıdır. Yapılan ilk çalışmalarda gül kuvarsa rengini veren Mn atomu olduğu söylenmişti daha sonra yapılan çalışmalarda ise;

$$Fe^{+2} + Ti^{+4} = Fe^{+3} + Ti^{+3}$$

arasında gerçekleşen yük transferinden dolayı renk oluşumu olduğu söylenmiştir (Kibar vd., 2007). Gül kuvars pegmatitlerde, granitik pegmatitlerde ve masif damarlar içerisinde oluşmaktadır. Brezilya, Amerika Bileşik Devletleri, Madagaskar, Nambia, Rusya, Arjantin, Norveç Finlandiya, Almanya ve Çin'de gül kuvars çıkarılmaktadır (Goreva vd., 2001).

Mavi kuvarsın rengi yönlendirilmiş rutilkristallerinin Rayleigh saçılma etkisinden kaynaklanmaktadır (Kuk ve Jin, 1999). Minerallerde, ışığın elastik saçılması olan Rayleigh saçılması nanometre boyutundaki kapanımlar ile üretilir. Mavi rengin yoğunluğu partikül boyutuna, uzamsal yoğunluğa ve arka planın parlaklığına bağlıdır (arka plan ne kadar koyu, renk o kadar yoğun). Arka planın görünen parlaklığı, kırılma derecesinden veya tane boyutundan etkilenebilir. Albeşti granitinde olduğu gibi, kuvars tanelerinin rengi, biyotit gibi koyu bir arka plan üzerinde gözlendiğinde daha koyu görünür. Bununla birlikte, kırık kuvars kristalleri veya milimetre boyutunda tanecik kümeleri gözlendiğinde, mavi renk daha açık bir tonda görünmektedir. Kırılma düzlemleri veya tane sınırları, ışığın bir kısmını yansıtan ve dolayısıyla ikincil ışık kaynakları olarak işlev gören süreksizlikleri temsil eder. Bu durumda, gözlenen renk, süreksizlik yüzeyinden gözlemciye geçen iletilen ışıktan az miktarda kırmızımsı-turuncu renkle karıştırılan mavi rengin yansıyan ışıkta bir kombinasyonudur (Lulian ve Elena, 2019). Mavi kuvarslar metamorfik, magmatik ve hidrotermal kökenli olabilir.

Süt kuvars; pegmatitlerde ve hidrotermal damarlarda bulunan başka bir kristal kuvars çeşididir. Renk genellikle kristaldeki çok sayıda gaz ve sıvıdan kaynaklanır (Balasubramanian, 2017).

Dumanlı kuvars, süs taşı olarak kullanılan tektosilikat grubuna ait bir silikattır. Bu kuvars çeşidinin Alp damarlarında görülmesi Orta Avrupa'daki Alpler ve Karpatlar boyunca yaygındır. Bu tür mineralizasyondan elde edilen dumanlı kuvars takı amaçlı kullanılabilir. Süs taşı kalitesindeki dumanlı kuvars, Brezilya, Amerika Bileşik Devletleri, Avustralya, Madagaskar, Namibya, Rusya, İskoçya, İsviçre ve Avusturya'da bulunmaktadır. Kristalleri üç köşeli ve ikili prizmatik şekle sahiptir. Dumanlı kuvarsın siyah ve kahverenkli olmasını sağlayan Al atomlarıdır.

Sitrin; doğal halde nadir bulunan silikat grubu bir süs taşıdır. Şeffaf, soluk sarıdan kahverengiye kadar değişen bir renge sahiptir. Nadir bulunan bir süs taşı olması nedeniyle sentetik olarak süs taşı piyasasında çoğunlukla bulunmaktadır. Ayrıca ametistin tedavisi yöntemiyle yani ısıl işlem uygulayarak sitrin elde edilmektedir (Ying vd., 2018). Sitrinin sahip olduğu sarı renk, bünyesinde eser miktarda bulunan Fe^{+3}'den kaynaklanmaktadır (Hutton, 1964). Sitrin, Angola, Arjantin, Avustralya, Avusturya, Brezilya, Kanada, Çin, Kolombiya, Çek Cumhuriyeti, Almanya, Kongo, Yunanistan, Macaristan, Hindistan, Kazakistan, Madagaskar, Meksika, Morocca, Mozambik, Mynmar, Namibya, Norveç, Peru, Portekiz, Polonya, Romanya, Rusya, Slovakya, İspanya, Güney Afrika, Ukrayna, Amerika Bileşik Devletleri, Birleşik Krallık, Vietnam ve Zambiya'da bulunmaktadır (www.mindat.org).

Aventurin; yeşil krom içeren muskovit, mika ve fuksitin platey kristallerini içeren bir kuvars çeşididir.Süs taşı olarak kullanılmasının yanı sıra kase vazo gibi süs eşyalarının yapımındada kullanılan bir mineraldir (Monreo, 1986). Aventurin genellikle yeşil renklidir ancak turuncu, sarı, kırmızı, kahverengi, beyaz, gri ve mavi renklide olabilir. Lepidolit mika pulları pembe, kırmızı veya mor bir renk verebilir. Hematit ve götit pembe, turuncu, kırmızı ve kahverengi aventurin oluşmasına neden olabilir. Muskovit ve ilmenit gri, sarımsı veya simli aventurine sebep olmaktadır. Parlak yansımalar ve çekici renkler, aventurini popüler bir süstaşı yapmaktadır. Aventurin en çok Hindistan'da bulunmaktadır bundan dolayı Hindistan jadesi diye adlandırılmatadır. Hindistan'dan ziyade Brezilya, Avusturya, Tanzanya, Rusya ve İspanya'da da aventurine rastlanmaktadır (www.geology.com).

Kriptokristalin kuvars grubuna ait süs taşları; agat, kalsedon, karnelian, jasper, oniks, kaplan gözü ve krizoprastır.

Agat; farklı renklerde bulunması ve mükemmel formları sayesinde etkileyici bir süs taşıdır. Agatlar SiO_2 kimyasal formülüne sahip bantlı kalsedondur. SiO_2 ana bileşen olmasının yanında Al, Fe, K, Na ve Ca gibi eser elementlerde bulunmaktadır (Götze vd., 2012). Agatlar, kalsedonik silika bileşenleri olan, lifli ve kısmen granüler silika partikülleri olan mikroskobik

partiküllerden oluşan bir kriptokristalin yapıya sahiptir. Bu nedenle agatlar, çeşitli mikrokristalin kuvars mineralleri olarak sınıflandırılır (Çalık ve Arzoğulları, 2014).Agatlar renk ve yüzeylerindeki yapıların oluşmasına neden olan sıvı kapanımlar içermektedir (Götze vd., 2012).Agatlar en çok volkanik kayaçlarda bulunmaktadır. Agat oluşumları SiO_2 bakımından zengin riyolit ve riyodasitler ile SiO_2 bakımından fakir andezit ve bazaltlarda oluşmaktadır (vd.,2016).Agatlar Türkiye'de Ankara Çubuk bölgesinde (Hatipoğlu vd., 2011a), Eskişehir Dereyalak bölgesinde (Çalık ve Arzoğulları, 2014)'de bulunmaktadır. Dünyada agat oluşumları Brezilya, Uruguay, Arjantin, Amerika Bileşik Devletleri, İskoçya, Almanya, Moracco ve İngiltere'de görülmektedir (Çalık ve Arzoğulları, 2014).

Kalsedon, SiO_2 kimyasal formülüne sahip kriptokristalin kuvars sınıfına ait bir mineraldir. Lifli bir yapıda 50-100 nm boyutunda α kuvars kristallerine sahiptir. Kalsedonun birçok türü bulunmaktadır. Ancak mavi kalsedonun nadir bulunması ve çekici bir görünüme sahip olmasından dolayı süs taşı olarak kullanılmaktadır. Süs taşı kalitesinde olan mavi kalsedon oluşumları Türkiye'de Eskişehir-Sarıcakaya bölgesinde yer almaktadır. Mavi kalsedon tortul dijenez merkezli düşük sıcaklık ve düşük basınç koşulları ile oluşmaktadır(Hatipoğlu, 2010a). Kalsedon içerisinde bulunan safsızlıklara göre renklenmektedir Örneğin karnelian kırmızı renkli bir kalsedondur. Yapısında bulunan demir oksitten dolayı kırmızı renk almaktadır (www.britannica.com).

Jasper; kalsedon grubuna ait opak bir mineraldir. İçerisinde bulunan safsızlıklardan dolayı yeşil, kırmızı, kahverengi ve sarı renge sahiptir (Teixeira ve Caldas, 2014). Yaygın olarak bulunan bir mineraldir. Rusya, Kazakistan, Endonezya, Rusya, Mısır, Madagaskar, Avustralya, Venezuella, Brezilya, Uruguay ve Amerika Bileşik Devletleri'nde yaygın olarak bulunmaktadır (www.minerals.net).

Oniks; kuvarsın bir türü olan kalsedon grubuna ait bir süs taşıdır. Siyah renkli opak bir süs taşıdır. Oniks mermerden daha asil bir taş olduğu düşünülmektedir (Teixeira vd., 2011). Oniks; Hindistan, Brezilya ve Uruguay'da bulunmaktadır.

Kaplan gözü; Batı Avustralya'nın Pilbara bölgesindeki renkli kayaçlar denizlerde biriken demir bakımından zengin tortulardan oluşmuştur. Milyonlarca yıl sonra, tortular burada kırmızı-turuncu, gümüş ve yeşil bantlar olarak görülen hematit, manyetit ve jasper katmanlarını oluşturarak kristalleşmiştir. Tektonik aktiviteler kayacı ayırarak lifli krosidolit ile dolu olan çatlaklara sebep olmuştur. Lifler kristalleşirken, kuvars tarafından etrafı sarılmıştır. Demir oksitler de kuvars tarafından hapsedilmiş ve bu sayede altın rengi almıştır (www.gia.edu).Bu

oluşan bantlar sayesinde ışığın geldiği yerde farklı bantların yansıması sonucu renk oluşumu görülmektedir (Heaney ve Fisher, 2003). İpeksi bir parlaklığı bulunmaktadır.

Krizopraz, yeşil renkli bir kriptokristalin bir kuvars türüdür. Mikrofibröz yapıdadır ve içinde ince taneli kuvars bulunmaktadır (Hatipoğlu, 2011b). Krizoprasa yeşil rengini veren içerisinde bulunan Ni atomlarının varlığıdır (Ayvacıklı vd., 2012). Avustralya, Polonya, Kazakistan, Brezilya, Tanzanya ve Türkiye'de (Biga-Çanakkale) bulunmaktadır.

Opal, tipik olarak çapı 150 ila 400 nm arasında silika küreleri içeren amorfveya zayıf kristal yapıya sahip olan $SiO_2.nH_2O$'dan oluşur. Hem amorf opal (opal-A), hemde zayıf kristalin opal (opal-CT) biyolojik çökelme, hidrotermal değişim ve kıtasal ayrışma olmak üzere üç ana oluşum sürecini tamamlamıştır. Yapısında ışığın dağılmasına sebep olan ve bu şekilde renk oluşumunu sağlayan bir ağ yapısı mevcuttur. Yaygın olarak bulunan opal kahverengi, beyaz ve gri renktedir. Opal yapısında %1 ile 9 arasında su bulundurmaktadır. Bu su oranı %20'ye kadar çıkabilmektedir. Yapısında Al, Ti ve Fe impuriteleri mevcuttur (Dutkiewicz vd., 2015; Gaillou vd., 2008; Chauvire vd., 2018).Opalin renk oluşumunun sebebi içindeki impruitelerden kaynaklanmaktadır. Her opal örneği floresans özellik göstermemektedir. Floresans özellik gösteren opaller yeşil renklidir bu da içerisinde bulunan uranil gruplardan kaynaklanmaktadır. Diğer floresans özellik gösteren opaller ise amorf silika yapısının özelliği olan oksijenle ilişkili içsel kusurlardan (arada bağ kurmayan oksijen) kaynaklanmaktadır (Gaillou vd., 2008).

Yeşil, mavi ve pembe renkli opallerin diğer opallere göre eser element miktarı daha fazladır. Yeşil ve mavi renkli opale rengini veren atomlar Cu ve Mg, pembe renkli opale rengini veren Mg ve Al'dur. Süs taşı kalitesinde olan parlak renkli opallerin içinde bulunan safsızlıklar yaygın olarak bulunan opallerin içinde bulunan safsızlıklara göre daha az olduğu belirtilmiştir (Gaillou vd., 2008).

Süs taşı kalitesinde olan en önemli opal ateş opalidir. Adından da anlaşılacağı gibi parlak turuncu ve kırmızı renkli bir süs taşıdır. Rengi içerisinde bulunan Fe^{+3} imruritelerden kaynaklanmaktadır. Ateş opalleri volkanik kökenlidir ve riyolitik tüflerde bulunmaktadır. Ateş opalleri kristalin opal grubunda iken, renk oyunu gösteren opaller ise amorf opaldir (Fritsch vd., 2006).Süs taşı kalitesinde bulunan ateş opalleri Meksika, Kazakistan, Etiyopya, Slovakya, Amerika Bileşik Devletleri ve Macaristan gibi volkanik bölgelerde oluşmaktadır. Türkiye'de ise Kütahya, Simav Şaphane bölgesinde ateş opali oluşumları görülmektedir (Hatipoğlu ve Karaali, 2010b).

Opaller genellikle, Etiyopya, Brezilya (Chauvire vd., 2018), Meksika, Avustralya (Gaillou vd., 2008), Sudan ve Macaristan'da bulunmaktadır.

Feldspat iki ana gruba ayrılabilir. Bunlar; ortoklaz veya mikroklin veya izomorf bir albit ve anartit karışımı olan plajioklazdır. Albit ve mikroklin en önemli ticari feldispattır. Feldspat içeren cevherlerin içerisinde aynı miktarlarda mika, spodümen, kuvars veya ferrosilikat içermektedir (Bulatovic, 2015).

Labradorit ve aytaşı en önemli feldspat grubu süs taşlarıdır. Bir tür feldispat olan labradorit, çekici optik özelliklere sahiptir. Kayaç içindeki paralel katmanların arasındaki boşluklar parlak mavi ve yeşilleri yansıtan yanardönerlik verir (Patterson ve Baron, 2018). Labradorit %30-50 albit ve %50-70 arası anortit içermektedir.

Aytaşı üç farklı feldispat türünün birleşiminden oluşan bir süs taşıdır. Monoklinik potasyum feldspat, triklinik sodyum feldispat (albit) ve trikilinik anortitten oluşmaktadır. Aytaşı, renksiz, beyaz veya açık kahverengi olduğunda basit bir ortoklaz şeklidir. Aytaşı genellikle Brezilya, Avrupa Alpleri, Hindistan, Kore, Madagaskar, Meksika, Myanmar, Sri Lanka, Tanzanya ve ABD' bulunur. Ay taşları, renksizden beyaza, griye, kahverengiye, sarıya, turuncuya, yeşile veya pembeye değişen çeşitli renklerde mevcuttur (Venkatesware vd., 2013).

Feldispathoid yapılar AlO_4 ve SiO_4 tetrahedra halkalardan oluşur. Anyon (sülfat, klorit, sülfit) ve tek değerlikli katyon veya iki değerlikli katyon (Ca, K, Ce, Na) tetrahedra yapısında bulunan boşlukların içerisine nüfuz etmektedir. Feldispaotitler üçe ayrılır. Bunlar, nefelin, sodalit ve lösit mineralleridir. Sodalit minerali süs taşı özelliğine sahip bir mineraldir. Nefelin altı tetrahedra halkadan oluşan bir yapıya sahiptir. Lösit ve sodalit ise hem dört üyeli hem de altı üyeli halkadan oluşan bir yapıya sahiptir (Welch, 2005). Sodalit $Na_8(Al_6Si_6O_{24})$ kimyasal formülüne sahip kübik yapıda bulunan feldispaotit grubu mineraldir. Sodalitin birim hücresi, her biri iki kafes tarafından paylaşılan dört ve altı üyeli halkadan oluşan iki kafesten oluşmaktadır. Altı üyeli halkalar, küpün gövde köşegenlerine paralel bir dizi kanal oluşturur ve büyük boşluklar oluşturmak için birim hücrelerin köşelerinde ve merkezlerinde kesişir. Sodalitlerdeki boşluklar, su ve CO_2 gibi molekülleri yakalamak için özel olarak üretilebilir ve kristal yapıya zarar vermeden molekülleri adsorbe etme ve desorbe etme kabiliyetine sahiptir. Sodalitler süs taşı olarak kullanılmalarının yanı sıra su ve sera gazlarını uzaklaştırmak amacıyla da kullanılmaktadır (Arockiaraj vd., 2020).Genellikle mavi renkli ancak gri, sarı, renksiz, beyaz ve kırmızı renkli de olabilen bir süs taşıdır.

Zeolitler, gaz ayırma, iyon değişimi ve kataliz gibi çeşitli endüstriyel işlemler için kullanılan gözenekli alüminosilikat malzemelerdir. Bire bir silikon / alüminyuma oranına sahip zeolitlerde (Si / Al= 1), alternatif SiO_4 ve AlO_4 tetrahedra, tek tip boyutlarda kanallar veya gözeneklerle üç boyutlu bir ağ oluşturacak şekilde birbirine bağlanır (Mofrad vd., 2020).

4. SÜS TAŞLARININ FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

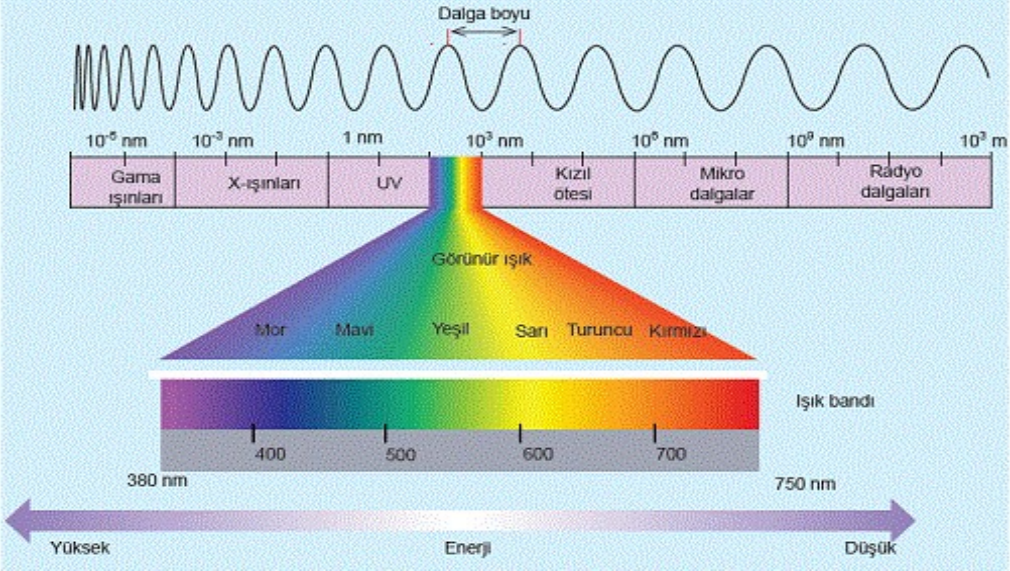
Doğada bulunan süs taşlarının belirlenmesinde ve ayırt edilmesinde süs taşlarının spesifik özellikleri dikkate alınmaktadır. Süs taşının kimyasal bileşimi ve kristal yapısı tanımlamadaki en önemli noktadır. Daha sonra ise renk, dilinim, kırınım, kırılma indisi, özgül ağırlık ve sertlik gibi bazı özellikler süs taşlarının belli başlı parametreleridir. Bu özellikle tek başına süs taşının belirlenmesi için yeterli olmasa da birçok özellik incelendiğinde süs taşı türü hakkında bilgi vermektedir.

4.1. Kristal Yapı ve Kimyasal Bileşim

Kristal, atomları düzenli olan ve periyodik olarak tekrarlanan bir modelde düzenlenmiş herhangi bir maddedir. Tüm mineraller kristaldir**.** Süs taşları oksitler, sülfatlar, sülfitler, karbonatlar, fosfatlar ve silikatlar olmak üzere gruplandırılmıştır. Birçok mineral aynı kristal yapıya sahip olsa da renk, özgül ağırlık, kırılma indisi, dilinim ve sertlik gibi özellikler sayesinde tanımlanabilmektedir.

4.2. Renk

Süs taşlarının rengi en büyüleyici özelliklerinden biridir ve genellikle süs taşlarında ilk dikkat çeken özelliktir. Renk, bir katyon veya anyonun varlığından, renkli bir "safsızlığın" varlığından veya katıdaki iyonların düzenlenmesindeki bir kusurdan kaynaklanabilir. Renk her zaman iyonlardaki veya kristal kafesteki elektronların bir enerji seviyesinden diğerine geçişinin bir sonucudur(Yoder, 2006). Işık bir çok farklı frekans ve dalga boyunda bulunmaktadır (Şekil 4.1). Renk, görünen ışığın gözümüz ile görülmesi sonucu oluşmaktadır. Görünür ışık retinamızın yanıt verdiği ışık frekansıdır. Bu ışık yüksek frekanslı menekşeden düşük frekanslı kırmızıya kadar değişmektedir. Eğer kırmızı renk görülüyor ise retinamız 700 nm dalga boyunda ışığa tepki verdiği söylenebilir.



Şekil 4.1. Elektromanyetik spekturum(https://prosafety.com.tr).

Renklendirici kramofor elementler uyarıldığında kristal alanda içerisindeki boşluklara göre daha düşük enerji seviyesinden daha yüksek enerji seviyesine sıçramaktadır. Bu geçişi yapabilmek için iki orbitalin enerjileri arasındaki farka eşit bir enerji miktarı gereklidir. Örneğin Bakır sülfat içerisindeki bakır iyonu için gerekli olan enerji miktarı elektromanyetik spektrumunda görünür ışık bölgesindeki kırmızı ışık ile uyarılması gerekir. Beyaz ışıktaki bakır sülfat kırmızı frekans da dahil olmak üzere görünür spektrumdaki tüm ışığa maruz kalmaktadır. Kırmızı frekans bir orbitalden diğer orbitale geçmek için bakır atomları tarafından emilmektedir. Bakır sülfat beyaz ışığın mavi frekanslı olan kısmını iletir. Böylece bakır sülfatı mavi olarak görebiliriz.

Mineraller anyon ve katyonun rengine sahip olmayan bir renkte olabilir. Mineralin rengi kristal kafese çok küçük miktarda aynı yükün asıl katyon ile yer değiştirerek, katı bir çözelti içerisine dahiledilen katyondan veya meydana gelen bileşiğin bir parçası olmaktan kaynaklanmaktadır. Örneğin berilde çok küçük miktarda Cr^{+3} Al yerine geçtiğinde zümrüt yeşil renkte görülür ancak Cr^{+3} korundum da kırmızı renge sebep olmaktadır.

Renk, kristal yapıda iyonların düzenlemesinden bir sapma meydana geldiğinde de oluşmaktadır. Aslında bu kusurlar her kristalin malzemede meydana gelir. Birçok kusur türü bilinmektedir, ancak en çok belirli minerallerin rengiyle ilişkili olan, bir iyonun yapıdaki normal konumundan yer değiştirdiğinde meydana gelen Frenkel kusuru olarak bilinir. Ametistin mor rengi ve dumanlı kuvarsın koyu rengi, SiO_2'deki silikonun yerini alan bir demir veya alüminyum atomunun yakınındaki oksijenden bir elektronun fırlatılmasının bir sonucudur.

Örneğin dumanlı kuvarsta alüminyum, nötralizeedilmesi gereken kovalent bağa negatif bir yük verir. Doğal veya yapay ışınlama, alüminyuma yakın bir oksijenden bir elektronu çıkarır ve böylece elektriksel nötrlüksağlanır. Oksijen üzerindeki eşleşmemiş elektron, görünür ışıkla elektronik bir geçişe izin veren bir dizi enerji seviyesine sahiptir. Bu renk merkezleri genellikle kristali ısıtarak yok edilebilir.

4.3. Dilinim, Yarılma ve Kırılma

Dilinim, kristaldeki atomların ve iyonların yapısal konumlarının bir sonucu olarak minerallerin kristalografik düzlemler boyunca ayrılma eğilimidir. Mineraller düzensiz taneler halinde bulunsa bile minerallerin tanımlanmasında önemli bir özelliktir. Farklı yönlerde bağlanma yerlerinde büyük farklılık gösteren mineraller büyük bölünmeye sahiptir (örneğin, mikalar, kalsit, alçıtaşı, feldispat, piroksenler ve amfiboller). Bağlanma yerlerinde küçük bir farka sahip mineraller zayıf bölünmeye sahiptir veya hiç yoktur (örneğin, kuvars, apatit ve olivin). Örneğin C bileşimine sahip grafit ve elmas ele alındığında elmasın dilinimi düşük iken grafit benzersiz bir bölünmeye sahiptir. Buradan anlaşılacağı gibi bağ yapısı zayıf olan minerallerin dilinimi yüksektir(Haldar, 2020).

Kırılma, dilinim düzlemleri dışında bir mineralin kırıldığı yerdir. Birçok mineral karakteristik şekillere ayrılır. Konkoidal kırık, pürüzsüz, kavisli yüzeyler oluşturur. Kuvars ve olivin konkoidal şeklinde kırılma gösterir. Cam, bir mineral olmamasına rağmen ve kristal yapıya sahip olmasa da konkoidal bir kırılma göstermektedir. Bazı mineraller kıymık veya lifli parçalara ayrılır. Çoğu kırılma düzensiz şekillere dönüşür (Thompson ve Turk, 1997).

Yarılma minerallerde zayıf düzlemler boyunca görülen bir ayrılma türüdür ve her mineralde bu görülmez. Kristal düzleme paralel olması sebebiyle dilinime benzerdir.

4.4. Sertlik

Sertlik süs taşlarının en önemli spesifik özelliklerinden biridir. Sertlik bir mineralin deformasyona, sürtünmeye, çizilmeye ve aşınmaya karşı gösterdiği dirençtir. Minerallerin sertliği atomların ve iyonların kristal kafes içerisindeki yoğunluğuna ve dağılımına bağlıdır. Örneğin C ana elementine sahip elmas ve grafit karşılaştırıldığında elmas en sert mineral olmasına rağmen grafit yumuşak bir malzemedir (Haldar, 2020).

Kristal kafes açısından sertlik atom dizilişine, atomlar arasındaki bağa ve atom ve iyon yarıçaplarına bağlıdır. Dilinimi olan bir kristalin sertliği her yönde aynı olmayabilir. Genelde dilinim yüzeylerinin sertliği diğer yüzlere göre daha az olur.

19.yy'da Friedrich Mohs tarafından en çok kullanılan Mohs sertlik skalası hazırlanmıştır. Mosh ile sertlik ölçümü çizilmeye karşı ölçülen bir değerdir. Şekil 4.2'de Mosh Sertlik Skalası görülmektedir.



Şekil 4.2. Mohs ve Rossiwal sertlik skalası (Hatipoğlu,2021).

Mohs sertlik skalasında görüldüğü gibi en sert mineral elmastır. Korund grubu olan safir ve yakut ise elmastan sonra gelen en sert ikinci mineraldir. Bu skaladan faydalanarak minerallerin sertlik değerleri belirlenmek istendiğinde hangi minerali çizip çizmediğini kontrol etmek gerekir. Mosh sertlik skala değerleri günlük hayatta ulaşabileceğimiz malzemeler hakkında da bilgi verebilir. Örneğin tırnağın mohs sertlik değerine göre sertliği 2,5'dur. Yani talk ve jips tırnak ile çizilebilir ancak kalsit çizilemez. Camın sertlik değeri 5,25'dir. Talk, jips, kalsit, florit ve apatit cam ile çizilebilir. Çakının sertlik değeri 7,5'dur. Talk, jips, kalsit, florit, apatit, feldspat ve kuvars çakı ile çizilebilmektedir. Elması sadece başka bir elmas çizebilir. Mosh sertlik ölçümü niceliksel bir test değildir burada mineraller birbirleriyle karşılaştırılmaktadır. Yani elmas ve korundumun arasındaki sertlik farklı talk ve jibs arasındaki farktan çok daha büyüktür (Şekil 4.2). Bir mineralin sertliği ölçüleceği zaman; mineralin düzgün bir yüzeyinin seçilmesi gerekmektedir (Bushby, 2005).

4.5. Özgül Ağırlık ve Yoğunluk

Yoğunluk ve özgül ağırlık mineralleri tanımlamak için kullanılan bir yöntemdir Bir maddenin yoğunluğu kütlesinin hacmine oranıdır. Yoğunluk birimle gösterilen bir büyüklüktür.

Özgül ağırlık ise maddenin eşit hacimdeki +4°C'deki suyun ağırlığına oranıdır. Örneğin suyun özgül ağırlığı 1'dir. Elmasın özgül ağırlığı 3,52'dir. Yani elmas sudan yaklaşık dört kat daha büyük yoğunluğa sahiptir. Özgül ağırlık birimsizdir sadece sayı ile ifade edilir. $1m^3$ hacim dikkate alınırsa bir maddenin özgül ağırlığı maddenin yoğunluğunun su yoğunluğuna oranıdır. Yani; Özgül Ağırlık= Maddenin yoğunluğu/Suyun Yoğunluğu' dur. Özgül ağırlık piknometreileölçülmektedir.

Piknometre ile özgül ağırlık ölçümü şu adımlarda gerçekleşir;

- Piknometre + 4 °C su ile doldurulur, ağzı kapatılır kapatılır ve piknometrenin ağırlığını içindeki su ile birlikte ölçülür (p).
- Toz haline getirilmiş mineralin ağırlığını ölçülür (m).
- Mineral tozu piknometrenin içine konur.
- Piknometrenin ağırlığını mineral tozu ve su (v) ile ölçülür.
- **γ = m/p+m-v** formülle mineral yoğunluğunu (γ) hesaplanır (Haldar, 2020).

4.6.Parlaklık

Bir süs taşının parlaklığı taşın yüzeyinin yansıtıcılığından kaynaklanan optik bir etkidir. Parlaklık genellikle cilalanmış süs taşlarında belli olmaktadır. Parlaklık kırılma indisi ile bağlantılıdır. Süs taşlarının kırılma indisi büyük bir aralıkta olduğu için parlaklıklarında da değişiklik göstermektedir. Minerallerin parlaklığı;

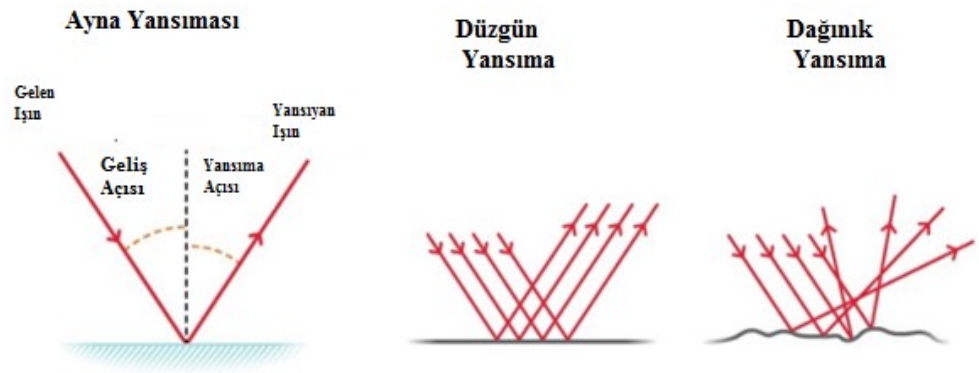
- Metalik Parlaklık, metaller ile ilişkili ve hematit ve bazı metalik bileşiklerde görülen çok yüksek parlaklıktır. Örneğin altın, gümüş, platin, pirit ve galen
- Adamantine Parlaklık; elmasın parlaklığıdır.
- Vitröz; süs taşlarının çoğunda görülen camsı parlaklıktır. Örneğin, yakut, safir, kuvars, topaz.
- Reçine, kehribar renginde görüldüğü gibi hafif parlaklık
- Mumsu Parlaklık, turkuaz ve jadeitte görüldüğü gibi mat bir yüzey.
- Yağlı Parlaklık; Nefritin görünümü gibi yüzey yağla kaplanmış gibi görünen parlaklık,
- İnci Parlaklık; Sedefte görülen parlaklık,
- İpeksi parlaklık; malakit ve kaplan gözü gibi saten, ipek görünümü bir parlaklık

olarak sınıflandırılabilir (Read, 2005).

Pırıltı ise gelen ışığın farklı açılardan speküler yansımasına bağlı olan belirli bir yüzeyinden algılanan parlaklıktır.

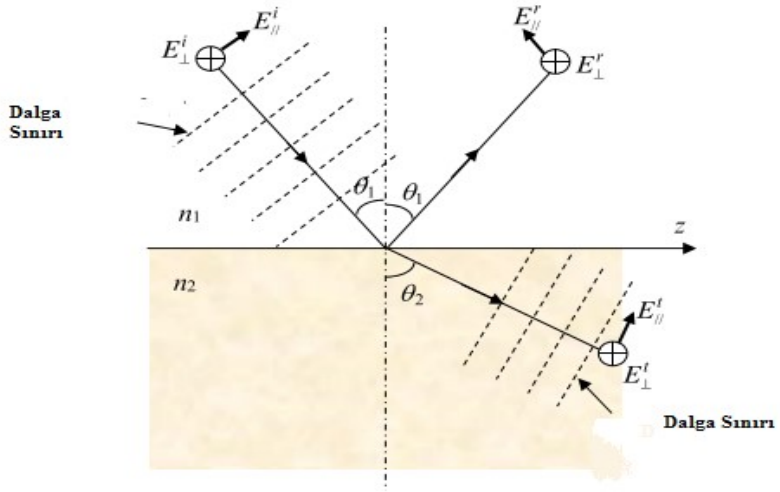
4.7. Kırılma İndisi

Işığı yansıması bir değerli taşın görünümünde önemli rol oynamaktadır. Bir ışık iki farklı ortam içindeki ara yüze çarptığında ışığın bir kısmı geri döner ve bu olaya yansımaya neden olmaktadır. Işığın yansıması speküler ve dağınık olabilmektedir (Şekil 4.3). Speküler yansımada ışık ışınlarının geometrisini sabit tutan boş bir yansıtma yüzeyinde meydana gelmektedir. Dağınık yansıma da ise pürüzlü yüzeylerde meydana gelir ve ışınların geometrisi korunmaz sadece enerji korunmaktadır (www.coursehero.com).



Şekil 4.3.Işığın yansıması ve türleri (https://www.sciencelearn.org.nz/images/45-types-of-reflection).

Işığın kırılması ise daha karmaşıktır. Şekil 4.4'de gösterildiği gibi n1 ve n2 kırılma indislerine sahip iki farklı ortam vardır. Ve iki ortam arasında bir ara yüz oluşmaktadır. Gelen dalga optik ara yüz üzerine yansır. Gelen dalga doğrusal olarak polarize edilmiştir ve gelen ışın geliş düzlemine paralel yada dik olarak iki ortogonal bileşene ayrılabilir. Optik ara yüzeyde enerjinin bir kısmın arayüzeyin aynı tarafına geri yansırken geri kalan ise ara yüzey boyunca kırılmaktadır (Şekil 4.4) (Hui,2020).



Şekil 4.4. Optik ara yüzeyde ışığın yansıması ve kırılması (Hui, 2020).

Eşitlik 4.1'de gösterilen denklem Snell Yasası olarak bilinmektedir. Işığın yayılma yönü değişikliği arayüz boyunca kırılma indisi farkı ile orantılıdır.

$$n2.Sin\theta_2 = n1.\ Sin\theta_1 \qquad (4.1)$$

Kırılma indisi süs taşları için belirleyici bir özelliktir. Doğal süs taşı ve sentetik süs taşları kırılma indisi sayesinde rahatlıkla ayırt edilebilmektedir. Çünkü çoğu süs taşının kırılma indisi sabittir. Kırılma indisi eşitlik 4.2'de gösterilen Snell yasası kullanılarak hesaplanabilmektedir.

Kırılma İndisi=Gelen ışığın kırılma açısı θ_1/Kırılan Işığın kırılma açısı θ_2 (4.2)

Kırılma indisi ışığın dalga boyuna göre değiştiğinden gemolojik çalışma için seçilen standart ışık kaynağı, bir sodyum lambası tarafından üretilen sarı monokromatik ışıktır (kırmızı ışık kullanılırsa, ölçülen kırılma indisi biraz daha düşük olacaktır; mavi ışık için biraz daha yüksektir). "Tek renkli" terimi, ışığın tüm emisyon enerjisinin tek bir renkle (yani spektrumun çok dar bir bölümü veya "bant genişliği") ile sınırlı olduğu anlamına gelir. Sodyum ışığı, ortalama değeri 589,3 nm ve genel bant genişliği yalnızca 0,6 nm olan birbirine çok yakın iki emisyon çizgisinden oluşur. Sodyum ışığı başlangıçta standart olarak seçilmiştir. Günümüzde sodyum buharlı lamba, maliyeti nedeniyle artık gemolojik kullanım için ticari olarak üretilmemektedir (Read, 2005).

5. SENTETİK, İMİTASYON VE İYİLEŞTİRİLMİŞ SÜS TAŞI ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Gemolojinin amaçları doğrultusunda sentetik; yapay olarak üretilmiş ve doğal karşılığı ile aynı kimyasal bileşime, kristal yapıya ve fiziksel özelliklere sahip bir madde olarak tanımlanır. Doğal olarak oluşan mineral maddelerin birebir kopyaları olan sentetik değerli taşlar bu tanıma uymaktadır, ancak doğada bulunmayan birçok kristalli ürün yapılmıştır ve bunlar, sentetikten çok "insan yapımı" olarak tanımlanmıştır (Read,1988). Gemolojik kılavuzlar, insan yapımı bir mücevherin adından önce sentetik (örneğin sentetik yakut) kelimesini koyar, ancak birçok üretici yaratılan veya kültürlenen terimleri kullanır (örn. Oluşturulan zümrüt) (Kane, 2009). Şekil 5.1'de sentetik olarak üretilen bazı süs taşı örnekleri yer almaktadır.



Şekil 5.1. Sentetik olarak üretilmiş bazı süs taşları (Kane, 2009).

Şekil 5.1'de gösterilen laboratuvarların süs taşı üretim teknikleri genellikle tahmin edilebilir özelliklere sahip sentetik süs taşı üreten belirli büyütme yöntemlerini kullanır. Bunlar; karakteristik kristal alışkanlıkları ve en önemlisi tipik kapanımlardır. Bunları anlamak, gemolojistin büyüme yöntemini ve belirli üreticiyi tanımlamasını sağlar. Gilson (3, 6, 7), Seiko (5), Lennix (8), Inamori (9) ve Chatham (10, 11, 12) tarafından ergitme yöntemi üretilen zümrütlerdir. Ayrıca Rus hidrotermal (1, 2) ve Rus ergitme (4) ile üretilen sentetik zümrütlerdir. Mavi sentetik safir kristaller (13, 15), akışkan bir ortamda ve bir ergitme yöntemi ile mavi safir (14) Chatham tarafından üretilmiştir. Sentetik yakutlar Rus hidrotermal (16, 17),

Chatham ergitme (19, 22), Douros ergitme (18, 21), Ramaura ergitme (20, 23) ve Kashan ergitme (24, 25) gibi çeşitli yöntemlerle üretilmiştir. Şekillendirilmiş sentetik taşların ağırlıkları 1,21 ila 6,57 karat arasında değişmektedir. Sentetik kristaller ise 10,21 ila 482,51 karat ağırlığındadır.

İnsan yapımı süs taşı üretimi MÖ 4000 civarında başlandı. İlk olarak lapis lazuli'yi taklit etmek için yapılmış mavi sırlı steatit (sabuntaşı) boncuklardı. MÖ 3500'e gelindiğinde steatit, seramik bir malzeme ile değiştirildi. Bunlar, boncuk gibi şekil verilmiş, ısıtılmış ve çeşitli katkı maddeleri ile birlikte hazırlanmış toz kuvarstan yapılmıştır (Read,2005).

1873 yılında fluks (erikten) içerisinde yetiştirilen ilk sentetik yakut üretildi. Bu gelişmeyi, 1885'te fluks (erikten) içinde yetiştirilen Cenevre sentetik yakutu ve 1902'de Verneuil alev füzyon yöntemi ile üretilen sentetik yakutun ticari olarak piyasaya sürülmesi izledi. Üretilen ilk sentetik yakut ve safir saatlerde ve süs taşı olarak kullanılmaya başlandı. Sentetik safir, muhtemelen diğer kristallerden daha fazla büyütme tekniği ile üretilmiştir. Safir, uygun bir erime noktasına sahip olan ikili bir bileşiktir (bu sıcaklıkta katı, aynı bileşime sahip bir sıvıya dönüşür) ve pek çok büyüme tekniğine uygulanabilirliğine yardımcı olmaktadır (Stone-Sundberg,2013).

1960 yılında, 1918'de ortaya çıkan ve bir potadaki erimiş bir çözeltiden kristalin döndürülmesini ve çekilmesini içeren bir yöntem olan Czochralski büyütme tekniği ilk olarak safire uygulandı. Bu teknik, safir ve çok çeşitli diğer kristal malzemeler (silikon dahil) için bugün hala çok önemlidir çünkü hem saflık hem de kusurlar açısından en yüksek kaliteli kristallerden bazılarını üretebilir. Bu ürünlerin kalitesi, esas olarak, kütle kontrollü bir geri bildirim döngüsüne dayalı olarak ısıtma için gereken gücün dikkatlice ayarlanmasıyla mümkün kılınan, hassas bir şekilde kontrol edilen büyüme oranından kaynaklanmaktadır. Czochralski tekniğini bu kadar değerli kılan bir başka faktör, "katkılı" kristallerdeki kasıtlı olarak eklenen safsızlıkların dağılımını kontrol etme yeteneğidir. Bu, tüm eriyiğin dondurulması yerine erimiş çözeltinin sadece bir kısmının çıkarılmasıyla gerçekleştirilir (Stone-Sundberg,2013).

Geçtiğimiz yüz yıl içinde laboratuvarda büyük değerli taşların her biri üretildi. İlk olarak elde edilen yakut ve safirdi, ardından spinel, kuvars, zümrüt, elmas, opal, turkuaz ve krizoberil geldi. Bu sentetik süstaşları optik ve kimyasal olarak doğal benzerleriyle aynıdır. Daha sonra ise sentetik süs taşı üretimi ağırlık kazandı ve akuamarin, altın ve kırmızı beril, granat, zirkon, opal, turkuaz gibi süs taşlarının da sentetikleri üretilmeye başlandı (https://www.gemsociety.org/article/understanding-gem-synthetics-treatments-imitations-part-2-crystal-growth/).

Süs taşlarının birçoğu sentetik olarak üretilmektedir. Çizelge 5.1 ’de süs taşlarının ilk sentetik üretiminin yapıldığı tarih ve üretim yöntemi gösterilmektedir. Çizelge 5.1’de görüldüğü gibi yakut, safir, aleksandirit, kuvars, sitrin, kedi gözü, amatist, spinel, pembe kuvars, mercan, akuamarin, kübik zirkonya, Lapis lazuli, YAG, GGG ve elmas çok eski zamanlardan itibaren sentetik olarak yani insan yapımı olarak üretilmiştir. Sentetik üretim yöntemlerinin en önemlileri Vernueil alev füzyon, hidrotermal, Czochralski ve flux yani ergitme yöntemidir. Bu yöntemler kullanılarak sentetik süs taşı üretimi geçmişten günümüze kadar devam etmektedir.

Çizelge 5.1. Bazı süs taşlarının sentetik üretiminin krolonojik sırası (Kane, 2009).

Yaklaşık Üretim Tarihi	**Sentetik Süs Taşı**	**Kimyasal Formülü**	**Üretim Tekniği**
1885	Yakut (Cenevre)	Al_2O_3	Pota (Eriyik)
1887	Yakut	Al_2O_3	Ergime (Solüsyon)
1905	Yakut	Al_2O_3	Vernuil
1910	Safir	Al_2O_3	Vernuil
1935	Zümrüt	$Be_3Al_2Si_6O_{18}$	Ergime (Solüsyon)
1947	Yıldız Safir ve Yakut	Al_2O_3	Vernuil
1948	Rutil	TiO_2	Vernuil
1950	Kuvars	SiO_2	Hidrotermal
1955	Stronsiyum Titanat	$SrTiO_3$	Vernuil
1963	Yakut	Al_2O_3	Ergime (Solüsyon)
1965	Zümrüt	$Be_3Al_2Si_6O_{18}$	Hidrotermal
1968	YAG (Ytrium Alümina Garnet)	$Y_3Al_5O_{12}$	Czochralski
1970	Elmas	C	Yüksek Basınç Yüksek Sıcaklık (Solüsyon)
1972	Turkuaz	$Cu_2+Al_6(PO_4)_4(OH)_8.4H_2O$	Seramik
1973	Aleksandirit	$BeAl_2O_4$	Ergime (Solüsyon)
1974	Opal	$SiO_2.nH_2O$	Sulu Çözelti
1974	Sitrin	SiO_2	Hidrotermal
1975	Ametist	SiO_2	Hidrotermal
1975	GGG (Gadolinyum Galyum Garnet)	$Gd_3Ga_5O_{12}$	Czochralski
1976	Lapis Lazuli	$(Na,Ca)_8(Al,Si)_{12}O_{24}(S,SO_4)$	Seramik
1976	Kübik Zirkonya	ZrO_2+ Stabilatör	Ergime
1978	Mercan	$CaCO_3$	Seramik
1981	Akuamarin	$Be_3Al_2Si_6O_{18}$	Hidrotermal
1982	Turuncu ve Mavi Safir	Al_2O_3	Ergime (Solüsyon)
1983	Malahit	$Cu_2CO_3(OH)_2$	Sulu Çözelti
1987	Kedi gözü ve Aleksandirit	$BeAl_2O_4$	Bölge Eriyik
1988	Kırmızı Beril	$Be_3Al_2Si_6O_{18}$	Hidrotermal

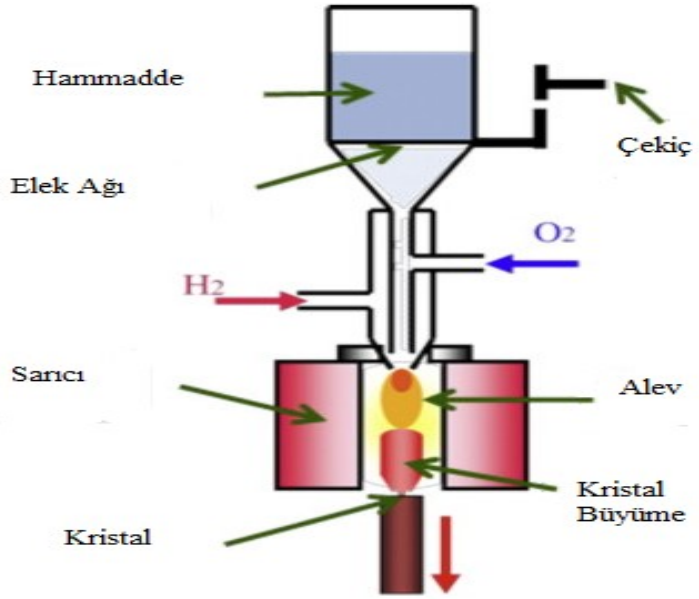
Çizelge 5.1. Bazı süs taşlarının sentetik üretiminin krolonojik sırası (Devam).

1989	Spinel	$MgAl_2O_4$	Ergime (Solüsyon)
1993	Yakut	Al_2O_3	Hidrotermal
1994	Pembe Kuvars	SiO_2	Hidrotermal
1994	Ametrin, Sitrin, Ametist Kuvars)	SiO_2	Hidrotermal
1995	Safir (çeşitli renkte)	Al_2O_3	Hidrotermal
1997	Silikon Karbit	SiC (6H politip)	Süblimasyon (buhar)
2003	Elmas	C	CVD (Kimyasal Buhar Çöktürme)

5.1. 1. Vernueil Alev Füzyon Yöntemi

Verneuil tekniği, süs taşlarını sentetik olarak üretmek için kristal büyümesi sağlamak için kullanılan ticari bir yöntemdir. 1902'de Verneuil tarafından geliştirilmiştir. Yöntemin prensibi şematik olarak Şekil 5.2'de gösterilmiştir. Cihaz temelde, içinden büyütülecek materyalin tozlarının geçirildiği bir oksihidrojen torçudur. Tozlar alevde erir ve bir tane kristali üzerinde küçük bir su birikintisi oluşturur (Oishi, 2013). Toz akışı ve kristal geri çekme hızları iyi dengelenmişse, alevde sabit bir yükseklikte tutulan sıvı katı faz sınırı ile kristal büyür (Ueltzen, 1993). Bu dengenin iyi yapılmaması sonucunda katı ve sıvı kısımlar arasındaki bağlantı noktasının etrafındaki sıcaklık değişikliğinden kaynaklanan düşük kaliteli bir kristale yol açar (Boonin vd., 2018). Verneuil yöntemi ile büyütülen kristalin formu silindir şeklindedir.

Verneuil yöntemi, daha küçük pota kullanabilme avantajına sahiptir. İlave olarak diğer tekniklerden daha yüksek sıcaklıklarda daha büyük değerli taş kristalleri yetiştirebilir. Üst sıcaklık oksihidrojen alev sıcaklığı ile sınırlıdır. Alevdeki H2 / O2 oranını düzenleyerek, diğer yöntemlerde hazırlanması zor olan oksit kristalleri yetiştirilebilir. Yöntem koruyucu olmadığından, tek tip bileşime sahip katı çözeltiler yetiştirilebilir. Bu yönteme ait diğer bir dezavantajda, büyüyen kristalin çok yüksek sıcaklık gradyanına maruz kalmasıdır. Büyümüş kristallerden bazıları parçalara ayrılabilir (Oishi,2013).



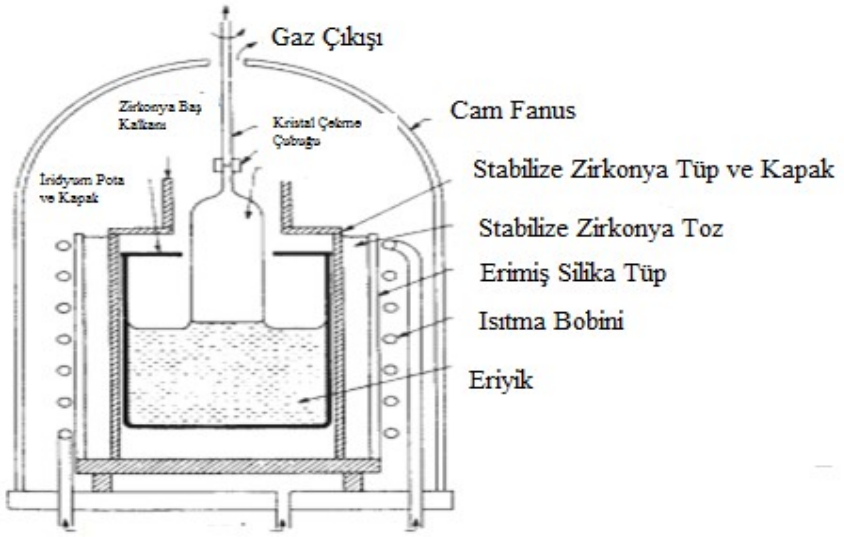
Şekil 5.2. Venueil alev füzyon yönteminin çalışma prensibi (Kawaminami vd, 2013).

5.1.1. Czochralski yöntemi

Czochralski tekniği, büyük ölçekli tek kristallerin büyümesi için en gelişmiş yöntemdir. Yüksek teknik seviyesi ve proses otomasyon derecesi sayesinde aralarında silikonun da bulunduğu çeşitli oksitler, florürler ve birçok elementi içeren bileşikler de dahil olmak üzere yüksek kaliteli büyük ölçekli tek kristallerin büyümesi ve üretimi için tercih edilen yöntemdir (Uecker,2014). Tek bir kristal (mono-kristal), kristal yapının mükemmele yakın olduğu, yani atomların veya moleküllerin düzeninin sıkı bir düzen sergilediği bir malzemedir. Yöntemin en önemli kullanımı, diğer yöntemler kullanılarak kolayca veya ucuz bir şekilde elde edilemeyen yarı iletkenlerin, özellikle mono kristalin silikonun büyümesidir (Rahmanpaur vd., 2017). Bu yöntemin gelişimi ve yayılması, Jan Czochralski tarafından 1916'da icat edilmesinden bu yana çeşitli değişikliklere de uğrayarak 1970'lere kadar gelişimini sürdürmüştür (Uecker,2014).

Bu prosesin çalışma prensibi, ana malzemenin genellikle kuvarsdan (iridiyum ve platiyum gibi yüksek sıcaklığa ve kimyasal ataklara dayanıklı pota) yapılmış bir potada eritilmesine dayanır (Şekil 5.3). Daha sonra bir tel üzerine monte edilmiş dönen bir tane kristali eriyiğe daldırılır. Tane eriyik ile temas ettiğinde, eriyik tane üzerinde katılaşır ve tane ile aynı kristalografik yönelimi alır. Tane daha sonra eriyikten yavaşça çekilir. Yüzey gerilimi ve hidrodinamik düşük basınç nedeniyle, kristali eriyiğe bağlayan bir yapı oluşur. Kristal çekilirken, eriyik yapının tepesi boyunca katılaşır ve kristalin büyümesine neden olur. Malzemenin katılaştığı yüzey, (kristal eriyik) arayüz olarak adlandırılır. Sıcaklık gradyanlarını,

çekme oranını ve dönme hızını hassas bir şekilde kontrol ederek, eriyikten büyük, tek kristalli, silindirik bir külçe çıkarmak mümkündür (Şekil 5.4) (Rahmanpour vd. 2016, Read, 2005).



Şekil 5.3. Czochralski yöntemi (Read, 2005).



Şekil 5.4. Czochralski yöntemi ile üretilmiş sentetik yakut (Yaklaşık 10cm.) (Stone-Sundberg,2013).

5.1.2. Hidrotermal yöntem

Hidrotermal yöntem, ilk olarak 19. yüzyılda kuvars tek kristallerinin üretimi ile popülerlik kazandı. α- kuvars kristal büyümesinin ilk çalışması, mikroskobik boyut sırasına göre

Schafhault ve Senarmont tarafından gerçekleştirildi. G. Spezia, 1898 ve 1908 yıllarında, sodyum silikat ve doğal kuvars çözeltisini ekleyerek sızdırmaz bir kapta bir kristal büyütme tekniği geliştirdi. Hidrotermal kristal büyümesi, genellikle büyük ve hatasız tek kristaller (çoğunlukla yapısal geçişler sunan malzemeler) elde etmek için tercih edilir (Prakasam ve Largeteau, 2015).

Hidrotermal kristal büyümesi, yeni malzemeleri sentezlemek ve özel uygulamalar için yığın kristalleri büyütmek için kullanılan klasik kristal büyütme tekniklerinin çoğuna tamamlayıcı bir alternatif sunmaktadır. Bu özel teknik, genellikle erime noktalarının çok altındaki sıcaklıklarda kristal büyütme yeteneğine sahiptir ve bu nedenle potansiyel olarak yeni fazlara veya daha az termal gerinimle yığın kristallerin büyümesine yönelik yollar sunar (Prakasam ve Largeteau, 2015).

Hidrotermal yöntem, altınla kaplanmış ve dikkatlice kapatılmış küçük bir döner otoklavda yüksek sıcaklıklarda ve yüksek basınçlarda sudaki bir çözeltiden kristalleri büyütme yöntemidir (Agrosi vd.,2014). Hidrotermal yöntem hem yeni malzemelerin elde edilmesinde hem de küçükten (0,1-0,3 mm) büyüğe (1-10 mm) tek kristallere geçiş için uygun olan bir yöntemdir (Sanjeewa vd. 2016).Hidrotermal kristal büyümesi birçok alanda kullanılmaktadır. Bunlardan biride süs taşlarının hidrotermal yöntem ile sentetiklerinin üretilmesidir. Özellikle sentetik zümrüt üretimi birçok şirket tarafından yapılmaktadır. Şekil 5.5 ’de hidrotermal yöntem ile üretilmiş sentetik zümrütler yer almaktadır.



Şekil 5.5. Hidrotermal kristal büyüme yöntemi ile üretilmiş sentetik zümrütler (Koivula vd. 1996).

5.1.3. Ergitme (Flux) yöntemi

Flux yönteminde, istenen malzemelerin bileşenleri, flux adı verilen bir çözücü içinde çözülür. Bu yöntemin önemli bir avantajı, kristallerin erime sıcaklıklarının altında büyütülmesidir. Malzeme uyumsuz olarak erimesi (yani erimeden önce ayrışırsa) veya erime noktasının altında bir faz geçişi sergilemesi (bu, büyümenin bu tür herhangi bir faz geçişinden daha düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilmesi gerektiği anlamına gelir) durumunda gerekli olabilir. Nispeten düşük büyüme sıcaklıkları ve çok yavaş soğutma hızları nedeniyle ısı büyümesinde termal gerilme de en aza indirilebilir (Koohpayeh, 2016).

Flux yönteminin birkaç dezavantajı vardır. En önemli dezavatajlardan biri fluxtan büyüyen kristallerin büyüme hızının genellikle eriyik büyümesinden daha yavaş olmasıdır. Ayrıca, sabit potalar kullanılarak akıştan hazırlanan kristaller tipik olarak çoklu çekirdeklenmeden dolayı küçük boyuttadır, fakat kristal boyutu, pota hızı arttırılması sonucu iyi bir karışım sağlanması ile geliştirilebilir (Schell ve Schulz- Dubois,1971).

Flux yönteminde çözücü malzeme seçimi önemlidir. Çünkü çözücü malzeme ile çözünen malzeme kimyasal açıdan birbirine yakın olması gerekmektedir. Ayrıca çözücü malzeme ile çözünen malzeme arasında çözücü ile çözünen arasındaki katı çözünürlüğü önlemek için kristal kimyasal farklılıklarında olması gerekmektedir (Oishi,2013).

5.2. Süs Taşlarının İyileştirilmesi

Süs taşlarına iyileştirme diğer bir adıyla tedavi uygulanmasının asıl amacı süs taşlarının görünümünün düzeltilmesi için yapılan yapay bir işlemdir. Bulanık görünümü olan mavi safiri ısıtarak şeffaf mavi renkli hale getirmek, kırmızı renge çevirmek için açık pembe renk bir turmalin ışınlamak ve ya kırık ve çatlakları gizlemek için zümrütü reçine ile doplamak gibi yöntemler ile süs taşlarının kusurları kapatmak ya da görünümü güzelleştirmek için yapılan işlemlerdir. Yapılan tedavilerden bazıları doğada oluşumlarını inceleyerek süreçleri kopyalar ve hızlandırmasını sağlarken bazıları ise sadece insan tarafından tasarlanmıştır (McClure ve Shigley,2009).

Süs taşlarının renklerinin ve görünümlerinin düzeltilmesi işlemi çok eski zamanlardan bu yana yapılmaktadır (Nassau, 1994). İlk başlarda kuvars ve kalsedon gibi süs taşlarına tedavi işlemleri uygulanmaktaydı. Bu ilk yöntemler altlığa yerleştirildiğinde renginin ya da parlaklığının daha iyi görünmesi için süs taşının arkasına renkli boyama ve ya metal parlak bir folyo koyarak yapılmaktaydı. Süs taşlarının parlak ve şeffaf görünmesini sağlamak amacı ile yağların ya da diğer sıvıların uygulanması ve organik ve inorganik malzemeler ile boyanması

yapılan iyileştirme işlemlerinin bazılarıydı. Orta çağların sonuna doğru mineraloji ve jeolojinin gelişmesi ile birlikte ile birlikte korundum, ametist, zirkon ve topaz gibi süs taşlarına öncelikli olarak sıcaklığı kontrol ederek daha gelişmiş iyileştirme işlemleri uygulanmaya başlanmıştır (McClure ve Shigley,2009).

Süs taşlarının iyileştirme işlemleri üç gruba ayrılabilir. Bunlar; rengi iyileştirme, görünümü iyileştirme ve çoğunlukla görünür berraklık ve süs taşlarının sağlamlığının arttırılmasıdır (McClure ve Smith, 2000; Smith ve McClure,2002).

5.2.1. Isıl işlem

Kontrollü bir oksitleyici veya indirgeyici atmosferde ısıtma, geçiş metalleri gibi renklendirme maddelerinin değerlik durumlarında değişikliklere veya malzemenin atomik kafesinde renk merkezlerinin oluşmasına veya yok olmasına yol açabilir. Isıtma, mücevherlerin şeffaflığını artırmak, yıldız işareti (asterizm) veya diğer optik etkilerden sorumlu olan kalıntıları oluşturmak, kaldırmak veya daha iyi ağartma ve boyama yoluyla renk ilavesi sağlamak için yapılmaktadır (McClure ve Shigley,2009).

Bir süs taşının ısıl işlem koşullarını belirlemeye yönelik bazı parametreler vardır. Bunlar; ulaşılan maksimum sıcaklık ve maksimum sıcaklığın sürdürüldüğü süreyi içerir; ısıtmanın sıcaklığa oranı, sıcaklıktan soğuma hızı ve ısıtma ve soğutma sırasında herhangi bir bekletme aşaması; atmosferin kimyası ve basıncı ve değerli taşla temas eden herhangi bir malzemenin özelliği önemli parametrelerdir. Isıl işlem gören değerli taşlar ametist, akuamarin, sitrin, kuvars, rubelit, yakut, safir, tanzanit, topaz, turmalin ve zirkondur (Nassau,2009).

Yüksek basınç ve yüksek sıcaklık uygulaması yapılarak kahverengi elmasların rengini gidermek, diğer süs taşlarında sarımsı yeşilden sarıya kadar olan renk oluşumunu sağlamıştır (McClure ve Smith, 2000).

Spinellerin ısıl işlem sonrası renk değişimleri çok yönlüdür. Eğer kırmızı spinel çok düşük oranda Fe içeriyorsa, buna karşılık gelen renk morumsu kırmızıdan mora kadar değişiklik göstermektedir. Bu renk tonu ısıl işlem sonrasında oktohedral ve tetrahedral Fe^{+2}, Fe^{+3} konsantrasyonlarını etkilediğinden dolayı redoks koşullar tarafından değişmesine sebep olmaktadır (Widmer vd.,2014).

5.2.2. Difüzyon

1970'lerin sonu 1980'lerin başlarında süs taşlarının renklerini iyileştirmek amacı ile difüzyon adı verilen yeni bir yöntem ortaya çıkmıştır. Bu yöntemde çok yüksek sıcaklıklarda

(yaklaşık 1700 °C) Fe, Ti, Ni, Co gibi kramofor elementlerin açık renkli ve ya renkli korundumun yüzeyine ve daha iç kısımlarına difuze edilmesi ile renk değişimi sağlanmıştır. Bu yöntem ile elde edilen süs taşlarının kesim ve parlatma işlemlerinden sonra renklerinin değişmediği görülmektedir (Kane vd., 1990).

Difüzyon, süs taşlarının kristal kafesleri içerisinde kusurların ya da atomların hareketini ifade etmektedir. Önceden var olan atomların hareketleri termal güçlenmeyi sağlayan şeydir buda iç düfüzyon olarak adlandırılır. Düfüzyon tedavisi daha sonradan bünyeye giren atomların ve bünye içerisinde hareket eden renk veren atomların malzeme içinde renk oluşturmasını sağlamaktadır. Bu hareket sadece yüzeyde olduğu zaman yüzey difüzyonu olarak adlandırılmaktadır. Bu atomlar süs taşı içerisine girip orada hareketini yaptığı taktdirde kafes difüzyonu olarak adlandırılır. Birçok element renk oluşurmak ve asterim özelliği kazandırmak için dış kaynaktan süs taşı içerisine kafes difüzyonu yapmaktadır. Difüzyon kaynağı olarak genellikle Be gibi hafif elemenet ve Cr ve Ti gibi periyodik tablonun altında yer alan elementler kullanılmaktadır (McClure ve Smith,2002).

Mavi korundumlarda renk, $Fe^{+2} \rightarrow Fe^{+3}$ yük transferi ve Fe^{+3} absorbsiyonundan etkilenen Fe^{+2}-O-Ti^{+4} yük transferine bağlı olarak oluşmaktadır. İlk başlarda difüzyon Ti ve Fe renklendirici ajanlarının taşın yüzeyine temas etmesi ile oluşmaktadır. Süs taşı daha sonra erime noktasına kadar ısıtılır, bu da süs taşının kafes boyutun da genişlemeye neden olur termal olarak enerji verilen geçiş metal iyonlarının bünyeye nüfus etmesi sağlanarak renk oluşumu gözlemlenir (Kane vd., 1990).

Özellikle soluk renkli ve renksiz olarak bulunan korundum mineraline Be ile difüzyon yapıldığında canlı sarı ve turuncu renge dönüştüğü görülmektedir (Emmett vd., 2003) Al^{+3} atomlarının Be^{+2} atomları ile yer değiştirmesinden dolayı renk değişikliği görülmektedir. Kobaltın demir ile birlikte difüzyonu ille doğal mavi spinellerin gözlenen rengine katkıda bulunduğu bilinmektedir (Saeseaw vd., 2015).

Difüzyon işlemi kafes difüzyonu ve yüzey difüzyonu olarak ikiye ayrılmaktadır. Latis düfüzyonunda renksiz korundum mineraline Be atomu difuze edildiğinde renk derinlemesine nüfus etmektedir. Ve sonucunda mavi korundum koyu sarıya, sarı ve yeşil korundum sarıya, kırmızı korundum ise kırmızımsı turuncu renge renk değişimi olmaktadır (Read, 2005). Yüzey difüzyonunda ise; difüzyon işlemi, bir taşın yüzeyinin bir fırında yüksek ısı ile birlikte belirli kimyasallara maruz bırakılmasından oluşur. Genellikle sadece yüzey rengi değişir, süs taşı ikiye ayrıldığında taşın içi farklı bir renk, genellikle daha soluk, daha az değerli bir renk olabilir (www.gemselect.com).

5.2.3. Işınlama

Elektomanyetik dalgalara maruz kalarak atomlar hareket ettirebilir ve atomlar arasındaki bağları kırabilir. Buda elmas gibi renk merkezlerinde renk oluşmasına sebep olabilir (Overton ve Shigley, 2008). Işınlama tedavisi süs taşlarında rengi değiştirme ya da renk iyileştirme yöntemlerindendir.

Işınlama yöntemi ile ilk olarak 1957 yılında Pough tarafından renksizden mavi renkli topaz elde edildi. Topazın ışınlama ile rengini değiştirmek için farklı ışınlar kullanılabilir. Bunlar gama ışını, x-ışını, nötronlar ve yüksek enerji yüklü parçacıklar (elektron, proton) olabilir (Nassau,1985).

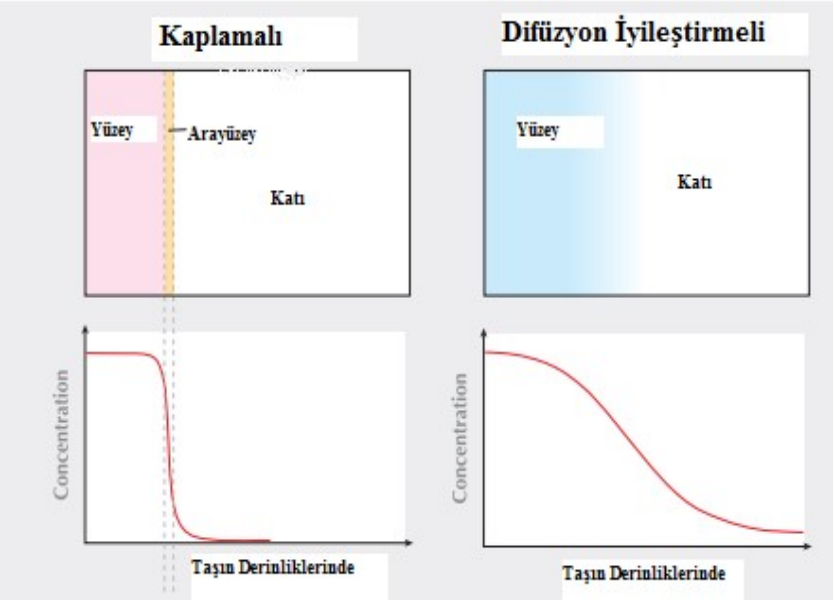
5.2.4. Kimyasal iyileştirme

Kimyasal iyileştirme denildiği zaman, kimyasal ağartma, kaplama ve boyama gelmektedir. Kimyasal ağartma, boyama ve kaplama, açık çatlaklar boyunca ve yüzeyde yeni renk oluşturmak için veya istenmeyen mevcut renkleri yok etmek için kullanılan yöntemlerdir. Renk ve parlaklık bir süs taşı için ne kadar önemli ise yüzeyde bulunan lekeler ise o kadar istenmeyen görüntülerdir.

Boyama işlemi ile renklendirici madde ile süs taşının renginin değiştirilmesi, mevcut rengi yoğunlaştırması veya iyileştirilmesi ve renk bütünlüğünün iyileştirilmesi sağlanmaktadır. Kaplama işlemi ile birlikte; yeni renk sağlamak, görüntüsünün iyileştirilmesini sağlamak ve farklı özel efektler sağlar (Lima ve Lameiras, 2015).

Kaplama işlemi süs taşının renginin iyileştirilmesinin yanı sıra kimyasal ve termal dayanıklılığı da sağlayan bir yöntemdir. Yani kaplama süs taşına hem renk sağlarken hem de koruyucu bir tabaki gibi görev yapar. Ancak kaplamanın bir dezavantajı vardır. Kaplama ile süs taşı arasındaki termal genleşme katsayısının farklı olduğu durumlarda süs taşı sıcaklığa maruz kaldığı takdirde kaplama tabakalara ayrılabilir (Gabash vd. 2008).

Şekil 5.6'da kaplanmış ve difüzyon ile tedavi edilmiş süs taşlarının görüntüsü yer almaktadır. Kaplanmış süs taşında taşın yüzeyi ile iç kısmı arasında bir ara yüzey oluştuğu görülmektedir. Difüzyon ile tedavi edilmiş süs taşında ise iç kısım ile yüzey arasında herhangi bir oluşum yoktur.



Şekil 5.6. Kaplama ve difüzyon işlemi arasındaki fark (Gabash vd., 2008).

Kaplama malzemesi olarak plastik çok kullanılan materyalerden biridir. Özellikle jadeitin parlaklığı ve şeffaflığını arttırmak amacıyla balmumu ve plastik ile kaplama yapılmıştır. Yeşil kumaştan yapılan boncuklara sentetik zümrüt görüntüsü verilmesi amacı ile şeffaf renkli bir plastik ile kaplama yapılmıştır (McClure ve Smith, 2000).

İnce metalik kaplamalar işlenmiş ve kristal haldeki topaz ve kuvarslar için kullanılmaktadır. Metalik renklerin farklı kombinasyonları kullanılarak yeni renkler elde edilmektedir. Bunlar arasında Au, Bi, Pb, Cr, Ti ve diğer elementlerin oluşturduğu mor, sarı, yeşil ve kırmızı renkleri oluşmaktadır (McClure ve Smith, 2000).

5.2.5. Boşluk-kırık doldurma

Bu yöntem hemen hemen tüm süs taşlarına uygulanabilmektedir. Boşlukları veya kırık yüzeyleri bir sıvı ile ya da ergimiş katı doldurularak görünürlüğünü yok etmek, ağırlığının artmasını sağlamak ve rengi geliştirmek amacı ile kullanılan yaygın bir tekniktir. Kırıklarda oluşabilecek yansımayı önlemek amacı ile doldurulan sıvı veya ergimiş katının kırılma indisinin süs taşına benzer kırılma indisine sahip olması gerekmektedir (McClure ve Shigley,2009).

Cam dolgunun teknik önemi, çoğu süs taşında doğal olarak oluşan boşlukları optik olarak gizlemesi ve boşlukları doldurmasıdır. Bu, ışığın dolu alanlardan geçmesini sağlar. Kırıklar yansıtıcı gibi davranmadığından, ışık yolu daha büyük hale gelir ve taşın renginin daha doygun görünmesini sağlar Tedavinin sonucu genellikle çok çarpıcıdır, kırık bir yapıya sahip

süs taşının açık rengi doldurma sayesinde parlak ve koyu bir renk almaktadır (Pardieu vd., 2010).

Yakuta kurşun cam ile doldurma işlemi yapıldığında renk olarak çok güzel bir görüntü elde edilmektedir. Ancak dayanıklılık konusunda büyük bir problem yaşanmaktadır. Çünkü kurşun camı kimyasallardan çabuk etkilenmektedir ve ergime noktası yakuta göre düşük olduğu ve çok kırılgan bir malzeme olduğu için süs taşına zarar vermektedir (Pardieu vd., 2010).

Çatlak ve kırıkların kurşun cam kullanılarak yapılan doldurma işleminin silika cam ile doldurulmuş olanlara göre daha zor tespit edildiği söylenmektedir. Dolgu malzemeleri çözücülerle kolayca etkilenmektedir (McClure vd., 2006).

5.3. İmitasyon Materyallerinin Tanımlamaları ve Özellikleri

Malzeme ve Metalurjibiliminin temelinde non-metalik özellikte beş ana malzeme bulunmaktadır. Bunlar; silika (SiO_2) tabanlı camlar, polimerler, seramikler, kompozitler (kompozeler) ve cam-seramiklerdir.

5.3.1. Silika (SiO_2) tabanlı camlar

Silika tabanlı camlar, genellikle ergitme aşamasından sonra yavaş veya hızlı soğutma ve katılaşma ile oluşturulurlar. Bazen soğutma o kadar hızlıdır ki, camın kristalleşmesi oluşamaz. Sıcaklığın daha da düşmesiyle viskozite artmaya devam eder ve bu da sıvının tamamen katılaşmasına kadar aşamalı bir şekilde donmasına neden olur (Hasanuzzaman vd., 2016).Camlar, insanlık tarihinin en önemli ürünlerinden biridir. En eski insan yapımı opak cam, M.Ö.8 bin yılına tarihlenen Mısır çanak çömleklerinde bulunmuştur. Optik şeffaflık, yapısal sertlik, bileşim esnekliği ve dayanıklılık gibi benzersiz özellikleri nedeniyle silika tabanlı camlar, insanlığın yaşamın her alanında kullandığı önemli bir malzemedir. Tüm bu özellikler, silika tabanlı camları hem geleneksel hem de ileri teknolojik kullanımlar için uygun hale getirmiştir. Pencereler, kaplar, aydınlatma, lensler ve el yapımı sanat eserleri geleneksel kullanım örneklerinden bazılarıdır. Lazer camı, optik iletişim fiberleri, biyoglas, zırhlı cam, güneş camı vb. İleri teknolojik kullanım örneklerinden bazılarıdır.

Silika tabanlı camlar, genel olarak 1) inorganik ve 2) organik olmak üzereiki temel grupta toplanırlar. İnorganik camlar kökenlerine bağlı olarak doğal ve sentetik (insan yapımı veya yapay) camlar olarak ikiye ayrılmaktadır. Volkanik kayalarda doğal camlar bulunurken, insanlar sentetik camları hammaddeleri ergitip üretmişlerdir. Sentetik camlar ise genel ve özel camlar olarak ikiye ayrılırlar. Günlük yaşantımızda kullandığımız pencereler, bardaklar, şişeler,

lambalar, gözlükler ve aynalar genel cam olarak değerlendirilirler. Özel camlar ise lazer cam, radyasyon koruyucu cam, optik fiber ve şeffaf cam seramiklerdir (Karmakar, 2016).

Bileşimi ve özelliğine göre camlar; sodalı camlar, borosilikat camlar, kristal camlar, kurşunlu kristal camlar, silis camları ve alüminasilikat camları olarak ayrılmaktadırlar. Sodalı camlar en yaygın kullanılan camlardır. Yapısında SiO_2, Na_2O, CaO, Al_2O_3 ve MgO bulunmaktadır. Borosilikat camları ısıya çok daha dayanıklı camlardır. Yapısında B_2O_3 bulunmaktadır. Kristal camlar yapısında yüksek miktarda potasyumoksit ve kurşunoksit bulunan renksiz camlardır. Kurşunoksitin yapıda kristallik sağlaması için ağırlıkça en az %24bulunması gerekmektedir (Angeli vd., 2016). Kurşunlu kristal camlar yapısında yüksek oranda kurşunoksit içermektedir. Yüksek kırılma indisi, elektriksel özdirenç ve kolay işlenebilirlik bu camların en temel özelliklerinden biridir. Silis camı olarak bilinen silika camlar (yüksek saflıkta erimiş) düşük termal genleşme, yüksek geçirgenlik ve mükemmel anti-radyasyon nedeniyle yüksek enerjili lazer sistemi gibi gelişmiş optik sistemler için önemli bir malzemedir. Ergitilmesi için yüksek sıcaklıklar gerektiği için diğer camlara göre daha pahalıdırlar (Huang,2019). Alümina silikat camları yapısında %20 oranında Al_2O_3 içermektedirler. Yüksek sıcaklıklara dayandıkları için, geneldelabaratuvar ve mutfak gereçlerinde kullanılmaktadırlar.

5.3.2. Polimerler

Organik camlar aslında, polimerik malzemelerdir. Üretim yöntemi ve kimyasal yapısı bakımından inorganik camlardan farklıdırlar. Şeffaf olabilecekleri gibi, opak malzemeler de olabilirler. Ancak yine de silika tabanlı camlara benzer özellikler gösterebilmektedirler. Organik camlar gözlük camları, akvaryum tankları, implant, araba ön camları, pencere camı, kamera camı, çatılarda yapı elemanı ve süs eşyası gibi birçok kullanım alanına sahiptirler. Organik camlar, ergiyiğin hızlı soğutulmasıyla kristalleşme eğilimini engelleyen, karmaşık yumak düzeninde karbon– karbon zincirleri içerirler. Organik camlar, geleneksel silika tabanalıcamlar gibi şeffaf ve rijit, polimerler gibi hafif ve kolay üretilebilme avantajına sahiptirler Kırınım indisleri ve yüzey sertlikleri camlardan daha düşüktür. Bu nedenle, çizilmeye karşı dayanımları azdır (Karasu ve Akkaşoğlu, 2018).

5.3.3. Seramikler

Seramikle metalik ve ametalik özellikteki elementlerden oluşan bileşiklerdir. Seramik malzemelerin büyük bir kısmını oksitler, karbürler ve nitrürler oluşturmaktadır. Alüminyumoksit, silisyumdioksit, silisyumkarbür, silisyumnitrürün yanında kil minerallerinden

oluşan geleneksel seramikler ve çimento seramik malzemeler olarak sayılmaktadır. Mekanik özellikleri açısından seramik malzemeler, yüksek rijitliğe ve dayanıma sahiptirler. Seramik malzemelerin sertlikleri yüksektir, ancak gevrek ve kırılgan malzemedir (Callister ve Rethwısch, 2015).

5.3.4. Kompozitler (Kompozeler)

Kompozitler (karma malzemeler); metal, seramik ve polimerlerden iki ya da daha fazla malzemenin bir araya getirilmesi ile oluşan malzemelerdir. Kompozit malzeme tasarımında, bir malzemenin tek başına sergileyemeyeceği özelliklere ve de kendisini oluşturan malzemelerin en iyi özelliklerine sahip malzeme üretilmesi amaçlanmaktadır. Metal, seramik ve polimerlerin farklı şekillerde bir araya getirilmesinden çok sayıda farklı kompozit malzeme oluşturulabilir (Callister ve Rethwısch, 2015).

5.3.5. Cam-Seramikler

Cam seramikler, özel bileşime sahip camların kontrollü kristalizasyonu sonucu oluşan biyoseramiklerdir. Camlara göre mukavemeti, darbe direnci, refrakterlik özelliği ve düşük ısıl genleşme katsayısına sahip çok kristalli malzemedir. Camın, cam-seramik malzemeye dönüşümü kristal fazların çekirdeklenme ve büyümelerini kapsayan bir kristalizasyon işlemi ile sağlanmaktadır. Bu kristallerin yanı sıra ısıl işlem koşullarına ve camın bileşimine bağlı olarak artık kalan kalıntı cam fazlar da bulunmaktadır (Ercenk, 2017; Srichumpong vd.2019). Kristal yapı sayesinde çatlakların sapmasına, dallanmasına ve parçalanmasını sağlayan özelliklere sahiptirler. Bölünme düzlemlerinin ve tane sınırlarının varlığı, çatlak yayılması için bir engel görevi görmektedir. Ek olarak, kristallerdeki özellikler spektrumu, camlara kıyasla çok geniştir. Bu nedenle, bazı kristaller son derece düşük veya hatta negatif termal genleşme davranışına sahip olabilirler. Örneğin safir gibi malzemeler camdan bile daha sert olurken, mika gibi kristaller son derece düşük sertlikte olabilirler. Bazı kristal aileleri de olağandışı ışıldayan, dielektrik veya manyetik özelliklere sahip olabilir (Holland ve Beal,2002)

Li_2O-Al_2O_3-SiO_2**(LAS)**, MgO-Al_2O_3-SiO_2**(MAS)**, Li_2O-MgO-SiO_2, Li_2O-ZnO-SiO_2, BaO-Al_2O_3-SiO_2 ve CaO-Al_2O_3-SiO_2**(CAS)** sistemleri temel cam-seramik sistemleridir (Aydın vd. 2019). Camsı-seramiklerin çeşitli üretim yöntemleri bulunmaktadır. Bunlardan biride toz metalurjisi yöntemidir. Toz metalurjisi yönteminde tozlar pres ile şekillendirildikten sonra kalıcı mukavemet sağlanması amacı ile sinterlenmektedirler. Ayrıca yüksek akış hızları nedeni ile metal ya da diğer cam seramiklerin üzerine kaplama malzemesi olarak da kullanılabilirler. Cam-

seramiklerin bu özellikleri ve üretim kolaylığından dolayı hem süstaşı olarak hem de süstaşlarının iyileştirilmesinde kullanılabileceği düşünülmektedir.

Geçmişten günümüze kadar başta özellikle elmas mineralini taklit etmek üzere diğer tüm minerallerin taklidi olarak da imitasyon süstaşı malzemeler kullanılmıştır. 1905'den önce Safir, 1920 civarlarında spinel, 1948 yılında rutil, 1955'de stronsiyum titanat, 1962'deYAG, 1968'de GGG ve 1976 yılında kübik zirkonyadır. Fakat bu taklitlerin bazı eksiklikleri vardır. Örneğin sentetik spinel, renksiz safir, YAG (Ytrium Alüminyum Garnet) elmasa göre parlaklığı daha düşüktür. Sentetik rutil, stronsiyum titanat daha yumuşak ve daha fazla dağılma sergiler, GGG (gadolinyum galyum granat) ve CZ (kübik zirkonya) çok yüksek özgül ağırlıklara sahiptir ve biraz kırılgandır. Çizelge 5.2'de süstaşlarının saydam yapılı imitasyon türleri ve bunların piyasaya sürülüş yılları yer almaktadır. Çizelge 5.3'de imitasyon türlerin özellikleri yer almaktadır.

Çizelge 5.2. Süstaşlarının saydam yapılı imitasyon türleri ve bunların piyasaya sürülüş yılları (Hatipoğlu 2021'den uyarlanmıştır).

İmitasyon Türleri	**Piyasaya Sürülüş Yılları**
Kurşunlu Cam	1900
Titanya	1948
Fabulit	1955
YAG	1962
GGG	1968
Kübik Zirkonya (CZ)	1976
Mozanit (SİC)	1998
Neksus Taşı	2007

Çizelge 5.3. Süstaşlarının saydam yapılı imitasyon türleri ve özellikleri (Hatipoğlu, 2021'den uyarlanmıştır).

İmitasyon Adı	**Kimyasal Formül**	**Mohs Sertlik Değeri**	**Özgül Ağırlık**	**Kristal Sistem**	**Kırılma İndisi**	**Çift Kırılma**	**Dispersiyon**	**Saydamlık**
Mozanit	SİC-6H	9,25	3,22	Trigonal	N_ε: 2.69 N_ω: 2.64	0,43	0,104	Opak
Kübik Zirkon	ZrO_2(HfO/CaO/Y_2O_3)	6,50	5,60-5,80	Kübik	$N_{\varepsilon,\omega}$: 2.17	yok	0,060	Opak
Neksus	C,S,Ca,Fe,Co,Ni,Y,Zr,Gd,Hf	7,80	7,78	Kübik İzometrik	$N_{\varepsilon,\omega}$: 2.20	yok	0,046	Opak
GGG	$Gd_3Ga_2(GaO_4)_3$	8,50	7,08	Kübik İzometrik	$N_{\varepsilon,\omega}$: 2.02	yok	0,045	Opak
YAG	$Y_3Al_2(AlO_4)_3$	8,25	4,55	Kübik İzometrik	$N_{\varepsilon,\omega}$: 1.83	yok	0,028	Opak

Çizelge 5.3. Süstaşlarının saydam yapılı imitasyon türleri ve özellikleri (devam).

Fabulit	$SrTiO_3$		5,13	Kübik İzometrik	$N_{\varepsilon,\omega}$: 2.41	yok	0,200	Opak
Titanya (Sentetik Rutil)	TiO_2	6,00	4,25	Tetragonal	N_{ε}: 2.90 N_{ω}: 2.61	0,287	0,300	Opak
Kurşunlu Cam	SiO_2	5,50	3,74	Amorf	$N_{\varepsilon,\omega}$: 1.63	yok	0,031	Opak

SİC: Silisyum karbür ilk üretildiğinde aşındırıcı malzeme olarak kullanılmıştır. SİC tek kristal olarak büyütülmesi sonucunda yarı iletken malzeme olarak ve elmas taklidi olarak kullanılabilecek bir malzeme olabileceği kanaatine varılmıştır. Silisyum karbür üzerine yapılan ilk çalışmalar Mellor tarafından yapılmıştır. 1893 yılında Edward G. Acheson (SİC'ün sertliğini ve aşındırıcı olarak potansiyelini ilk fark eden kişi olduğu söylenmektedir. Sentetik elmas yapımını denerken bir karbon ve ergimiş alüminyum silikat karışımından karbon elektrodları arasından elektrik arkı geçirirken tesadüfen SİC üretimi yapmıştır. Elde ettiği bu malzemeye "karborundum" adını verdi (daha sonra ticari bir isim olacak). Daha sonra karbon ve kum karışımı kullanarak daha iyi bir verim elde etmiştir. Henri Moissan, Canyon Diablo göktaşında doğal silisyum karbür keşfetti. Kunz (1905), Moissan'ın onuruna doğal minerale mozanit adını verdi. O zamandan beri, mozanitin diğer göktaşlarında ve birçok karasal oluşumda küçük miktarlarda bulunduğu belirtilmiştir (McClure vd. 1997).

İlk başta, araştırmacılar mozanit çeşitli farklı kristal yapılarda (kübik (C), altıgen (Hekzagonal) ve eşkenar dörtgen (Rombohedral) simetrileri olanlar dahil) olduğunu belittikleri için bir karışıklık meydana gelmiştir. Bu karmaşıklık, altıgen atom katmanlarının farklı istifleme dizilerini temsil eden politiplerin varlığından kaynaklanır. Silisyum karbür de 150'den fazla politip bilinmektedir ve bunların hepsi uygun şekilde "mozanit" olarak adlandırılmıştır. Günümüzde, alfa-SiC'nin yalnızca 4 Hekzagonal ve 6 Hekzagonalpolitipleri toplu biçimde (yani, boules olarak) büyütülebilir. Her iki politip de altıgendir ve her ikisi de neredeyse renksiz malzeme verir. Renksiz sentetik mozanit, 6 Hekzagonal formludur. 6 Hekzagonal politipinin özelliklerine çok yakın özelliklere sahip olan 4 Hekzagonal politipi, şu anda yarı iletken kullanımları için üretilmektedir (McClure vd. 1997).

1955'deLely SiC topaklarından yapılmış, içi boş bir silindir kullanmıştır. Bu silindir, kapalı bir grafit pota içinde 2500°C'ye ısıtılmış ve SiC kristalleri boşluğun içinde büyümüştür. Kimyasal saflığın ve oluşan spesifik poli tiplerin kontrol edilmesindeki zorluklar birçok değişikliğe yol açmıştır. Özellikle, dikkatlice kontrol edilen atmosferlerin ve sıcaklık

gradyanlarının kullanılmasının yanı sıra, kaviteyi hizalamak için ince, gözenekli bir grafit tüpün eklenmesi (difüzyon yoluyla, süblimasyonun daha iyi kontrolünü sağlar) kristallerin daha iyi kontrol edilmesini sağlamıştır ve kristaller bu tüpün içinde büyütülmüştür. Mosanitin sertliği Mohs sertlik skalasında 9,4 olarak verilmektedir. Yani elmasın taklidi olarak kullanılan mosanitin sertliğinin korundumdan daha yüksek olduğu görülmüştür (McClure vd. 1997). Mozanit sarı, siyah ve mavi gibi renklerde olabilir ve renkli elmas taklidi olarak kullanılabilir.

Kübik Zirkonya; 1937 yılında iki Alman mineralog, Staclzelberg ve Anderson tarafından kendilerine verilen oldukça metamikt bir zirkonu incelerken doğal bir mineral olarak keşfedildi. XRD ile incelenmesi sonucunda monoklinik formda baddeleyit olarak bilinen zirkonyum oksitin kübik forma sahip olanıydı. Saf zirkonyum oda ısısında monoklinik fazdadır ve yaklaşık 1170°C'ye kadar stabil durumdadır. Yapı 1170°Cnin üzerinde tetragonal, 2370°C'nin üzerinde de kübik forma geçmektedir. İlk kez bir araştırmacı 1929'da ısı artışı sonucu ortaya çıkan kübik formun oda sıcaklığında da stabil olarak kalmasını sağlamak amacıyla yapıya CaO ilavesi yapılmasını önermiştir. İlerleyen senelerde zirkonyum yapının içine CaO, MgO, ve Y_2O_3 gibi ısı değişiklikleri esnasında faz değişimine uğramayacak kübik formda oksitlerin eklenmesi yoluyla zirkonyumun mekanik özellikleri iyileştirilmeye çalışılmıştır. Saf zirkonyum, CaO, MgO, andY2O3 gibi stabilizatörlerin ilavesi ile 1000°C'nin üzerinde tetrogonal faza geçmekte, bununla birlikte tekrar oda ısısına dönüldüğünde kübik ile tetragonal fazın karışımı bir yapıya dönüşmektedir (Turkoğlu, 2019).

Kübik zirkonya bir kap içinde eriyikten katılaşarak kristal büyütme tekniği kullanılarak büyük kristaller elde edilmiştir.%10, %30 Y_2O_3 katkılı kübik zirkonya 1972 yılında patentlenmiştir. Ve elmas taklidi olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu renksiz kübik zirkonya doplama malzemeleri ile renklendirilerek süs taşı olarak kullanılmaktadır (Nassau, 1981).

Kübik zirkonya hemen hemen her renkte üretilebilir. Pembe ve sarı kübik zirkonyalar, pembe veya sarı elmas taklitleri olarak kullanılabilir. Diğer renkli kübik zirkonyalar, daha koyu kırmızı, mor, mavi, yeşil veya siyah süs taşlarının taklitleri olabilir (https://www.gia.edu/gem-imitation).

YAG ve GGG: itriyum alüminyum garnet insan yapımı üretilen süs taşlarındandır. Özgül ağırlığı 4,55 ile çok yüksektir. Mohs sertlik skalasına göre sertliği 8, 5'dur. Kırılma indisi 1.833'dür (https://www.gemsociety.org/article/yttrium-aluminum-garnet-information/).GGG, özgül ağırlığı 7,05 ile çok yüksektir. Sertliği Mohs sertlik skalasına göre 6,5 civarındadır. Kırılma indisi 2,03'dür. Yıllar boyunca elmas taklitleri olarak birçok insan yapımı malzeme kullanılmıştır. 1960'larda, itriyum alüminyum granat (YAG) ve onun grubundan gadolinyum

galyum granat (GGG), cam, doğal zirkon ve renksiz sentetik spinel gibi klasik taklitlere katılmıştır. YAG ve GGG çeşitli renklerde mevcuttur (https://www.gia.edu/gem-imitation).

Stronsiyum Titanat: Bu renksiz insan yapımı malzeme 1950'lerde popüler bir elmas taklitçisi oldu. Bununla birlikte, dağılımı elmastan dört kat daha fazladır. Stronsiyum titanat çoğunlukla alev-füzyon yöntemiyle üretilir ve koyu kırmızı ve kahverengi gibi renklerde, büyüme işlemi sırasında belirli kimyasallar eklenerek yapılabilir (https://www.gia.edu/gem-imitation).

Sentetik rutil: Sentetik rutil 1940'ların sonlarında elmas benzeri olarak kullanıldı. Alev füzyon yöntemiyle yapılan, hafif sarımsı bir tonla neredeyse renksizdir, ancak doplama ile çeşitli renklerde ile üretilebilir (https://www.gia.edu/gem-imitation).

Sentetik spinel: Rengine bağlı olarak birçok farklı süs taşın (safir, zirkon, akuamarin ve peridot gibi) görünümünü taklit edebildiği için genellikle bir taklit olarak kullanılır (https://www.gia.edu/gem-imitation).

5.4. Taklit Süstaşı İmalatının GeçmiştenGünümüze Süreci

Tarihçiler derki; Yazının bulunmasından (günümüzden yaklaşık 7 bin yıl evvel; Neolitik Dönem başlangıcı) buyana uygarlıkların en önemli beşiği Asya kıtasında İndus Vadisi (günümüzde güney Pakistan bölgesi), Orta Doğuda Mezopotamya (günümüzde Fırat ve Dicle Nehirlerinin arası) ve Mısır ve İsrail-Filistin Bölgesi'nin bulunduğu alanlardı. Burada yaşıyan antik halkların bölgelerinde buldukları süstaşlarını uhrevi ve dünyevi amaçlar için kullanmaları, günümüze ulaşan Ar-Gem-Ma (Arkeo-Gemolojiksel-Materyaller)lardan anlaşılmaktadır.

İndus Vadisi antik halklarının en kolay buldukları kayaç türü süstaşlarından birisi lapislazulli'dir. Ancak bu süstaşını yeterince bulamayan ama çok da ilgilerini çeken diğer bölge insanlarının ilk taklit ettikleri taşlardan birisi de lapislazulli olmuştur. Lapis lazuli'yi taklit etmek için yapılmış bugünkü anlamdaki cam materyali; mavi sırlı steatit boncuklar olduğu söylenmektedir (Dubin, 1995). M.Ö.3.500'e gelindiğinde steatitin, seramik bir malzeme ile değiştirildiği görülmektedir. Bunlar, boncuk gibi şekil verilmiş, ısıtılmış ve çeşitli katkı maddeleri ile hazırlanmış toz kuvarstan yapılmışlardı.

5.5. Önceki Çalışmalar

Agrosi vd., (2014); Bu çalışmada Biron hidrotermal yöntemi ile geliştirilen sentetik zümrütleri Chatham flux yöntemi ile yetiştirilenden ayıt etmek amacıyla Lazer kaynaklı bozulma spektroskopisi tekniği uygulanmıştır. Eş doğrusal çift darbeli Lazer kaynaklı bozulma

spektroskopisi ile gerçekleştirilen analizler, numunelerde hasarı minimum tutarken ve kantitatif kimyasal analizler için doğru bir sinyal sağlamaktadır. Bu şekilde zümrüt ve diğer süs taşlarının kökenlerinin belirlenebilmesi için gerekli olan geçiş elementlerinin tespit edilmesinde önemlidir. Özellikle Cr, V, Fe'in varlığını tespit ederek süs taşlarının kökenlerinin belirlenmesinde önemli bir uygulama olduğu görülmektedir.

Yang vd., (2020); Kırmızı yakut (α-Al_2O_3) ve yeşil zümrüt ($Be_3Al_2(SiO_3)_6$ iki süs taşının renkleri arasındaki farkın sebebi, kristal alan etkileri analiz edilerek açıklamıştır. Yakutta zümrüte göre daha yüksek olan kristal alan etkisinin renk farklılığının ana sebebi olarak gösterilmektedir. Yakuttaki daha büyük olan kristal alan kuvveti, zümrüt ile karşılaştırıldığında absorpsiyon pikinin sonraki mavi kayma ile Cr^{+3}'ün enerji seviyelerinde daha büyük ayrılma meydana geldiğini göstermektedir. Ancak zümrüt ikinci kademe kristal alan parametreleri tarafından ifade edilen kristal alanın daha güçlü düşük kristal bileşenleri tarafından karakterize edilmektedir. Zümrütteki Cr^{+3} iyonlarının üçlü derece orbitallerinin bölünmesi yakuta göre on kat fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu yüzden, zümrütteki düşük simetri bölünmesi ilk uyarılmış $^4T_{2g}$ üçlüsünün en düşük kademeye kadar azaltacak ve ilk soğurma bandının daha koyu kırmızı spektral aralığa ek kırmızı kaymasına neden olarak daha koyu yeşil zümrüt rengine sebep olduğu belitmişlerdir.

Intarasiri vd., (2009); Araştırmacılar iyon implantasyonu, değerli taşların temel niteliklerinin iyileştirilmesi için safir ve yakut dahil olmak üzere Tayland yerel doğal korundumunun gemolojik modifikasyonunda etkili bir yöntem olarak uygulanmıştır. Süs taşlarına orta ve düşük enerji seviyesinde oksijen ve nitrojen iyonları farklı miktarlarda implante edilmiştir. Ağır iyon ışınlaması, rengi istenen renklere dönüştürür ve renk dağılımını, iletimini ve parlaklığını geliştirir. Bu değişiklikler değerli taşların kalitesinin ve dolayısıyla piyasa değerinin artmasına yol açar. Bu değişikliklerin olası mekanizmaları önerilmiştir. Bu modifikasyonların ana nedeni, saf olmayan metallerin oksidasyon durumlarındaki değişiklikler, bir metal katyondan diğerine yük transferinin indüksiyonu ve renk merkezlerinin üretimi olabileceği açıklanmaktadır.

Chindudsadeegul ve Jamkratoke (2018);Araştırmacılar, Madagaskardan elde edilen yeşil apetitin indirgenme ışıl işlemler sonrasında optik ve lüminesans özellikleri araştırmışlardır. Elekto mikroprop analizi sonrasında nadir toprak elementleri olan Ce, Pr ve Nd lüminesans hatası göstersede, doğal olan yeşil apatitte lüminesans özelliklerinin görülmediği belirtilmiştir. Sırayla yapılan ısıtma işlemleri sonrasında yeşil apatitin renginde açılmaların meydana geldiği ve Ce^{+3} atomundan kaynaklı lüminesans özelliklerinde artış gözlemlenmiştir. Isıtma işlemi

sonrasında optik spekturum incelenmesi yapılan apatitin 800 °C'de optik bandlarının yok olmasından dolayı renginin yeşilden renksiz hale dönüştüğü belirtilmiştir. Bu çalışma sayesinde ısı ile tedavi edilmiş apatit ile doğal apatitin ayrılması konusunda faydalı olduğu söylenmektedir.

Bootkul vd., (2017), Bu çalışmada kristalin opal ile sentetik olarak elde edilmiş opallerin karşılaştırılması yapılmıştır. Sentetik opal üretmek için soda-kireç-silika cam atıkları ile silika tozu kullanılmıştır. Cam ve metal tozunun etkileşmesi ile kristal renk ajanlarının oluşmasına sebep olurken optik özelliklerinin arttığı görülmüştür. Çalışmada faz analizi için XRD, optik özelliklerinin belirlenmesi amacı ile Raman spektrometresi kullanılmıştır. Analiz sonuçları değerlendirildiğinde süt opalin bu teknik ile üretilebileceği söylenmektedir.

Sodo vd., (2003), Çalışmada hem stokiyometrik ($MgO \cdot Al_2O_3$) hem de farklı Al / Mg oranlarına sahip doğal ve sentetik spinellerin oluşum koşulları ile ilgili düzensizlik olgusu fotolüminesans spektroskopisi ile incelenmiştir. Bu yöntem tahribatsız ve herhangi bir işleme gerek duyulmadan yapılmaktadır. Bu analiz sonucunda doğal, sentetik ve taklit süs taşlarının arasında net bir ayrım yapılmasına olanak sağlamıştır.

Setkova vd., (2011),Ağırlıkça %16 oranında geçiş metal elementleri olan Co, Ni, Fe ve Cr içeren ve tek kristal olarak elde edilen turmalin 100 Mpa basınç ve 400-750 °C sıcaklık aralığında kompleks bor içeren hidrotermal çözeltilerde üretilmiştir. Deneyler titanyum ve krom nikel otoklavlarında termal gradyan koşulları altında yapılmıştır. Krom içeren turmalinler hariç tümü trigonal piramitin yüzleri tarafından 0,05mm/gün hızla optik eksenin anolog yönünde büyümüştür. Büyük tek kristaller ile birlikte hem tane kristalleri hemde yükte doğal çekirdeklenme ile beraber 30-150µm boyutlarında turmalin kristalleri elde edilmiştir.

Lee vd., (2011), Sentetik zümrüt üretebilmek için $PbO\text{-}V_2O_5$ ergiticisi kullanılarak flux metodu ile sentetik zümrüt kristalleri elde edilmiştir. Genel olarak zümrüdün yeşil renk tonu Cr^{+3} atomunun eklenmesi ile arttırılmaktadır. Sentezlenen kristallerin molar hacminin Cr_2O_3 dopantı ile birleştiğinde arttığı görülmektedir. Zümrüdün oktohedral bölgelerinde Al^{+3} atomunun yerine Cr^{+3} atomunun yerleşmesi ile a ekseninde genişleme görülürken c ekseninde herhangi bir değişikliğin olmadığı tespit edilmiştir. Zümrrüdün kristal kafesinde Cr_2O_3 için yeterli olan miktar ağırlıkça%3,5 civarında olduğu söylenmiştir. Cr_2O_3 oranı ağırlıkça %3,5'ü geçerse zümrüt matrisinde bilinmeyen bir fazın çökmesine sebep olmuştur bundan dolayı kafes parametrelerinde değişikliklerin meydana geldiği söylenmektedir.

Lee vd., (2006b), Be-difüzyon sonrası işlem görmüş doğal safir ve sentetik safirdeki F + merkezlerinin katodolüminesans (CL) yoğunluklarının, 0,1 ila 2 μA arasında değişen sabit olay akımları ile 15-keV elektronlarının sürekli ışınlamaların etkisi ile önemli ölçüde arttığı bulunmuştur. Be difüzyonu ile başarılı bir şekilde sonradan işleme tabi tutulan doğal safirin, sentetik safire göre daha zayıf kristal kalitesine sahip olduğunu görülmüştür.

Zahao vd., (2018), Doğal jadeitin oluşum şartları göz önüne alınarak yüksek sıcaklık ve yüksek basınç yöntemi uygulanarak sentetik jadeit üretimi yapmışlardır. Öncelikle hammadde olarak MnO ve $Al_2(SiO_3)_3$, $Na_2SiO_3 \cdot 9H_2O$ alınarak karıştırma ve 1100°C'de ergitmişlerdir. Daha sonra 3,5-6 GPa basınç ve 1200 ile 1500 °C aralığında sinterleme işlemleri yapılmıştır. Sinterlenen örneklerin faz analizi için XRD ve SEM ile mikrayapı analizi yapılmıştır. Analizler sonucu mükemmel kristallikte ve ince dokulu jadeitler elde edilmiştir. Raman spektara ve infared spektra analizinin sonucuna göre pik pozisyonlerının doğal olan jadeit ile benzer olduğunu tespit etmişlerdir. Sentetik jadeit UV-VIS spektroskopisi ile gösterilen MnO emiliminden dolayı mor renkli görülmektedir. Sonuç olarak elde edilen sentetik jadeitin doğal jadeit ile benzer mikroyapı, kristal yapı ve fiziksel özelliklerinin benzer olduğu görülmüştür.

Chaiwong vd., (2005), Çalışmada N-iyon uygulanması ile sentetik tek kristal olarak elde edilen Cr doplu Al_2O_3 (yakut) ile safirin (α- Al_2O_3) yüzeyinde meydana gelen değişiklikler incelenmiştir. Örneklere $1x10^{16}$-$1x10^{18}$iyon /cm^2 arasında değişen oranlarda 120 keV N iyonu uygulanmıştır. Optik özellikler incelendiğinde yakutun optik absorbsiyonunun her birr dalga boyunca eşit olarak arttığı safirin optik absorrpsiyonun kısa dalga boyu için etkili hale geldiği görülmüştür. N iyon uygulanma oranının artması ile kırılma indislerinde azalma meydana gelmiştir. Sem ile mikroyapı incelendiğinde N iyonunun etkisi ile yüzeyde kabarmalar görülmüştür.

Lee vd., (2006a), İçlerinde doğal ve sentetik olarak üretilmiş olan beş farklı safir örneğine elektron ışını radyasyonunun neden olduğu sonuçlar katodolüminesans özelliğine sahip bir SEM ile ölçülmüşlerdir. Bu safir örnekleri $6x10^{20}$elektron.cm^{-2} 'ye kadar toplam akıların keV elektronları tarafından oda sıcaklığında ışınlanmıştır. Renkli safirlerde bu ışımanın artması ile yüzeyinde ağarma ve yüzeyin altındaki kısımlarda çatlamalar meydana gelmiştir. Bu ağaran ve çatlak oluşan safirlerde oksijen tavlama ve kimyasal oksidasyon yöntemi ile eski rengine döndüğü ve çatlakların kapandığı tespit edilmiştir. Işın ile implante edilen sentetik ve doğal olan safirlerde farklık görülmüştür.

Balitsky vd., (2002), Çalışmada birleştirilen ve ayrılan kuvars ve topaz kristallerinin eşzamanlı çözünme ve büyüme prosesleri araştırılmıştır. Sentetik topaz için kristal büyüme

işlemi başarı ile gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem florür içeren asidik sulu akışkanlardan kristalleştirmeyi içermektedir. 20 gr ağırlığına kadar sentetik topaz örnekleri 20, 30 gün içerisinde elde edilmiştir.

Katı vd., (2012), Türkiye'de Manisa İli Gördes bölgesinde bulunan beril örneklerine XRD, SEM ve katodolüminesans analizleri yapılmıştır. Bu toplanan beril örneklerinde mikro çatlakların olduğu belirtilmiş ancak derin ayrışma bölgesinin altında bulunan beril örneklerinin mücevher kalitesinde olabileceği söylenmektedir. Beril örneklerinin kimyasal analizi sonucunda maksimim %3,08Fe_2O_3 ile Al taşıyan bölgede Fe ana kromaforu olduğu belirtilmiştir.

Achiwawanich vd., (2006), Mong Hsu yakutları 1100, 1200, 1300, 1400, 1500 ve 1600 °C'de sinterlenmiştir. Her ısıtma işlemi sonrasında ve ısıtılmamış yakut örneklerinin yüzey özellikleri ve görsel görünümleri incelenmiştir. Tedavi edilmemiş yakutun karakteristik mavi çekirdek bölgeleri 1100°C'de soluklaşmaya başlamış olup, 1500 °C'de tamamen kaybolduğu gözlemlenmiştir. 1300°C'de yakut matrisindeki karakteristik mavi çekirdek bölgesi azalmış onun yerine turuncu renk ile yer değiştirmiştir. Tedavi edilmemiş yakutların yüzeyinde Na, Si, Fe ve Ca eser miktarda tespit edilmiştir. Ti ise 1100°C'ye ısıtıldığında tespit edilmiştir. XPS sonucuna göre, Fe ve titanyum iyonlarının difüzonu ve Fe iyonlarının oksidasyon durumunun değişmesi Fe^{+2}/Ti^{+4} yük durumunu değiştirerek mavi alanın azalmasına olanak sağlamakta olduğu söylenmektedir.

Ying vd., (2018), 32 adet Işınlama yöntemi ile, $[FeO_4]^{-4}$ ferrik elektronik elektronik kabukta bir elektron tarafından uyarılmış ve 550nm'lik bir görünür ışığı absorbe ederek kristalin sitrin adı verilen altın renkli bir görüntü sağlanmış. IR spekturumu ile 32 farklı sitrin örneği 27 doğal sitrin, 2 sentetik sitrin 3ısıl işlem görmüş sitrin olarak tanımlanmıştır. Renk parametrereleri kalorimetre test ile hesaplanmışlardır. Renk tonu, açıklık ve parlaklığın süs taşının görsel rengini nasıl etkileyeceği belirtilmiştir.

Rao vd., (2016), Çalışmada düşük kalitede olan yakut örneklerine N ve Cr iyon implatasyonu gerçekleştirilmiştir. İyon implatasyonu sonucunda yakut yüzeylerinde renk değişikliği görülmüştür. Cr iyon implantasyonu uygulanan ham yakutların rengi koyu kırmızı renge dönüşürken N iyon implatasyonuna maruz kalan yakut örnekleri koyu mavi, yeşilimsi mavi ve menekşe rengine benzeyen karışık bir renk oluşumu görülmüştür. Ham yakutun N iyon implatasyonu ve ısıl işlem görmüş Cr iyon implatasyonu ile önemli bir renk değişimi olmadığı görülmüştür. Cr implatasyonu ile yakutun R çizgisinde dağınık yansımanın artması sonucunda matris içerisine giren Cr iyonu yakutun renginin daha koyu kırmızıya dönüşmesine sebep olmaktadır.

Sahoo vd., (2015), Çalışmada doğal yakut HCL ve aseton ile temizlenmiştir. Daha sonra PbO ve ZnO kullanılarak yüksek sıcaklıkta doğal yakut için iyileştirme çalışması yapılmıştır. Oksitlerin ve yüksek sıcaklığın etkisi ile pembemsi mavi görünümde olan yakut kırmızı renge dönüşmüştür. PbO ile yapılan işlemin daha başarılı olduğu yani renk ve parlaklık bakımından daha iyi bir sonuç verdiği görülmüştür. Bu işlemlerin sonunda yakutun özgül ağırlığında herhangi bir değişiklik olmadığı tespit edilmiştir.

Bosshart, (1983),Çalışmasında Hindistan'dan mavi kuvars olarak sunulan yuvarlak boncuklardan oluşan bir kolye, gemolojik ve ek ileri tekniklerle analiz edilmiştir. Kaliteli lapis lazuli'yi andıran menekşe mavisi süs taşı, daha önce mücevher ikamesi olarak gözlemlenen bir camın aksine, şeffaf olmayan bir kobalt cam olduğu ortaya çıkmıştır.. Lapis'in karakteristik renk düzensizlikleri (mavi beyaz), koyu mavi camda bulunan düşük kristobalitin beyaz kristalitleri tarafından taklit edilmiştir.

Koivula ve Kemmerling (1989), Çalışmada plastik malzeme ile yapılan bir taklit opal olduğunu ve piyasaya opalit olarak sürüldüğünü bildirmiştir.

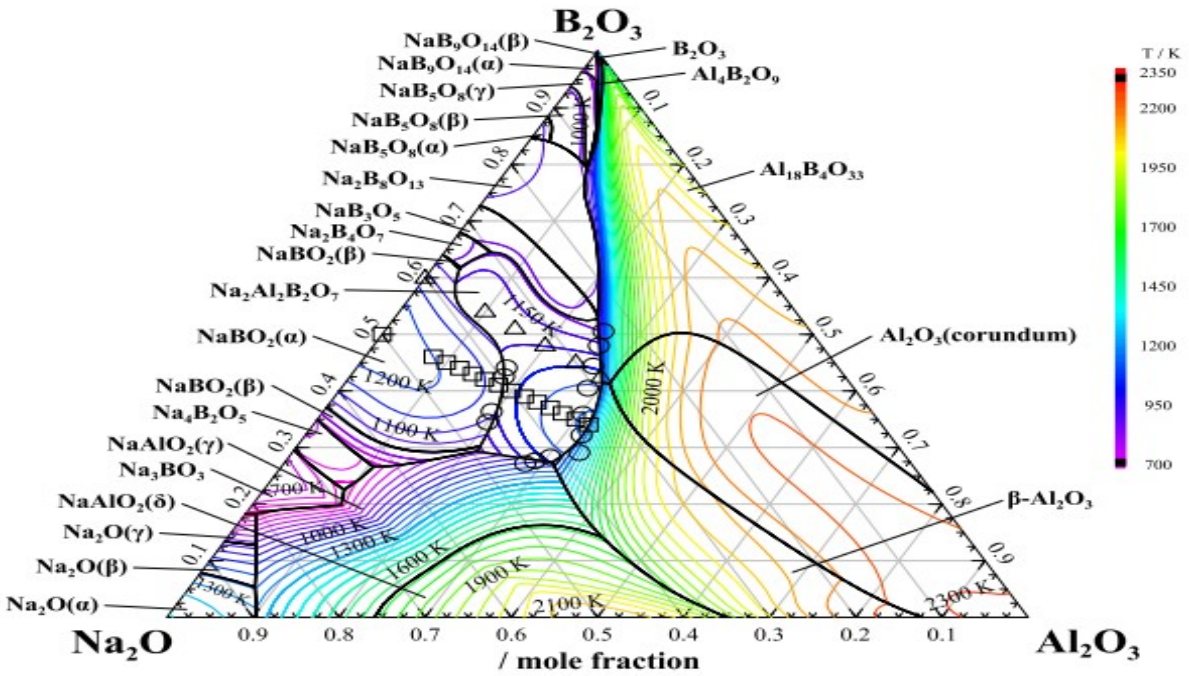
Lucas (2012), Çalışmasında sentetik opallerin 22 sene önce tıbbi uygulamalar için nanopartikül üretilirken bulunduğuna değinmiştir. Sentetik opal ile aynı kırılma indisine sahip özel olarak geliştirilmiş bir reçine opal içine emdirilerek opelesans tabaka elde edilmiştir. Bu ürün için Mohs sertlik değerine göre 4-4,5 civarında olan turkuazla benzer sertlikte olduğunu belirtmiştir. Renkli turmalinin imitasyonu ise kırmızı ve yeşil çimento ile birleştirilen renksiz kuvars üçlüsünden oluştuğunu söylemektedir.

Lai (2017), Çalışmada Gem laboratuarında incelediği zümrüt küpelere FTIR, SEM analizi yapıldı. Zümrüt olağandışı yeşil renkliydi ve kaplanmış imitasyon zümrüt olduğu tespit edilmiştir.

6. MATERYAL VE METOD

Süs taşlarının yapısı incelendiğinde özellikle silikat, oksit, fosfat ve karbonat bileşiklerinden oluştuğu önceki bölümlerde ifade edilmişti. Bu çalışmada bunların aksine cam seramik benzeri imitasyon süs taşı üretilmiştir. Cam seramikler 1950'lerin başların itibaren keşfedildiğinden bu yana günlük hayatta, endüstriyel uygulamalarda, çevresel uygulamalarda, biomedikal uygulamalarda mimari uygulamalarda ve daha birçok ileri teknoloji uygulamalarında geniş çaplı kullanılmaktadır. Cam seramik kendine özgü bir yapısı olan camların kontrollü bir şekilde kristalizasyonu ile üretilen ve camdan daha yüksek mukavemete, darbe direncine sahip çok kristalli bir cam yapıdır. Kristalizasyon, yapısal olarak amorf bir fazın düzenli bir geometri ile kararlı bir katı faza dönüştürüldüğü termal ve kinetik süreç olarak tanımlanabilecek çekirdeklenme ve kristal büyümesi yoluyla gerçekleşmektedir (Perez vd., 2012).

Bu çalışmada süs taşlarının yapısı incelenerek cam seramik yapıya sahip imitasyon süs taşları üretilmiştir. İlk olarak MgO, Al_2O_3 ve $Na_2B_4O_7$ hammaddeleri kullanılarak reçeteler hazırlanmıştır. Şekil 6.1'de Na_2O-B_2O_3 - Al_2O_3 faz diyagramı görülmektedir. Bu faz diyagramı kullanılarak Çizelge 6.1'de görülen reçeteler hazırlanmıştır.



Şekil 6.1. Na_2O - B_2O_3 - Al_2O_3 fazdiyagramı(Wakasugivd. 1992; Wakasugivd. 1995; Binev vd. 2005; Chen vd., 2006'dan uyarlanmıştır).

Çalışmada kullanılan hammaddeler saf alüminadan biraz daha sertliğe sahip, aşınmaya, kayma aşınmasına, sürtünmeye, oksidasyona, asitlere ve alkalilere karşı dirençli Metco firmasına ait 101 seramik kodlu -22+5 μm tane boyutuna sahip alüminyum oksit, Eti maden işletmesine ait Etibor-68 kodlu susuz di sodyum tetra borat ($Na_2B_4O_7$) granül ana malzeme olarak kullanılmıştır. Ayrıca, refsan firmasına ait kırmızı demir oksit, siyah bakır oksit, nikel oksit, kobalt oksit, çinko oksit, mangan oksit, ve krom oksit kullanılmıştır. Çizelge 6.1'de kullanılan hammaddelerin ağırlıkça yüzde (%) oranları ve örneklerin ismi yer almaktadır. Çizelge 6.1'de belirtilen örnekler 600, 650, 700 ve 800 °C'de 1 saat süre ile 10°/dk hızla sinterlenmiştir. Sinterleme işlemi sonucu incelenen örneklerin görüntü açısından süs taşına en uygun olanı D7 kodlu örnek olduğu görülmüştür.

Çizelge 6.1. Örneklerin adı, kullanılan hammaddelerin ağırlıkça yüzde oranları (Seçilen reçete-D7- koyu renk ile işaretlenmiştir).

Örnek Adı	**Ağırlıkça % MgO**	**Ağırlıkça % $Na_2B_4O_7$**	**Ağırlıkça % Al_2O_3**
D1	12,5	87,5	-
D2	27,59	72,41	-
D3	46,15	53,85	-
D4	61,07	-	38,93
D5	37,04	-	62,96
D6	20,73	-	79,27
D7	**-**	**73,30**	**26,70**
D8	-	50,72	49,28
D9	-	31,39	68,61
D10	26,14	57,19	16,67
D11	17,81	51,93	30,26
D12	24,84	43,48	31,68
D13	10,87	47,58	41,58
D14	17,00	39,66	43,34

.

Bu hazırlanan tozların hazırlanma aşaması, çalışmada izlenen yöntem ve kullanılan cihazlar aşağıda detaylı olarak verilmiştir.

1. Kullanılan Hammaddelerin Karakterizasyonu
2. Karışımların Hazırlanması
3. Hazırlanan Tozların Şekillendirilmesi
4. Isıl İşlemler
5. Faz Analizleri
6. Sertlik Ölçümü
7. Yoğunluk Ölçümü

8. Renk Ölçümleri (L*a*b)
9. Parlaklık Ölçümü
10. Mikroyapı Analizleri (SEM)
11. UV Spektrometre Kullanılarak Kırılma İndisi hesaplaması yapılarak elde edilen analiz sonuçları değerlendirilmiştir.

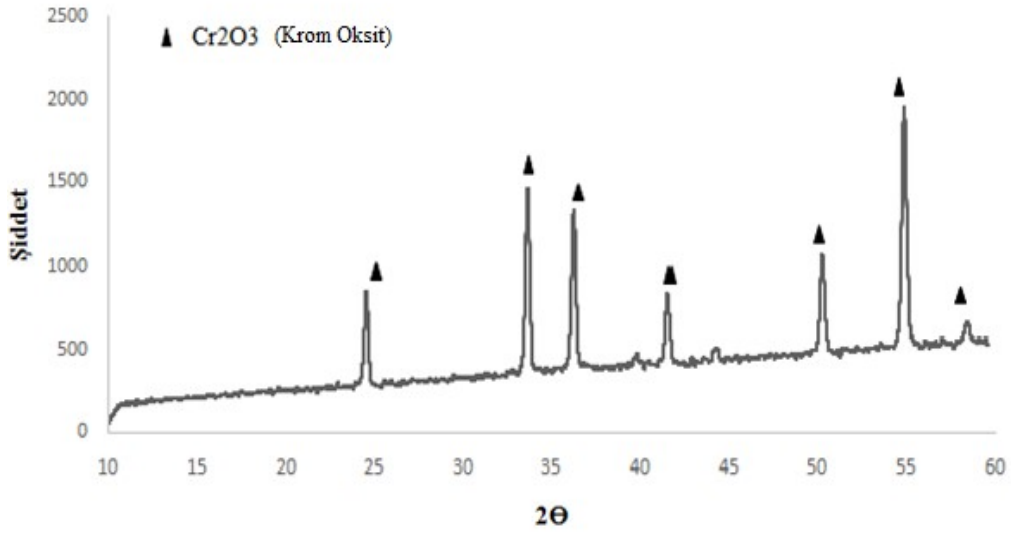
6.1. Kullanılan Hammaddelerin Karakterizasyonları

Çalışmada kullanılan hammaddelerin kimyasal ve mineralojik analizleri yapılmıştır. Hammaddelerin mineralojik analizleri DPÜ Metalurji ve Malzeme Bilimi Mühendisliği Labaratuvarında bulunan Şekil 6.13'de gösterilen Rigaku Müniflex marka XRD cihazı kullanılarak analiz yapılmıştır. Elde edilen datalar Jade 6 veri tabanı kullanılarak faz analizi yapılmıştır. Ham maddelerin kimyasal analizi ise Kütahya Porselen firmasında bulunan Spectro Ametek XRF cihazı kullanılarak kimyasal analiz yapılmıştır.

Çizelge 6.2'de renklendirici oksit olarak kullanılan krom oksitin kimyasal analizi görülmektedir. Kimyasal analiz sonucunda %99,05 oranında Cr_2O_3 , %0,55 Al_2O_3, %0,30 Fe_2O_3 ve çok az miktarlarda SO_3 ve K_2O olduğu görülmektedir. Şekil 6.2'de renklendirici oksit olarak kullanılan Cr_2O_3'ün mineralojik analizi yer almaktadır. Mineralojik analiz sonucu Cr_2O_3 fazı tespit edilmiştir.

Çizelge 6.2. Renklendirici oksit olarak kullanılan Cr_2O_3'ün XRF ile yapılan kimyasal analiz sonucu.

Oksitler	Al_2O_3	SiO_2	SO_3	K_2O	Cr_2O_3	Fe_2O_3	Toplam
Ağırlıkça Oran (%)	0,55	0,03	0,02	0,01	99,05	0,30	99,99

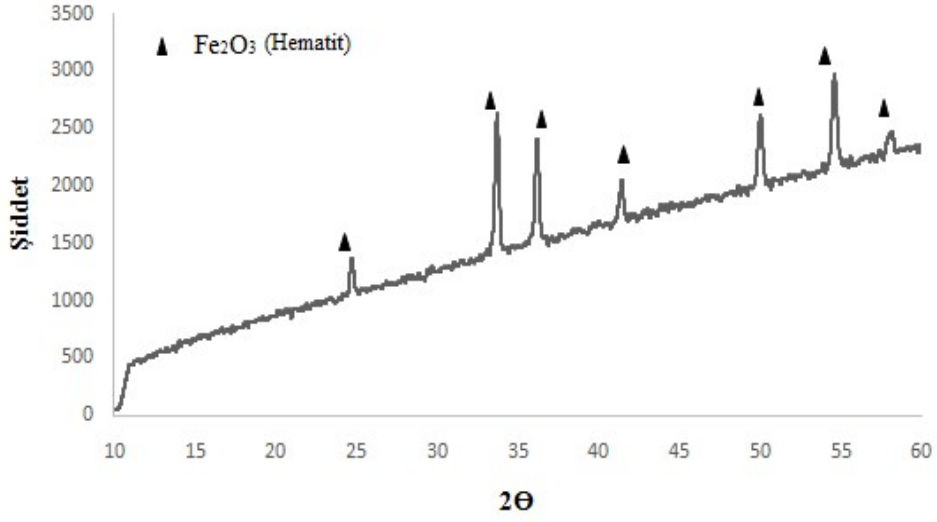


Şekil 6.2. Renklendirici oksit olarak kullanılan Cr_2O_3 'ün XRD ile yapılan mineralojik analizi.

Renklendirici oksit olarak kullanılan demir oksitin XRF ile yapılan kimyasal analiz sonucu Çizelge 6.3'de verilmektedir. Kimyasal analiz sonucunda %97,46 oranında demir oksit ve %1,41 oranında SiO_2 bulunduğu görülmektedir. Kimyasal analiz neticesinde hammadde içerisinde %1'in altında Na_2O, MgO, Al_2O_3, P_2O_5, CaO, NiO, Cr_2O_3, Mn_3O_4, Co_3O_4, SO_3, TiO_2 ve CuO olduğu görülmektedir. Şekil 6.3'de renklendirici oksit olarak kullanılanFe_2O_3'ün mineralojik analizi yer almaktadır. Mineralojik analiz sonucu hematit (Fe_2O_3) fazı tespit edilmiştir.

Çizelge 6.3. Renklendirici oksit olarak kullanılan demir oksitin XRF ile yapılan kimyasal analiz sonucu.

Oksit	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	CaO	NiO
Ağırlıkça Oran (%)	0,01	0,01	0,38	1,41	0,04	0,09	0,02
Oksit	Cr_2O_3	Mn_3O_4	Fe_2O_3	Co_3O_4	SO_3	TiO_2	CuO
Ağırlıkça Oran (%)	0,12	0,08	97,46	0,01	0,05	0,03	0,22
TOPLAM:							99,92

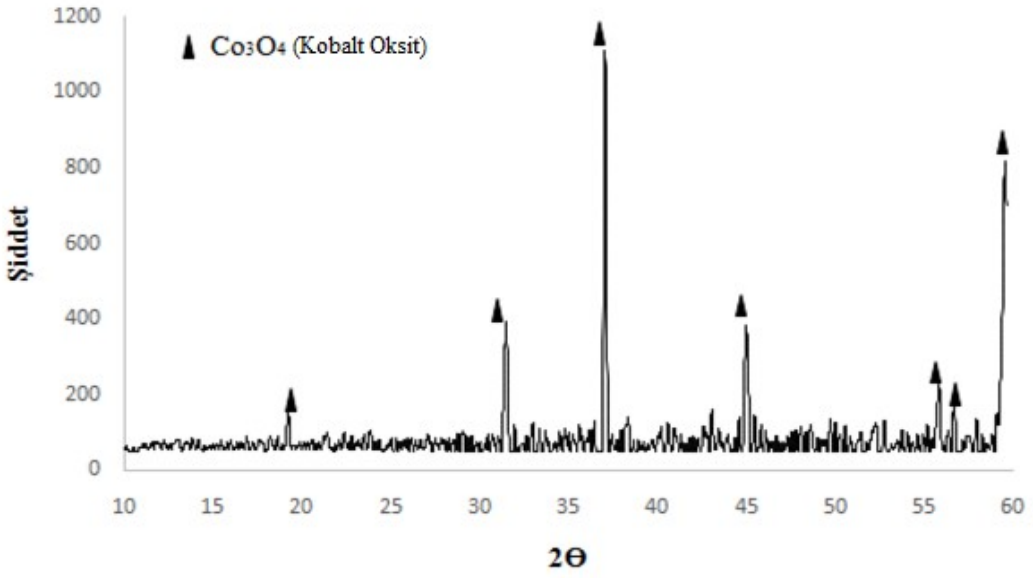


Şekil 6.3. Renklendirici oksit olarak kullanılan demir oksitin XRD ile yapılan mineralojik analizi.

Renklendirici oksit olarak kullanılan kobalt oksitin XRF ile yapılan kimyasal analiz sonucu Çizelge 6.4'de verilmektedir. Kimyasal analiz neticesinde % 100,80 Co_3O_4 olduğu belirlenmiştir. Ayrıca % 0,2'in altında Na_2O, MgO, Al_2O_3, Al_2O_3, CaO, SiO_2 ve CuO olduğu görülmektedir. Şekil 6.4'de renklendirici oksit olarak kullanılan Co_3O_4'ün mineralojik analizi yer almaktadır. Mineralojik analiz sonucu kobalt oksit(Co_3O_4)fazı tespit edilmiştir.

Çizelge 6.4. Renklendirici oksit olarak kullanılan kobalt oksitin XRF ile yapılan kimyasal analiz sonucu.

Oksit	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	CaO	Co_3O_4	CuO	**Toplam**
Ağırlıkça Oran (%)	0,01	0,01	0,18	0,05	0,01	100,80	0,02	101,08

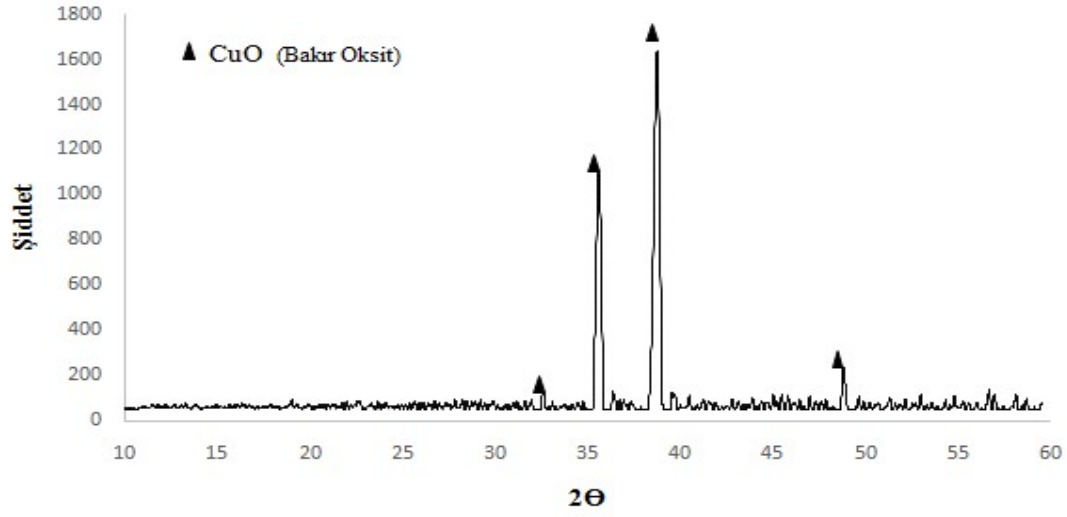


Şekil 6.4. Renklendirici oksit olarak kullanılan kobalt oksitin XRD ile yapılan mineralojik analizi.

Renklendirici oksit olarak kullanılan bakır oksitin XRF ile yapılan kimyasal analiz sonucu Çizelge 6.5'de verilmektedir. Kimyasal analiz sonucunda %96,93 CuO olduğu görülmektedir. Kimyasal analiz sonucunda 0,43 Cr_2O_3, 0,22 Al_2O_3, 1,80 Fe_2O_3 ve daha az miktarlarda MgO, SO_3, CaO, Mn_3O_4 ve NiO olduğu görülmektedir. Şekil 6.5'de renklendirici oksit olarak kullanılan bakır oksitin mineralojik analizi yer almaktadır. Mineralojik analiz sonucu CuO fazı tespit edilmiştir.

Çizelge 6.5. Renklendirici oksit olarak kullanılan bakır oksitin XRF ile yapılan kimyasal analiz sonucu.

Oksit	MgO	Al_2O_3	SiO_2	SO_3	CaO	Cr_2O_3	Mn_3O_4	Fe_2O_3	NiO	CuO	**Toplam**
Ağırlıkça %	0,01	0,22	0,14	0,03	0,07	0,43	0,03	1,80	0,12	96,93	99,80

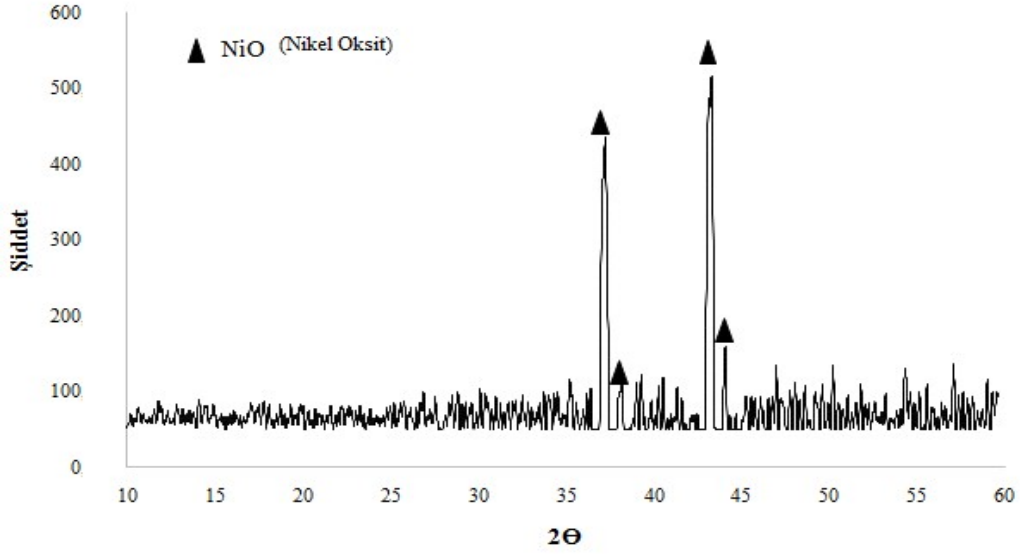


Şekil 6.5. Renklendirici oksit olarak kullanılan bakır oksitin XRD ile yapılan mineralojik analizi.

Renklendirici oksit olarak kullanılan nikel oksitin XRF ile yapılan kimyasal analiz sonucu Çizelge 6.6'da verilmektedir. Kimyasal analiz sonucunda %83,50 NiO olduğu görülmektedir. Kimyasal analiz sonucunda 0,32 Al_2O_3, 0,30 Fe_2O_3, 3,88 MgO, 6,21 Mn_3O_4, 0,34 CuO, 0,63 SiO_2, 0,76 ZnO ve 3,97 Co_3O_4 olduğu görülmektedir. Şekil 6.6'da renklendirici oksit olarak kullanılan NiO'in mineralojik analizi yer almaktadır. Mineralojik analiz sonucu NiO fazı tespit edilmiştir.

Çizelge 6.6. Renklendirici oksit olarak kullanılan nikel oksitinXRF ile yapılan kimyasal analiz sonucu.

Oksit	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	Mn_3O_4	Fe_2O_3	Co_3O_4	ZnO	NiO	CuO
Ağırlıkça Oran (%)	0,08	3,88	0,32	0,63	6,21	0,30	3,97	0,76	83,50	0,34
Toplam:										99,99

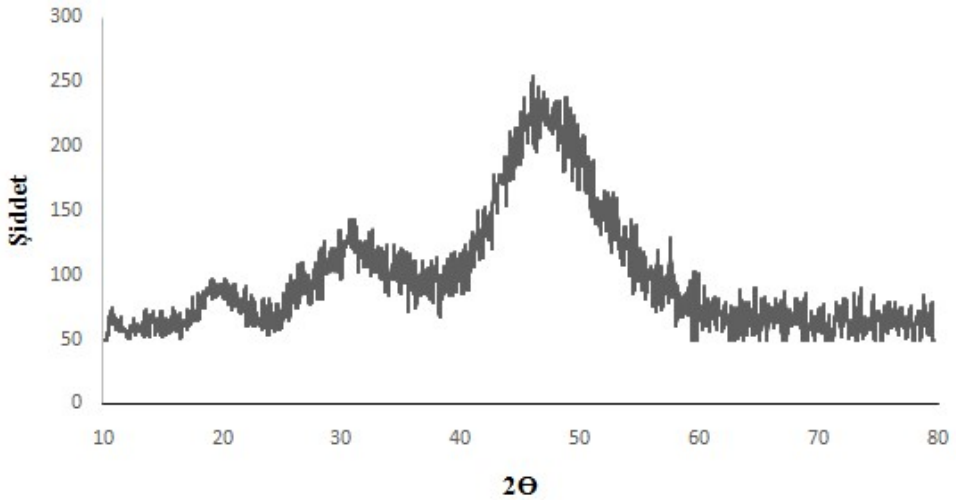


Şekil 6.6. Renklendirici oksit olarak kullanılan nikel oksitin XRD ile yapılan mineralojik analizi.

Ana hammadde olarak kullanılan di sodyum tetra boratın XRF ile yapılan kimyasal analiz sonucu Çizelge 6.7'de verilmektedir. Kimyasal analiz sonucunda %36,80 Na_2O ve % 59,26 B_2O_3 olduğu görülmektedir. Daha az miktarlarda MgO, Al_2O_3, SiO_2, SO_3, K_2O, CaO, TiO_2, Fe_2O_3, SrO, ZrO_2 ve ateş zahiyatının olduğu görülmektedir. Şekil 6.7'de ana hammadde olarak kullanılan di sodyum tetra boratın mineralojik analizi yer almaktadır. Mineralojik analiz sonucu amorf yapının olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.7. Ana Hammadde olarak kullanılan sodyum tetra boratın XRF ile yapılan kimyasal analiz sonucu.

Oksit	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	SO_3	K_2O	CaO	TiO_2	Fe_2O_3	SrO	ZrO_2	B_2O_3	A.Z.
Ağırlıkça Oran (%)	36,80	0,05	1,37	1,55	0,02	0,06	0,07	0,01	0,03	0,01	0,03	59,26	0,57
Toplam													99,83

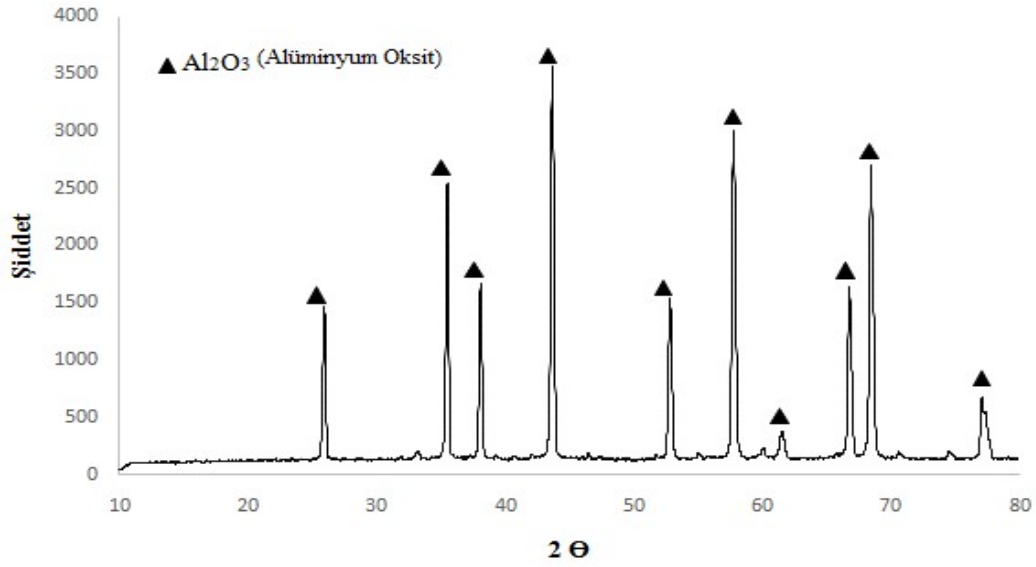


Şekil 6.7. Ana hammadde olarak kullanılan $Na_2B_4O_7$'nin XRD ile yapılan mineralojik analizi. (Amorf yapıyı gösteriyor).

Ana hammadde olarak kullanılan alüminyum oksitin XRF ile yapılan kimyasal analiz sonucu Çizelge 6.8'de verilmektedir. Kimyasal analiz sonucunda %95 Al_2O_3, % 2,77 TiO_2 ve %0,80 SiO_2 olduğu görülmektedir. Daha az miktarlarda MgO, Pb_2O_3, SO_3, CaO, BaO, Fe_2O_3, SrO, ZrO_2 ve ateş zahiyatının olduğu görülmektedir. Şekil 6.8'de alüminyum oksitin mineralojik analizi yer almaktadır. Mineralojik analiz sonucu Al_2O_3 fazı tespit edilmiştir.

Çizelge 6.8. Ana hammadde olarak kullanılan alüminyum oksitin XRF ile yapılan kimyasal analiz sonucu.

Oksit	MgO	Al_2O_3	SiO_2	Pb_2O_3	SO_3	CaO	TiO_2	Fe_2O_3	SrO	ZrO_2	BaO	A.Z.
Ağırlıkça Oran (%)	0,16	95,00	0,80	0,01	0,07	0,08	2,77	0,23	0,01	0,55	0,25	0,05
Toplam												99,98



Şekil 6.8. Ana hammadde olarak kullanılan alüminyum oksitin XRD ile yapılan mineralojik analiz sonucu.

6.2. Karışımların Hazırlanması

Çizelge 6.1'de verilen reçetelerin sinterlenmesi sonucunda seçilen D7 numunesine istinaden renklendirmek amacı ile kramofor elementler olan bakır oksit, mangan oksit, krom oksit, demir oksit, nikel oksit ve kobalt oksit kullanılmıştır. Bu renklendirici oksitler D7 reçetesinin stokiyometrik oranı değiştirilmeden 10 gram toz baz alınarak 0,025gr, 1gr, 2gr ve 3gr renklendirici oksit reçeteye dahil edilmiştir. İlk aşamada granül halde bulunan $Na_2B_4O_7$ hammaddesi bilyalı değirmende tane boyutunu en aza indirmek amacı ile farklı boyutlardaki alüminyum bilyeler kullanılarak 1 saat süre ile kuru olarak öğütülmüştür. Daha sonra her bir renklendirici oksit farklı oranlarda (0.025gr, 1gr, 2gr, 3gr) D7 kodlu örneğe ilave edilerek toz: bilya: sıvı oranı; 1:3:2 olacak şekilde 30 dk süre boyunca bilyalı değirmende öğütülmüştür. Şekil 6.9'da DPÜ Metalurji ve Malzeme mühendisliği labarotuvarında bulunan bilyalı değirmen görüntüsü verilmiştir.



Şekil 6.9. Karışımların hazırlanması amacı ile kullanılan bilyalı değirmenin görüntüsü (Boyut:30x30cm).

Öğütülen karışım 63µm elek kullanılarak süzülmüştür ve 100°C sıcaklıkta 12 saat boyunca etüvde kurutulmuştur.

6.3. Hazırlanan Tozların Şekillendirilmesi

Hazırlanan tozlar öncelikle topaklanmasının önlenmesi amacı ile Şekil 6.10'da gösterilen agat havan kullanılarak topaklanması giderilmiştir.



Şekil 6.10. Hazırlanan tozların topaklanmasını önlemek amacı ile kullanılan agat havanın görüntüsü (Çapı: 8cm).

Hazırlanan tozlar DPÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünde bulunan Şekil 6.11'de gösterilen Carver marka hidrolik pres kullanılarak preslenmiştir. Presleme işlemi 6 ton basınç uygulayarak ve 6 ton basınç altında 15 sn bekletilerek tamamlanmıştır.



Şekil 6.11. Hazırlanan tozların şekillendirilmesi amacı ile kullanılan hidrolik presin görüntüsü (Boyut: 45x90cm).

6.4. Isıl İşlemler

Reçetesi hazırlanan örneklerin sinterleme işlemi katı hal sinterleme yöntemi ile yapılmıştır. Şekil 6.12'de DPÜ Metalurji ve Malzeme Mühendiliği Labarotuvarında bulunan kamara tipli fırının görüntüsü verilmiştir. Protherm PL 1600 model kamara fırında farklı sıcaklıklarda ve tepe noktasında farklı bekleme süresinde 10 °C/dk ısıtma ve soğutma hızı ile katı hal sinterleme yapılmıştır. D7 numaralı örnek sonucuna göre 600 ve 650°C'de 30dakika, 60dakika ve 90 dakika tepe noktasında bekleme yapılmıştır.



Şekil 6.12. Hazırlanan tozların sinterlenmesi amacı ile kullanılan kamara tip fırının görüntüsü (Boyut 50x50cm).

6.5. Mineralojik Analizi (XRD)

X ışını kırınımı kristal yapıların ve atomik aralıkların incelenmesi için kullanılan yaygın bir tekniktir. X ışını kırınımı, bir kristalin örneğe ve monokromatik X ışınlarının bünye içine girmesine dayanmaktadır. Bu X-ışınları bir katot ışını tüpü tarafından üretilir, monokromatik radyasyon üretmek için filtrelenir, konsantre olmak için ayarlanır ve numuneye yönlendirilir.

XRD temeli brag yasasına dayanmaktadır. Brag yasası;

nλ=2.d.sinɵ'dır.

Burada, n bir tam sayıdır, λ X ışınlarının dalga boyu, d isekırınımı oluşturan düzlemler arası boşluk ve ɵ ise kırınım açısıdır.Farklı kristallerde farklı kırınım açısı ile kırınım gerçekleşmektedir (Bunaciu vd., 2015).

Farklı sinterleme sıcaklığı ve sinterleme süresi ile elde edilen örneklerin faz oluşumlarını belirlemek amacı ile XRD analizi yapılmıştır. Kullanılan hammadde ve renklendirici oksitlerin mineralojik analizi için kullanılan DPÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünde bulunan cihaza ait görüntü Şekil 6.13'de verilmiştir.



Şekil 6.13. RigakuMiniflex marka XRD cihazı görüntüsü (Boyut: 50cm).

Faz analizleri Rigaku marka Miniflex model XRD cihazıyla Cu Kα X-ışını kaynağı kullanılarak 10-80 2ɵ aralığında 2°/dakika hızda taranmıştır. Elde edilen sonuçlar JADE 6 yazılımı ile inceleme yapılmıştır.

Elde edilen imitasyon örneklerin mineralojik analizi için DPÜ İLTEM (İleri Teknoloji Merkezi) de bulunan XRD cihazı ile mineralojik analizi yapılmıştır. Cihaza ait görüntü Şekil 6.14'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar JADE 6 yazılımı ile inceleme yapılmıştır.



Şekil 6.14. DPÜ İleri Teknoloji Merkezinde bulunan sinterlenmiş örneklerin mineralojik analizi için kullanılan panalytical empyrean marka XRD cihazı.

6.6. Yoğunluk Ölçümü

Sinterlenmiş örneklerin çapı, ağırlığı ve yüksekliği Asimeto marka kumpas ile ölçülerek bulk yoğunluğu Eşitlik 6.1 ‘deki formül ile hesaplanmıştır.

$$d=m/v \quad (6.1)$$

d: yoğunluk

m: kütle (gr)

V: hacim (cm^3)

Daha sonra aynı numuneler 24 saat süre boyunca saf suda bekletilerek ve özgül ağırlık terazisi kullanılarak Eşitlik 6.2’de verilen denklem ile özgül ağırlığı hesaplanmıştır.

$$p= p_{SU} * W_K/ (W_K-W_A) \quad (6.2)$$

P= Yoğunluk

P_{SU}= Suyun yoğunluğu

W_K= Kuru numunenin ağırlığı

W_A= Numunenin suda asılı ağırlığı

6.7. Sertlik Ölçümü

Sertlik süs taşlarının belirlenmesinde kullanılan en önemli fiziksel özelliklerden biridir. Süs taşlarının sertlikleri Mohs Sertlik Skalasına göre sıralanmaktadır. Mohs sertlik ölçümü yapılırken daha sert olan minerallerin birbirini çizmesine göre bir sıralama yapılmaktadır. Bu çalışmada sertlik ölçümü mühendislikte kullanılan sertlik testlerine göre yapılmıştır. Birçok sertlik ölçüm yöntemi bulunmaktadır. Ancak seramikler, camlar ve cam seramik gibi kırılgan malzemeler için knoop ve vickersmikrosertlik yöntemi kullanılarak sertlik ölçümü yapılmaktadır. Bu çalışmada DPÜ Metalurji ve Malzeme Bilimi Laboratuarında bulunan Şekil 6.15’de gösterilen Hardway Marka Vickers mikrosertlik ölçüm cihazı ile sertlik ölçümleri yapılmıştır. Her örneğin ölçüm alınacak yüzeyi elmas parlatıcı ile parlatılmıştır. Örnekler yapılan literatür araştırmalarına göre 100gr yük uygulanarak 15 sn bekletilmiştir (Barlet vd., 2015; Limbach vd., 2015). Her örnek için 5 adet mikrosertlik ölçümü yapılıp ortalaması alınmıştır.



Şekil 6.15. Elde edilen imitasyon örneklerin sertliklerini ölçmek amacı ile kullanılan sertlik ölçüm cihazına ait görüntü (Boyut: 10x30cm).

H_v sertliği F/A oranı ile belirlenmektedir.

Burada; F: Malzeme yüzeyine uygulanan yük,

A: mikrometre kare cinsinden yüzey alanıdır. Mikro sertlik ölçüm formülleri Eşitlik (6.3) ve Eşitlik (6.4)'de verilmiştir (Özturk vd., 2017).

$$A= d^2/2\sin(136°/2) \quad (6.3)$$

$$A= d^2/1854.4 \quad (6.4)$$

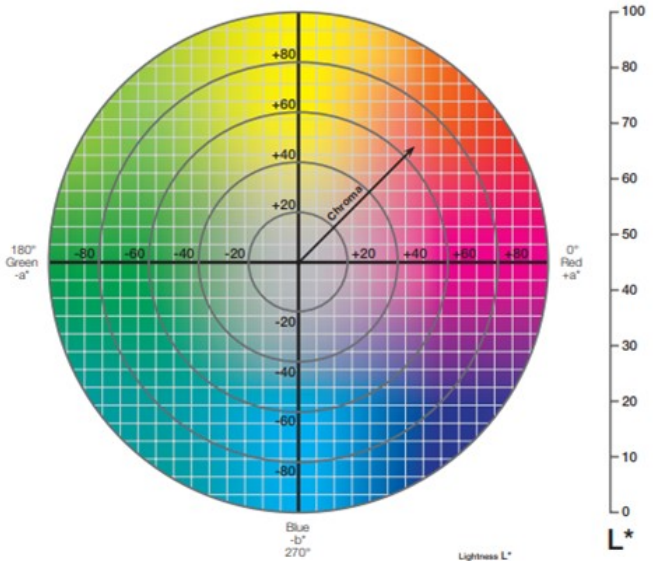
Vickers mikro sertlik ölçümlerinde piramit şeklindeki girinti ucu ölçümlerde kullanılır. Elmastan yapılan piramidin tepe açısı 136°'dir (Özturk vd., 2017). Mikro sertlik ölçüm formülü eşitlik (6.5)'de verilmiştir.

$$H_V = F/A= 1854.4*(F/d^2) \quad (6.5)$$

6.7. Renk Analizi

1976'da, Uluslararası optik komitesi, kartezyan koordinatlarında evrensel bir renk alanı olan CIE L*a*b sistemini kurmuşlardır. Bu sistem boyutsuz değerlerle ifade edilen L açıklık, a kırmızılık ve b sarı rengini ifade etmektedir. CIE L*a*b sistemi, spektrometrik analiz altında rengi karakterize etmek ve ayrıca pigmentlerin katkısını değerlendirmek amacıyla yaygın kullanılmaktadır (Vodyanitskii ve Savichev, 2017). Şekil 6.16'da L*a*b renk koordinatında gösterildiği gibi L değeri açıklık koyuluk değerini ifade etmektedir. 0'a doğru gidildikçe

koyuluk değerini, 100'e doğru gidildikçe ise açıklık değerini ifade etmektedir. Buna eşlik eden iki kromatik eksen vardır. Kırmızı- yeşil alanı +a'dan – a'ya, sarı-mavi alanı +b'den, -b'ye kadar olan alanı ifade eder. Negatif değerler mavi yeşil gibi soğuk renkleri, pozitif değerler ise kırmızı sarı gibi sıcak renkleri ifade etmektedir (Neuhauser ve Handler, 2013).



Şekil 6.16. L*a*b renk koordinat sistemi (https://www.xrite.com/blog/lab-color-space).

Örneklerin renk analizleri FRU marka spektrofotometre ile L*a*b renk değerleri ölçülerek elde edilmiştir. DPÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği labaratuvarında bulunan cihaza ait görüntüler şekil 6.17'de gösterilmektedir.



Şekil 6.17.L*a*b Renk ölçüm cihazına ait görüntü (Boyut 25cm).

6.8. UV-VIS Spektrofotometre

UV- görünür bölge spektroskopisi 190 nm ve 1100nm arasındaki elektromanyetik ışımalarda kullanılır. Ultraviyole 200-400 nm, görünür bölge ise 400-800 nm dalga boyunu temsil etmektedir. Gelen ışığın soğurulması ile birlikte elektronlar temel halden daha yüksek enerji seviyesine geçiş yapmaktadır. En yüksek enerjili dolu orbitalden, en düşük seviyedeki boş orbitale geçmektedir, UV-VIS spektrometresinin temel çalışma prensibi budur.Geçirgenlik ışığın örnekten geçtikten sonraki yoğunluğunun UV-VIS spektrofotometre ile örneklerin optik özelliklerini incelemek için geçirgenlik, yansıma ve absorbsiyonspektrumu elde edilmiştir ve süs taşlarının belirleyici özelliği olan kırılma indisleri geçirgenlik değerleri göz önüne alınarak eşitlik 6.6 ve Eşitlik 6.7'de verilen denkleme göre hesaplanmıştır.

Kırılma indisi, yansıma ve sönme katsayısına bağlıdır.

$$n= [(4R/(1-R)^2)-k^2]^{1/2}-(R+1/R-1) \quad (6.6)$$

$$k=\alpha.\lambda/4.\pi \quad (6.7)$$

R:Yansiyan Işık Miktarı

k: Sönüm katsayısı

λ: Dalga Boyu

α:absorblanma katsayısı

DPÜ Fizik bölümünde bulunan ve kırılma indislerini hesaplamak ve yansıma spektrumlarını incelemek amacı ile kullanılan cihaza ait görüntü Şekil 6.18'de gösterilmektedir.



Şekil 6.18.UV Analizleri için kullanılan cihaza ait görüntü (Boyut: 530 x 410 x 210 mm).

6.9. Mikro yapı analizi (Alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu FE-SEM)

Taramalı elektron mikroskobu ile elektron kaynağından koparılan elektronlar vakum altında bulunan bir kolonda toplayıcı mercekler yardımıyla örnek üzerine düşürülmekte, örnek yüzeyinde bulunan atomlarla elektron demetinin etkileşmesi sonucu ortaya çıkan parçacıklar ve x ışınları tespit edilerek örneğin yüzey özellikleri ve kimyasal kompozisyonu hakkında bilgi vermektedir. Yüzey atomların saçılan ikincil elektronlar yüzey yapısı hakkında bilgi verirken, geri saçılan elektronlar farklı kimyasal kompozisyonlarına ait bölgeler arasındaki kontrast farkı ile element farklılıklarını tespit etmeden kullanılır.

Bu çalışmada, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezinde bulunan HitachiRegulus 8230 FE-SEM cihazı kullanılarak mikro yapı analizi yapılmıştır. HitachiRegulus 8230 FE-SEM cihazı Soğuk Alan Emisyonlu Elektron Tabancası'na sahip olup, 1 kV'da 0.9 nm görüntü çözünürlüğüne sahiptir. 0.5 – 30 kV aralığında çalışmakta olan mikroskop, demet yavaşlatma özelliği sayesinde 10 V'a kadar düşebilme özelliğine sahiptir. FE-SEM cihazına ait görüntü Şekil 6.19'da verilmektedir.

Çalışmada imitasyon süs taşı olarak seçilen örneklere 100X, 500X ve 1000X büyütme uygulanarak görüntü alınmıştır. Ayrıca bölgesel seçilen alanların EDX analizi yapılmıştır.



Şekil 6.19. FE-SEM cihazına ait görüntü.

6.10. Parlaklık Analizi

Parlaklık ve renk nesneler hakkındaki görsel algımızın en önemli özellikleridir. Herkes parlaklığın aynaya benzer bir ön yüzey yansıması olduğunu düşünmektedir. Ancak ayna çok nadir olarak parlak olarak belirtilir. Parlaklık, tamamen geçirgen olmayan bir yüzeyin ışığı ayna doğrultusunda ne kadar iyi yansıttığını belirten bir optik özelliktir. Parlaklık durumunu,

malzemenin kırılma indisi, ışığın geliş açısı ve yüzeyin özellikleri etkilemektedir. Işık yüzeye çarptığı zaman renk oluşumuna neden olan içine absorbe olma durumu gerçekleşir. Malzeme içinde ilerlemesine göre yüzeyin opak ya da saydamlık miktarının belirlenmesini sağlar.Ya da ışık ayna gibi tek bir doğrultudan yayılır bu durumda parlaklık miktarının belirlenmesi açısından önemlidir (www. korozyondoktoru.org).

Mevcut parlaklık ölçüm cihazları, mattan parlaklığa kadar değişen farklı parlaklık özelliklerini belirlemek için genellikle farklı açılarda ölçüm yapmak amacı ile yüzey yansımasının ölçülmesini sağlar. Işık malzemenin üzerine yansıtılır. Yansıyan ışık akısı fotoseller tarafından yakalanır. Son olarak, ölçülen yansıyan yoğunluktan parlaklık birimleri 1.567'lik bir kırılma indisine sahip tanımlanmış bir siyah cam standardının yansıtıcılığına ölçülen yüzeyden speküler yansıma normalize edilerek hesaplanır.Standar siyah camın parlaklık değeri 100'dür. Parlaklık ölçümünde malzemenin kırılma indisine bağlı olmaktan kaçınmak amacıyla, yüzey malzemelerinin parlaklık değerlerini karşılaştırmak amacı ile benzer kırılma indisine sahip malzemeler ile karşılaştırılma yapılması daha doğru bir sonuç açısından sağlıklı olacaktır. ASTM standartlarına göre yüksek parlaklık ölçümleri için 20°'de ölçüm yapılması önerilmektedir. Eğer malzemenin yarı parlaklığı 20°'de 70'den küçük ise 60°'de ölçüm yapılması gerekmektedir. Eğer düşük parlaklık 60° ölçümden 10'dan küçük ise 85°'de ölçüm yapılmasını önermektedir (Gruber vd., 2012).

Elde edilen imitasyon örneklerin parlaklık ölçümleri DPÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Laboratuvarında bulunan 3nh marka glossmetre ile ölçülmüştür. Kullanılan cihaza ait görüntü Şekil 6.20'de verilmektedir.



Şekil 6.20. Parlaklık ölçümü için kullanılan glossmetrenin görüntüsü (Boyut: 20cm).

7. YAPILAN ANALİZ SONUÇLARI

7.1. Reçete ve Isıl İşlem Sonuçları

7.1.1.Kobalt oksit ile yapılan doplama çalışmaları

Şekil 7.1, Şekil 7.2, Şekil 7.3, Şekil 7.4, Şekil 7.5, Şekil 7.6, Şekil 7.7, Şekil 7.8 ve Şekil 7.9'da görülen D7 örneğinin kobalt oksitle doplanmış örneklerinin detayları Çizelge 7.1'de verilmiştir

Çizelge 7.1. Co_3O_4 ile doplanmış D7 örneklerinin adı, Co_3O_4 miktarı, sinterleme sıcaklığı ve sinterleme süresi. En iyi imitasyon örnekleri koyulaştırılmıştır.

Örneğin Adı	**Co_3O_4 Miktarı (gr)**	**Sinterleme Sıcaklığı (°C)**	**Sinterleme Süresi (dk)**
D7.11	0,025	600	60
D7.12	0,025	650	30
D7.13	0,025	650	60
D7.14	0,025	650	90
D7.15	**1**	**600**	**60**
D7.16	1	650	30
D7.17	1	650	60
D7.18	2	650	60
D7.19	**3**	**650**	**60**



Şekil 7.1. 600 °C'de 60dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 0,025 gr Co_3O_4ile doplanmış D7.11örneğinin görünümü (Örneğin Çapı:15mm).



Şekil 7.2. 650 ℃'de 30dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 0,025 gr Co_3O_4 ile doplanmış D7. 12 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm).



Şekil 7.3. 650 ℃'de 60dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 0,025 gr Co_3O_4 ile doplanmış D7. 13 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm).



Şekil 7.4. 650 ℃'de 90dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 0,025 gr Co_3O_4 ile doplanmış D7. 14 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm).



Şekil 7.5. 600 ℃'de 60dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 1 gr Co_3O_4 ile doplanmış D7. 15 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm). Doğal sodalit süs taşına (koyu mavi renk ve damarlı yapısı) renk ve yoğunluk bakımından nispeten en yakın benzerlik gösteren örnektir.



Şekil 7.6. 650 ℃'de 30dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 1 gr Co_3O_4 ile doplanmış D7. 16 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm).



Şekil 7.7. 650 ℃'de 60dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 1 gr Co_3O_4 ile doplanmış D7. 17 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm).



Şekil 7.8. 650 ℃'de 60dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 2 gr Co_3O_4 ile doplanmış D7. 18 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm).



Şekil 7.9. 650 ℃'de 60dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 3 gr Co_3O_4 ile doplanmış D7. 19 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm). Obsidiyen ve oniks süs taşına renk ve yoğunluk bakımından nispeten en yakın benzerlik gösteren örnektir.

Kobalt oksit ile doplanmışörneklerÇizelge 7.1'de görüldüğü gibi 600 °C'de 60 dakika ve 650°C'de 30, 60, ve 90 dakikadasinterlenmişlerdir. Elde edilenörneklerrenk ve göreceli parlaklık olarak değerlendiğinde Şekil 7.5'deki D7.15ile Şekil 7.9'daki D7. 19 kodluörneklerin süs taşı niteliğindeki doğal eşlenikleri olan sodalit ve obsidiyen ve onikse benzeyen en iyi örnekler olduğu söylenebilir. Özellikle Şekil 7.8 ve Şekil 7.9'daki örneklerin bilhassa renk bakımından doğal obsidiyene benzeyen en iyi imitasyon örnekler olduğu söylenebilir. Ancak Şekil 7.9'daki örnek (D7.18) nispeten daha iyi benzerlik göstermektedir. Şekil 7.1, Şekil 7.2,

Şekil 7.3, Şekil 7.4 ve Şekil 7.7'deki çalışılan örnekler en iyi imitasyon örneklerini elde etmek bakımından yararlı olmuştur.

7.1.2.Nikel oksit ileyapılandoplama çalışmaları

Şekil 7.10, Şekil 7.11,Şekil 7.12, Şekil 7.13, Şekil 7.14, Şekil 7.15, Şekil 7.16, Şekil 7.17, Şekil 7.18 'de görülen D7 örneğinin nikel oksitle doplanmış örneklerinin detayları Çizelge 7.2'de verilmiştir:

Çizelge 7.2. NiO ile doplanmış D7 örneklerinin adı, NiO miktarı, sinterleme sıcaklığı ve sinterleme süresi. En iyi imitasyon örneği koyulaştırılmıştır.

Örneğin Adı	**NiO Miktarı (gr)**	**Sinterleme Sıcaklığı (°C)**	**Sinterleme Süresi (dk)**
D7.21	0,025	600	60
D7.22	0,025	650	30
D7.23	0,025	650	60
D7.24	1	650	30
D7.25	1	650	60
D7.26	2	650	60
D7.27	2	650	90
D7.28	**3**	**650**	**60**
D7.29	3	650	90



Şekil 7.10. 600 °C'de 60dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 0,025 gr NiO ile doplanmış D7. 21 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm).



Şekil 7.11. 650 ℃'de 30dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 0,025 gr NiO ile doplanmış D7. 22 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm).



Şekil 7.12. 650 ℃'de 60dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 0,025 gr NiO ile doplanmış D7. 23 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 10mm).



Şekil 7.13. 650 ℃'de 30dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 1 gr NiO ile doplanmış D7. 24 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm).



Şekil 7.14. 650 ℃'de 60dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 1 gr NiO ile doplanmış D7. 25 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm).



Şekil 7.15. 650 ℃'de 60dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 2 gr NiO ile doplanmış D7. 26 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm).



Şekil 7.16. 650 ℃'de 90dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 2 gr NiO ile doplanmış D7. 27 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm).



Şekil 7.17. 650 ℃'de 60dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 3 gr NiO ile doplanmış D7. 28 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm).Doğal Prehnit süs taşına renk ve yoğunluk bakımından nispeten en yakın benzerlik gösteren örnektir.



Şekil 7.18. 650 ℃'de 90dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 3 gr NiO ile doplanmış D7. 29 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm).

Nikel oksit ile doplanmış örnekler 600 °C'de 60 dakika ve 650°C'de 30, 60 ve 90 dakika sinterlenmiştir. Şekil 7.11 gösterilen D7.22 örneğinin yüzey bozukluğundan dolayı oluşum süresinin az kaldığı söylenebilir, çünkü aynı doplama miktarına sahip Şekil 7.12'de görülen D7.23 kodlu örneğin yüzey özellikleri bakımından sürenin yeterli geldiği ve oluşumunu tamamladığı görülmektedir. Şekil 7.14'de gösterilen D7.25 kodlu örneğin ise yüzey özelliğinin mat ve pullu yapıda olduğu görülmektedir. Katkı oranı daha düşük olan örneklerin renk oluşumlarının ve yüzey özelliklerinin düzelmesi açısında NiO oranı arttırılarak D7.26, D7.27, D7.28 ve D7.29 kodlu örnekler hazırlanmıştır. Elde edilen örnekler yoğunluk, renk ve göreceli

parlaklık olarak değerlendiğinde D7.28kodluörneğin süs taşı niteliğindeki en iyi örnek olduğu söylenebilir. Şekil 7.17'de gösterilen D7.28 kodlu örneğin bilhassa renk bakımındandoğal prehnit süs taşına benzeyen imitasyon prehnite iyi bir örnek olduğu söylenebilir.

7.1.3.Krom oksitile yapılan doplama çalışmaları

Şekil 7.19, Şekil 7.20,Şekil 7.21, Şekil 7.22'de görülen D7 örneğinin krom oksitle doplanmış örneklerinin detayları Çizelge 6.4'de verilmiştir:

Çizelge 7.3. Cr_2O_3 ile doplanmış D7 örneklerinin adı, Cr_2O_3 miktarı, sinterleme sıcaklığı ve sinterlemesüresien iyi imitasyon örnekleri koyulaştırılmıştır.

Örneğin Adı	**Cr_2O_3 Miktarı (gr)**	**Sinterleme Sıcaklığı (°C)**	**Sinterleme Süresi (dk)**
D7.31	0,025	650	30
D7.32	**0,025**	**650**	**60**
D7.33	1	650	30
D7.34	**1**	**650**	**60**



Şekil 7.19. 650 °C'de 30dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 0,025 gr Cr_2O_3 ile doplanmış D7. 31 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 12mm).



Şekil 7.20. 650 ℃'de 60dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 0,025 gr Cr_2O_3 ile doplanmış D7. 32 örneğinin görünümü (Şeklin bir kenarı: 8mm).Doğal aventurin süs taşına renk ve yoğunluk bakımından nispeten en yakın benzerlik gösteren örnektir.



Şekil 7.21. 650 ℃'de 30dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 1gr Cr_2O_3 ile doplanmış D7. 33 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm).



Şekil 7.22. 650 ℃'de 60dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 1gr Cr_2O_3 ile doplanmış D7. 34 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm).Doğal jadeit (yeşim taşı) süs taşına renk ve yoğunluk bakımından nispeten en yakın benzerlik gösteren örnektir.

Cr_2O_3 doplu örnekler 650°C'de 30 ve 60 dakika sinterlenmiştir. Elde edilen örnekler yoğunluk, renk ve göreceli parlaklık olarak değerlendiğinde D7.32 ve D7.34kodlu örneklerin süs taşı niteliğindeki en iyi örnekler olduğu söylenebilir. Şekil 7.20'de gösterilen örneğin bilhassa renk bakımından doğal aventurin süs taşına benzeyen imitasyon aventurine, Şekil 7.21'de gösterilen örneğin ise jadeit-yeşim taşına benzeyen imitasyon jadeit yeşim taşına iyi bir örnek olduğu söylenebilir. Şekil 7.19'da gösterilen D7.31örneğin renk ve göreceli parlaklık açısında iyileştirilmesi amacıyla sinterleme süresi arttırılmıştır.

7.1.4.Demir oksit ile yapılan doplama çalışmaları

Şekil 7.23, Şekil 7.24,Şekil 7.25'de görülen D7 örneğinin mir oksitle doplanmış örneklerinin detayları Çizelge 7.4'de verilmiştir:

Çizelge 7.4. Fe_2O_3 ile doplanmış D7 örneklerinin adı, Fe_2O_3 miktarı, sinterleme sıcaklığı ve sinterlemesüresi en iyi imitasyon örneği koyulaştırılmıştır.

Örneğin Adı	**Fe_2O_3 Miktarı (gr)**	**Sinterleme Sıcaklığı (℃)**	**Sinterleme Süresi (dk)**
D7.41	0,025	650	90
D7.42	1	650	60
D7.43	**1**	**650**	**90**



Şekil 7.23. 650 ℃'de 90dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 0,025 gr. Fe_2O_3 ile doplanmış D7.41 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm).



Şekil 7.24. 650 ℃'de 60dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 1 gr. Fe_2O_3 ile doplanmış D7.42 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm).



Şekil 7.25. 650 ℃'de 90dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 1 gr. Fe_2O_3 ile doplanmış D7.43 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm).Doğal akik, jasper ve karnelyan süs taşına renk ve yoğunluk bakımından nispeten en yakın benzerlik gösteren örnektir.

Fe_2O_3 doplu örnekler 650°C'de 60 ve 90 dakika sinterlenmiştir. Elde edilen örnekler yoğunluk, renk ve göreceli parlaklık açısından değerlendiğinde D7.43 kodlu örneğin süs taşı niteliğindeki en iyi örnek olduğu söylenebilir. Şekil 7.25'de gösterilen örneğin bilhassa renk bakımından doğal akik, jasper ve karnelyan süs taşına benzeyen imitasyon akik, karnelyan ve jasper taşına iyi bir örnek olduğu söylenebilir. Şekil 7.23'de gösterilen D7.41 kodlu örneğin Çizelge 7.9 'da gösterilen yoğunluk ölçümleri incelendiğinde yoğunluk bakımından yüksek olduğu, fakat renk bakımından Şekil 7.25'de gösterilen D7.43 kodlu örneğe kıyasla renginin açık olduğu görülmektedir.

7.1.5.Bakır oksit ile yapılan doplama çalışmaları

Şekil 7.26, Şekil 7.27,Şekil 7.28, Şekil 7.29, Şekil 7.30, Şekil 7.31, Şekil 7.32 ve Şekil 7.33'de görülen D7 örneğinin bakır oksitle doplanmış örneklerin detayları Çizelge 7.5'de verilmiştir:

Çizelge 7.5. CuO ile doplanmış D7 örneklerinin adı, CuO miktarı, sinterleme sıcaklığı ve sinterleme süresien iyi imitasyon örnekleri koyulaştırılmıştır.

Örneğin Adı	**CuOMiktarı (gr)**	**Sinterleme Sıcaklığı (°C)**	**Sinterleme Süresi (dk)**
D7.51	0,025	650	30
D7.52	0,025	650	60
D7.53	0,025	650	90
D7.54	1	600	60
D7.55	1	650	30
D7.56	1	650	60
D7.57	1	650	90



Şekil 7.26. 650 °C'de 30dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 0,025 gr. CuO ile doplanmış D7.51 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm).



Şekil 7.27. 650 ℃'de 60dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 0,025 gr. CuO ile doplanmış D7.52 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm).



Şekil 7.28.650 ℃'de 90dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 0,025 gr. CuO ile doplanmış D7.53 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm).



Şekil 7.29. 600 ℃'de 60dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 1gr. CuO ile doplanmış D7.54 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm).



Şekil 7.30. 650 ℃'de 30dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 1gr. CuO ile doplanmış D7.55 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm) (Özellikle Cu içeren ve mavi renkli olan turkuaz, malakit, azurit ve krizokolla rengine benzeyen örnek).



Şekil 7.31. 650 ℃'de 60dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 1gr. CuO ile doplanmış D7.56 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm).



Şekil 7.32. 650 ℃'de 90dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 1gr. CuO ile doplanmış D7.57 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm).

CuO katkılı örnekler 600°C'de 60 dakika, 650 °C'de 30, 60 ve 90 dakika boyunca sinterleme işlemi yapılmıştır. Şekil 7.29'da gösterilen D7.54 kodluörnek 600°C'de sinterlendiğinde grimsi mavi bir renk aldığı ancak üzerinde kahverengi lekelerin olduğu görülmüştür. Bu lekelerin yok edilmesi için çalışma sıcaklığı 650°C'ye çıkartılmıştır. 650°C'de 30 dakika sinterleme işlemi sonucunda grimsi mavi göreceli olarak parlak bir renk elde edilmiş ve Çizelge 7.9'da gösterilen yoğunluk oranları göz önüne alındığında malzemenin iç yapısındaki porozitelerin azaldığı ve yoğunluğunun arttığı görülmüştür. 650°C'de sinterleme süresi arttırıldığında Şekil 7.31 ve Şekil 7.32'de gösterildiği gibi hem bünye üzerinde

gözeneklerin olduğu hem de kırmızı beneklerin oluştuğu görülmüştür. Şekil 7.26, Şekil 7.27 ve Şekil 7.28'de gösterildiği gibi CuO oranı azaltıldığında renk değerlerinde değişiklik görülmektedir. Şekil 7.26'da gösterilen D7.51 kodlu örneğin yüzey bölümünde çökme meydana gelmiştir, buradan anlaşıldığı üzere sinterleme süresinin düşük geldiği söylenebilir. Sinterleme süresi arttırılarak elde edilen Şekil 7.27'de gösterilen D7.52 kodlu örneğin renk açısında Şekil 7.26 ve Şekil 7.27'de gösterilen örneklere göre süs taşlarına daha benzer nitelikte olduğu söylenebilir. Şekil 7.30'da görülen D7.55 kodlu örnek Özellikle Cu içeren ve mavi renkli olan turkuaz, malakit, azurit ve krizokolla rengine benzeyen örnek olarak imite edilmiştir.

7.1.6.Mangan oksit ile yapılan doplama çalışmaları

Şekil 7.33, Şekil 7.34,Şekil 7.35, Şekil 7.36, Şekil 7.37, Şekil 7.38'de görülen D7 örneğininmangan oksitle doplanmış örneklerinin detayları Çizelge 7.6'da verilmiştir:

Çizelge 7.6. MnO ile doplanmış D7 örneklerinin adı, MnO miktarı, sinterleme sıcaklığı ve sinterleme süresi.

Örneğin Adı	**MnOMiktarı (gr)**	**Sinterleme Sıcaklığı (°C)**	**Sinterleme Süresi (dk)**
D7.61	0,025	600	60
D7.62	0,025	650	30
D7.63	0,025	650	60
D7.64	1	600	60
D7.65	1	650	30
D7.66	1	650	60



Şekil 7.33. 600 ℃'de 60dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 0,025 gr. MnO ile doplanmış D7.61 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm).



Şekil 7.34. 650 ℃'de 30dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 0,025 gr. MnO ile doplanmış D7.62 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm).



Şekil 7.35. 650 ℃'de 60dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 0,025 gr. MnO ile doplanmış D7.63 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm).



Şekil 7.36. 600 ℃'de 60dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 1 gr. MnO ile doplanmış D7.64 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm).



Şekil 7.37. 650 ℃'de 30dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 1 gr. MnO ile doplanmış D7.65 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm).



Şekil 7.38. 650 ℃'de 60dk.'da katı hal sinterleme ile elde edilen 1 gr. MnO ile doplanmış D7.66 örneğinin görünümü (Örneğin Çapı: 15mm).

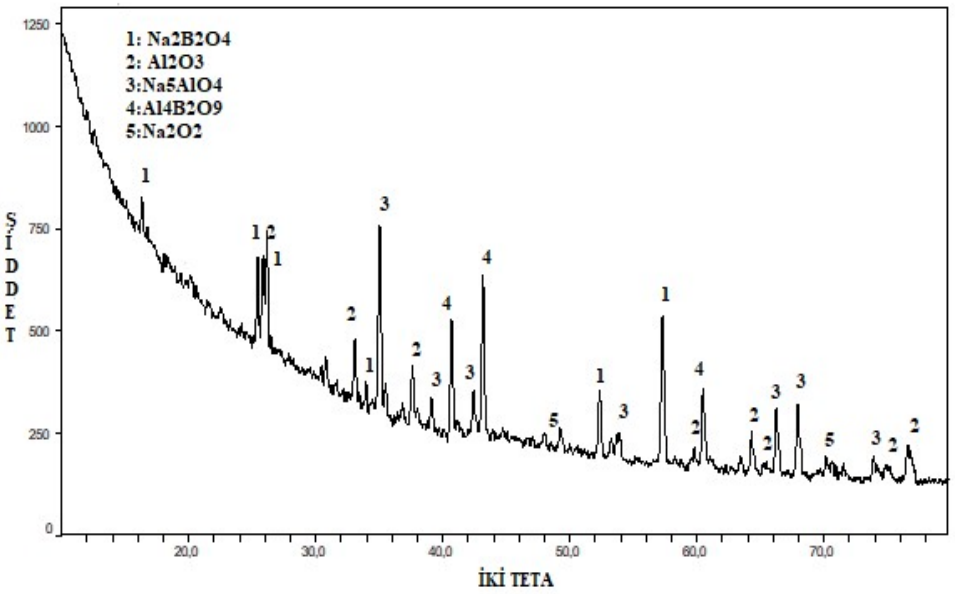
Mangan oksit doplu örnekler 600°C'de 1 saat, 650 °C'de 30, 60 ve 90 dakika boyunca sinterleme işlemi yapılmıştır. Şekil 7.36 ve 7.37'de görüldüğü gibi D7.64 ve D7.65 kodlu örneklerde açık kahverengi bir oluşum meydana gelmiştir. Mangan oksit oranı azaltıldığında Şekil 7.33 ve Şekil 7.35'de görüldüğü gibi D7.61 ve D7.63 kodlu örneklerde gri renk oluşumu görülmüştür. Şekil 7.34'de gösterilen D7.62 kodlu örnek için yüzey yapısı incelendiğinde sinterleme süresinin az geldiği görülmektedir. Bundan dolayı sinterleme süresi arttırılarak Şekil 7.35'de gösterilen D7.63 kodlu örnek elde edilmiştir. Renk açısında süs taşlarına benzer nitelikte örnek elde edilemediği görülmektedir.

7.2. Faz Analiz Sonuçları

Süs taşı olarak elde edilen sekiz örneğin mineralojik analizi yapılmıştır. XRD cihazı kullanılarak yapılan analizde iki teta değeri 10-80 derece aralığında ölçüm yapılmıştır.

Şekil 7.39'da katkısız olarak üretilen D7 kodlu örneğin faz analiz sonucu görülmektedir.

Referans olarak elde edilen katkısız D7 kodlu örnekte Sodyum Borat ($Na_2B_2O_4$), Alüminyum oksit (Al_2O_3), Sodyum Alüminyum Oksit (Na_5AlO_4), Alüminyum Borat ($Al_4B_2O_9$) ve Sodyum Oksit (Na_2O_2) fazları tespit edilmiştir.



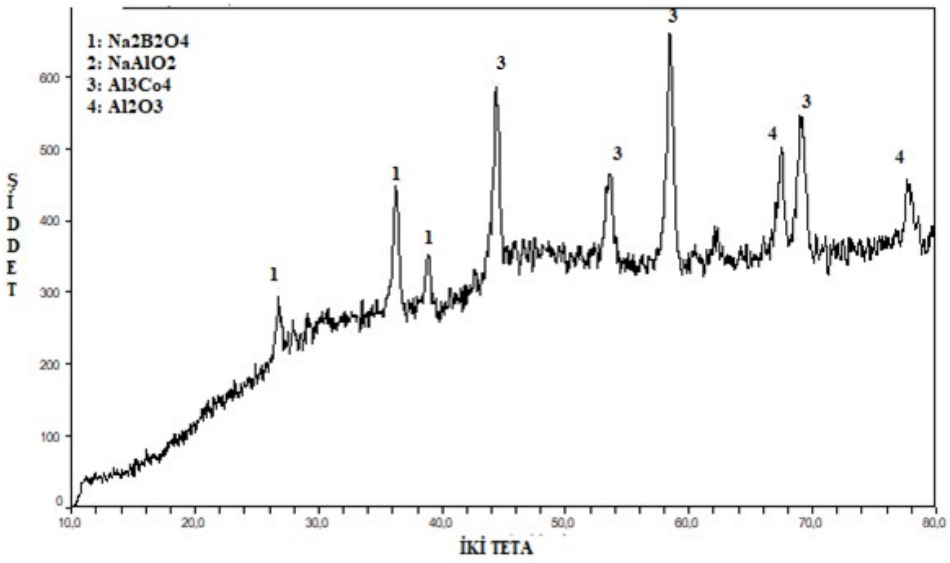
Şekil 7.39. Katkısız D7 kodlu örneğin XRD kullanılarak yapılan mineralojik analiz sonucu. (1:Sodyum Borat ($Na_2B_2O_4$), 2:Alüminyum oksit (Al_2O_3), 3:Sodyum Alüminyum Oksit (Na_5AlO_4), 4: Alüminyum Borat ($Al_4B_2O_9$),5: Sodyum Oksit (Na_2O_2)).

Şekil 7.40'da 1 gr. kobalt oksit ile doplanmış ve 600 °C'de 1 saat sinterlenmiş D7.15 kodlu örnek ve Şekil 7.41'de 3 gr. kobalt oksit ile doplanmış ve 650 °C'de 1 saat sinterlenmiş D7.19 kodlu örneğin mineralojik analiz sonuçları yer almaktadır.

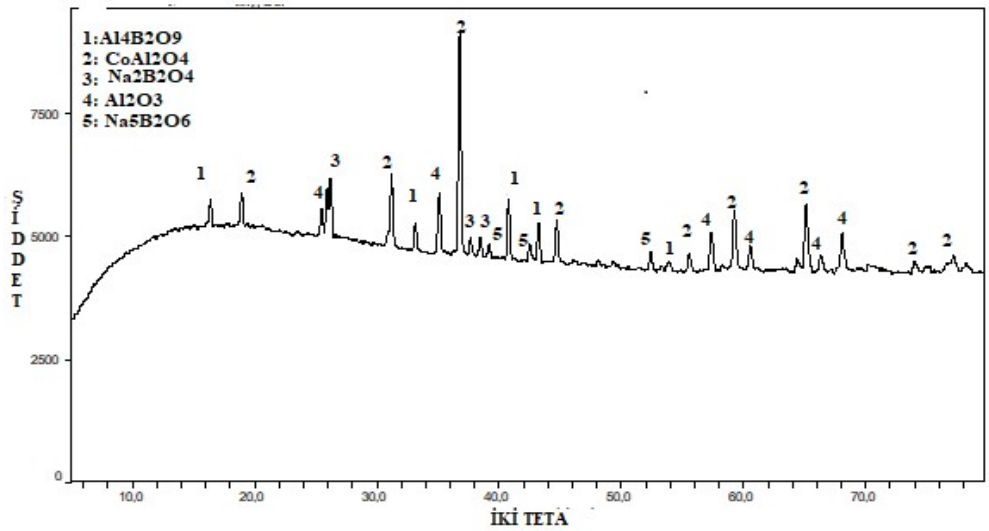
D7.15 kodlu örneğin XRD ile yapılan mineralojik analiz sonucunda Sodyum Borat ($Na_2B_2O_4$), Sodyum alüminyum oksit ($NaAlO_2$), Alüminyum Kobalt ($Al_{13}Co_4$) ve alüminyum oksit fazları tespit edilmiştir.

D7.19 kodlu örneğin XRD ile yapılan mineralojik analiz sonucunda Alüminyum borat ($Al_4B_2O_9$),Kobalt alüminat ($CoAl_2O_4$), Sodyum Borat ($Na_2B_2O_4$ ve $Na_5B_2O_6$) ve alüminyum

oksit fazları tespit edilmiştir. Kobalt oksit ile doplanan iki örnek arasında farklı olarak kobalt alüminat ve alüminyum borat fazlarının oluştuğu görülmektedir.

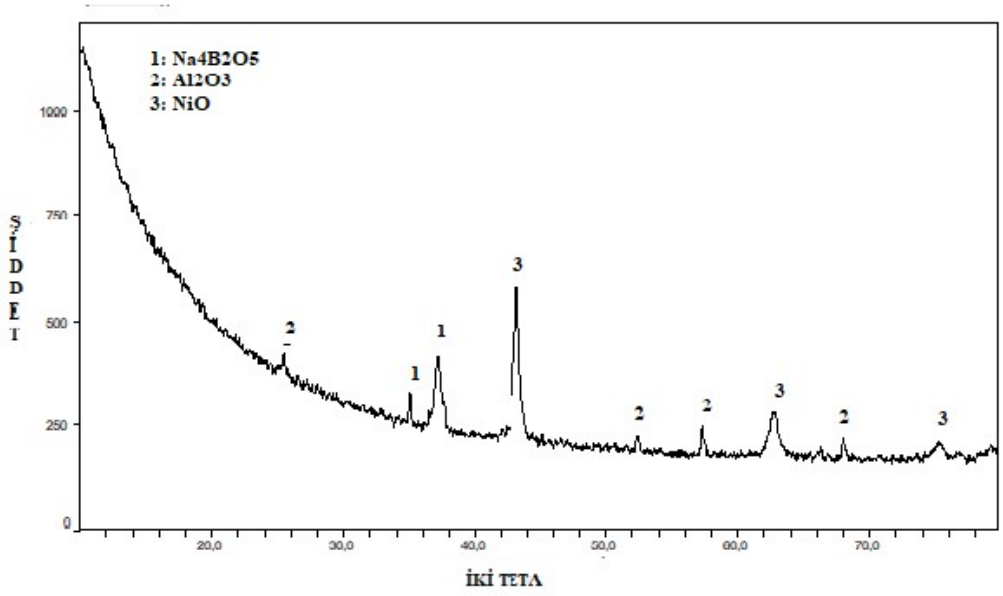


Şekil 7.40.D7.15 kodlu örneğin XRD kullanılarak yapılan mineralojik analiz sonucu.(1: Sodyum Borat ($Na_2B_2O_4$), 2:Sodyum alüminyum oksit ($NaAlO_2$), 3:Alüminyum Kobalt (Al13Co4), 4:Alüminyum Oksit (Al_2O_3)).



Şekil 7.41. D7.19 kodlu örneğin XRD kullanılarak yapılan mineralojik analiz sonucu. (1:Alüminyum Borat ($Al_4B_2O_9$), 2: Kobalt Alüminat ($CoAl_2O_4$), 3: Sodyum Borat ($Na_2B_2O_4$), 4: Alüminyum Oksit (Al_2O_3), 5: Sodyum Borat ($Na_5B_2O_6$)).

Şekil 7.42'de 3 gr NiO ile doplanmış ve 650 °C'de 60 dakika süre ile sinterlenmiş D7.28 kodlu örneğin XRD ile yapılan mineralojik analiz sonucu yer almaktadır. Sodyum Borat ($Na_4B_2O_5$), Nikel Oksit (NiO) ve Alüminyum oksit (Al_2O_3) fazları tespit edilmiştir ayrıca amorf fazda görülmektedir.

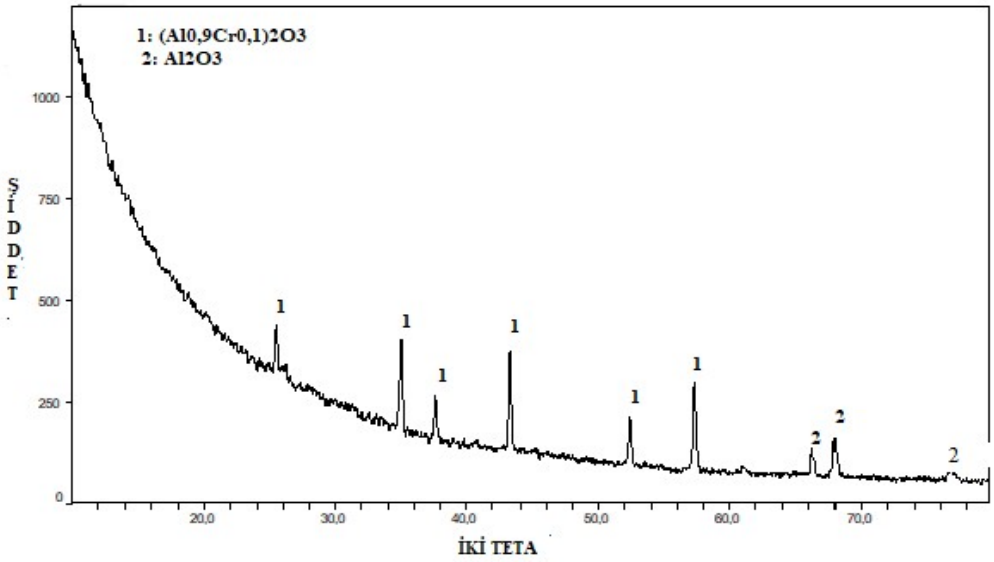


Şekil 7.42.D7.28 kodlu örneğin XRD kullanılarak yapılan mineralojik analiz sonucu.(1: Sodyum Borat ($Na_4B_2O_5$), 2: Nikel Oksit (NiO), 3: Alüminyum Oksit (Al_2O_3)).

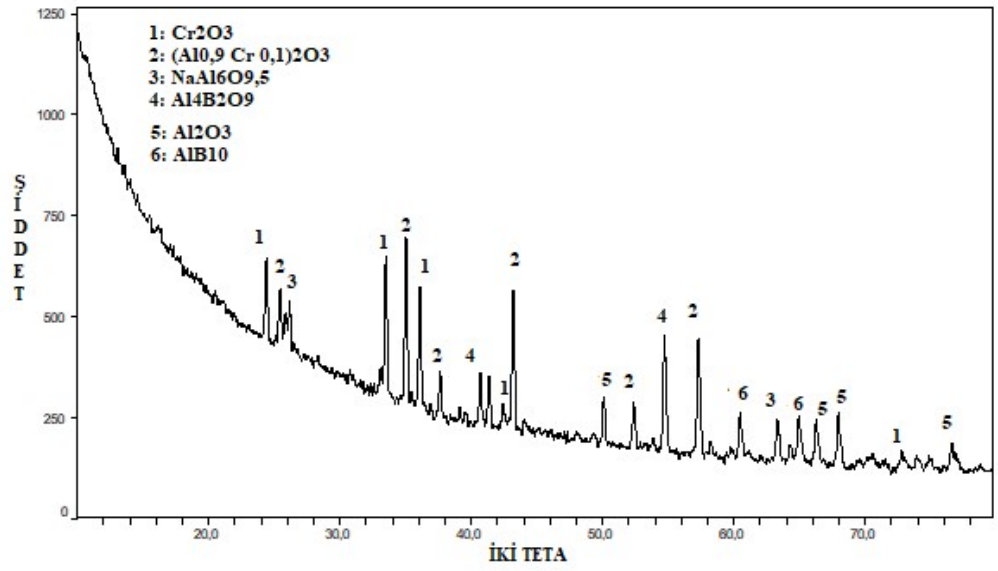
Şekil 7.43'de 0,025 gr. Krom oksit ile doplanmış ve 650°C'de 1 saat süre ile sinterlenmiş D7.32 kodlu örnek ve Şekil 7.44'de 1 gr Krom oksit ile doplanmış ve 650°C'de 1 saat süre ile sinterlenmiş D7.34 kodlu örneğin mineralojik analiz sonucu yer almaktadır.

D7.32 kodlu örneğin XRD ile yapılan mineralojik analiz sonucunda Alüminyum krom oksit ve Alüminyum oksit fazları tespit edilmiştir.

D7.34 kodlu örnekte ise krom oksit (Cr_2O_3), Alüminyum Krom Oksit, Sodyum Alüminat, Alüminyum Borat, Alüminyum oksit ve bor alüminyum fazları tespit edilmiştir. Krom oksit miktarının değişmesi ile birlikte faz yapısında büyük bir değişiklik meydana geldiği görülmektedir. D7.32 kodlu örnekte yapı içinde bulunması gereken bor elementinin amorf yapı içerisinde dağıldığı düşünülmektedir.



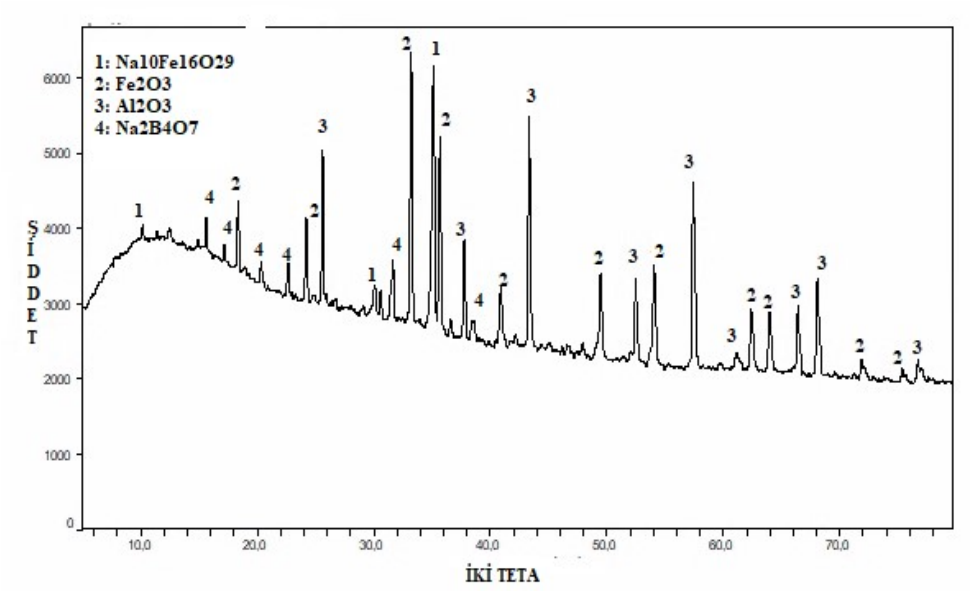
Şekil 7.43. D7.32 kodlu örneğin XRD kullanılarak yapılan mineralojik analiz sonucu. (1: Alüminyum Krom Oksit ($(Al_{0.9}Cr_{0,1})_2O_3$), 2:Alüminyum oksit (Al_2O_3).



Şekil 7.44. D7.34 kodlu örneğin XRD kullanılarak yapılan mineralojik analiz sonucu. (1: Krom Oksit (Cr_2O_3), 2:Alüminyum Krom Oksit, ($(Al_{0.9}Cr_{0,1})_2O_3$), 3:Sodyum Alüminat ($NaAl_6O_{9,5}$), 4: Alüminyum Borat ($Al_4B_2O_9$), 5: Alüminyum oksit (Al_2O_3), 6: Bor Alüminyum (AlB_{10}).

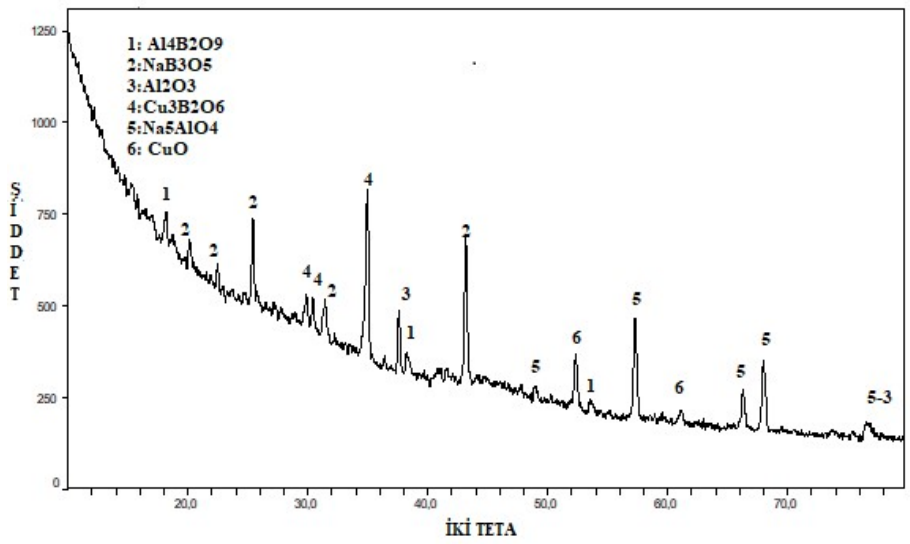
Şekil 7.45'de 1 gr demir oksit ile doplanmış ve 650°C'de 90 dakika süre boyunca sinterlenmiş D7.43 kodlu örneğin XRD ile yapılan mineralojik analiz sonucu yer almaktadır. Alüminyum oksit (Al_2O_3), Demir oksit (Fe_2O_3), Sodyum Borat ($Na_2B_4O_7$) ve Sodyum demir

oksit ($Na_{10}Fe_{16}O_{29}$) fazları tespit edilmiştir. Diğer örneklerin aksine sinterleme süresinin artması oluşan sodyum borat fazında değişikliğe sebep olduğu düşünülmektedir.



Şekil 7.45. D7.43 Kodlu örneğin XRD kullanılarak yapılan mineralojik analiz sonucu. (1: Sodyum Demir Oksit ($Na_{10}Fe_{16}O_{29}$), 2: Hematit (Fe_2O_3), 3: Alüminyum Oksit (Al_2O_3), 4:Sodyum Borat ($Na_2B_4O_7$)

Şekil 7.46'da 1 gr bakır oksit ile doplanmış ve 650 °C'de 30 dakika sinterlenmiş D7.55 kodlu örneğin XRD ile yapılan mineralojik analiz sonucu yer almaktadır. Alüminyum Borat ($Al_4B_2O_9$), Sodyum Borat (NaB_3O_5), Sodyum Alüminat (Na_5AlO_4), Bakır Borat ($Cu_3B_2O_6$), Bakır Oksit (CuO) ve alüminyum oksit fazları tespit edilmiştir. Bu örneğinde sinterleme süresinin az olması oluşan sodyum borat fazlarda değişikliğe neden olduğu söylenebilir.



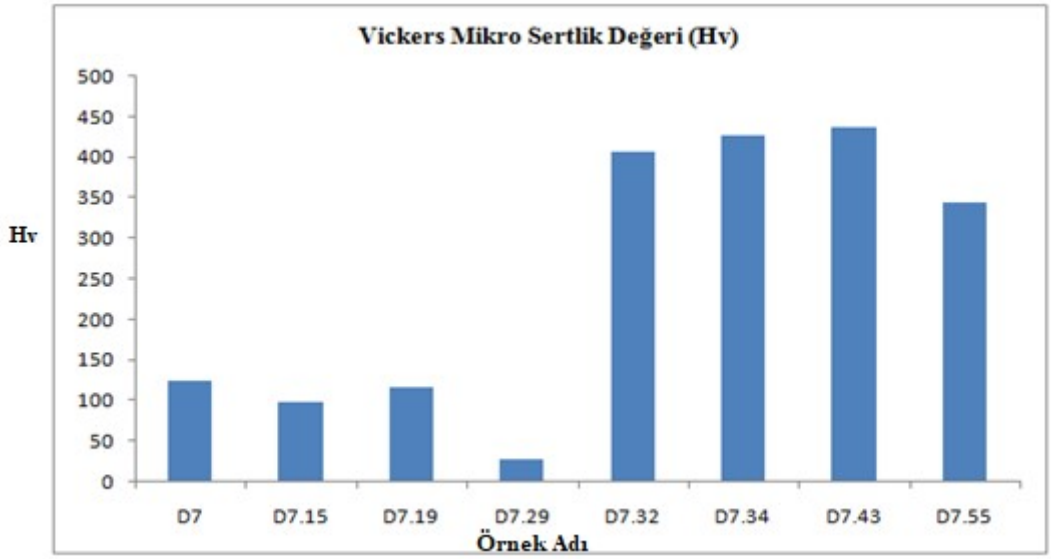
Şekil 7.46. D7.55 kodlu örneğin XRD kullanılarak yapılan mineralojik analiz sonucu.(1:Alüminyum Borat ($Al_4B_2O_9$), 2: Sodyum Borat (NaB_3O_5), 3: Alüminyum Oksit (Al_2O_3), 4: Bakır Borat ($Cu_3B_2O_6$), 5: Sodyum Alüminat (Na_5AlO_4), 6: Bakır Oksit (CuO)).

7.3. Sertlik Ölçüm Sonuçları

Çalışması kapsamında imitasyon süs taşı olarak elde edilen örneklerin sertlik değerleri Çizelge 7.7 ve Şekil 7.47'de verilmiştir.

Çizelge 7.7.İmitasyon olarak elde edilen örneklerin Vickers Mikro sertlik değerleri.

Örnek Adı	**Vickers Mikro Sertlik Değeri (Hv)**
D7	125,6
D7.15	98,2
D7.19	116,7
D7.28	27.75
D7.32	407,8
D7.34	426,9
D7.43	436.8
D7.55	345,1



Şekil 7.47. İmitasyon olarak elde edilen örneklerin Çizelge 7.7'deki Vickers Sertlik Değerlerinin grafiksel görünümü.

Çizelge 7.7 ve Şekil 7.46'da görüldüğü gibi doplanmamış referans numunenin mikro sertlik değeri 125.6 olarak ölçülmüştür. Kobalt oksit ile yapılan doplama neticesinde örneklerin sertliğinde bir düşüş meydana gelmiştir. D7.15 örneği 1gr kobalt oksit doplu iken D7.19 kodlu örnek 3gr kobalt oksit ile doplanmıştır. Bu iki örnek arasında bir değerlendirme yapıldığında kobalt oksit miktarının artması, sıcaklığın yükselmesi ve tepe noktasında bekleme süresinin artması sertlik için olumlu bir sonuç verdiği gözlemlenmiştir. D7.15 kodlu örneğin Şekil 7.57'de gösterilen SEM görüntüsünde görüldüğü gibi mikrayapısında çatlakların bulunması sertlik değerine etki ettiği düşünülmektedir. Yapılan bu sertlik testi sonucunda sertliği en düşük olan örneğin nikel oksit ile doplanan örnek olduğu açıkça görülmektedir ve sertliği diğer örneklere göre çok düşük miktarda hesaplanmıştır. Bu da yapıda oluşan ve Şekil 7.72'de ki SEM görüntüsünde porozite ve çatlak boyutunun fazla olmasından ve Şekil 7.42'de gösterilen mineralojik analiz sonucu oluşan faz yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Krom oksit ile doplama, bakır oksit ile doplama ve demir oksit ile yapılan doplama çalışmaları sertlikte çok büyük bir artışa neden olmuştur. Krom oksit ile doplanan örneklerin sertlikleri birbirine yakın bir değer olarak hesaplanmıştır. Ancak krom oksit miktarı yüksek olan D7.34 kodlu örneğin sertliği, daha düşük miktarda krom oksit içeren D7.32 kodlu örneğe daha yüksektir. Burada hem krom oksit miktarından hem de yoğunluk farkından dolayı sertliğinin yüksek olduğu söylenebilir.Ayrıca krom oksit ile doplanmış iki örneğin oluşan faz yapılarındaki ki farklılık ve SEM görüntüsünde görüldüğü üzere (Şekil 7.78) D7.32 kodlu örneğin yapısındaki

porlardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Demir oksit ile doplanmış örnek diğer doplama oksitleri kullanılarak doplanmış örneklere göre sertliği en yüksek olan örnektir. Burada oluşan faz yapısından ve örnek yoğunluğunun yüksek olması sertliğini olumlu bir şekilde etkilemiştir. Bakır oksit ile yapılan doplama işleminde doplanmamış örneğe göre sertliğinin yüksek bir şekilde arttırdığı görülmektedir. Pekkan ve Gün'ün (2018) yaptığı çalışmada metal oksit katkılarının sertliğin artmasını sağladığına değinmişlerdir. Ancak yaptıkları çalışmada nikel oksit ve kobalt oksit katkısının da sertliği arttırdığı belirtilmiştir. Ancak yapılan bu çalışmada özellikle nikel oksit ilavesinin sertliği çok fazla bir şekilde düşürdüğü görülmektedir, aslında bu durumu nikel oksitten kaynaklandığını söylemek yanlış olur. Yapıda oluşan amorf fazın etkisiyle sertliğin azaldığı ve FE-SEM görüntülerinde görülen poroziteden ve çatlaklardan kaynaklandığı söylenebilir. Oluşan kristal yapı nedeniyle bu şekilde sonuçlandığı düşünülmektedir. Bu örneklerin sertliklerin diğer cam seramik uygulamalarında yapılan sertlik ölçüm çalışmalarına göre yüksek çıkmasının ana nedeni alkali $Na_2B_4O_7$ katkı oranının yüksek olmasıdır. Burada dört koordineli bora dönüşme nedeni ile bağlanabilirliği dolayısıyla sertliklerinin yüksek olmasına neden olmaktadır (Varshneya ve Mauro, 2019).

Petrescu (1999), yaptığı çalışmada vickers sertlik değerini mohs sertlik değerine dönüştürmüştür. Bu çalışamada Eşitlik 7.1.'de denklemi kullanarak vickers sertlik değeri mohs sertlik değerine dönüştürülmüştür.

$$Hv = (1/0.7)^3 * H^3 \qquad (7.1)$$

Bu denklemde;

Hv: Vickers mikro sertlik değeri

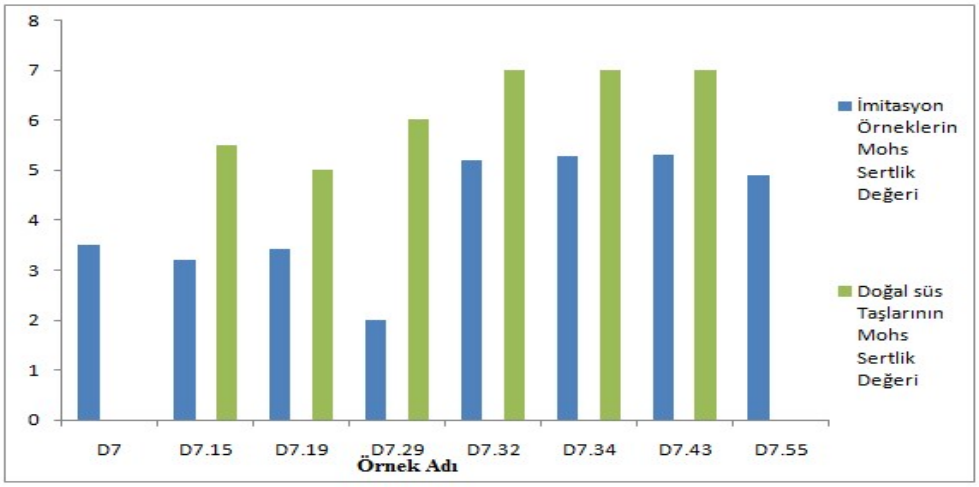
H: Mohs sertlik değerini tanımlamaktadır.

Vickers mikro sertlik değerinden Mohs sertlik değerine dönüştürülmüş değerler Çizelge 7.8'de gösterilmektedir.

Çizelge 7.8.İmitasyon olarak elde edilen örneklerin 7.1 denklemi ile dönüştürülmüş oldukları Mohs Sertlik değerleri.

Örnek Adı	**Mohs Sertlik Değeri**
D7	3,5
D7.15	3,2
D7.19	3,4
D7.28	2
D7.32	5,20
D7.34	5,27
D7.43	5,30
D7.55	4,90

Çizelge 7.8'de görüldüğü gibi Mohs sertlik değerleri 2 ile 5.30 arasında değişmektedir. Yani en sert olarak elde edilen örnek D7.43 kodlu örnektir. Şekil 7.48'de imitasyon olarak elde edilen ve doğal olan süs taşlarının Mohs Sertlik değerine göre karşılaştırılması görülmektedir. İmitasyon sodalit olarak elde edilen D7.15 kodlu örneğin mohs sertlik değeri 3,2 iken, doğal sodalitin sertlik değeri 5,5-6 arasındadır. İmitasyon obsidyen olarak elde edilen D7.19 kodlu örneğin mohs sertlik değeri 3,4 iken doğal obsideyenin sertlik değeri 5-6, oniksin ise 7 dir. İmitasyon prehnit olarak elde edilen D7.29 kodlu örneğin sertlik değeri 2 iken, doğal prehnitin sertlik değeri 6 ile 6,5 arasında değişmektedir. İmitasyon aventurin olarak elde edilen D7.32 kodlu örneğin sertlik değeri 5,2 iken doğal aventuruinin sertlik değeri 6,5-7 arasında değişmektedir. İmitasyon jadeit olarak elde edilen D7.34 kodlu örneğin sertlik değeri 5,27 iken doğal jadeitin sertlik değeri 6,5-7 civarındadır. İmitasyon akik, jasper ve karnelyan olarak elde edilen D7.43 kodlu örneğin sertlik değeri 4,90 iken doğal akik'in sertlik değeri 7, , karnelyanın 7, jasperın ise 7 dir. Bu çalışma kapsamında elde edilen imitasyon örneklerinin sertlikleri doğal süs taşlarından daha düşüktür. Ancak imitasyon süs taşları sadece görsel olarak benzer yapıda olması gerektiği için sertlik değerleri tolere edilebilir bir değerdedir.



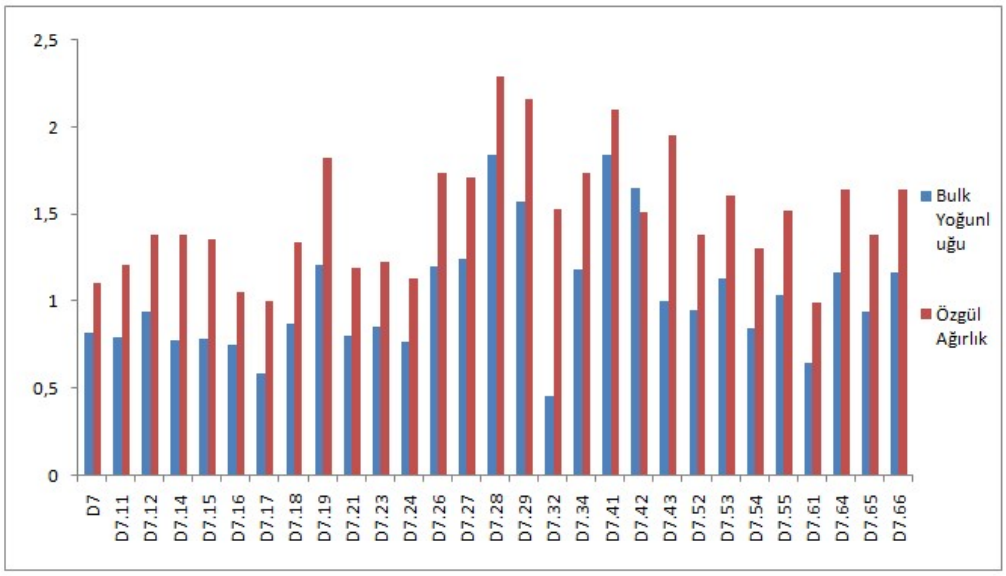
Şekil 7.48.Çizelge 7.8'de görülen İmitasyon örneklerinin Mohs Sertlik değeri ile doğal süs taşlarının eşleniklerinin Mohs Sertlik Değerlerinin Karşılaştırılması.

7.4.Yoğunluk Hesaplanması

Yapılan çalışmada farklı sinterleme sıcaklıkları, farklı tepe noktasında bekleme süreleri ve farklı doplama malzemeleri kullanılarak üretilmiş örneklerin bulk yoğunluğu ve özgül ağırlığı Çizelge 7.9 ve Şekil 7.49'da verilmiştir.

Çizelge 7.9. Sinterlenmiş örneklerin ölçülen bulk yoğunluğu ve özgül ağırlığı (En iyi imitasyon örneklerinin yoğunluk ve özgül ağırlık değerleri koyulaştırılmıştır).

Örneğin Adı	**Bulk Yoğunluğu (gr/cm^3)**	**Özgül Ağırlık**
D7	0,82	1,1012
D7.11	0,79	1,2130
D7.12	0,94	1,3812
D7.14	0,77	1,2314
D7.15	**0,78**	**1,3544**
D7.16	0,75	1,0453
D7.17	0,58	1,0020
D7.18	0,87	1,3440
D7.19	**1.21**	**1,8165**
D7.21	0,80	1,1855
D7.23	0,85	1,2196
D7.24	0,76	1,1306
D7.26	1,20	1,7350
D7.27	1,24	1,7139
D7.28	**1,84**	**2,2910**
D7.29	1,57	2,1568
D7.32	**0,45**	**1,5348**
D7.34	**1,18**	**1,7427**
D7.41	1,84	2,1045
D7.42	1,65	1,5129
D7.43	**1,009**	**1,9459**
D7.52	0,95	1,3839
D7.53	1,13	1,6059
D7.54	0,84	1,2988
D7.55	**1,03**	**1,5207**
D7.61	0,64	0,9883
D7.64	1,16	1,6379
D7.65	0,94	1,3807
D7.66	1,16	1,6379



Şekil 7.49.Çizelge 7.9'da görülen sinterlenmiş örneklerin bulk yoğunluğu ve özgül ağırlıklarının grafiksel görüntüsü.

Çizelge 7.9 ve Şekil 7.49'da görüldüğü gibi bulk yoğunluklarının özgül ağırlıklarından düşük olduğu görülmüştür. Doplanmış olan örneklerin doplanmamış örneğe göre özgül ağırlıklarının arttığı görülmektedir. Sadece bu rakam D7.61 kodlu örnekte azalmıştır. Bunun nedeni ise yapı içinde bulunan poroziteden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Kobalt doplu örnekler incelendiğinde kobalt miktarı 0,025gr, 2gr ve 3gr olan örneklerin özgül ağırlığının 1gr kobalt oksit doplu olanlara göre daha yüksek olduğu görülmektedir. D7.11 ve D7.15 kodlu örneklerin sinterleme sıcaklığı ve sinterleme süreleri aynıdır, ancak içerdikleri kobalt oksit oranı sırasıyla 0.025 gr ve 1gr'dır. Bu iki örnek karşılaştırıldığında kobalt oksit miktarı artışının özgül ağırlığın artmasına neden olduğunu söyleyebiliriz. D7.12 ve D7.16 kodlu örneklerde sinterleme sıcaklığı ve sinterleme süreleri aynıdır, ancak içerdikleri kobalt oksit oranı sırasıyla 0.025 gr ve 1gr'dır. Fakat burada kobalt oksit miktarı artarken yoğunluk azalmış. Bu da şekillendirme aşamasında yapı içerisinde gözeneklerin kaldığını göstermektedir. D7.17, D7.18 ve D7.19 kodlu numuneler aynı sinterleme sıcaklığı ve sinterleme süresine sahiptir, kobalt oksit içeriği sırasıyla 1gr, 2gr ve 3gr'dır. Bu örnekler incelendiğinde kobalt oksit miktarının artması yoğunluğun görünür bir şekilde artmasına neden olmuştur.

Nikel oksit ile doplama yapıldığında doplanmamış D7 örneğine göre nikel oksit içeren örneklerin özgül ağırlıklarında artış olduğu görülmektedir. Nikel oksit miktarının, sinterleme sıcaklığının ve sinterleme süresinin artması ile birlikte örneklerin özgül ağırlıklarında artış meydana gelmektedir. En düşük nikel oksit miktarına ve düşük sinterleme sıcaklığına sahip olan

D7.21 kodlu örnek nikel oksit doplu örnekler arasında en düşük özgül ağırlığa sahip olandır. D7.23 ve D7.24 kodlu örnekler aynı sinterleme sıcaklığı ve sinterleme süresine sahiptir ancak yapısında ki nikel oksit oranı sırasıyla 0,025gr ve 1gr'dır. Bu iki örnekte nikel oksitin artması ile özgül ağırlığında bir miktar düşüş gözlemlenmektedir. Bu durum şekillendirme sırasında paketlenmenin daha az olduğunu gösterebilir ya da sinterleme süresinin yeteri kadar olmadığını gösterebilir. D7.26, D7.27, D7.28 ve D7.29 kodlu örnekler incelendiğinde nikel oksit artışının özgül ağırlığı arttırdığı net bir şekilde görülmektedir. Nikel oksit ile yapılan doplama çalışmalarda özgül ağırlık açısından en uygun olanlarının sinterleme süresi ve sinterleme sıcaklığının 650 °C ve tepe noktasında 60 dakika bekleyen örnekler olduğu görülmüştür. Nikel oksit doplu örnekler içerisinde süs taşına en benzer olan ve yoğunluğu en yüksek olan örnek D7.28'dir. Bu örnek imitasyon prehnit süs taşına en benzer olanıdır. Literatürde prehnit süs taşının özgül ağırlığı 2,80 ile 3,0 arasında değişmektedir. Elde edilen imitasyon süs taşının özgül ağırlığı doğal süs taşından biraz daha düşük bir değerdedir.

Cr_2O_3 ile doplanan örnekler içerisinde imitasyon olarak elde edilen D7.32 ve D7.34 kodlu örneklerdir. Bu iki örnek incelendiğinde sinterleme süreleri ve sinterleme sıcaklıkları aynıdır. Ancak D7.32 kodlu örnekte Cr_2O_3 miktarı 0.025 iken, D7.34 kodlu örneğin Cr_2O_3 miktarı 1gr'dır. Özgül ağırlıkları değerlendirildiğinde Cr_2O_3 oranının artması ile özgül ağırlığında artış meydana gelmiştir. Bu elde edilen örnekler aventurin ve jadeit taşına en çok benzeyen imitasyon süs taşlarıdır. Doğal aventurinin özgül ağırlığı 2,6-2,7 civarında iken imitasyon olarak elde edilen örneğin özgül ağırlığı 1,53'dür. Doğal jadeitin özgül ağırlığı 3,2 ile 3,3 iken imitasyon olarak elde edilen örneğin özgül ağırlığı 1,74'tür.

Fe_2O_3 katkılı örnekler içerisinde süs taşı olarak en uygun olanı D7.43 kodlu örnektir. Diğer oksitler ile doplanan örneklerin aksine Fe_2O_3 katkılı örneklerde doplanma oranı arttıkça özgül ağırlığında azalma meydana gelmiştir. Bunun nedeni yapı içerindeki gözeneklerdir. Fe_2O_3 oranının artması ile yapıdaki gözenek oranı artmıştır bu da yoğunluğu etkilemiştir. Özellikle D7.42 kodlu örnek en düşük yoğunluğa sahip olandır. Ancak sinterleme süresinin artması ile beraber yapıdaki gözeneklerin kapanmasından kaynaklı olarak özgül ağırlığında artış meydana gelmiştir. D7.43 kodlu örnek doğal agata en çok benzeyen imitasyondur. Literatürde doğal agatın özgül ağırlığının 2,58 ile 2,64 arasında değiştiği belirtilmiştir. Literatürde jasperın özgül ağırlığı 2,58-2,66, karnelyanın ise 2,60'dır. İmitasyon olarak elde edilen örneğin yoğunluğu ise 1,95 olarak hesaplanmıştır.

CuO ile yapılan doplama çalışmalarında D7.52 ve D7.53 kodlu örnekler karşılaştırıldığında aynı miktarda CuO oranına sahip ve aynı sinterleme sıcaklığına sahip

olmasına rağmen sinterleme süresinin artması özgül ağırlığın artmasına neden olmuştur. Bu da sinterleme süresi ile beraber yapı içerisindeki gözeneklerin kapandığından kaynaklanmaktadır. D7.54 ile D7.55 kodlu örnekler incelendiğinde sinterleme sıcaklığının artması özgül ağırlık artışına neden olmaktadır. D7.55 kodlu örneğin sinterleme süresinin düşük olmasına rağmen hem renk açısından hem de özgül ağırlık açısından daha iyi olduğu görülmektedir. turkuaz, malakiti azurit ve krizokollanın imitasyonu olarak elde edilen D7.55'in özgül ağırlığı 1,52'dir. Doğal turkuazın 2,60-2,91, malakitin 4,00, azuritin 3,77 ve krizokollanın 2,40'dır.

Mangan oksit ile yapılan çalışmalarda mangan oksit miktarının artışı aynı sinterleme sıcaklığı ve sinterleme süresine sahip olan D7.61 ve D7.64 kodlu örnekler karşılaştırıldığında özgül ağırlık değerlerinde artışa neden olmuştur. D7.65 ve D7.66 kodlu örnekler karşılaştırıldığında ise sinterleme süresinin artması D7.66 kodlu örneğin porozitelerin azalmasını sağlayarak özgül ağırlığının artmasına neden olmuştur.

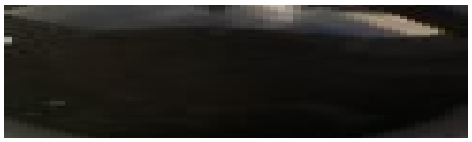
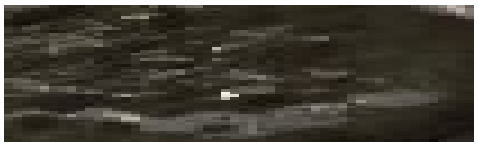
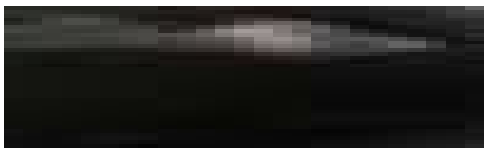
7.5. Renk Ölçüm Sonuçları

Çalışmada elde edilen örneklerin renk ölçüm verileri Çizelge 7.10 'da İmitasyon olarak elde edilen örneklerin L*a*b renk değerleri verilmiştir.

Çizelge 7.10.İmitasyon olarak elde edilen örneklerin L*a*b renk değerleri. En yakın imitasyonları koyulaştırılmıştır.

Örneğin Adı	**L**	**a**	**b**	**Renk**
D7	42,56	1,81	1,60	
D7.11	28,61	-0,48	0,34	
D7.12	33,23	-0,36	-1,41	
D7.13	28,63	-1,61	-1,32	
D7.14	29,30	-0,77	-1,37	
D7.15	**35,54**	**-2,55**	**-4,65**	
D7.16	36,33	-1,70	-3,82	
D7.17	32,90	-1,53	-2,97	
D7.18	25,19	-3,55	-0,01	

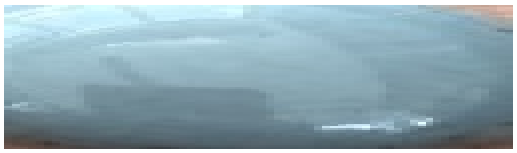
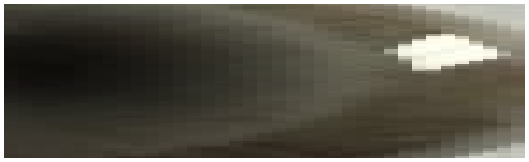
Çizelge 7.10.İmitasyon olarak elde edilen örneklerin L*a*b renk değerleri. En yakın imitasyonları koyulaştırılmıştır (Devam).

Örneğin Adı	**L**	**a**	**b**	**Renk**
D7.19	**24,95**	**-4,26**	**0,29**	
D7.21	28,60	0,26	0,14	
D7.22	38,91	2,20	1,67	
D7.23	27,43	-0,90	-0,24	
D7.24	30,83	0,59	0,42	
D7.25	30,49	0,01	0,23	
D7.26	60,74	-5,91	15,55	
D7.27	61,68	-5,95	15,74	

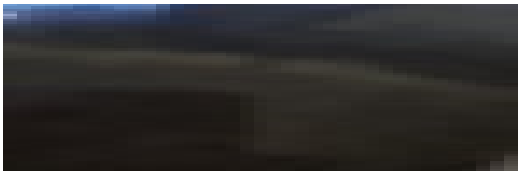
Çizelge 7.10.İmitasyon olarak elde edilen örneklerin L*a*b renk değerleri. En yakın imitasyonları koyulaştırılmıştır (Devam).

D7.28	**61,53**	**-6,40**	**16,81**	
D7.29	62,15	-7,82	17,85	
D7.31	37,52	-2,67	5,79	
D7.32	**36,84**	**-2,24**	**4,17**	
D7.33	39,29	-16,56	19,22	
D7.34	**38,93**	**-17,38**	**19,73**	
D7.41	51,53	3,68	4,33	
D7.43	**31,68**	**12,09**	**6,51**	
D7.51	60,04	5,69	1,55	

Çizelge 7.10.İmitasyon olarak elde edilen örneklerin L*a*b renk değerleri. En yakın imitasyonları koyulaştırılmıştır (Devam).

D7.52	**40,15**	**9,45**	**1,36**	
D7.53	57,88	7,05	1,85	
D7.54	56,39	-4,05	-2,04	
D7.55	**61,04**	**-5,73**	**-3,58**	
D7.61	43,61	0,83	1,93	
D7.62	49,09	1,81	2,63	
D7.63	40,25	0,61	0,92	
D7.64	45,93	4,07	4,41	
D7.65	46,33	2,02	2,28	

Çizelge 7.10.İmitasyon olarak elde edilen örneklerin L*a*b renk değerleri. En yakın imitasyonları koyulaştırılmıştır (Devam).

D7.66	42,33	1,87	2,16	

Çizelge 7.1'de görüldüğü gibi D7.11, D7.12, D7.13, D7.14, D7.15, D7.16, D7.17, D7.18 ve D7.19 kodlu örnekler Co_3O_4 ile doplanmış örneklerdir. Çizelge 7.10'da anlaşıldığı gibi Co_3O_4 miktarı arttıkça örneklerin L değerleri azalmıştır. Başka bir ifade ile L değeri azaldıkça örnek renginin koyulaştığı görülmektedir. Bu örneklerin a değerleri incelendiğinde ise a değerleri arasında büyük bir fark olmadığı görülmektedir. D7.14 kodlu örnek a değeri açısından en düşük olduğu, yani -a değerinin ifade ettiği yeşil rengi ifade eden bölgeye doğru bir geçiş olduğu görülmektedir. b değerleri incelendiğinde ise 0,0025gr Co_3O_4 doplu örneklerin b değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. b değeri negatif (-) değerli sonuç vermesi halinde -b değerinin temsil ettiği mavi rengi göstermektedir. Renk analiz sonuçlarına göre 1gr Co_3O_4 doplu örneklerin, 0,025gr Co_3O_4, 2gr Co_3O_4 ve 3gr Co_3O_4doplu örneklere göre mavi rengini daha çok gösterdiği anlaşılmaktadır. Co_3O_4 oranı 2 gr ve 3 gr olan örneklerin a değerlerinin, 0,025gr Co_3O_4 doplu olan örneklere yakın olduğu ancak b değerinin diğer örneklere oranla düşük olduğu görülmüştür.

Çizelge 7.2'de görüldüğü gibi D7.21, D7.22, D7.23, D7.24, D7.25, D7.26, D7.27, D7.28 ve D7.29 kodlu örnekler NiO ile doplanmış örneklerdir. Çizelge 7.10'de anlaşılacağı gibi NiO miktarı en yüksek olan D7.26, D7.27, D7.28 ve D7.29 kodlu örneklerin L değerinin arttığı görülmektedir. Buradan anlaşılacağı gibi 2gr NiO ve 3gr NiO doplu örneklerin beyazlık derecesi daha yüksektir. 0,025 NiO ve 1gr NiO doplu örneklerin L değerlerinin benzerlik gösterdiği görülmektedir. Bu örneklerin a değerleri incelendiğinde ise 0,025 NiO ve 1gr NiO doplu örneklerin L değerlerinin benzerlik gösterirken, 2gr NiO ve 3 gr NiO doplu örneklerin a değerlerinin negatif (-) değerli olduğu, -a değerinin temsil ettiği mavi bölgede olduğu görülmektedir. Aynı şekilde örneklerin b değerleri 0,025 gr NiO ve 1gr NiO doplu örneklerde benzer olduğu, ancak 2gr NiO ve 3gr NiO doplu örneklerin b değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Yani NiO oranının artması ile birlikte rengin yeşil renge dönüştüğü görülmektedir.

Çizelge 7.3'de görüldüğü gibi D7.31, D7.32, D7.33 ve D7.34 kodlu örnekler Cr_2O_3 ile doplanmış örneklerdir. Çizelge 7.10'da görüldüğü gibi 0,025 gr Cr_2O_3doplu D7.31 ve D7.32 kodlu örneklerin, 1 gr Cr_2O_3 doplu D7.33 ve D7.34 kodlu örneklerin L değerlerinin birbirlerine yakın olduğu görülmektedir. Cr_2O_3 doplu örneklerin a değerleri incelendiğinde ise 1 gr Cr_2O_3 doplu örneklerin a değerlerinin negatif olduğu görülmektedir. Yani – a değerinin temsil ettiği yeşil bölgede yer almaktadır. Cr_2O_3dopluörneklerin b değerleri incelendiğinde ise 1 gr Cr_2O_3 doplu örneklerin b değerlerinin, 0,025 Cr_2O_3doplu örneklere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. b değeri arttıkça +b değerinin temsil ettiği sarı renk oranı artmaktadır.

Çizelge 7.4'de görüldüğü gibi D7.41ve D7.43 kodlu örnekler Fe_2O_3 ile doplanmış örneklerdir. Çizelge 7.10'da görüldüğü gibi 0,025gr Fe_2O_3 doplu D7.41örneğinin L değerinin 1 gr Fe_2O_3doplu D7.43 örneğinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Buradan anlaşılacağı gibi örneğinin renginin daha açık olduğu anlaşılmaktadır. Fe_2O_3 doplu örneklerin a değerleri incelendiğinde ise D7.43 kodlu örneğin a değerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Şekil 6.15'de görülen L*a*b renk koordinat sistemine göre a değerinin pozitif olduğu bölge kırmızı rengi ifade etmektedir. D7.43 kodlu örneğin a değerinin D7.41kodlu örneğin a değerinin daha yüksek olması bu örneğin kırmızılık oranının daha yüksek olduğunu göstermektedir. b değerleri incelendiğinde ise D7.43kodlu örneğin değerinin az bir farkla daha yüksek olduğu görülmektedir.

Çizelge 7.5'de görüldüğü gibi D7.51, D7.52, D7.53, D7.54, D7.55, D7.56 ve D7.57 kodlu örnekler CuO ile doplanmış örneklerdir. Çizelge 7.10'da görüldüğü gibi CuO doplu örneklerin L değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Ancak D7.52 kodlu örneğin L değerleri diğer örneklere göre daha düşük olduğu görülmüştür. Bu değerden anlaşılacağı gibi D7.52 kodlu örnek diğer örneklerden daha koyudur. 0,025 CuOdopluD7.54 ve D7.55 kodlu örneklerin a değerlerinin negatif değerli olduğu, yani yeşil rengi temsil eden bölgede olduğu görülmektedir. D7.51, D7.52 ve D7.53 kodlu örneklerin ise a değerleri pozitif olduğu, yani kırmızı rengi temsil eden bölgede olduğu görülmektedir. Buradan anlaşılacağı gibi CuO oranının azalması ile örneklerdeki kırmızılık oranında artış olduğu söylenebilir. D7.54 ve D7.55 kodlu örneklerin b değerlerinin negatif değerli olduğu, yani mavi rengi temsil eden bölgede olduğu görülmektedir. D7.51, D7.52 ve D7.53 kodlu örneklerin ise b değerleri pozitif olduğu, yani sarı rengi temsil eden bölgede olduğu görülmektedir.

Çizelge 7.6'da görüldüğü gibi D7.61, D7.62, D7.63, D7.67, D7.65 ve D7.66 kodlu örnekler MnO ile doplanmış örneklerdir. Çizelge 7.10'da görüldüğü gibi MnO içeren örneklerin

L değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür. a ve b değerleri arasında da çok belirgin bir fark olmadığı görülmüştür.

Sonuç olarak renklendirici oksit miktarının artması örnek renginin değişmesine sebep olmaktadır.

7.6. Parlaklık Ölçüm Sonuçları

Süs taşlarının parlaklık ölçümü genellikle göreceli olarak yapılmaktadır. Camsı, mumsu, metalik, vitröz, reçine, yağlı ve ipeksi parlaklık olarak süs taşının görüntüsüne göre sınıflandırılmaktadır. Bu çalışmada en iyi imitasyon olarak elde edilen örneklerin parlaklıkları glossmetre kullanılarak ölçülmüştür. ASTM standartları parlaklık ölçümü için 20°, 60° ve 85°'yi önermektedir. Bunun nedeni daha geniş bir görünür parlaklık yelpazesinin oluşmasını sağlamaktır. İlk aşamada ölçümlerde 60° baz alınmaktadır. 60° ölçümlerde parlaklık değeri 70'in üstünde çıkması durumunda 20°'lik açı ile ölçüm yapılmasını önermektedir. Parlaklık değeri 10'un altında çıkması durumunda ise 85°'lik açıda parlaklık ölçümü yapılması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında elde edilen imitasyon örnekleri 60° açı ile ölçülmüştür. Çizelge 7.11'de elde edilen örneklerin parlaklık ölçüm değerleri yer almaktadır.

Çizelge 7.11. Elde edilen imitasyon örneklerinin glossmetre ile ölçülen parlaklık değerleri.

Örneğin Adı	**60°'de Ölçülen Parlaklık Değeri**
D7	2
D7.15	8
D7.19	25
D7.28	5
D7.32	7
D7.34	14
D7.43	28
D7.55	5

Çizelge 7.11'de görüldüğü gibi elde edilen parlaklık değerlerinin yüksek olmadığı görülmektedir. Doplanmamış örneğin parlaklığı en düşüktür. Metal oksit katkısı ile birlikte parlaklık değerlerinde bir miktar artış olduğu görülmektedir. Farklı miktarlarda Co_3O_4 içeren D7.15 ve D7.19 kodlu örneklerde 3 gr. Co_3O_4 içeren örneğin 1gr Co_3O_4 içeren örneğe göre parlaklık değerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Farklı miktarlarda Cr_2O_3 içeren D7.32 ve D7.34 kodlu örneklerde 1gr Cr_2O_3 içeren örneğin parlaklığının 0,025gr Cr_2O_3 örneğe göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Parlaklık değeri en yüksek olan örneğin Fe_2O_3 ile doplanmış olan

örnek olduğu görülmektedir. Belirlenen standartlara göre parlaklık ölçüm değerleri Çizelge 7.12'de verilmektedir.

Çizelge 7.12. 60°'de ölçülen parlaklık değerine göre parlaklık sınıflandırılması (www.korozyon doktoru.org).

Parlaklık Seviyesi	60° Parlaklık Değeri	Ölçüm Açısı
Düşük Parlaklık (Mat)	<10GU	85°
Orta Parlaklık	10-70GU	60°
Yüksek Parlaklık	>70GU	20°

Çizelge 7.12'deki 60°'de ölçülen parlaklık sınıflandırılmasına göre, imitasyon olarak elde edilen süs taşlarının parlaklık seviyesi, yüksek miktarda kramofor oksit içeren örnekler orta parlaklık sınıfında yer almaktadır. Daha düşük miktarda doplanmış örnekler düşük parlaklık seviyesinde bulunmaktadır.

Avrupa ve Amerika'da sayılar ile kesin olarak çerçevesi çizilmiş endüstriyel ulusal standartlara göre parlaklık dereceleri isimlendirilmiştir. Çizelge 7.13'de parlaklık değerleri ve parlaklık sınıfı yer almaktadır.

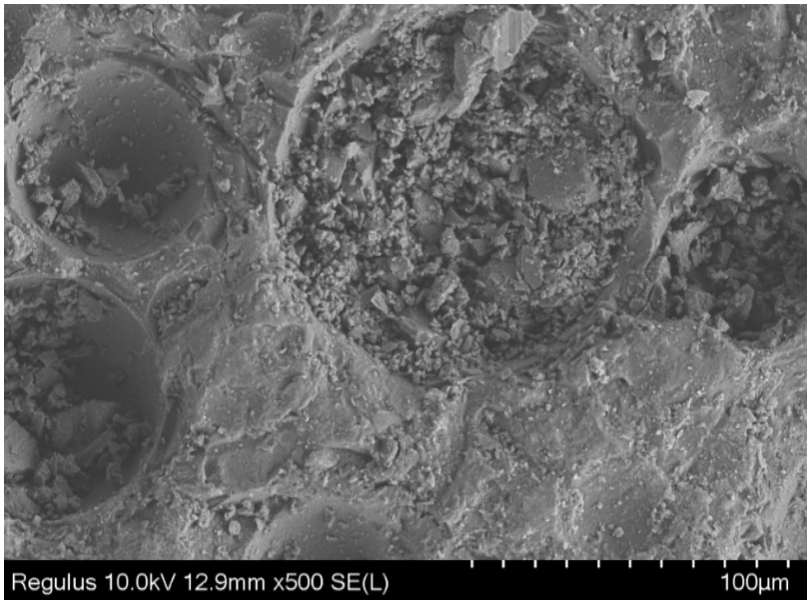
Çizelge 7.13. Avrupa ve Amerika standartlarına göre parlaklık değerleri sınıflandırılması (www.korozyon doktoru.org).

60°'de Ölçülen Parlaklık Değeri	Parlaklık Sınıfı
En Fazla 5 GU	Geleneksel Mat
En Fazla 10 GU	Kadifemsi
10-25 GU	Yumurta Kabuğu
20-35 GU	İpek
35-70 GU	Yarı-Parlak
70-85 GU	Parlak
85GU'dan Fazla	Çok Parlak

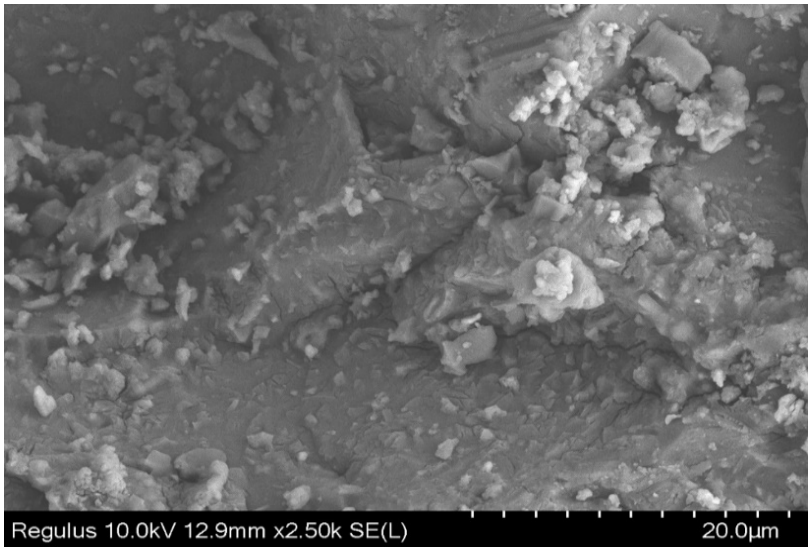
Çizelge 7.13'deki sınıflandırmaya göre elde edilen imitasyon örnekleri parlaklık dereceleri doplanmamış olan D7 kodlu örneğin geleneksel mat sınıfta olduğu görülmektedir. Daha düşük miktarda kramofor oksit ile doplanmış olan D7.15, D7.28, D7.32 ve D7.55 kodlu örneklerin kadifemsi parlaklığa sahip olduğu görülmektedir. D7.34 kodlu örnek ise yumurta kabuğu parlaklığına sahiptir. D7.19, D7.34 ve D7.43 kodlu örnekler ise ipeksi parlaklığa sahiptir.

7.7.FE-SEM Analiz Sonuçları

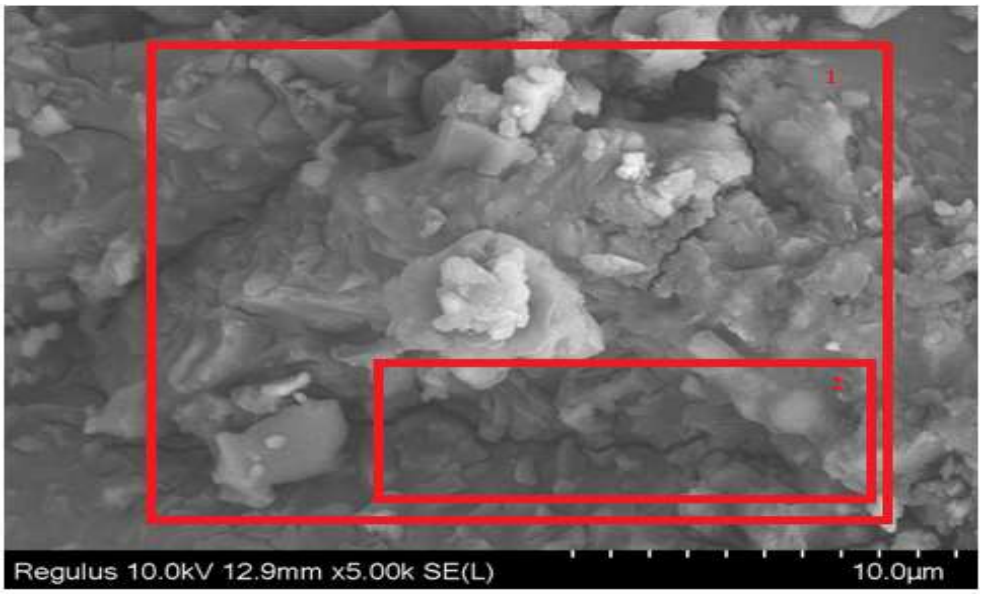
Bu çalışmada örneklerin mikro yapılarındaki benzerlik yada farklılıkları incelemek amacı ile taramalı elektron mikroskobunda (SEM) görüntüleri çekilmiştir. Bu görüntüler 500X, 2500X ve 5000X büyütme uygulanarak görüntü alınmıştır. Ardından bölgesel olarak EDX analizi yapılmıştır. Şekil 7. 50, Şekil 7.51 ve Şekil 7.52'de katkısız D7 örneğinin taramalı elektron mikroskop görüntüsü, Şekil 7.53, Şekil 7.54, Şekil 7.55, Şekil 7.56'da SEM-BSE mikyo yapı görüntüsü, EDX spekturumuve Çizelge 7.14 ve Çizelge 7.15'de EDX analiz sonuçları verilmiştir.



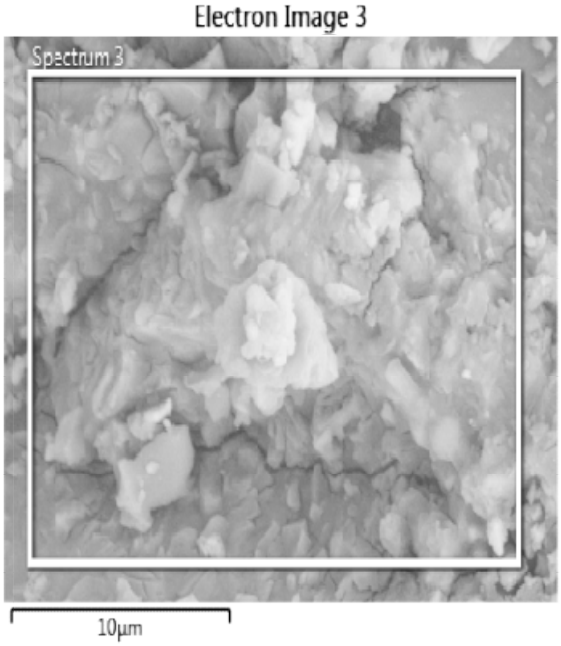
Şekil 7.50. D7 kodlu örneğin 500X büyütme görüntüsü. (Küresel boşluklar görülmektedir).



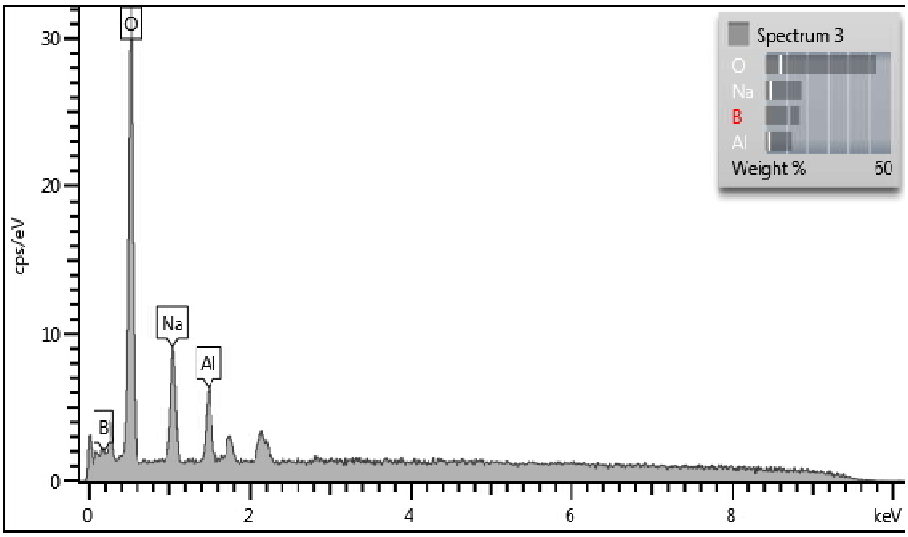
Şekil 7.51.D7 kodlu örneğin 2500X büyütme görüntüsü.(Taneler köşeli ve ovaldir).



Şekil 7.52. D7 kodlu örneğin 5000X büyütme görüntüsü. (Yapıda çatlaklar bulunmaktadır).



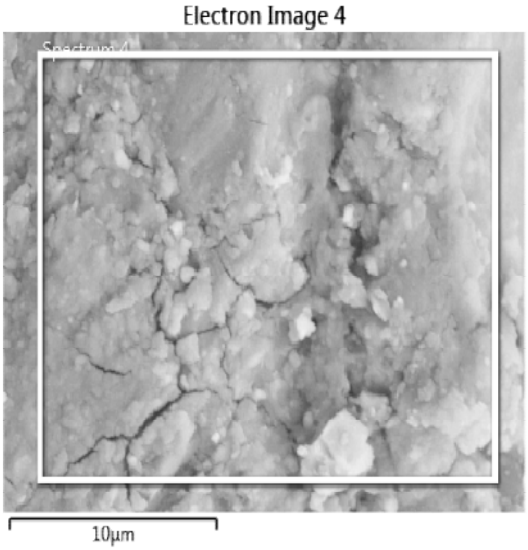
Şekil 7.53. Şekil 7.52'de verilen büyütülmüş D7 kodlu örneğin SEM-BSE mikro yapı görüntüsü 1 (Açık renk ile görülen yerler atom numarası en büyük olan elementi temsil etmektedir).



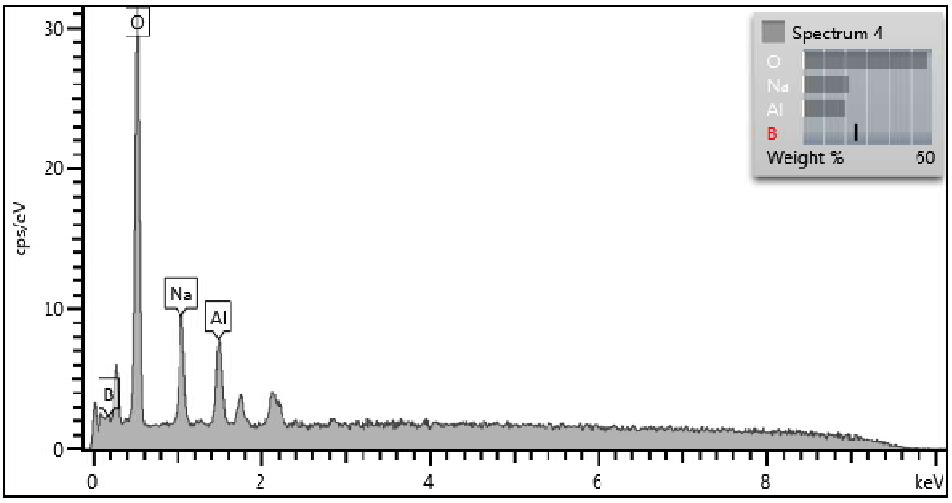
Şekil 7.54**.** Şekil 7.53'de D7 kodlu örneğin EDX spekturumu(1).

Çizelge 7.14. Şekil 7.54'de görülen EDX spekturumunun ağırlıkça element içeriği(1).

Element	**Ağırlıkça %**
B	16,37
O	53,51
Na	17,18
Al	12,95
Total	100



Şekil 7.55. Şekil 7.52'de görülen büyütülmüş D7 kodlu örneğin SEM-BSE mikro yapı görüntüsü 2(Açık renk ile görülen yerler atom numarası en büyük olan elementi temsil etmektedir).



Şekil 7.56. Şekil 7.55'de görülen D7 kodlu örneğin EDX spekturumu (2).

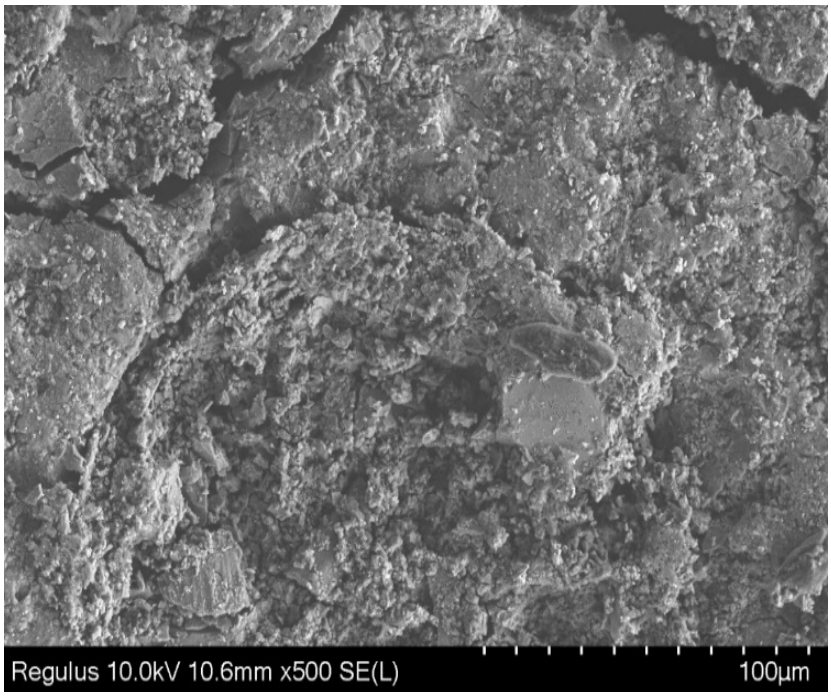
Çizelge 7.15. Şekil 7.56'da görülen EDX spekturumunun ağırlıkça element içeriği (2).

Element	**Ağırlıkça %**
B	0
O	57,79
Na	21,80
Al	20,41
Total	100

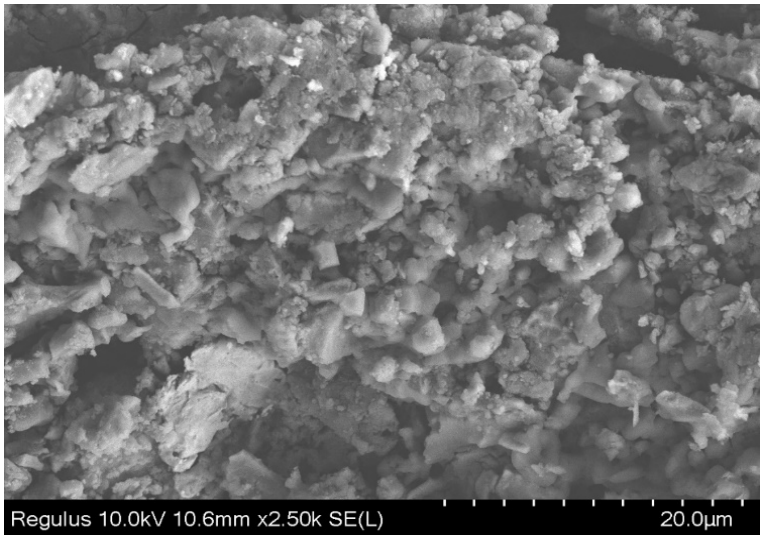
Şekil 7.50, Şekil 7.51 ve Şekil 7.52'de 650°C sıcaklık ve tepe noktasında 60 dakika bekleme süresi ile sinterlenen doplanmamış örneğin SEM mikroskop görüntüsü verilmiştir. D7 kodlu örneğin SEM görüntüleri 500X, 2500X ve 5000X büyütme uygulanarak çekilmiştir. Örneğin tanelerinin ovalimsi ve köşeli yapıda olduğu gözlemlenmiştir. 100µm ölçekli SEM görüntüsü incelendiğinde malzemenin yapısında porozitelerin olduğu görülmektedir. 10 µm ölçekli görüntüde açık renkli kristaller dikkat çekmektedir. Bölgesel olarak yapılan Şekil 7.53'de ve Çizelge 7.14 'de gösterilen EDX-1 analiz sonuçlarına açık renkli kristallerin alüminyum oksite ait olduğu görülmektedir. EDX-1 sonucuna göre bu bölgede Bor element oranı ağırıkça %16, 37 olduğu görülmektedir. Yine bu bölgedeki EDX-1 sonuçlarına göre ağırlıkça %17,18 Na atomu, %12,95 Al atomu bulunmaktadır. Farklı bir bölge olan Şekil 7.56'da gösterilen SEM-EDX analizine göre bu alanda bor konsantarasyonun düşük olması ve EDX analizinde borun tespit edilmesi zor olduğundan dolayı bor miktarı görülmemektedir. EDX-2 analiz sonucuna göre ağırlıkça %21,80 Na ve %20.41 oranında Al görülmektedir. İki bölge karşılaştırıldığında Na ve Al oranının 2. Bölgede daha yüksek olduğu Bor oranının

azaldığı görülmektedir. Yapılan SEM-EDX analizine göre örneğin bileşiminde bulunan bileşenlerin analiz sonucu tespit edildiği görülmektedir.

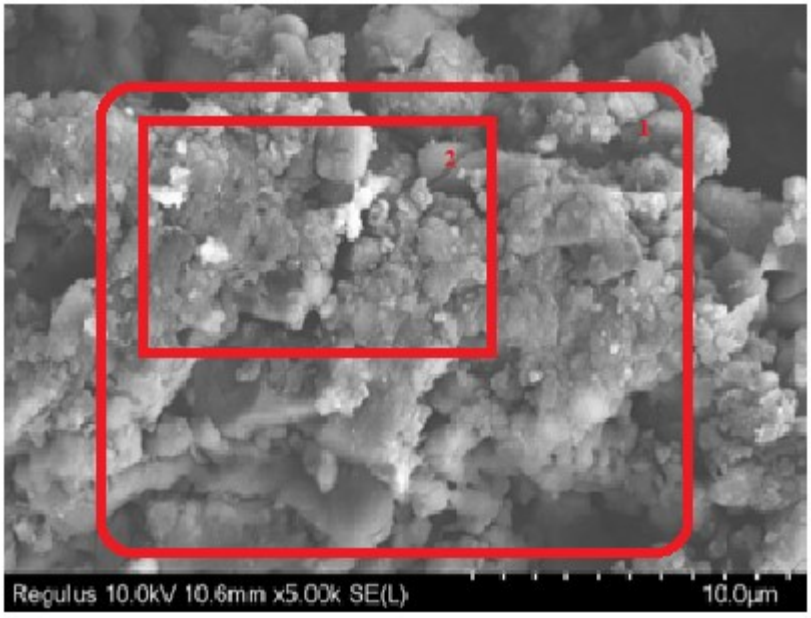
Ağırlıkça 0,025gr Co_3O_4 katkılı 600℃'de 60 dakika süre ile sinterlenen D7.15 kodlu örneğin SEM görüntüleri Şekil 7.57, Şekil 7.58 ve Şekil 7.59 'da verilmiştir. SEM görüntüleri çekilmeden önce örneğin tabanı zımparalanmıştır. Sem görüntüleri 500X, 2500X ve 5000X büyütme oranıyla çekilmiştir. Daha sonra bölgesel olarak EDX analizi yapılmıştır. SEM-BSE mikroyapı görüntüleri Şekil 7.60 ve Şekil 7.62'de EDX analiz sonuçları ise Şekil 7.61, Şekil 7.63, Çizelge 7.16 ve Çizelge 7.17'de gösterilmektedir.



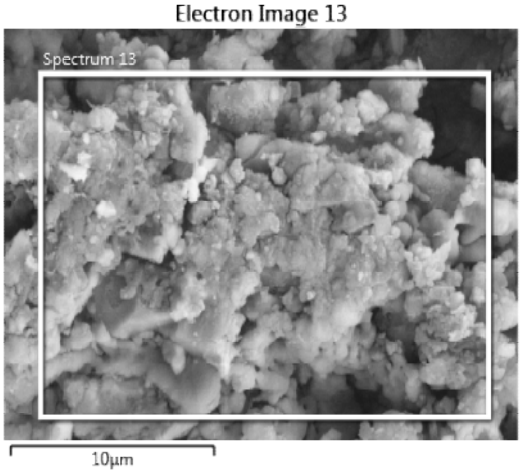
Şekil 7.57. D7.15 kodlu örneğin 500X büyütme görüntüsü (Mikro yapıda çatlaklar bulunmaktadır).



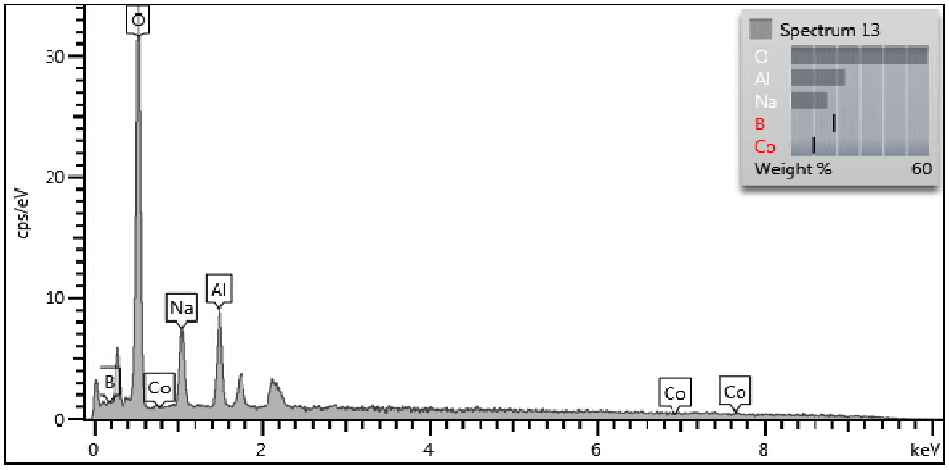
Şekil 7.58. D7.15 kodlu örneğin 2500X büyütme görüntüsü (Taneler köşeli ve ovaldir).



Şekil 7.59. D7.15 kodlu örneğin 5000X büyütme görüntüsü(Siyah görülen alanlar boşluklardan kaynaklanmaktadır).



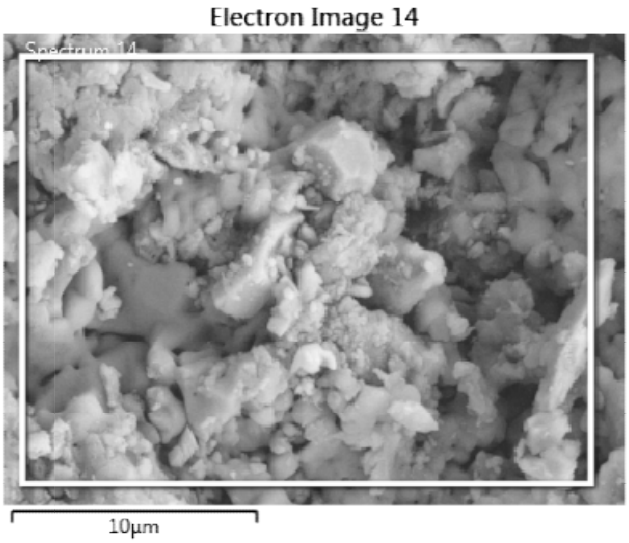
Şekil 7.60. Şekil 7.59'da görülen D7.15 kodlu örneğin SEM-BSE mikro yapı görüntüsü (1) (Açık renk ile görülen yerler atom numarası en büyük olan elementi temsil etmektedir).



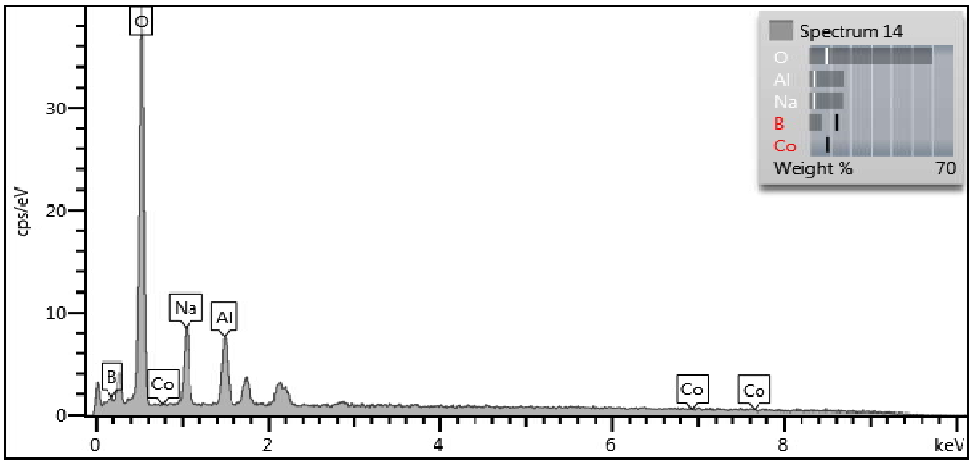
Şekil 7.61. Şekil 7.60'da görülen D7.15 kodlu örneğin EDX spekturumu (1).

Çizelge 7.16. Şekil 7.61'de görülen EDX spekturumunun örneğin ağırlıkça element içeriği (1).

Element	**Ağırlıkça %**
B	0
O	59,48
Na	16,40
Al	24,12
Co	0
Toplam	100



Şekil 7.62. Şekil 7.59'da görülen D7.15 kodlu örneğin SEM-BSE mikro yapı görüntüsü (2) (Açık renk ile görülen yerler atom numarası en büyük olan elementi temsil etmektedir).



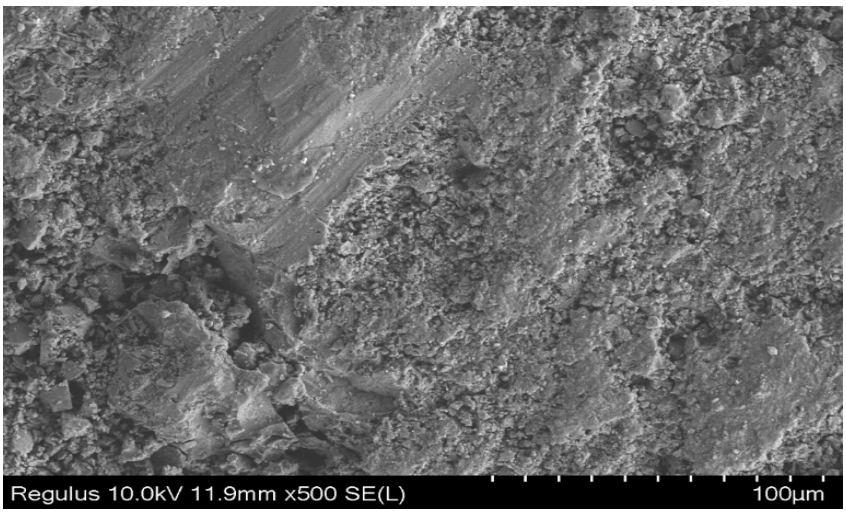
Şekil 7.63. Şekil 7.62'de görülen D7.15 kodlu örneğin EDX spektrumu (2).

Çizelge 7.17. Şekil 7.63'de görülen EDX spekturumunun ağırlıkça element içeriği (2).

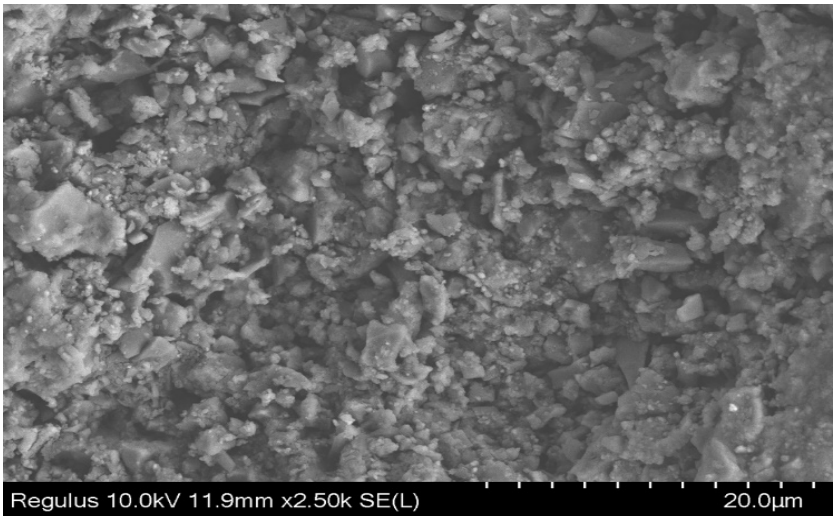
Element	**Ağırlıkça %**
B	5,72
O	60,15
Na	16,85
Al	17,27
Co	0
Toplam	100

Şekil 7.57'de gösterilen 100µm ölçekte çekilen SEM görüntüsünde siyah renkli olarak görülen alanların çatlak olduğu görülmektedir. Örneğin tanelerinin ovalimsi ve köşeli yapıda olduğu gözlemlenmiştir. Co miktarının düşük olmasından dolayı Co oranı EDX 1.bölgede ve 2. Bölgede tespit edilmemektedir. EDX 1 analiz sonucuna göre ağırlıkça % 59,48 O, % 16,40 Na ve %24,12 Al atomu tespit edilmiştir. EDX 2 analiz sonucuna göre %5,72 Bor, %60,15 O, 18,85 Na ve %17,27 Al görülmektedir. İki farklı bölgede yapılan EDX analizine göre 2. Bölgede Bor elementi tespit edilmiştir. 2. Bölgeden Na atom miktarının arttığı, Al element miktarının azaldığı görülmüştür. Co miktarının düşük olmasından dolayı EDX analizinde Co miktarı tespit edilememiştir. Yapılan SEM-EDX analizine göre örneğin bileşiminde bulunan bileşenlerin analiz sonucu tespit edildiği görülmektedir.

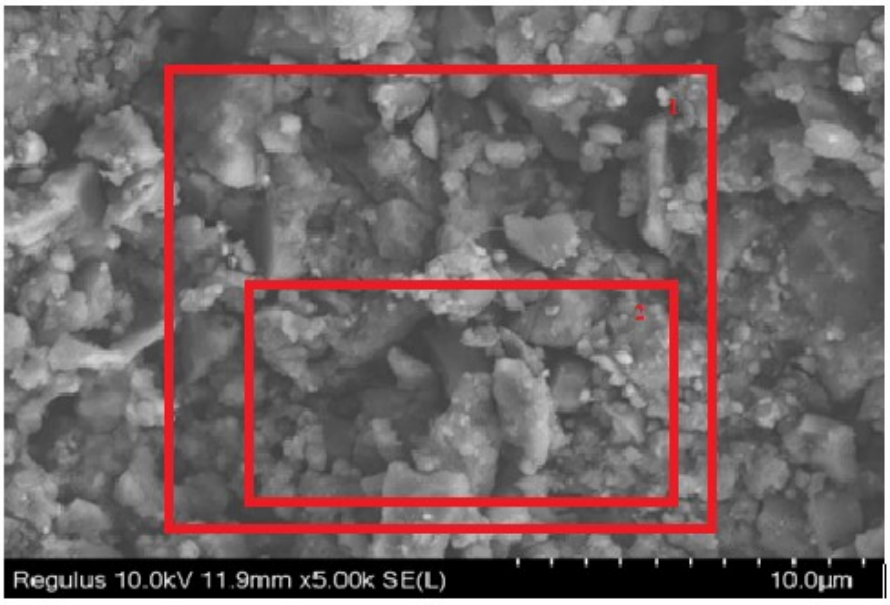
Ağırlıkça 3 gr Co_3O_4 katkılı 650°C'de 60 dakika süre ile sinterlenen D7.19 kodlu örneğin SEM görüntüleri Şekil 7.64, Şekil 7.65 ve Şekil 7.66 'daverilmiştir. SEM görüntüleri çekilmeden önce örneğin tabanı zımparalanmıştır. SEM görüntüleri örneğin parlak olmayan mat tabanından 500X, 2500X ve 5000X büyütme uygulanarak çekilmiştir. Daha sonra bölgesel olarak EDX analizi yapılmıştır. SEM-BSE mikroyapı görüntüsü Şekil 7.67 ve Şekil 7.69'da, EDX sonucu ise Şekil 7.68, Şekil 7.70, Çizelge 7.18 ve Çizelge 7.19'da verilmektedir.



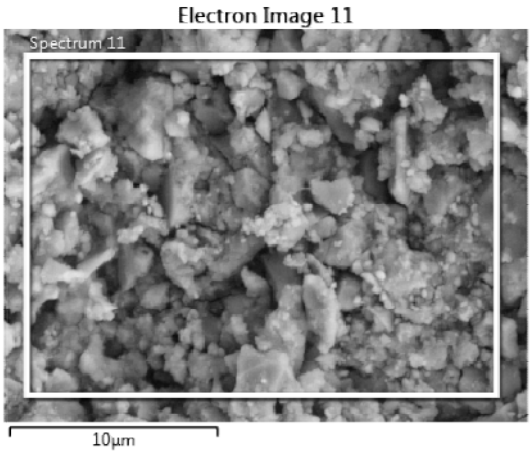
Şekil 7.64. D7.19 kodlu örneğin 500X büyütme görüntüsü (Camsı yapı görülmektedir).



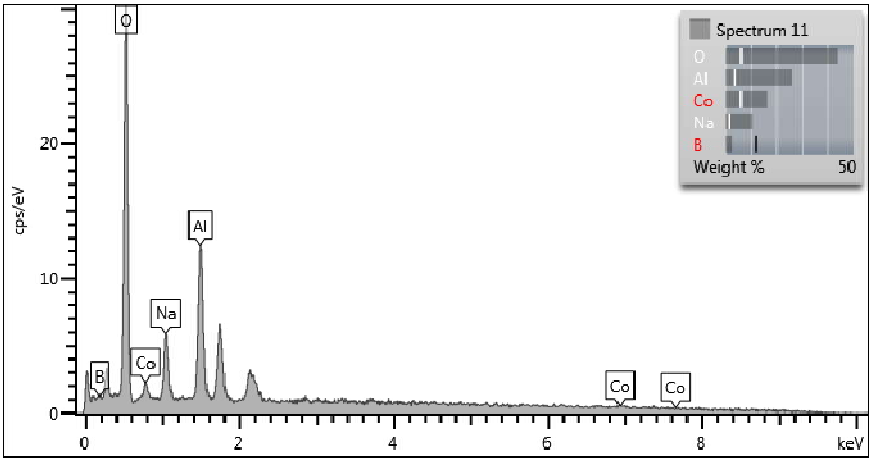
Şekil 7.65. D7.19 kodlu örneğin 2500X büyütme görüntüsü(Taneler köşeli ve oval yapıdadır).



Şekil 7.66. D7.19 kodlu örneğin 5000X büyütme görüntüsü(Mikro çatlaklar bulunmaktadır).



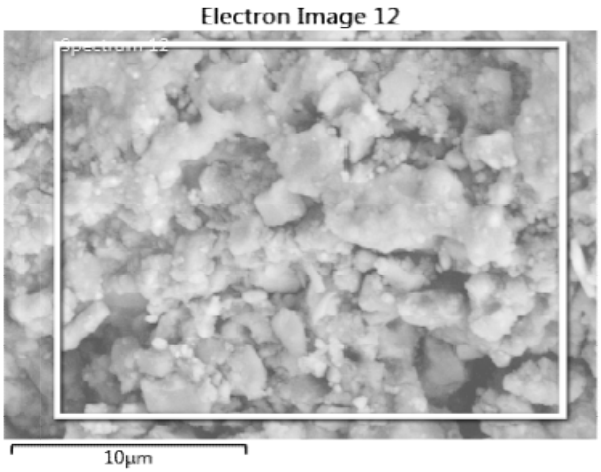
Şekil 7.67. Şekil 7.66'da görülen D7.19 kodlu örneğin bölge SEM-BSE mikro yapı görüntüsü (1) (Açık renk ile görülen yerler atom numarası en büyük olan elementi temsil etmektedir).



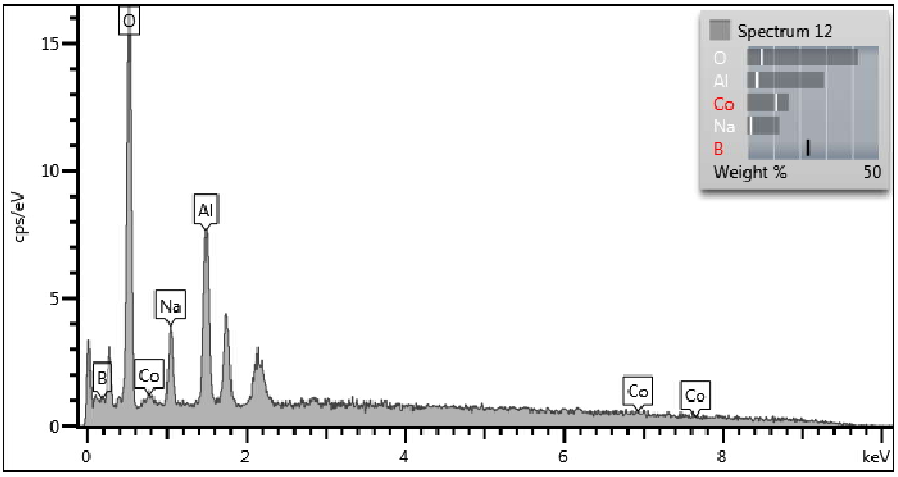
Şekil 7.68. Şekil 7.67'de görülen D7.19 kodlu örneğin EDX spekturumu (1).

Çizelge 7.18. Şekil 7.68'de görülen EDX spekturumunun ağırlıkça element içeriği (1).

Element	**Ağırlıkça %**
B	2,63
O	43,86
Na	10,80
Al	26,28
Co	16,44
Toplam	100



Şekil 7.69. Şekil 7.66'da görülen D7.19 kodlu örneğin bölge SEM-BSE mikro yapı görüntüsü (2) (Açık renk ile görülen yerler atom numarası en büyük olan elementi temsil etmektedir).



Şekil 7.70. Şekil 7.69'da görülen D7.19 kodlu örneğin EDX spekturumu (2).

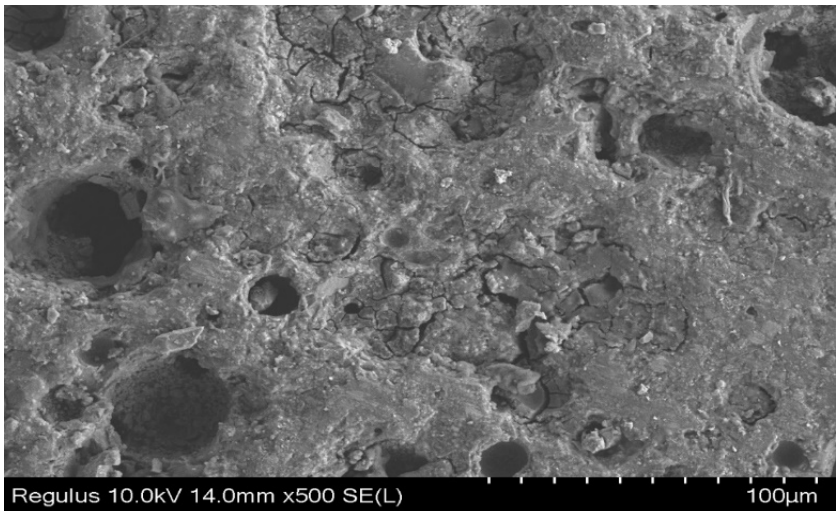
Çizelge 7.19. Şekil 7.70'de görülen EDX spekturumunun ağırlıkça element içeriği (2).

Element	**Ağırlıkça %**
B	0
O	42,34
Na	15,52
Al	29,21
Co	15,93
Toplam	100

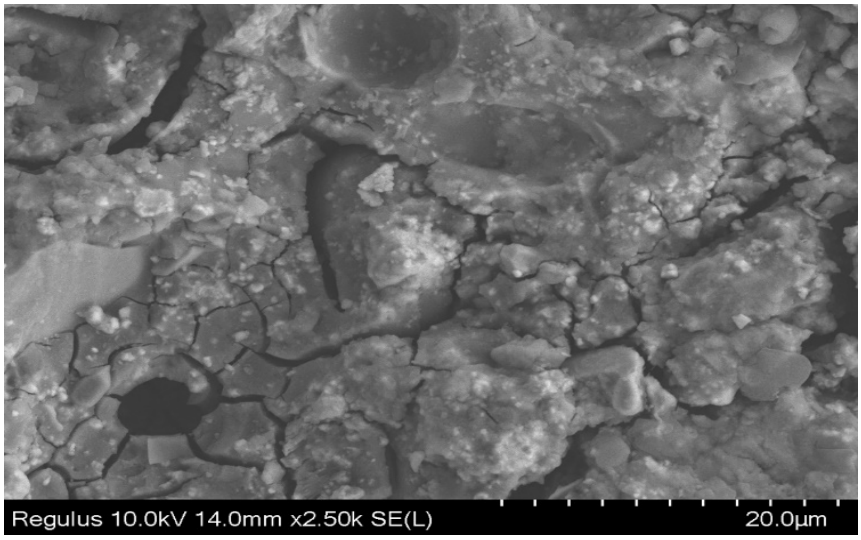
Şekil 7.64'de 100µm ölçekte, Şekil 7.65 'de 20µm ölçekte ve Şekil 7.66 'da 10µm ölçekte çekilmiş SEM görüntüleri görülmektedir. Örneklerin taneleri oval ve köşeli bir yapıya

sahip olduğu görülmektedir. Koyu renk ile görülen alanların amorf bölgeden kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Co atomu tane aralarına ve tane içlerine yerleştiği görülmektedir. EDX 1 sonucuna göre incelenen bölgede ağırlıkça % 2,63 B elementi görülmektedir. Farklı bir bölgede yapılan EDX 2 analizinde ise bor elemeneti tespit edilememiştir. Bunun nedeni ise 2. Bölgedeki bor konsantrasyonunun düşük olmasından dolayı olduğu düşünülmektedir. İki farklı bölgeden yapılan EDX analizine göre 1. Bölgede ağırlıkça %2,63 bor eleementi, % 43,86 O elementi, %10,80 Na elementi, %26,28 Al elementi, %16,44 Co elementi tespit edilmiştir. 2. Bölgede yapılan EDX analiz sonucuna göre ise, ağırlıkça %42,34 O elementi, %12,52 Na elementi, %29,11 Al elementi ve % 15,93 Co elementi tespit edilmiştir. İki bölge arasındaki fark incelendiğinde 2. Bölge üzerine yapılan EDX analiz sonucuna göre Na ve Al miktarında artış olduğu Co oranının azaldığı görülmüştür. Yapılan SEM-EDX analizine göre örneğin bileşiminde bulunan bileşenlerin analiz sonucu tespit edildiği görülmektedir.

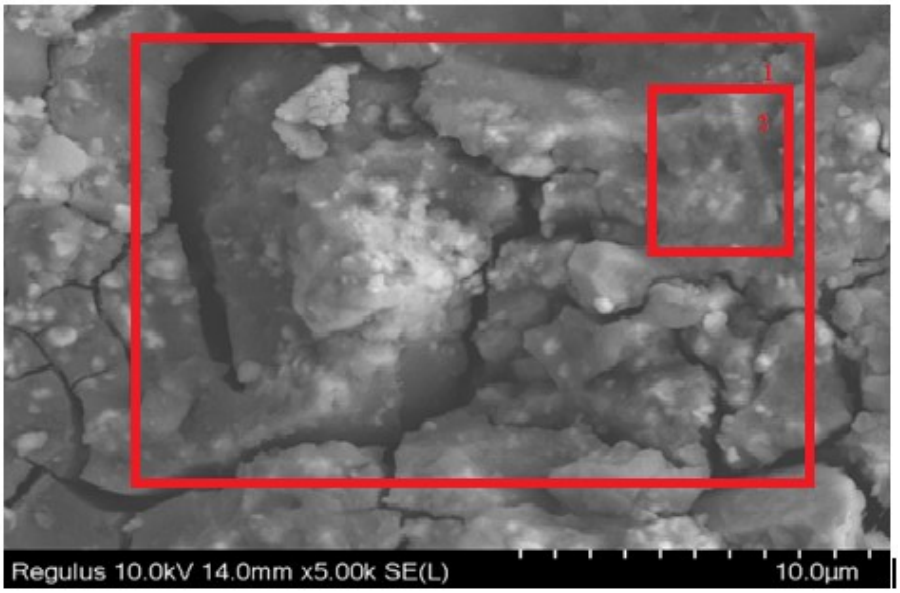
Ağırlıkça 3 gr NiO katkılı 650°C'de 60 dakika süre ile sinterlenen D7.28 kodlu örneğin SEM görüntüleri Şekil 7.71, Şekil 7.72 ve Şekil 7.73' de verilmiştir. SEM görüntüleri çekilmeden önce örneğin tabanı zımparalanmıştır. Sem görüntüleri örneğin parlak olmayan mat tabanı üzerinden500X, 2500X ve 5000X büyütme uygulanarak çekilmiştir. Daha sonra bölgesel olarak EDX analizi yapılmıştır. Şekil 7.74 ve Şekil 7.76'de SEM-BSE mikroyapı görüntüleri, Şekil 7.75, Şekil 7.77, Çizelge 7.20 ve Çizelge 7.21'de EDX analiz sonucu görülmektedir.



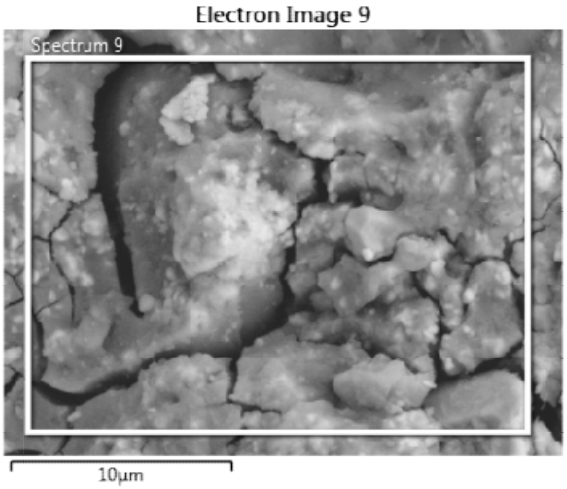
Şekil 7.71. D7.28 kodlu örneğin 500X büyütme görüntüsü (Küresel boşluklar ve çatlaklar görülmektedir).



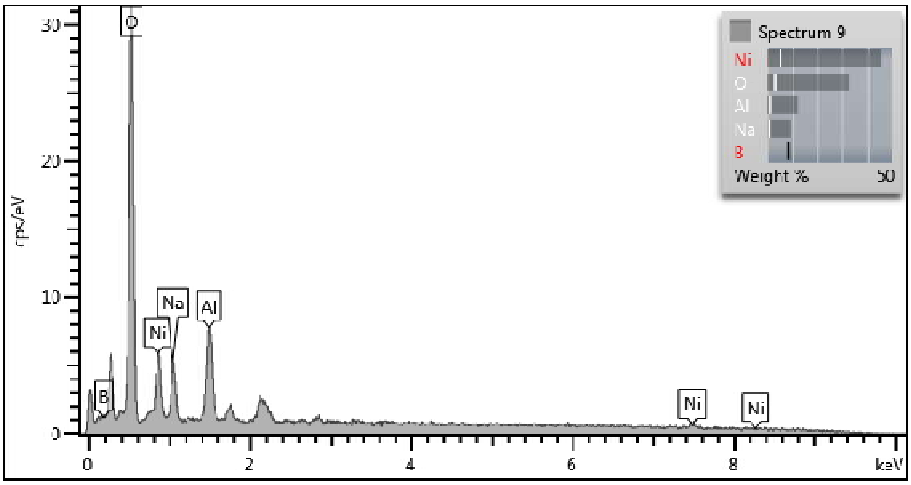
Şekil 7.72. D7.28 kodlu örneğin 2500X büyütme görüntüsü (Çatlaklar ve boşluklar görülmektedir).



Şekil 7.73. D7.28 kodlu örneğin 5000X büyütme görüntüsü (Çatlaklar görülmektedir).



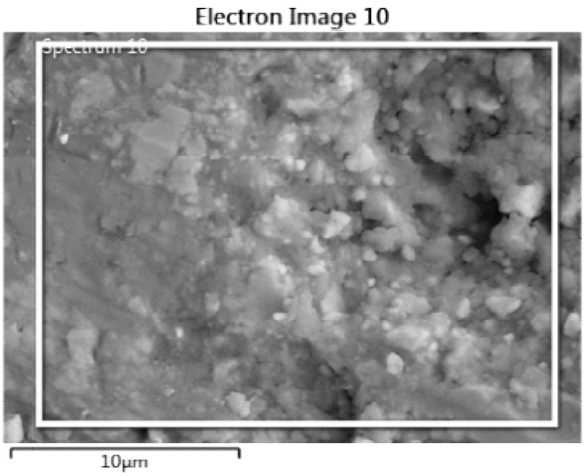
Şekil 7.74. Şekil 7.73'de görülen D7.28 kodlu örneğin SEM-BSE mikro yapı görüntüsü (1) (Açık renk ile görülen yerler atom numarası en büyük olan elementi temsil etmektedir).



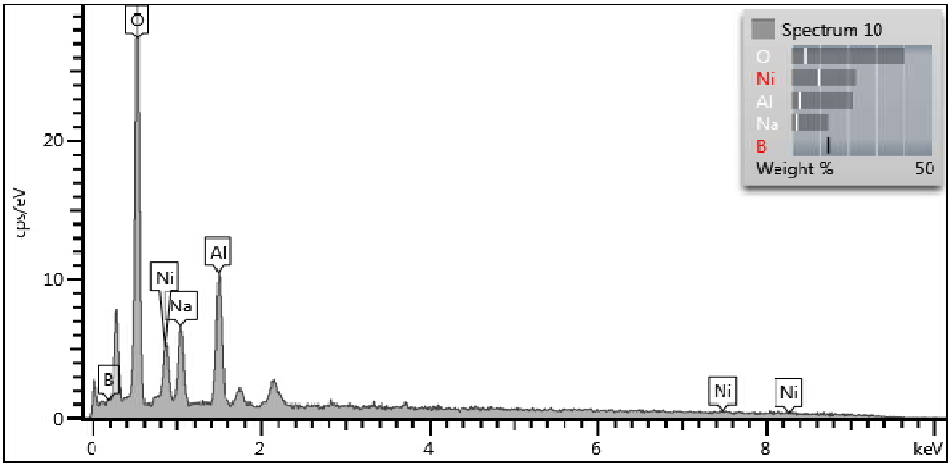
Şekil 7.75. Şekil 7.74'de görülen D7.28 kodlu örneğin EDX spekturumu (1).

Çizelge 7.20. Şekil 7.75'de görülen EDX spekturumunun ağırlıkça element içeriği (1).

Element	**Ağırlıkça %**
B	0
O	32,70
Na	9,35
Al	12,56
Ni	45,40
Toplam	100



Şekil 7.76. Şekil 7.73'de görülen D7.28 kodlu örneğin SEM-BSE mikro yapı görüntüsü (2) (Açık renk ile görülen yerler atom numarası en büyük olan elementi temsil etmektedir).



Şekil 7.77. Şekil 7.76'da görülen D7.28 kodlu örneğin EDX spekturumu (2).

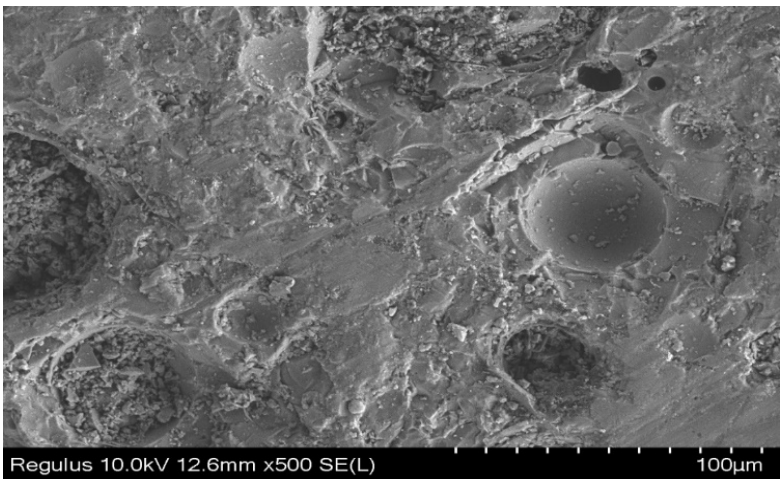
Çizelge 7.21. Şekil 7.77'de görülen EDX spekturumununağırlıkça element içeriği (2).

Element	**Ağırlıkça %**
B	0
O	40,81
Na	13,58
Al	22,34
Ni	23,27
Toplam	100

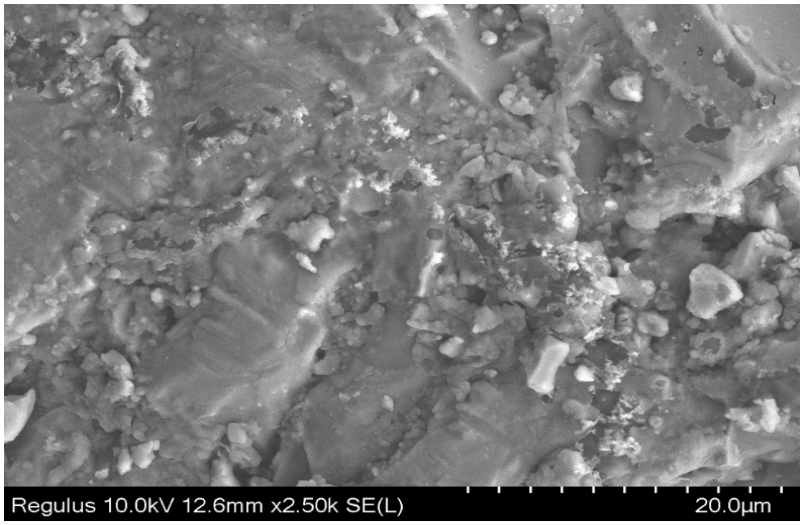
Şekil 7. 71'de 100µm ölçekte, Şekil 7.72'de 20µm ölçekte ve Şekil 7.73'de 10µm ölçekte çekilmiş SEM görüntüleri görülmektedir. Örneklerin taneleri oval bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. D7.28 kodlu örneklerin SEM görüntüleri incelendiğinde yapı içerisindeki

poroziteler ve çatlaklar dikkat çekmektedir. İki farklı bölgeden yapılan EDX analizine göre seçilen 1. Bölgede bor atomu görülmemektedir. Bunun nedeni bu bölgedeki bor konsantarasyonunun düşük ve EDX ile bor atomunun tespitinin zor olmasından kaynaklanmaktadır. 1. Bölgede ağırlıkça %32,70 O, %9,35 Na, %12,56 Al ve %45,40 Ni olduğu görülmektedir. 2. Bölgede yapılan EDX sonucuna göre ağırlıkça %40,81 O , %13,58 Na , %22,34 Al ve %23,27 Ni görülmektedir. 1. Bölgedeki görüntü incelendiğinde çatlakların daha fazla olduğu görülmektedir. Bu bu bölgede açık renk ile görülen Ni miktarının daha yüksek tespit edilmiştir. NiO malzeme içine dağılmış halde ve tek kristal olarak görülmektedir. Mineralojik analiz sonucu da NiO fazının açıkça görüldüğü tespit edilmiştir.2. Bölgede Na ve Al miktarının arttığı Ni oranının azaldığı görülmektedir. Yapılan SEM-EDX analizine göre örneğin bileşiminde bulunan bileşenlerin analiz sonucu tespit edildiği görülmektedir.

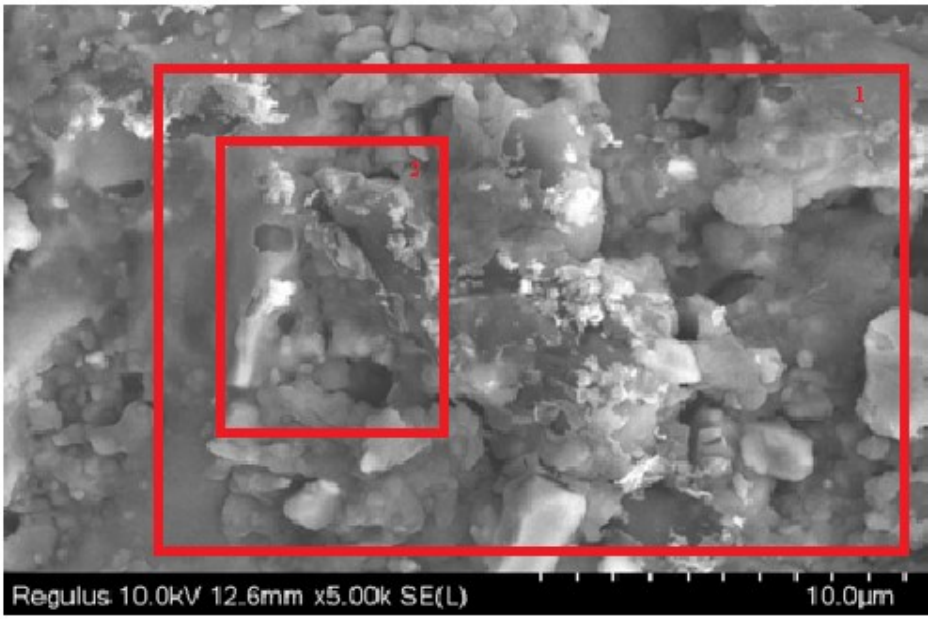
Ağırlıkça 0,025 gr Cr_2O_3katkılı 650°C'de 60 dakika süre ile sinterlenen D7.32 kodlu örneğin SEM görüntüleri Şekil 7.78, Şekil 7.79 ve Şekil 7.80 'de verilmiştir. SEM görüntüleri çekilmeden önce örneğin tabanı zımparalanmıştır. Sem görüntüleri örneğin parlak olmayan mat tabanı üzerinden500X, 2500X ve 5000X büyütme uygulanarak çekilmiştir. Daha sonra bölgesel olarak EDX analizi yapılmıştır. Şekil 7.81 ve Şekil 7.83'de SEM-BSE mikroyapı görüntüsü ve Şekil 7.83, Şekil 7.83, Çizelge 7.22 ve Çizelge 7.23' de EDX analiz sonuçları verilmektedir.



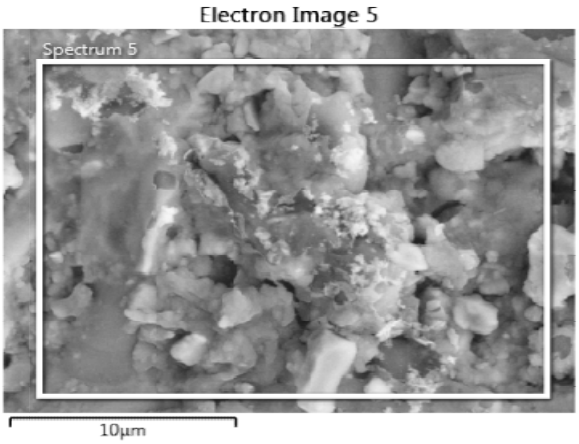
Şekil 7.78. D7.32 kodlu örneğin 500X büyütme görüntüsü (Küresel boşluklar görülmektedir).



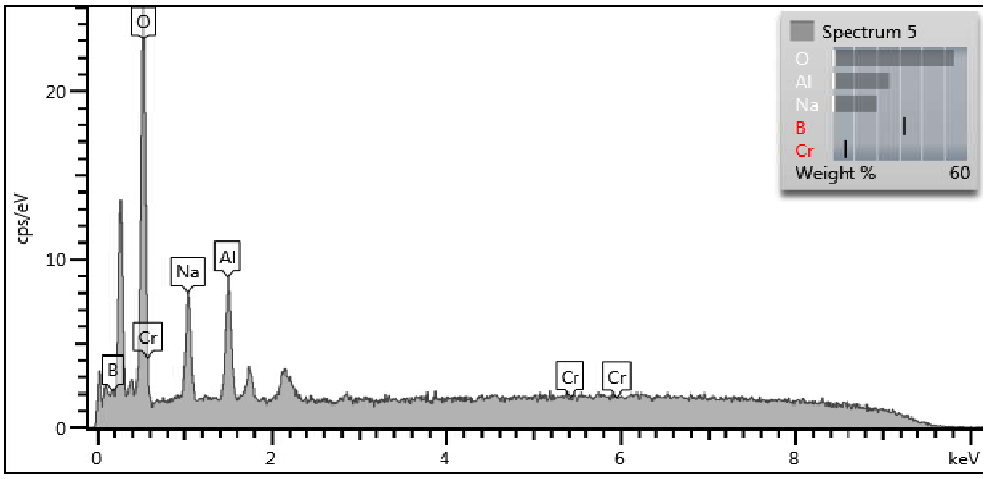
Şekil 7.79. D7.32 kodlu örneğin 2500X büyütme görüntüsü (Amorf yapı görülmektedir ve taneler köşeli yapıdadır).



Şekil 7.80. D7.32 kodlu örneğin 5000X büyütme görüntüsü(Taneler köşeli yapıdadır ve boşluklar mevcuttur).



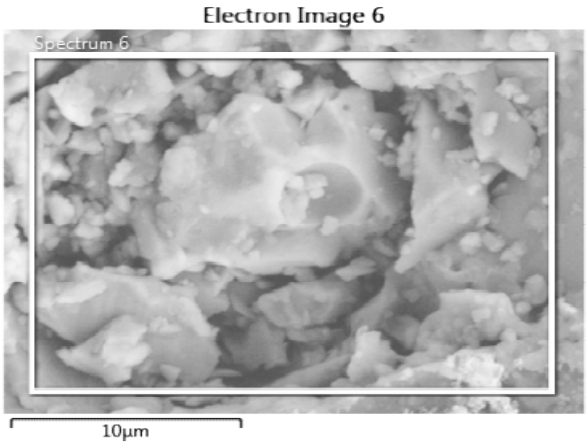
Şekil 7.81. Şekil 7.80'de görülen D7.32 kodlu örneğin bölge SEM-BSE mikro yapı görüntüsü (1) (Açık renk ile görülen yerler atom numarası en büyük olan elementi temsil etmektedir).



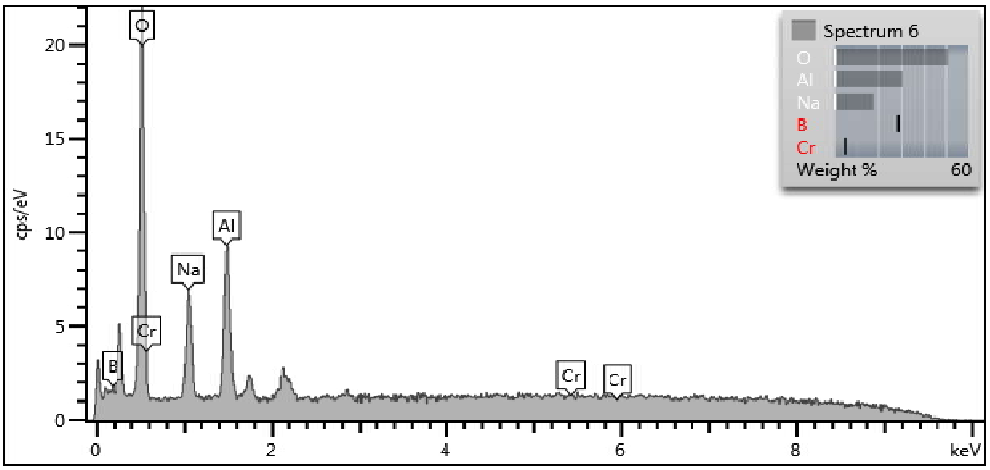
Şekil 7.82. Şekil 7.81'de görülen örneğinEDX 1 spekturumu (1).

Çizelge 7.22. Şekil 7.82'de görülen EDX spekturumununağırlıkça element içeriği (1)

Element	**Ağırlıkça %**
B	0
O	54,23
Na	20,09
Al	25,68
Cr	0
Toplam	100



Şekil 7.83. Şekil 7.80'de görülen D7.32 kodlu örneğin bölge SEM-BSE mikro yapı görüntüsü (2) (Açık renk ile görülen yerler atom numarası en büyük olan elementi temsil etmektedir).



Şekil 7.84. Şekil 7.83'de görülen D7.32 kodlu örneğin EDX spekturumu (2).

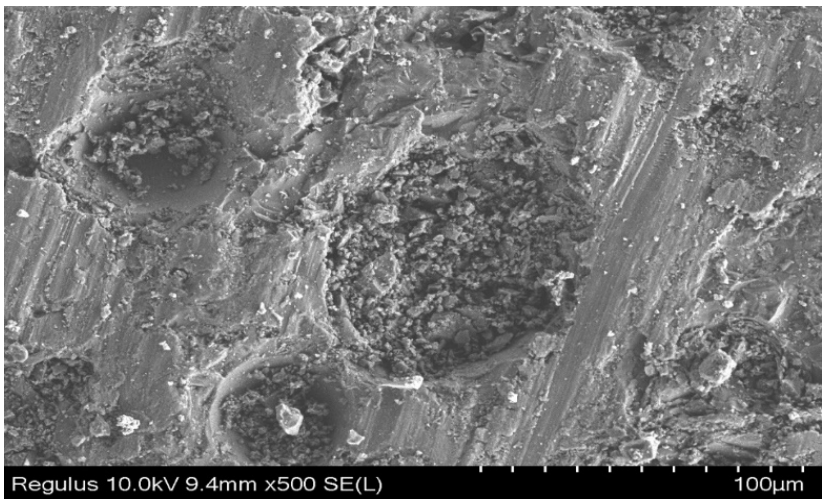
Çizelge 7.23. Şekil 7.84'de görülen EDX spekturumunun ağırlıkça element içeriği (2).

Element	**Ağırlıkça %**
B	0
O	51,10
Na	18,12
Al	30,77
Cr	0
Toplam	100

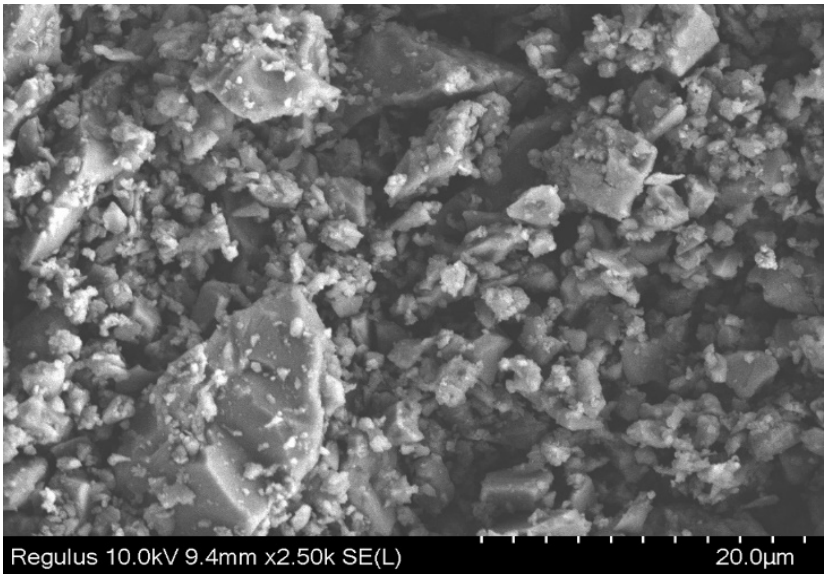
Şekil 7.78'de 100µm ölçekte, Şekil 7.79 'da 20µm ölçekte ve Şekil 7.80 'de 10µm ölçekte çekilmiş SEM görüntüleri görülmektedir. Örneklerin taneleri oval bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. D7.32 kodlu örneklerin SEM görüntüleri incelendiğinde yapı içerisindeki

poroziteler dikkat çekmektedir. 10µm ölçekte çekilen SEM görüntüsünde oyuk görülen alanın içerisindeki poroziteden olduğu düşünülmektedir. EDX 1 spekturumunda görüldüğü gibi bor konsantrasyonunun az olması ve bor atomunun tespit edilmesinin zor olmasından dolayı EDX analizinde bor atomuna rastlanılmamıştır. Doplanan krom oksit miktarının az olmasından dolayı EDX analizinde tespit edilememiştir. 1. Bölgeden yapılan EDX analizine göre 54,23 O atomu, %20,09 Na atomu, %25,68 Al atomu görülmektedir. 2. Bölgede yapılan EDX analizine göre ağırlıkça %51,10 O atomu, %18,12 Na atomu ve % 30,77 Al atomu tespit edilmiştir. İki bölge arasındaki fark incelendiğinde Na atom miktarının azaldığı, Al atom miktarının ise arttığı görülmektedir. Yapılan SEM-EDX analizine göre örneğin bileşiminde bulunan bileşenlerin analiz sonucu tespit edildiği görülmektedir.

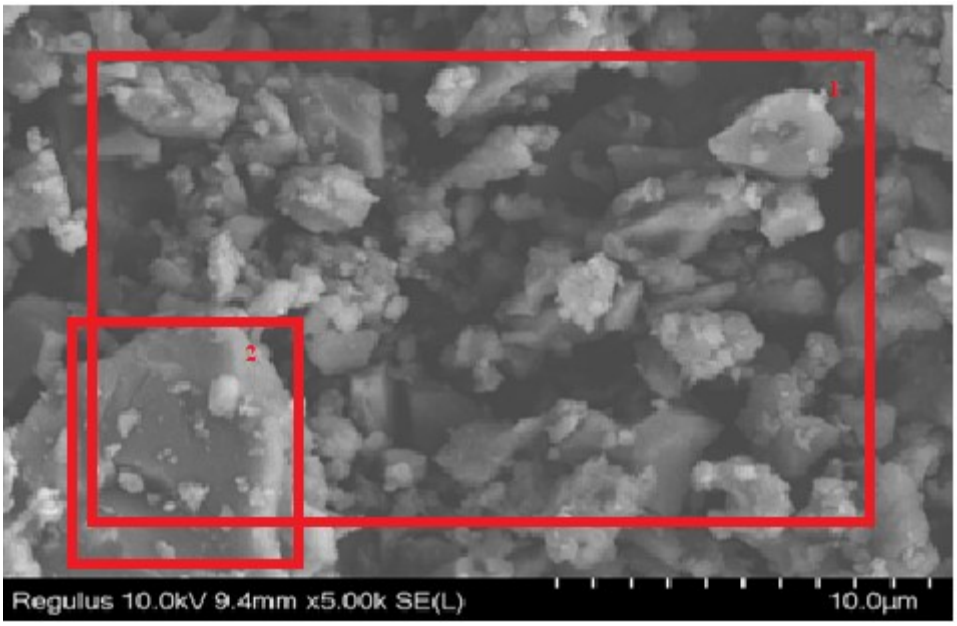
Ağırlıkça 1 gr Cr_2O_3 katkılı 650℃'de 60 dakika süre ile sinterlenen D7.34 kodlu örneğin SEM görüntüleri Şekil 7.85, Şekil 7.86 ve Şekil 7.87' deverilmiştir. SEM görüntüleri çekilmeden önce örneğin tabanı zımparalanmıştır. Sem görüntüleri örneğin parlak olmayan mat tabanından, 500X, 2500X ve 5000X büyütme uygulanarak çekilmiştir. Daha sonra bölgesel olarak EDX analizi yapılmıştır. Şekil 7.88 ve Şekil 7.90'da SEM-BSE mikroyapı görüntüsü ve Şekil 7.89, Şekil 7.91, Çizelge 7.24 ve Çizelge 7.25'de EDX analiz sonucu görülmektedir.



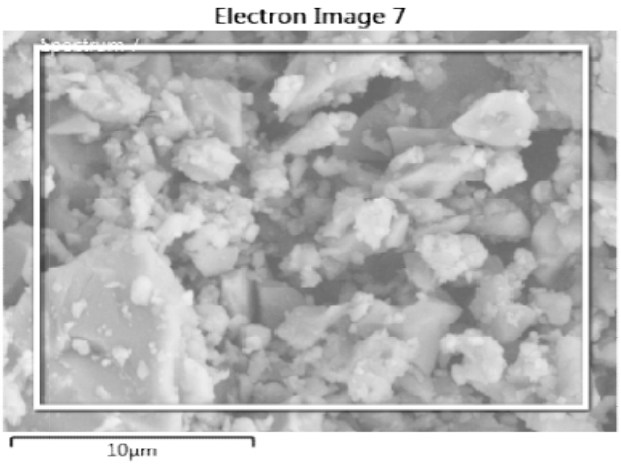
Şekil 7.85. D7.34 kodlu örneğin 500X büyütme görüntüsü (Camsı yapı ve gözenekler görülmektedir).



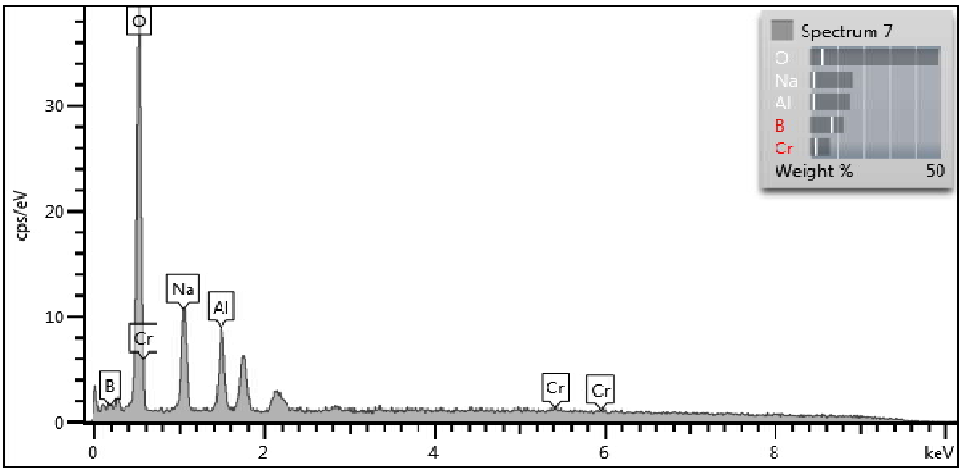
Şekil 7.86. D7.34 kodlu örneğin 2500X büyütme görüntüsü (Taneler köşeli yapıdadır).



Şekil 7.87. D7.34 kodlu örneğin 5000X büyütme görüntüsü (Siyah görülen yapıların amorf yapıdan kaynaklandığı düşünülmektdir).



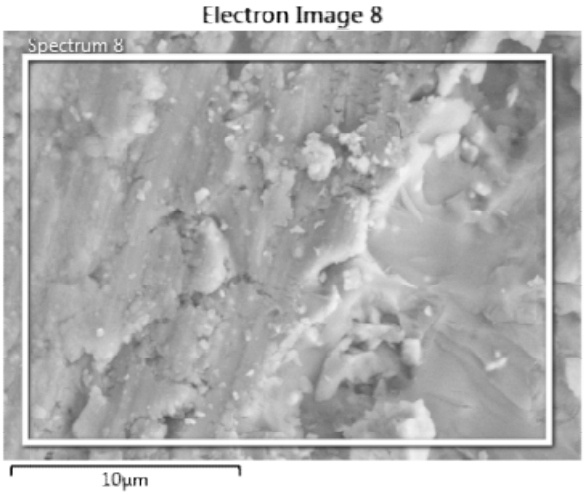
Şekil 7.88. Şekil 7.87'de görülen D7.34 kodlu örneğin SEM-BSE mikro yapı görüntüsü (1) (Açık renk ile görülen yerler atom numarası en büyük olan elementi temsil etmektedir).



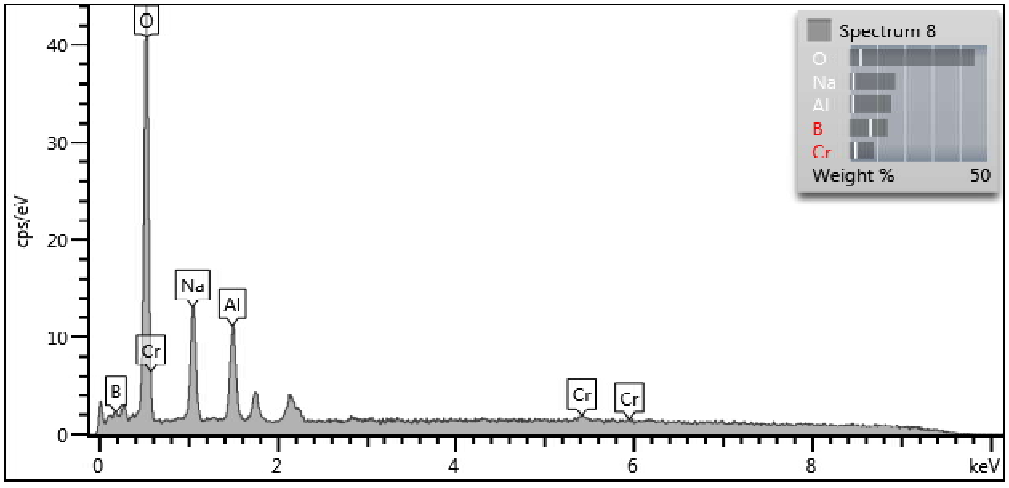
Şekil 7.89. Şekil 7.88'de görülen D7.34 kodlu örneğin EDX spekturumu (1).

Çizelge 7.24. Şekil 7.89'da görülen EDX spekturumunun ağırlıkça element içeriği (1).

Element	**Ağırlıkça %**
B	12,82
O	48,39
Na	16,26
Al	15,16
Cr	7,38
Toplam	100



Şekil 7.90. Şekil 7.87'de görülen D7.34 kodlu örneğin SEM-BSE mikro yapı görüntüsü (2) (Açık renk ile görülen yerler atom numarası en büyük olan elementi temsil etmektedir).



Şekil 7.91. Şekil 7.90'da görülen D7.34 kodlu örneğin EDX spekturumu (2).

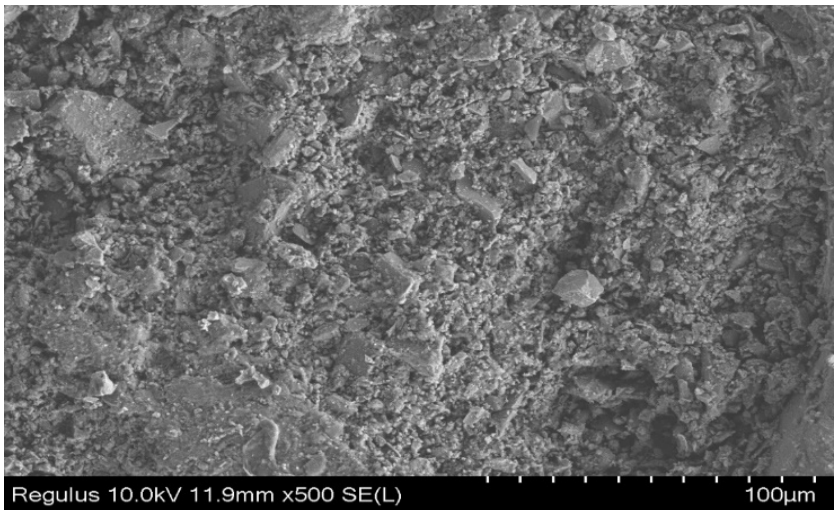
Çizelge 7.25. Şekil 7.91'de görülen EDX spekturumunun ağırlıkça element içeriği (2).

Element	**Ağırlıkça %**
B	13,93
O	45,25
Na	16,70
Al	15,24
Cr	8,87
Toplam	100

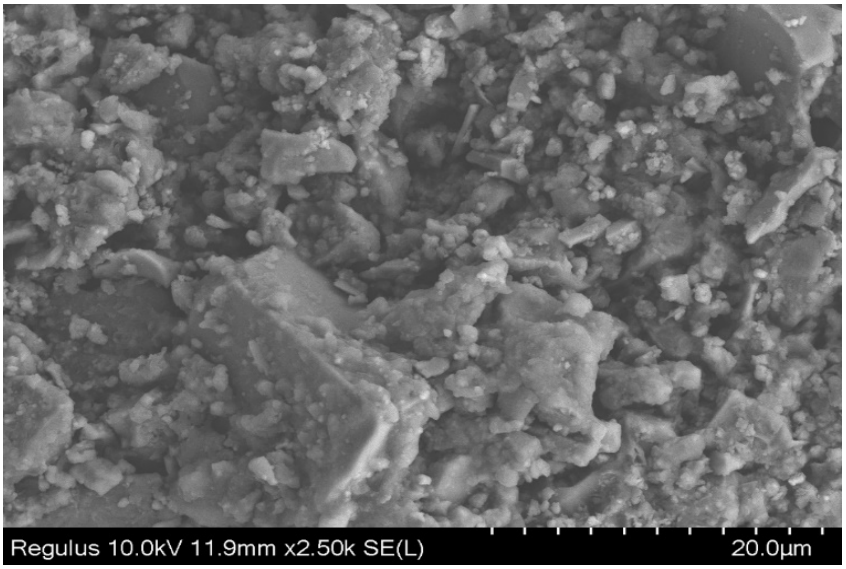
Şekil 7.85'de 100µm ölçekte, Şekil 7.86 'da 20µm ölçekte ve Şekil 7.87 'de 10µm ölçekte çekilmiş SEM görüntüleri görülmektedir. Örneklerin taneleri köşeli bir yapıya sahip

olduğu görülmektedir. D7.34 kodlu örneklerin SEM görüntüleri incelendiğinde yapı içerisindeki poroziteler dikkat çekmektedir. Bu porların içine kristallerin yerleşmiş olduğu görülmektedir. SEM görüntüsüne göre bazı bölgelerde camsı faz oluşumunun gerçekleştiği görülmektedir. Krom oksit yapı içerisine bağlı olarak görülmektedir. 2 farklı bölgede EDX analizi gerçekleştirilmiştir. 1. Bölgede EDX analizine göre % 12,82 B atomu, %48,39 O atomu, %16,26 Na atomu, %15,16 Al atomu ve %7,38 Cr atomu varlığı görülmektedir. 2. Bölgede yapılan EDX analizine göre %13,3 B atomu, %42,25 O atomu, %16,70 Na atomu, %15,24 Al elementi ve % 8,87 Cr elementinin varlığı görülmektedir. İki bölge arasında 2. Bölgede 1. Bölgeye göre Bor oranının ve krom oranının arttığı görülmektedir. 2. Bölgede yapılan EDX analizine göre seçilen bölgede Cr elementinin yapı içerisinde yerleştiği düşünülmektedir. Yapılan SEM-EDX analizine göre örneğin bileşiminde bulunan bileşenlerin analiz sonucu tespit edildiği görülmektedir.

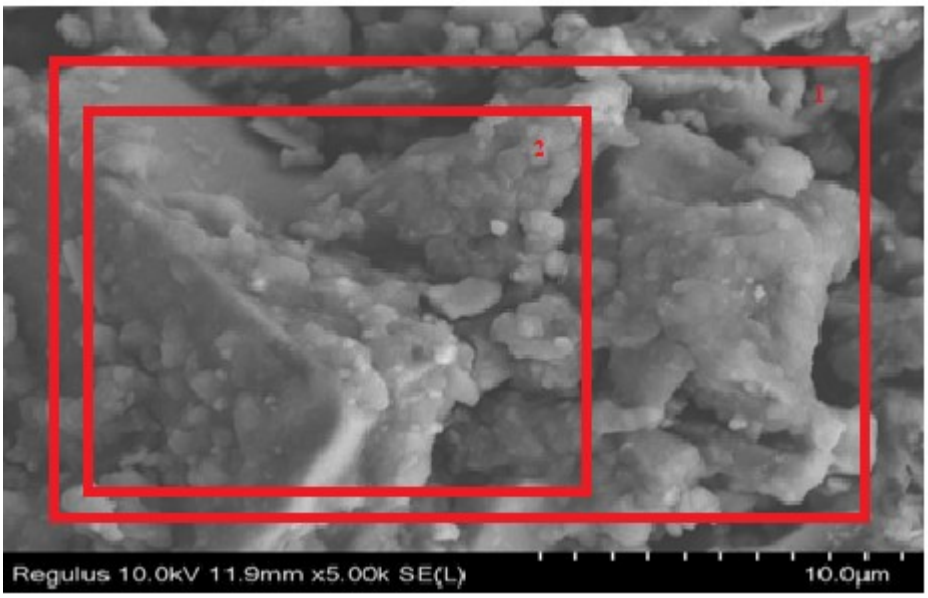
Ağırlıkça 1 gr Fe_2O_3katkılı 650°C'de 60 dakika süre ile sinterlenen D7.43 kodlu örneğin SEM görüntüleri Şekil 7.92, Şekil 7.93 ve Şekil 7.94 'de verilmiştir. SEM görüntüleri çekilmeden önce örneğin tabanı zımparalanmıştır. Sem görüntüleri örneğin parlak olmayan mat tabanı üzerinden, 500X, 2500X ve 5000X büyütme uygulanarak çekilmiştir. Daha sonra bölgesel olarak EDX analizi yapılmıştır. Şekil 7.95 ve Şekil 7.97'de SEM-BSE görüntüleri ve Şekil 7.96, Şekil 7.98, Çizelge 7. 26 ve Çizelge 7.27'de EDX analiz sonuçları gösterilmektedir.



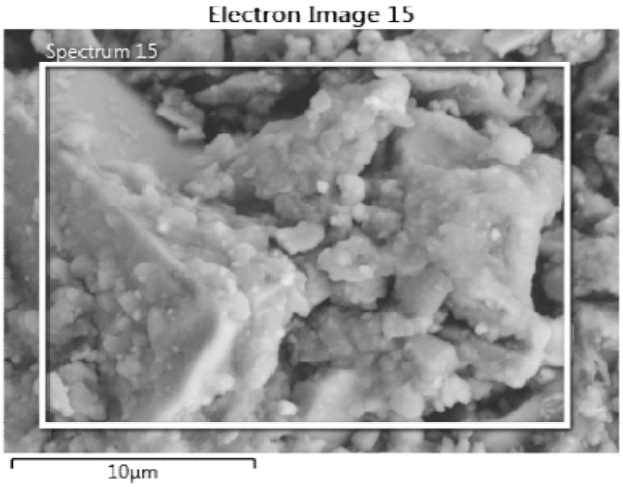
Şekil 7.92. D7.43 kodlu örneğin 500X büyütme görüntüsü (Taneler köşeli yapıdadır ve amorf yapı mevcuttur).



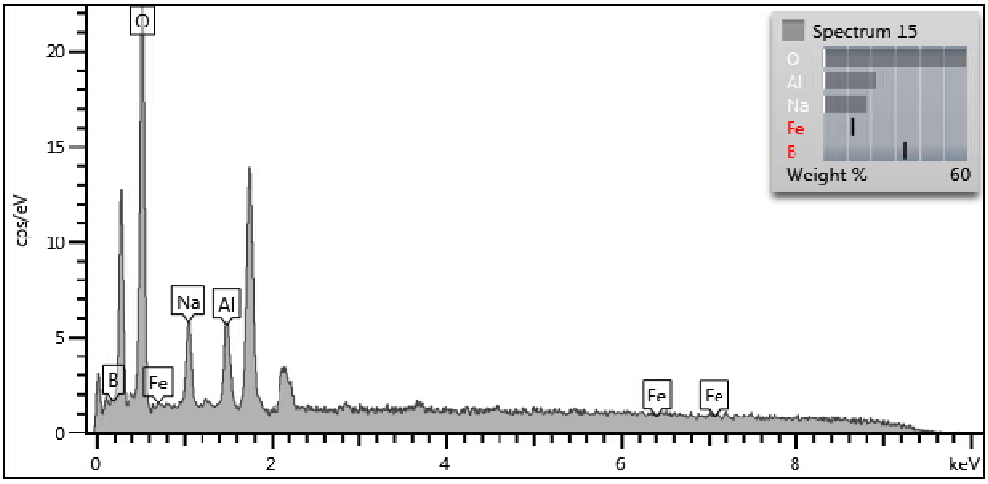
Şekil 7.93. D7.43 kodlu örneğin 2500X büyütme görüntüsü (Siyah renkli görülen kısımların amorf yapıdan kaynaklandığı düşünülmektedir).



Şekil 7.94. D7.43 kodlu örneğin 5000X büyütme görüntüsü (Açık renk görülen taneciklerin demir elementi olduğu ve çözünmeden yapı içerisinde bulunduğu düşünülmektedir).



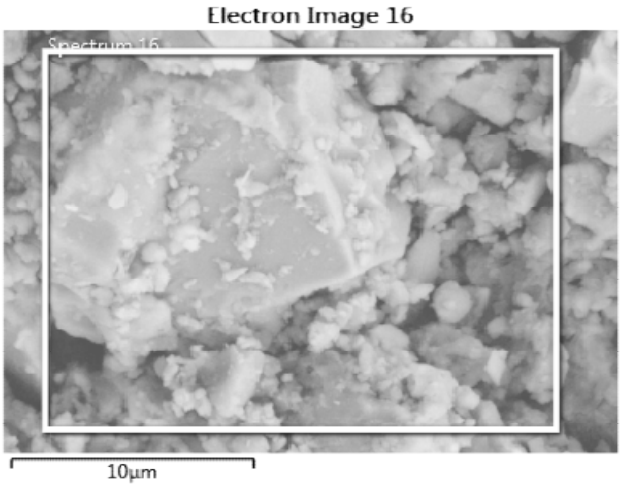
Şekil 7.95. Şekil 7.94'de görülen D7.43 kodlu örneğin SEM-BSE mikro yapı görüntüsü (1) (Açık renk ile görülen yerler atom numarası en büyük olan elementi temsil etmektedir).



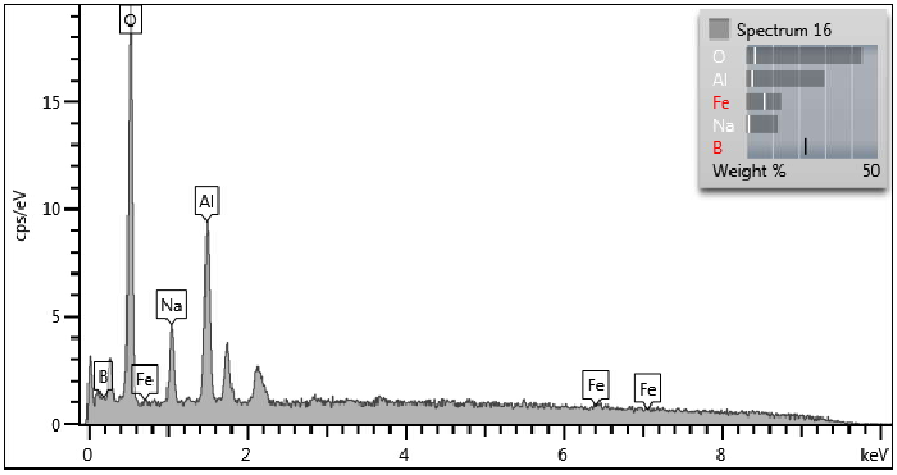
Şekil 7.96.Şekil 7.95'de görülenD7.43 kodlu örneğin EDX spekturumu (1).

Çizelge 7.26. Şekil 7.96'da görülen EDX spekturumunun ağırlıkça element içeriği (1).

Element	**Ağırlıkça %**
B	0
O	59,49
Na	18,09
Al	22,42
Fe	0
Toplam	100



Şekil 7.97. Şekil 7.94'de görülen D7.43 kodlu örneğin SEM-BSE mikro yapı görüntüsü (2) (Açık renk ile görülen yerler atom numarası en büyük olan elementi temsil etmektedir).



Şekil 7.98. Şekil 7.97'de görülenD7.43 kodlu örneğin EDX spekturumu (2).

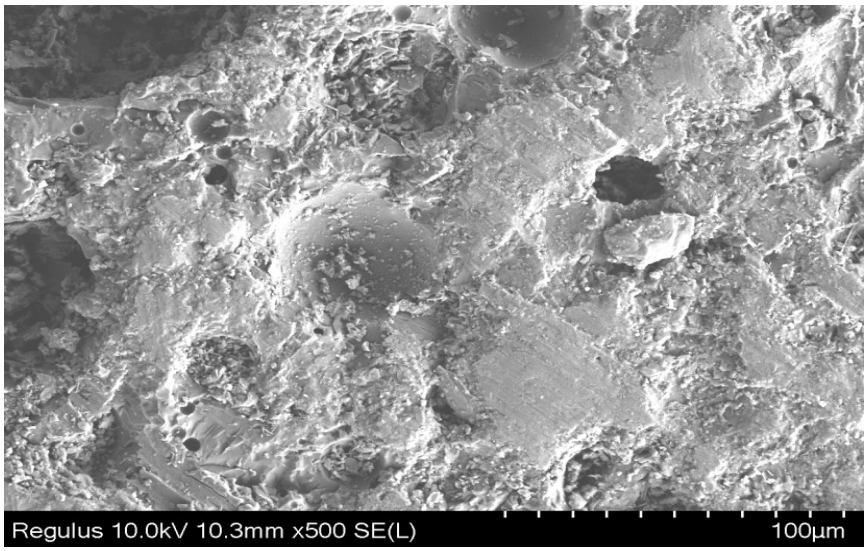
Çizelge 7.27. Şekil 7.98'de görülen EDX spekturumunun ağırlıkça element içeriği (2).

Element	**Ağırlıkça %**
B	0
O	44,17
Na	12,30
Al	29,79
Fe	13,75
Toplam	100

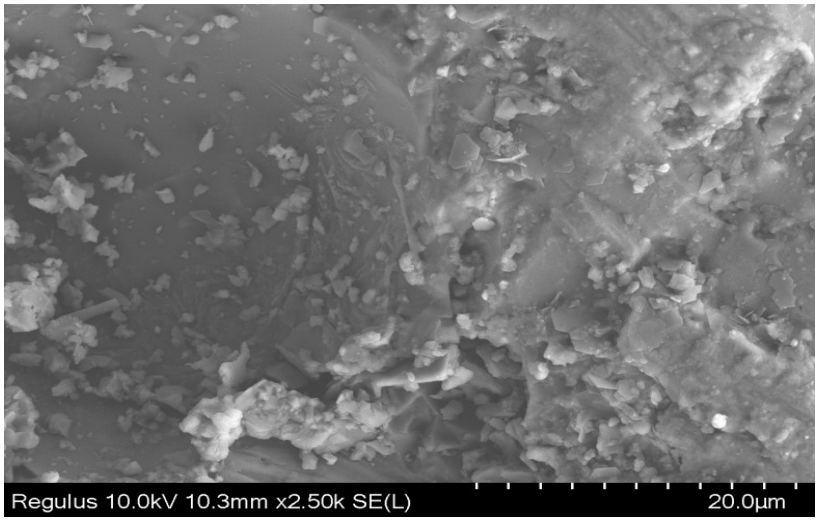
Şekil 7.92'de 100µm ölçekte, Şekil 7.93'de 20µm ölçekte ve Şekil 7.94 'de 10µm ölçekte çekilmiş SEM görüntüleri görülmektedir. Örneklerin taneleri köşeli bir yapıya sahip

olduğu görülmektedir. D7.43 kodlu örneklerin SEM görüntüleri incelendiğinde siyah alanların amorf fazdan kaynaklandığı düşünülmektedir. 2. Bölge EDX sonucuna göre Fe2O3'ün yapı içerisinde çözülmeden kaldığı ve bundan dolayı renk oluşumuna sebep olduğu söylenebilir. İki bölge arasında yapılan EDX analizine göre 1. Bölgede ağırlıkça %18,09 Na, %22.42 Al olduğu görülmektedir. Bu bölgede Fe konsantrasyonun azlığından dolayı demir tespit edilememiştir. 2. Bölgede yapılan EDX analizine göre Na miktarında azalma meydana geldiği Al ve Fe oranlarında artış olduğu görülmektedir. Yapılan SEM-EDX analizine göre örneğin bileşiminde bulunan bileşenlerin analiz sonucu tespit edildiği görülmektedir.

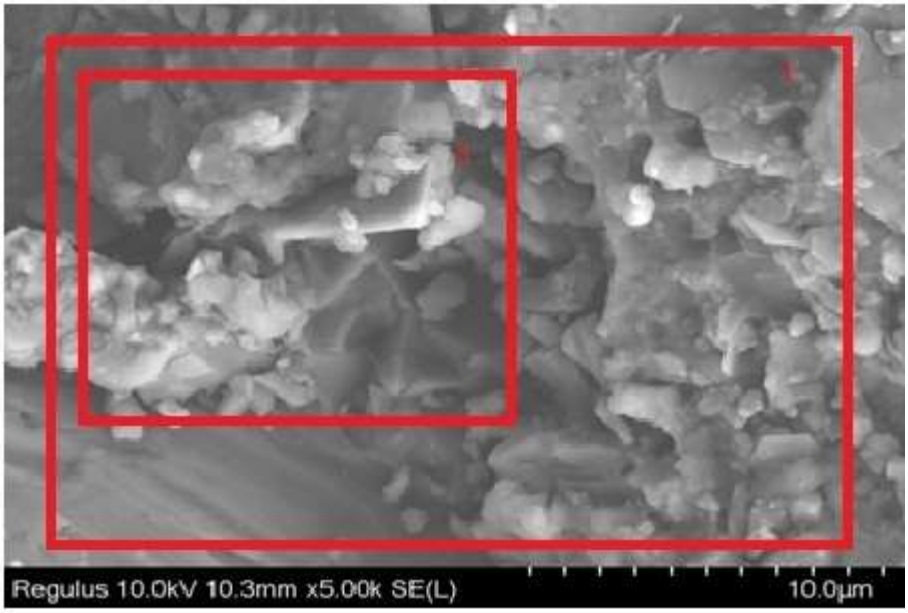
Ağırlıkça 1 gr CuO katkılı 650°C'de 30 dakika süre ile sinterlenen D7.55 kodlu örneğin SEM görüntüleri Şekil 7.99, Şekil 7.100 ve Şekil 7.101'deverilmiştir. SEM görüntüleri çekilmeden önce örneğin tabanı zımparalanmıştır. Sem görüntüleri örneğin parlak olmayan mat tabanından 500X, 2500X ve 5000X büyütme uygulanarak çekilmiştir. Daha sonra bölgesel olarak EDX analizi yapılmıştır. Şekil 7.102 ve Şekil 7.104'de SEM-BSE mikroyapı görüntüsü ve Şekil 7.103, Şekil 7.105, Çizelge 7.28 ve Çizelge 7.29'da EDX analiz sonucu yer almaktadır.



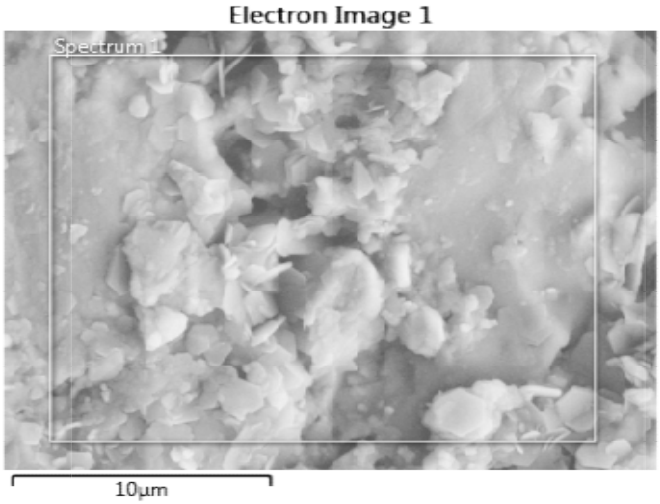
Şekil 7.99. D7.55 kodlu örneğin 500X büyütme görüntüsü (Yapıda küresel boşluklar görülmektedir).



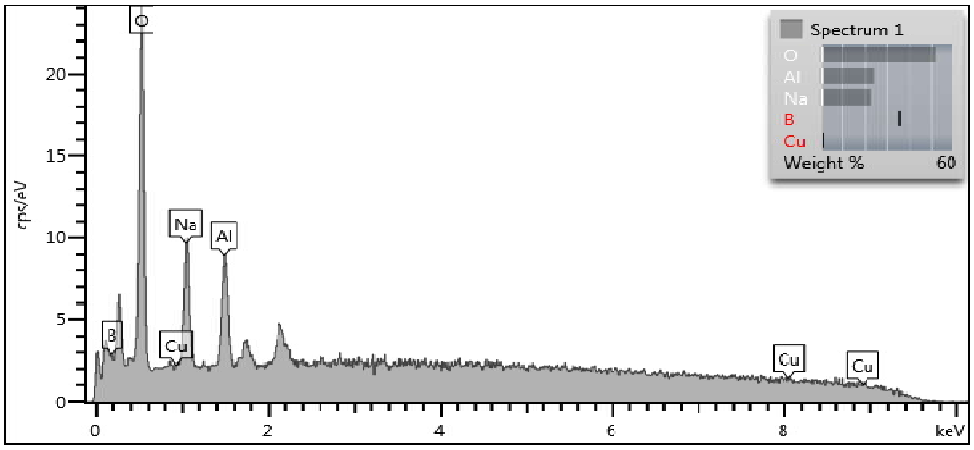
Şekil 7.100. D7.55 kodlu örneğin 2500X büyütme görüntüsü (Amorf yapı üzerinde küçük tanecikler görülmektedir).



Şekil 7.101. D7.55 kodlu örneğin 5000X büyütme görüntüsü (Amorf yapı mevcuttur oluşan taneler köşeli yapıdadır).



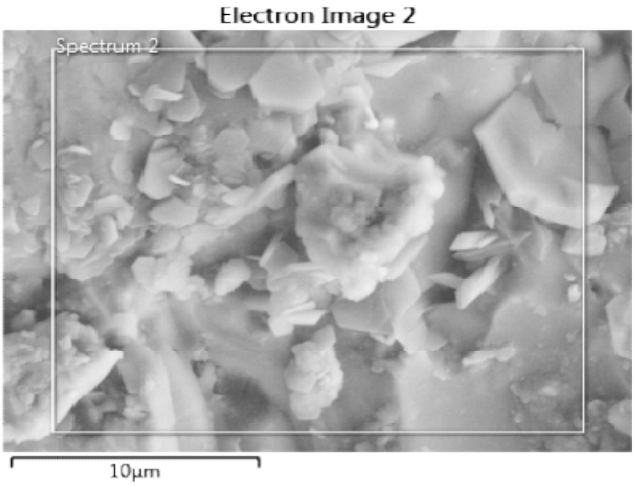
Şekil 7.102. Şekil 7.101'de görülen D7.55 kodlu örneğin SEM-BSE mikro yapı görüntüsü (1) (Açık renk ile görülen yerler atom numarası en büyük olan elementi temsil etmektedir).



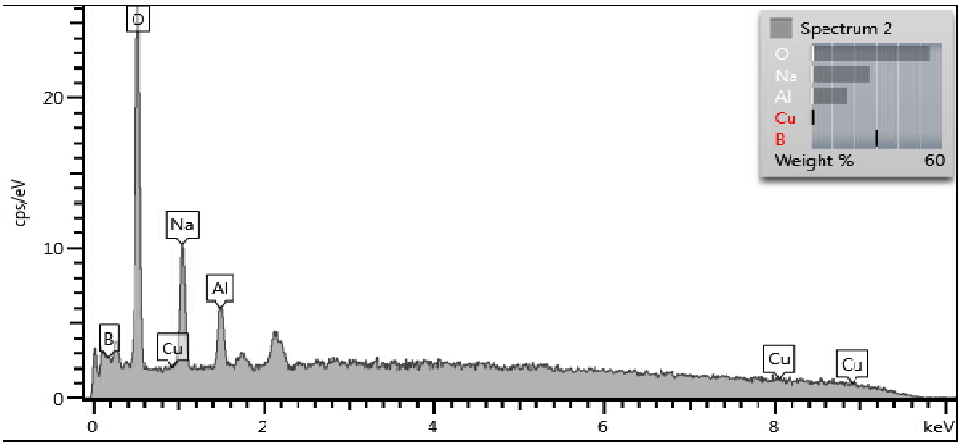
Şekil 7.103. Şekil 7.102'de görülen D7.55 kodlu örneğin EDX spekturumu (1).

Çizelge 7.28. Şekil 7.103'de görülen EDX spekturumunun ağırlıkça element içeriği (1).

Element	**Ağırlıkça %**
B	0
O	52,06
Na	23,19
Al	24,74
Ni	0
Toplam	100



Şekil 7.104. Şekil 7.101'de görülen D7.55 kodlu örneğin SEM-BSE mikro yapı görüntüsü (2) (Açık renk ile görülen yerler atom numarası en büyük olan elementi temsil etmektedir).



Şekil 7.105. Şekil 7.104'de görülen D7.55 kodlu örneğin EDX spekturumu (2).

Çizelge 7.29. Şekil 7.105'de görülen EDX spekturumunun ağırlıkça element içeriği (2).

Element	**Ağırlıkça %**
B	0
O	54,65
Na	27,23
Al	16,84
Cu	1,28
Toplam	100

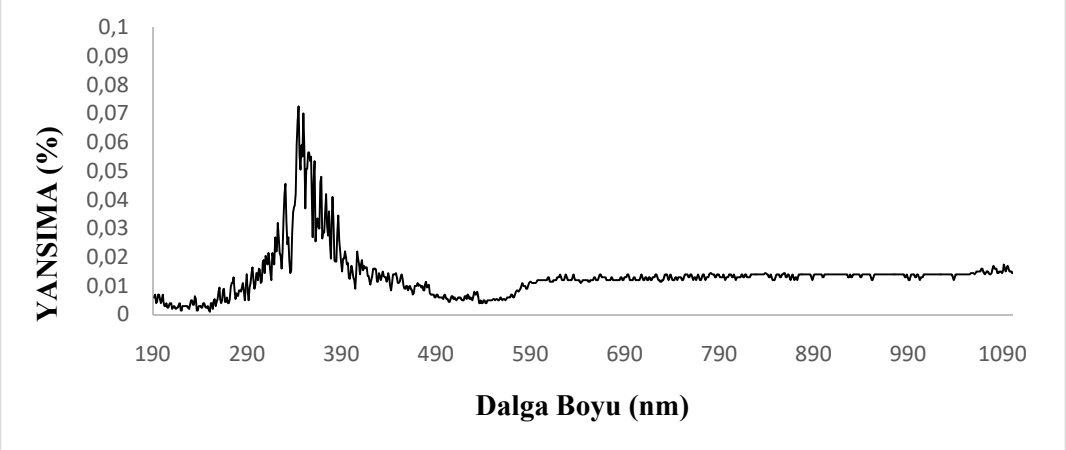
Şekil 7.99'da görüldüğü gibi (500X büyütmede) yapıda görülen oyukların poroziteden kaynaklandığı görülmektedir. Şekil 7.101'de görüldüğü gibi 5000 büyütmede alınan SEM görüntüsünde camsı yapı oluşumu olduğu görülmektedir. İki farklı alandan yapılan EDX

analizi sonucunda bakır oksitin yapı içerisinde homojen olarak dağılmadığı görülmektedir. 1. Bölgede yapılan EDX analizi sonucunda yapıda ağırlıkça %52,06 oksijen elementi, %23,19 sodyum elementi ve %24,74 alüminyum olduğu görülmektedir. Yapıda bulunması gereken bor elementi atom numarası küçük olmasından dolayı tespit edilememiştir. Ayrıca bakır oksit bu bölgeden tespit edilememiştir. Bunun sebebi bakır oksitin yapıya homojen olarak dağılmaması ya da çok az miktarda bulunmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. 2. Bölgeden yapılan EDX analizi sonucunda ağırlıkça % 54,65 oksijen, %27,23 sodyum, %16,84 alüminyum ve %1,28 bakır tespit edilmiştir. Kristaller köşeli ve oval yapıda olduğu görülmektedir. Yapı içerisinde çatlak olmadığı görülmektedir. Yapılan SEM-EDX analizine göre örneklerin bileşiminde bulunan bileşenlerin analiz sonucu tespit edildiği görülmektedir.

7.8. UV-VİS Analizi Sonuçları

İmitasyon süs taşı örneği olarak elde edilen doplanmamış ve kramofor elementler ile doplanmış örneklerin dalga boyuna göre yansıma, soğurma ve geçirgenlik değerleri ölçüm cihazında 190-1100 nm aralığında alınmıştır. Bu yansıma ve geçirgenlik değerleri Şekil 7.106, Şekil 7.107, Şekil 7.108, Şekil 7.109, Şekil 7.110, Şekil 7.111, Şekil 7.112, Şekil 7.113, Şekil 7.114, Şekil 7.115, Şekil 7.116, Şekil 7.117, Şekil 7.118, Şekil 7.119, Şekil 7.120, Şekil 7.121 ‘de gösterilmektedir.

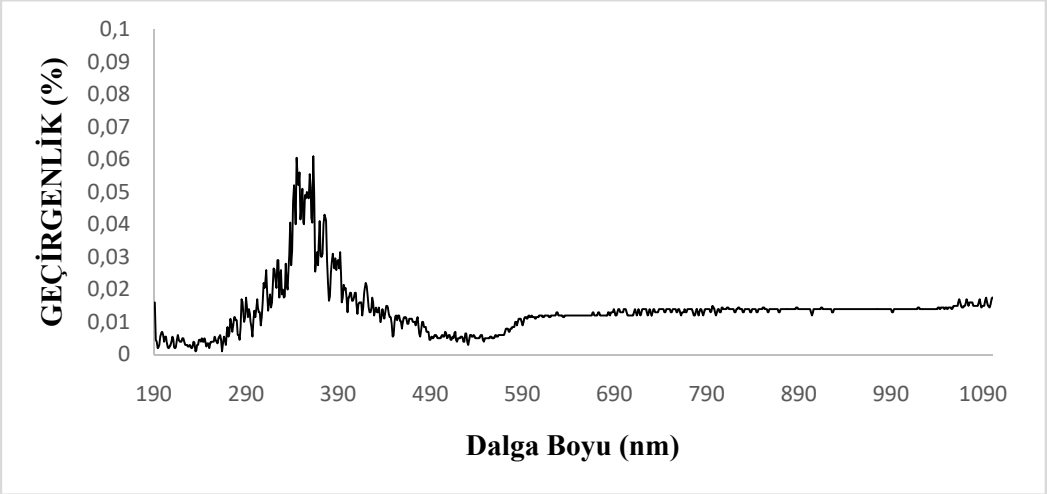
Şekil 7. 106 ve Şekil 7.107’de 650 °C’de 60 dakika sürede sinterlenen D7 kodlu referans örneğin yansıma ve geçirgenlik değerleri yer almaktadır.



Şekil 7.106. D7 kodlu örneğin dalga boyu yansıma grafiği (En yüksek yansıma değeri UV dalga boyu aralığında görülmektedir).

Şekil 7.106’da görüldüğü gibi D7 kodlu örneğin yansıma grafiğinde en yüksek yansıma değerinin 345nm dalga boyunda 0,07 olduğu görülmektedir. Dalga boyu arttıkça yansıma

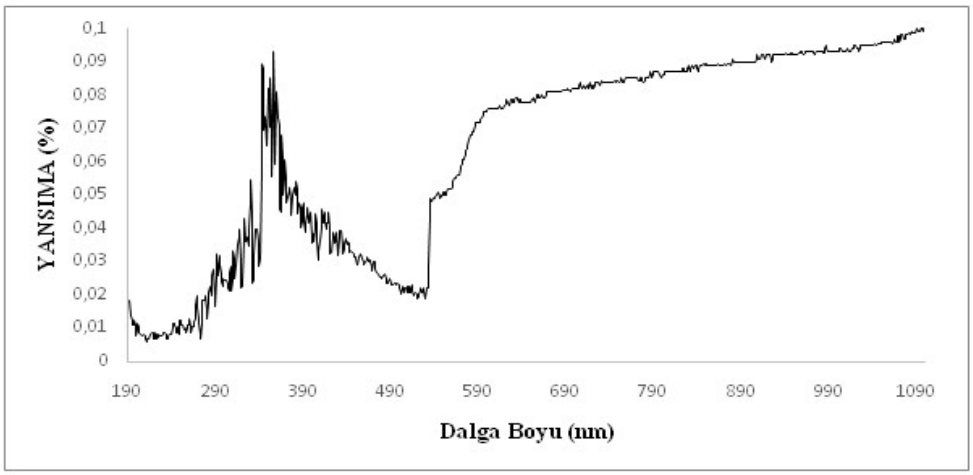
değerinin azaldığı görülmektedir. 345 ile 600 nm arasında dalga boyu arttıkça yansıma miktarının azaldığı görülmektedir. 590 ile 1100nm dalga boyunda yansıma oranının neredeyse sabit olduğu söylenebilir. 490 ile 590 nm dalga boyunda az miktarda bir soğurma neticesinde bir çukur oluştuğu görülmektedir. Şekil 7.107'de katkısız D7 kodlu örneğin geçirgenlik grafiği görülmektedir.



Şekil 7.107.D7 Kodlu örneğin dalga boyu geçirgenlik grafiği (En yüksek geçirgenlik değeri UV dalga boyu aralığında görülmektedir).

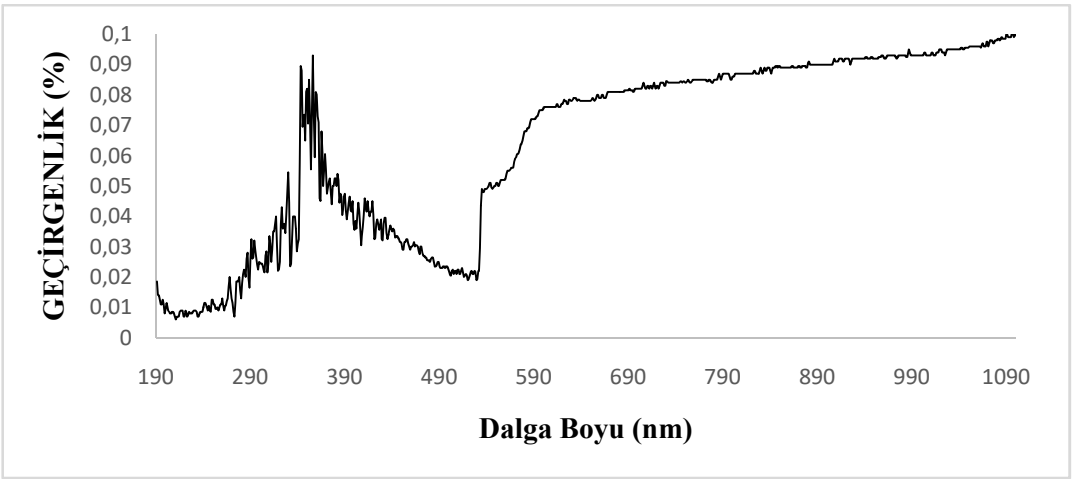
Şekil 7.107'de görüldüğü gibi D7 kodlu örneğin geçirgenlik grafiğinde en yüksek geçirgenlik değerinin 340 ile 390 nm dalga boyunda 0,06 olduğu görülmektedir. Dalga boyu arttıkça yani görünür ışık bölgesinde geçirgenlik değerinin azaldığı görülmektedir. 345 ile 5900 nm arasında dalga boyu arttıkça geçirgenlik miktarının azaldığı görülmektedir. 590 ile 1100nm dalga boyunda geçirgenlik oranının 0,015 olduğu ve neredeyse sabit olduğu söylenebilir.

Şekil 7.108'de 600 °C'de 60 dakika sürede sinterlenen D7.15 kodlu örneğin yansıma değerleri yer almaktadır.



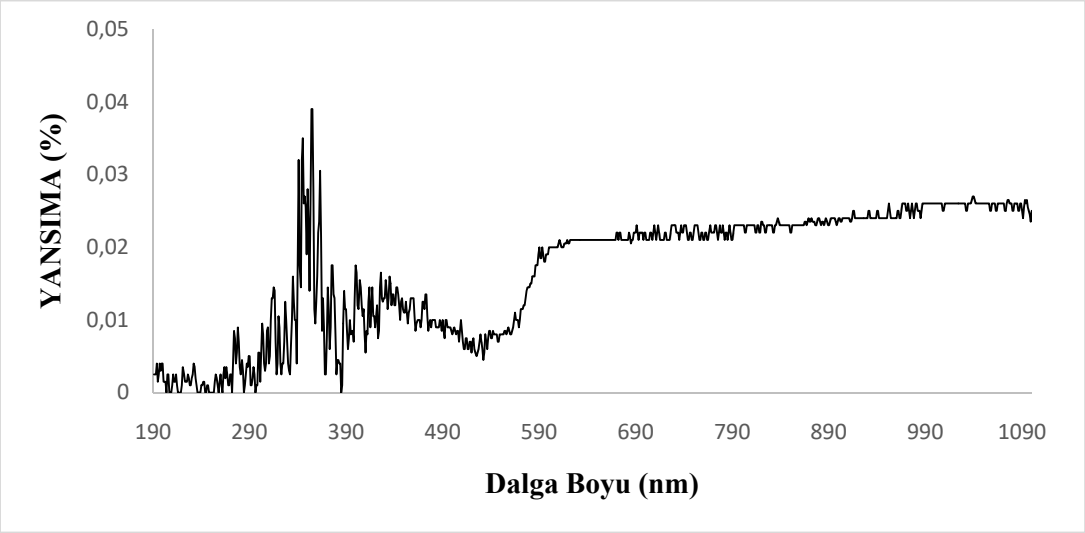
Şekil 7.108. D7.15 Kodlu örneğin dalga boyu yansıma grafiği (En yüksek yansıma değeri UV dalga boyu aralığında görülmektedir).

Şekil 7.109'da görüldüğü gibi D7.15 kodlu örneğin yansıma grafiğinde en yüksek yansıma değerinin 1090 nm dalga boyunda olduğu görülmektedir. 360nm dalga boyunda bir tepe noktasının oluştuğu ve yansıma miktarının 0,09 olduğu görülmektedir. 360nm ile 540 nm arasındaki dalga boylarında yansıma miktarı düşmektedir. 540nm dalga boyunda bir çukur oluşumu görülmekte olup bu dalga boyunda soğurulma meydana geldiği soğurulma grafiğinde tespit edilmiştir. 540nm dalga boyundan itibaren artan dalga boyu ile yansıma oranının arttığı, 1090 nm dalga boyunda en yüksek yansıma miktarına sahip olduğu görülmektedir. D7.15kodlu örneğin geçirgenlik grafiği Şekil 7.109'da verilmektedir.



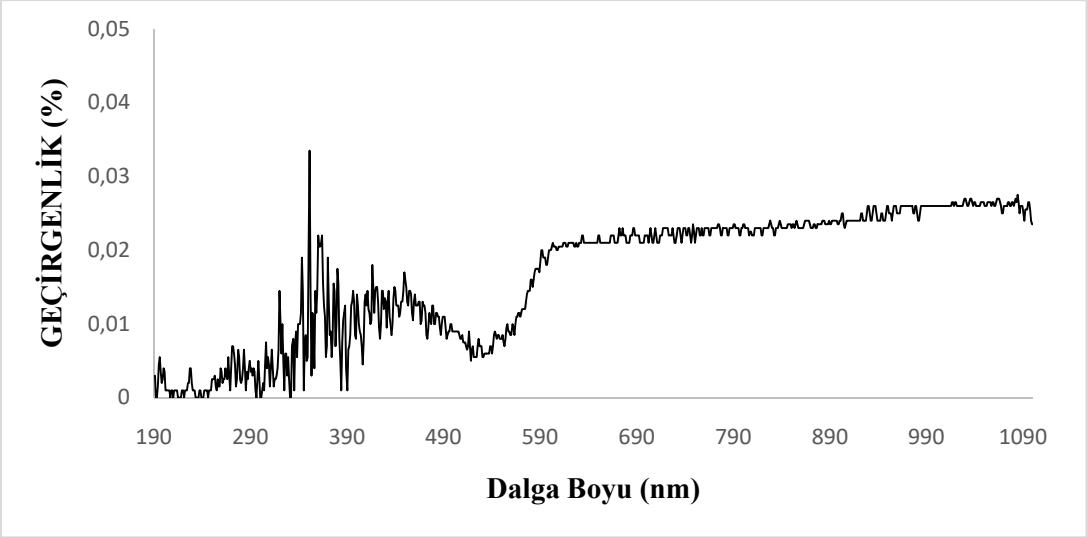
Şekil 7. 109. D7.15 kodlu örneğin dalga boyu geçirgenlik grafiği (En yüksek geçirgenlik değeri UV dalga boyu aralığında görülmektedir).

Şekil 7.109'da görüldüğü gibi D7.15 kodlu örneğin geçirgenlik grafiğinde en yüksek geçirgenlik değerinin 1090 nm dalga boyunda 0,1 olduğu görülmektedir. D7.15 kodlu örneğin yansıma ve geçirgenlik grafikleri incelendiğinde neredeyse aynı sonuçlar çıktığı açıkça görülmektedir. Şekil 7.110'da 650 °C'de 60 dakika boyunca sinterlenen D7.19 kodlu örneğin yansıma grafiği görülmektedir.



Şekil 7.110. D7.19 Kodlu örneğin dalga boyu yansıma grafiği (En yüksek yansıma değeri UV dalga boyu aralığında görülmektedir).

Şekil 7.110'da görüldüğü gibi D7.19 örneğin en yüksek yansıma oranı 390 nm dalga boyundadır. 390 nm ile 540 nm dalga boyu arasında yansıma oranının azaldığı söylenebilir. 540 nm dalga boyunda bir çukur oluştuğu ve soğurulma olayının meydana geldiği elde edilen absorbsiyon grafiklerinde belirlenerek değerlendirilmiştir. 540 nm dalga boyundan itibaren yansıma miktarının arttığı görülmektedir. Ancak bu artışın D7.15 kodlu 0,025 gr kobalt oksit içeren örneğe göre daha az olduğu Şekil 7.109'da grafik değerlerine göre söylenebilir. 590 nm ile 1090 nm dalga boyu arasında yansıma değerlerinin neredeyse sabit olduğu ve 0,025 yansıma miktarına sahip olduğu görülmektedir. Şekil 7.111'de D7.19 Kodlu örneğin geçirgenlik grafiği görülmektedir.

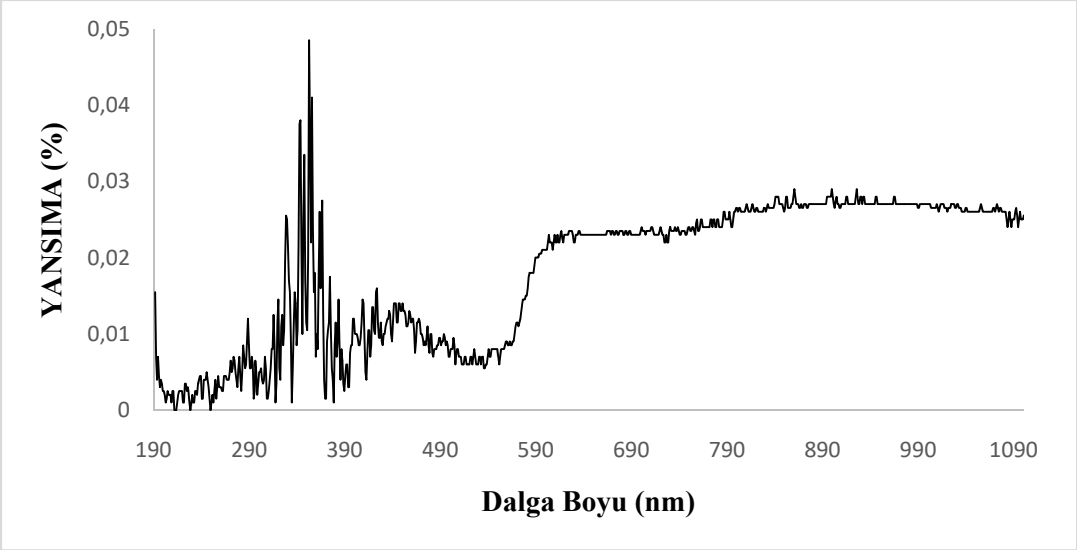


Şekil 7.111. D7.19 Kodlu örneğin dalga boyu geçirgenlik grafiği (En yüksek geçirgenlik değeri UV dalga boyu aralığında görülmektedir).

Şekil 7.111'de görüldüğü gibi D7.19 örneğin en yüksek geçirgenlik oranı 340 nm dalga boyundadır. 390 nm ile 540 nm dalga boyu arasında geçirgenlik oranının azaldığı söylenebilir. 540 nm dalga boyundan itibaren geçirgenlik miktarının arttığı görülmektedir. 590 nm ile 1090 nm dalga boyu arasında geçirgenlik değerlerinin neredeyse sabit olduğu ve 0,025 geçirgenlik miktarına sahip olduğu görülmektedir

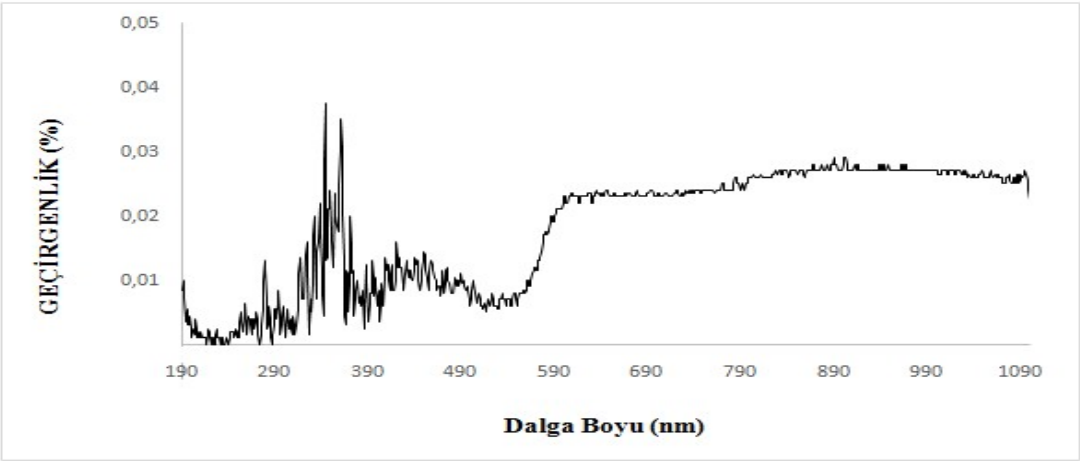
Kobalt oksit ile doplanan D7.15 ve D7.19 kodlu örnekler arasında bir değerlendirme yapıldığında kobalt oksit miktarının artması yansıma ve geçirgenlik değerlerini azalttığını göstermektedir.

Şekil 7.112'de 650 °C'de 60 dakika süre boyunca sinterlenen 3gr nikel oksit ile doplanmış D7.28 kodlu örneğin yansıma grafiği görülmektedir.



Şekil 7.112. D7.28 Kodlu örneğin dalga boyu yansıma grafiği (En yüksek yansıma değeri UV dalga boyu aralığında görülmektedir).

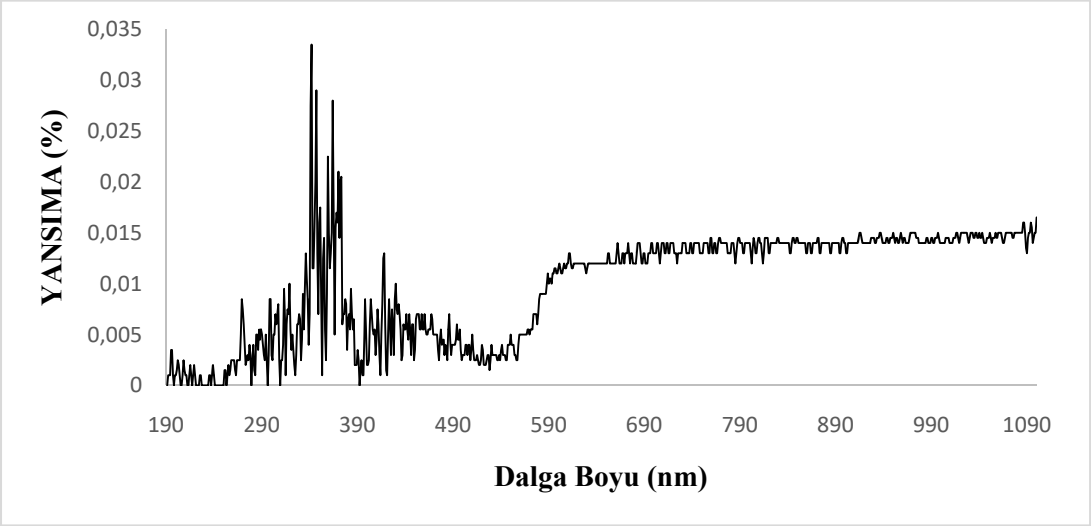
Şekil 7.112'de görüldüğü gibi D7.28 kodlu örneğin en yüksek yansıma miktarının 355 nm dalga boyunda 0,049 olduğu görülmektedir. 440nm dalga boyunda küçük bir ikinci tepe noktası oluşumu meydana gelmiştir. 355nm dalga boyundan itibaren 550 nm dalga boyuna kadar yansıma miktarında azalma meydana gelmiştir. 550 nm dalga boyundan itibaren yansıma miktarı 590 nm'ye kadar artış göstermiş olup daha sonra yansıma miktarı neredeyse sabit kaldığı görülmektedir. Şekil 7.113'de D7.28 kodlu örneğin geçirgenlik grafiği görülmektedir.



Şekil 7.113. D7.28 Kodlu örneğin dalga boyu geçirgenlik grafiği (En yüksek geçirgenlik değeri UV dalga boyu aralığında görülmektedir).

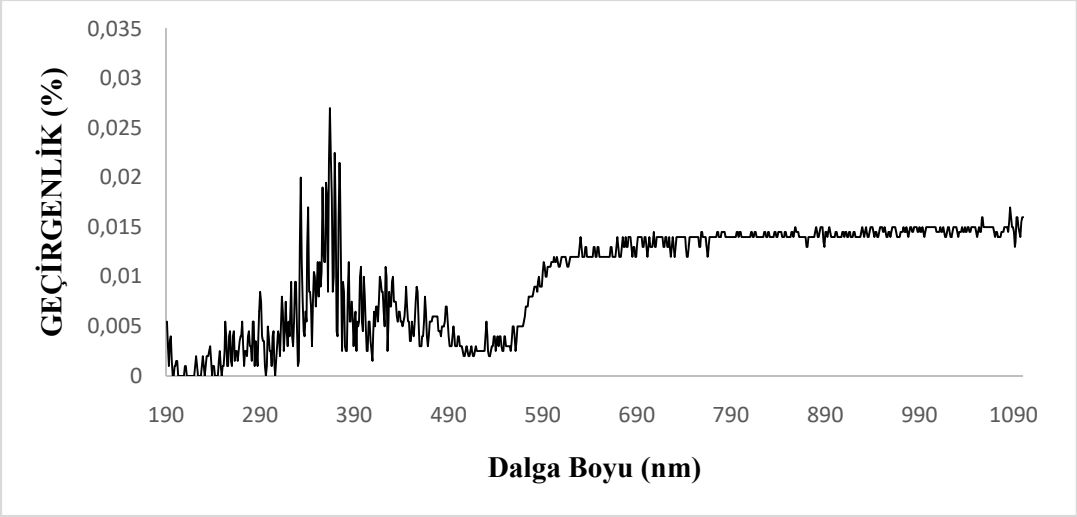
Şekil 7.113'de görüldüğü gibi D7.28 kodlu örneğin en yüksek geçirgenlik miktarının 340 nm dalga boyunda 0,039 olduğu görülmektedir. 360 nm dalga boyunda küçük bir ikinci tepe noktası oluşumu meydana gelmiştir. 360 nm dalga boyundan itibaren 550 nm dalga boyuna kadar geçirgenlik miktarında azalma meydana gelmiştir. 550 nm dalga boyundan itibaren geçirgenlik miktarı 590 nm'ye kadar artış göstermiş olup daha sonra geçirgenlik miktarı neredeyse sabit kaldığı görülmektedir.

Şekil 7.114'de 650 °C'de 60 dakika süre boyunca sinterlenen 0,025 gr krom oksit ile doplanmış D7.32 kodlu örneğin yansıma grafiği görülmektedir.



Şekil 7.114. D7.32 Kodlu örneğin dalga boyu yansıma grafiği (En yüksek yansıma değeri UV dalga boyu aralığında görülmektedir).

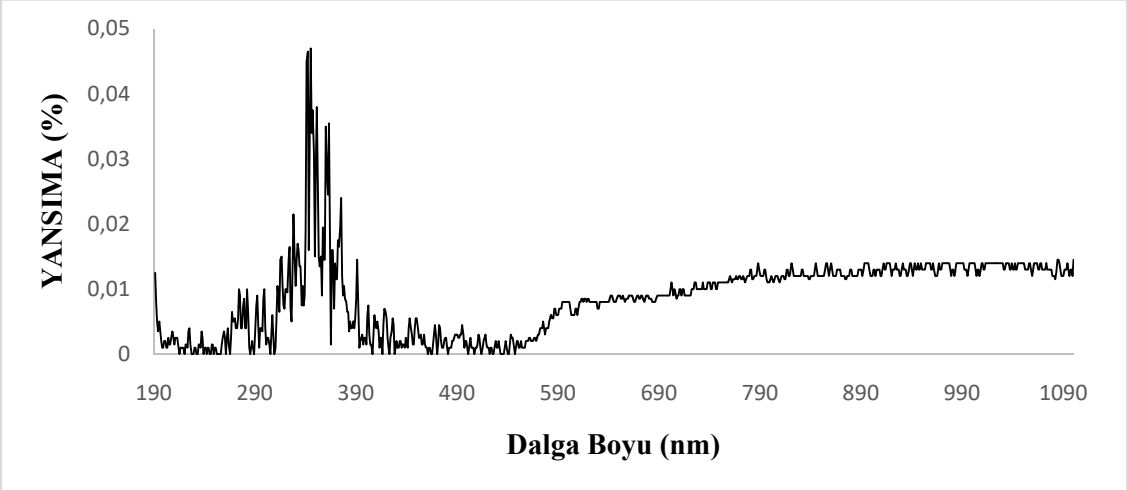
Şekil 7.114'de görüldüğü gibi D7.32 kodlu örneğin yansıma grafiğinde en yüksek yansıma değerinin 340nm dalga boyunda 0,034 olduğu görülmektedir. 550nm dalga boyunda bir vadinin oluştuğu görülmektedir. Yansıma değerinin 390 nm dalga boyunda en az miktarda olduğu anlaşılmaktadır. 340nm dalga boyu ile 550nm dalga boyu arasında yansıma miktarının küçük miktarlarda artıp azaldığı grafikte görülmektedir. 550nm dalga boyundan itibaren artan dalga boyu ile birlikte yansıma miktarının 590nm dalga boyuna kadar arttığı daha sonra neredeyse sabit kaldığı söylenebilmektedir. Şekil 7.115'da D7.32 kodlu örneğin geçirgenlik grafiği yer almaktadır.



Şekil 7.115. D7.32 Kodlu örneğin dalga boyu geçirgenlik grafiği (En yüksek geçirgenlik değeri UV dalga boyu aralığında görülmektedir).

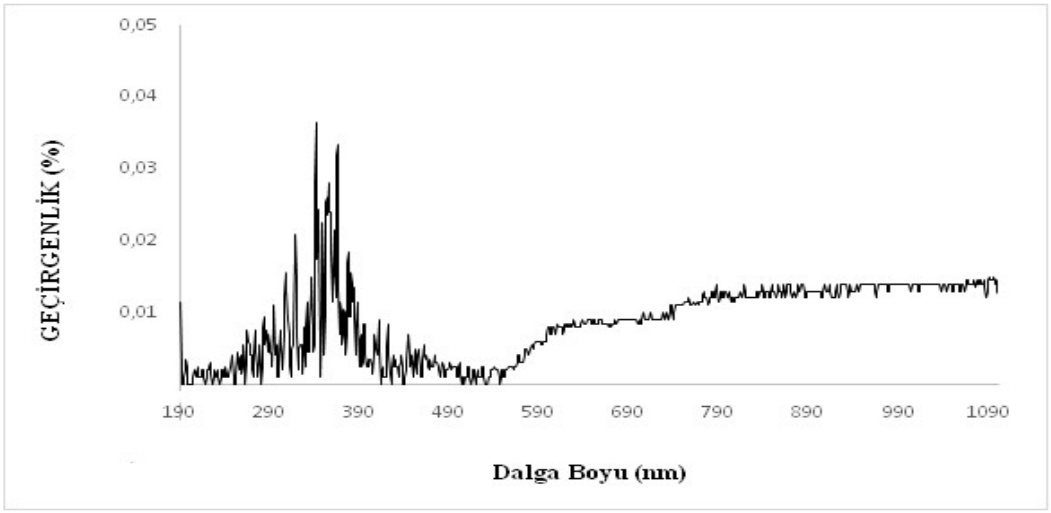
Şekil 7.115'da görüldüğü gibi D7.32 kodlu örneğin geçirgenlik grafiğinde en yüksek geçirgenlik değerinin 360 nm dalga boyunda 0,027 olduğu görülmektedir. 360 nm dalga boyu ile 550 nm dalga boyu arasında geçirgenlik miktarının küçük miktarlarda artıp azaldığı grafikte görülmektedir. 550 nm dalga boyundan itibaren artan dalga boyu ile birlikte geçirgenlik miktarının 590 nm dalga boyuna kadar arttığı daha sonra neredeyse sabit kaldığı söylenebilmektedir.

Şekil 7.116'de 650°C'de 60 dakika süre boyunca sinterlenen 1gr krom oksit ile doplanmış D7.34 kodlu örneğin yansıma grafiği görülmektedir.



Şekil 7.116. D7.34 Kodlu örneğin dalga boyu yansıma grafiği (En yüksek yansıma değeri UV dalga boyu aralığında görülmektedir).

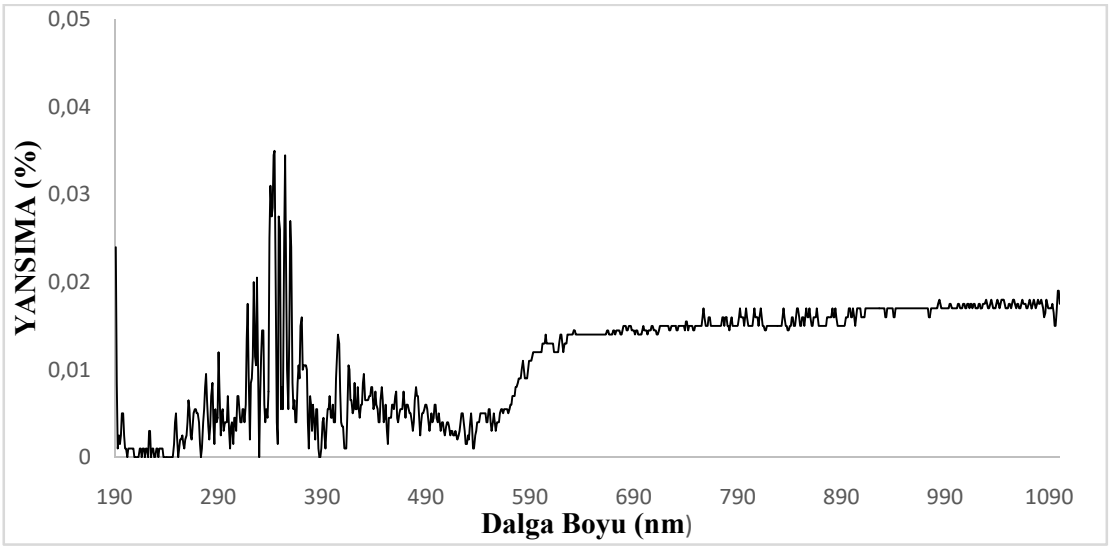
Şekil 7.116'da görüldüğü gibi D7.34 kodlu örneğin yansıma grafiğinde en yüksek yansıma değerinin 340nm dalga boyunda 0,048 olduğu görülmektedir. 340nm dalga boyundan itibaren 570nm dalga boyuna kadar yansıma miktarında azalma meydana gelmiştir. 0,025 krom oksit doplu D7.32 kodlu örneğe göre çukur oluşturmaya sebep olan soğurulma miktarında azalış dikkat çekmektedir. 590 ile 1090 nm dalga boyu arasındaki yansıma değerlerinin çok yakın olduğu söylenebilir. Şekil 7.117'de D7.34 kodlu örneğin geçirgenlik grafiği yer almaktadır.



Şekil 7.117. D7.34 kodlu örneğin dalga boyu geçirgenlik grafiği (En yüksek geçirgenlik değeri UV dalga boyu aralığında görülmektedir).

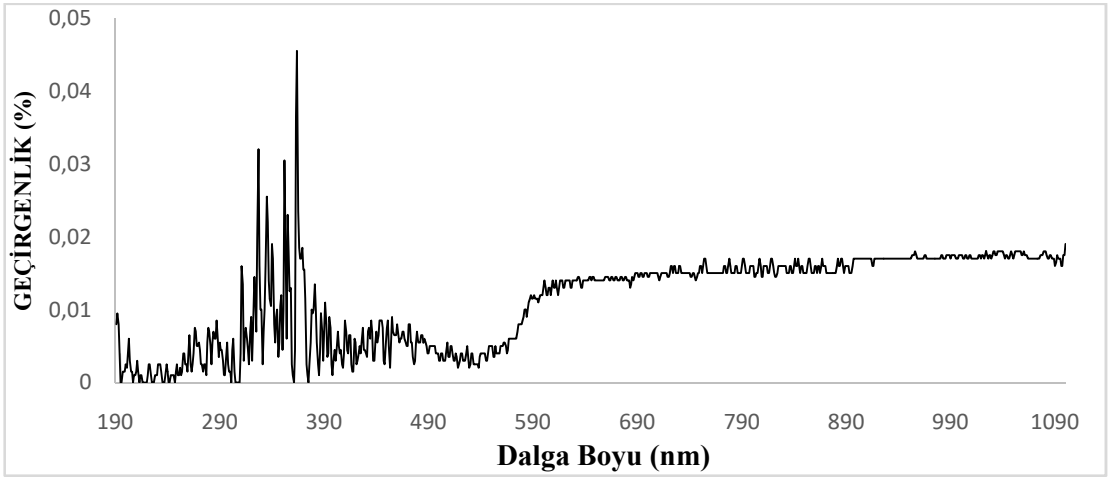
Şekil 7.117'de görüldüğü gibi D7.34 kodlu örneğin geçirgenlik grafiğinde en yüksek geçirgenlik değerinin 340 nm dalga boyunda 0,038 olduğu görülmektedir. 340nm dalga boyundan itibaren 570 nm dalga boyuna kadar geçirgenlik miktarında azalma meydana gelmiştir. 550 nm dalga boyundan itibaren geçirgenlik değerlerinde bir miktar artış olduğu ve daha sonra sabit kaldığı görülmektedir. Kobalt oksit ile doplanmış örneklerin aksine doplama miktarının artması yansıma ve geçirgenlik miktarında artışa sebep olmuştur.

Şekil 7.118'da 650 °C'de 60 dakika süre boyunca sinterlenen 1gr demir oksit ile doplanmış D7.43 kodlu örneğin yansıma grafiği görülmektedir.



Şekil 7.118. D7.43 Kodlu örneğin dalga boyu yansıma grafiği (En yüksek yansıma değeri UV dalga boyu aralığında görülmektedir).

Şekil 7.118'de görüldüğü gibi D7.43 kodlu örneğin yansıma grafiğinde en yüksek yansıma değeri 340 ile 360 nm arasında 0,035 olduğu görülmektedir. Diğer doplanmış örneklerde görüldüğü gibi 540nm dalga boyuna kadar yansıma oranlarında azalışın meydana geldiği 540 nm'den sonra ise yansıma miktarının arttığı ve 0,018 seviyesine geldiği görülmektedir. Şekil 7.119'da 650 °C'de 60 dakika süre boyunca sinterlenen 1gr demir oksit ile doplanmış D7.43 kodlu örneğin geçirgenlik grafiği görülmektedir.

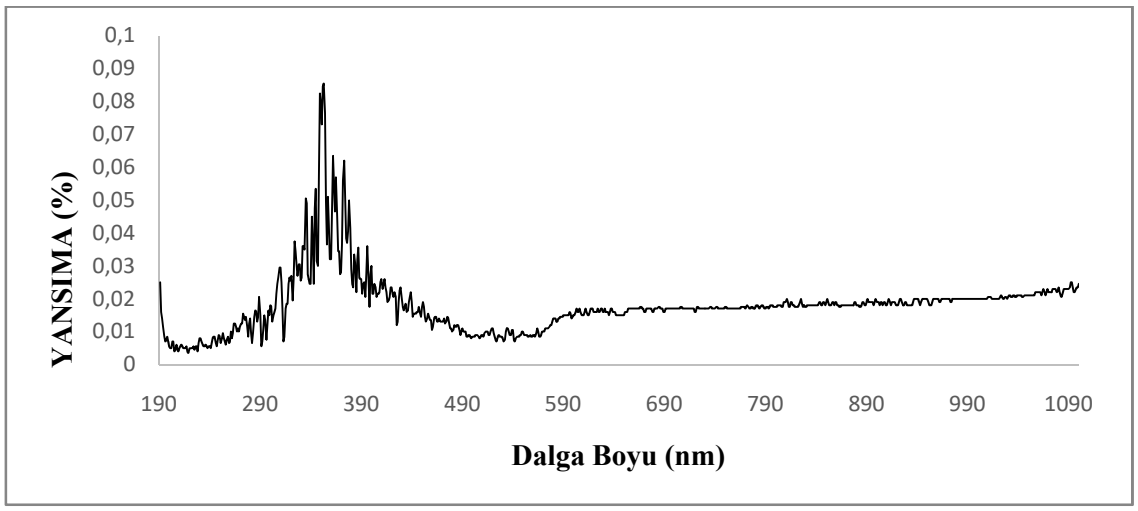


Şekil 7.119. D7.43 Kodlu örneğin dalga boyu geçirgenlik grafiği (En yüksek geçirgenlik değeri UV dalga boyu aralığında görülmektedir).

Şekil 7.119'da görüldüğü gibi D7.43 kodlu örneğin geçirgenlik grafiğinde en yüksek geçirgenlik değeri 380 nm dalga boyunda 0,047 olduğu görülmektedir. Diğer doplanmış

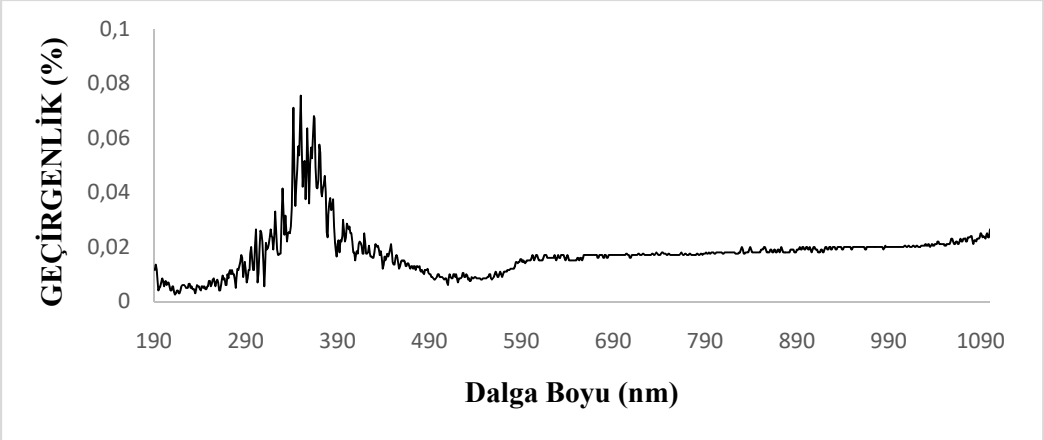
örneklerde görüldüğü gibi 540nm dalga boyuna kadar geçirgenlik oranlarında azalışın meydana geldiği 540 nm'den sonra ise geçirgenlik miktarının arttığı ve 0,018 seviyesine geldiği görülmektedir.

Şekil 7.120'de 650 °C'de 60 dakika süre boyunca sinterlenen 0,025 gr bakır oksit ile doplanmış D7.55 kodlu örneğin yansıma grafiği görülmektedir.



Şekil 7.120. D7.55 Kodlu örneğin dalga boyu yansıma grafiği (En yüksek yansıma değeri UV dalga boyu aralığında görülmektedir).

Şekil 7.120'de görüldüğü gibi D7.55 kodlu örneğin yansıma değerleri diğer doplanmış örneklerde olduğu gibi 340nm dalga boyunda en yüksek olduğu görülmektedir. 340nm dalga boyundaki yansıma değeri 0,085'dir. 340 nm dalga boyundan itibaren 540 nm dalga boyuna kadar yansıma değerinde azalma meydana gelmektedir. 540nm dalga boyundan itibaren yansıma miktarlarında artış meydana gelmiş olup, 590 ile 1090 nm dalga boylarında neredeyse eşit yansıma değerine sahip olduğu söylenebilir. Şekil 7.121'de D7.55 kodlu örneğin geçirgenlik grafiği gösterilmektedir.



Şekil 7.121. D7.55 Kodlu örneğin dalga boyu geçirgenlik grafiği (En yüksek geçirgenlik değeri UV dalga boyu aralığında görülmektedir).

Şekil 7.121'de görüldüğü gibi D7.55 kodlu örneğin geçirgenlik değerleri 350nm dalga boyunda en yüksek olduğu görülmektedir. 350 nm dalga boyundaki geçirgenlik değeri 0,078'dir. 350 nm dalga boyundan itibaren 540 nm dalga boyuna kadar geçirgenlik değerinde azalma meydana gelmektedir. 540 nm dalga boyundan itibaren geçirgenlik miktarlarında artış meydana gelmiş olup, 590 ile 1090 nm dalga boylarında neredeyse eşit geçirgenlik değerine sahip olduğu söylenebilir.

UV-VIS ölçümleri sayesinde malzemelerin optik özellikleri hakkında bilgi sahibi olmaktayız. Bu ölçüm neticesinde malzemenin geçirgenlik, absorblama ve yansıma özellikleri hakkında sonuçlar elde etmekteyiz. Bir süs taşı için en önemli parametre olan kırılma indisini tayip etmek için UV spektrometresi kullanılarak ölçüm yapılmıştır. Kırılma indisini hesaplamak için önemli olan parametre ise yansıma değerleridir. Yansıma değerleriile ölçüm yapılan dalga boyları ile arasındaki ilişkiyi irdelemek için yansıma grafikleri çizilmiştir. Bu analiz neticesinde en yüksek yansıma miktarının D7.15 kodlu örnekte olduğu görülmektedir. Daha sonra ise bakır oksit katkılı D7.55 kodlu örneğin yansıma miktarının yüksek olduğu görülmektedir. Referans örneğimiz olan D7 kodlu örneğin yansıma değerinin de diğer doplanmış örneklere göre daha yüksek olduğu grafiklerde açıkça görülmektedir.

Krom oksit ile doplanmış örnekler kıyaslandığında krom oksit oranının artması yansıma miktarının artışına sebep olmaktadır. Ancak kobalt oksit ile doplanmış örnekler karşılaştırıldığında ise bu durum değişmekte ve yansıma değerinin azaldığı görülmektedir. Örneklere ilave edilen kramofor oksitlerin yansıma derecesini azalttığını genel olarak söylemek mümkündür. Sadece iki örnekle bunun aksi durum görülmektedir. Bu da örneklerin kristal yapısından kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Genel olarak en yüksek yansıma

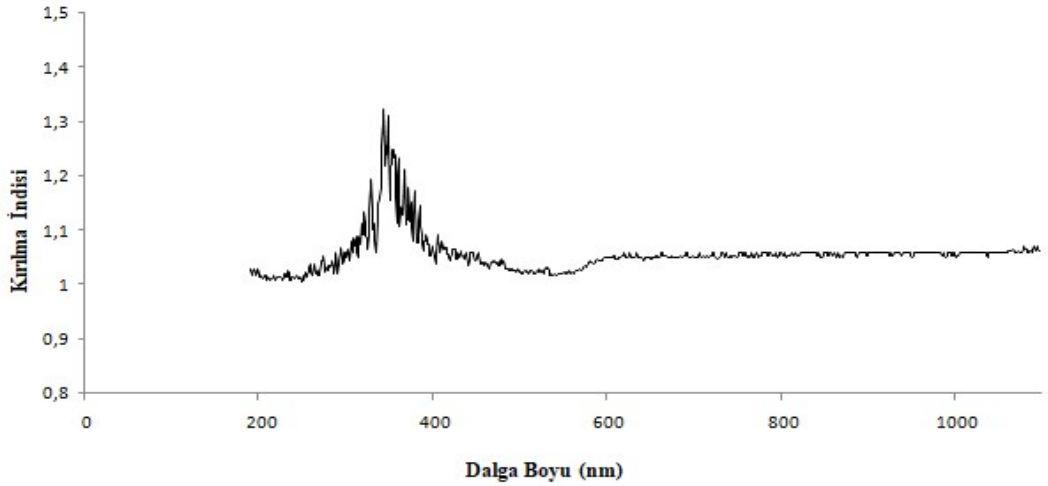
derecelerinin 340 ile 360 nm dalga boyunda tespit edildiği 540- 560 nm dalga boyu aralığında bir absorblanma olayından kaynaklı bir çukur oluşumu görülmektedir. 590 nm dalga boyundan itibaren ise tüm örneklerde yansıma derecesinin bir miktar arttığı görülmektedir. Süs taşlarının önemli bir özelliğide ışığı geçirme özelliğidir. Işığı geçirme derecesine göre saydam, yarı saydam ya da opak özellikte olmaktadır. Bunun neticesinde UV-VIS analizi sonucunda elde edilen imitasyon örneklerin geçirgenlik grafikleri çizilmiştir. Geçirgenlik miktarlarının çok düşük olduğu görülmektedir. Geçirgenlik ve yansıma grafiklerinin birbirine benzer olduğu görülmektedir. Yansıma değerlerinde olduğu gibi geçirgenlik değerlerinin de en yüksek olduğu aralık 290 ile 390 nm arasında olduğu görülmektedir. Yani UV dalga boyuna ait bölgede yansıma ve geçirgenlik değerleri yüksektir.

Elde edilen yansıma değerleri kullanılarak örneklerin kırılma indisleri aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$n= [(4R/(1-R)^2)-k^2]^{1/2}-(R+1/R-1)$$

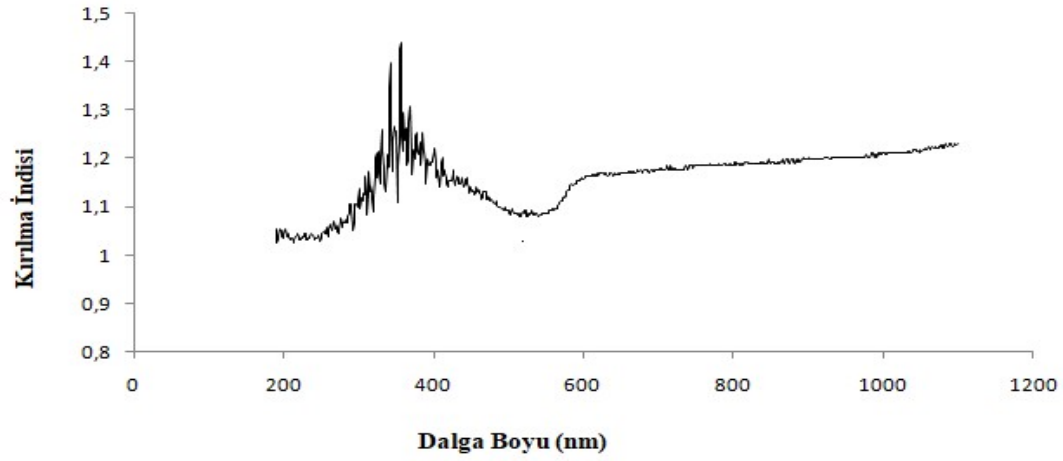
Kırılma indisi dalga boyuna bağlı bir özelliktir. Elde edilen imitasyon örneklerin kırılma indisleri UV-VIS spektrometre kullanılarak ölçülmüştür. Yansıma değerleri kullanılarak kırılma indisi tayini yapılmıştır. Şekil 7.122, Şekil 7.123, Şekil 7.124, Şekil 7.125, Şekil 7.126, Şekil 7.127, Şekil 7.128, Şekil 7.129'dadoplanmamış ve doplanmış örneklerin dalga boyu kırılma indisi grafikleri görülmektedir.

Şekil 7.122'de doplanmamış D7 kodlu örneğin kırılma indisi dalga boyu grafiğinde görüldüğü üzere 300 ile 400 nm dalga boyu arasındaki kırılma indisi değerinin 1,32 olduğu görülmektedir. Diğer dalga boylarında ise kırılma indisi değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir.



Şekil 7.122. Katkısız D7 kodlu örneğin dalga boyu- kırılma indisi grafiği (En yüksek kırılma indisi değeri UV dalga boyu aralığında görülmektedir).

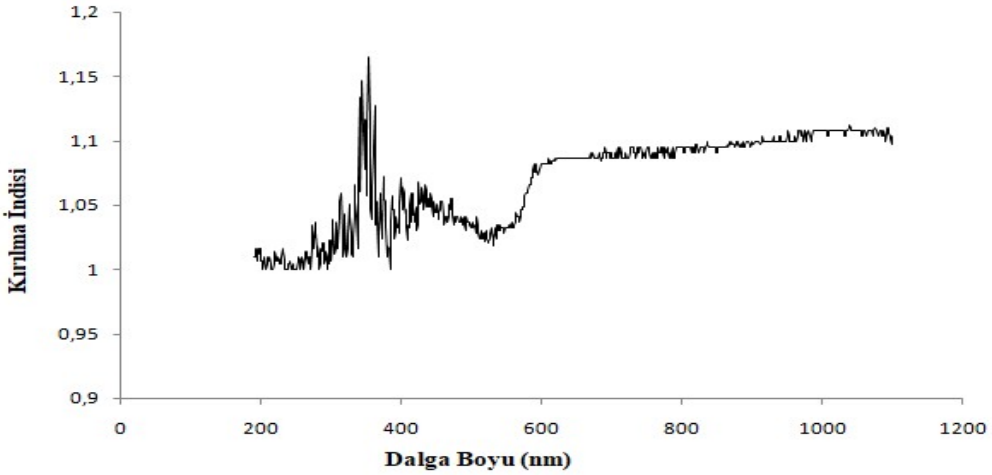
Şekil 7.123'de 1gr kobalt oksit ile doplanmış D7.15 kodlu örneğin dalga boyu kırılma indisi grafiği görülmektedir. Doplanmamış örnekte olduğu gibi 300 ile 400 nm dalga boyunda 1,45 kırılma indisi değerine sahiptir. Geri kalan dalga boylarında ise kırılma indisi değerinin azaldığı görülmektedir. 1 gr kobalt oksit ile doplanmış örneğin doplanmamış örneğe göre kırılma indisi değerinin arttığı görülmektedir.



Şekil 7.123. 1 gr. Kobalt oksit ile doplanmış D7.15 kodlu örneğin dalga boyu- kırılma indisi grafiği (En yüksek kırılma indisi değeri UV dalga boyu aralığında görülmektedir).

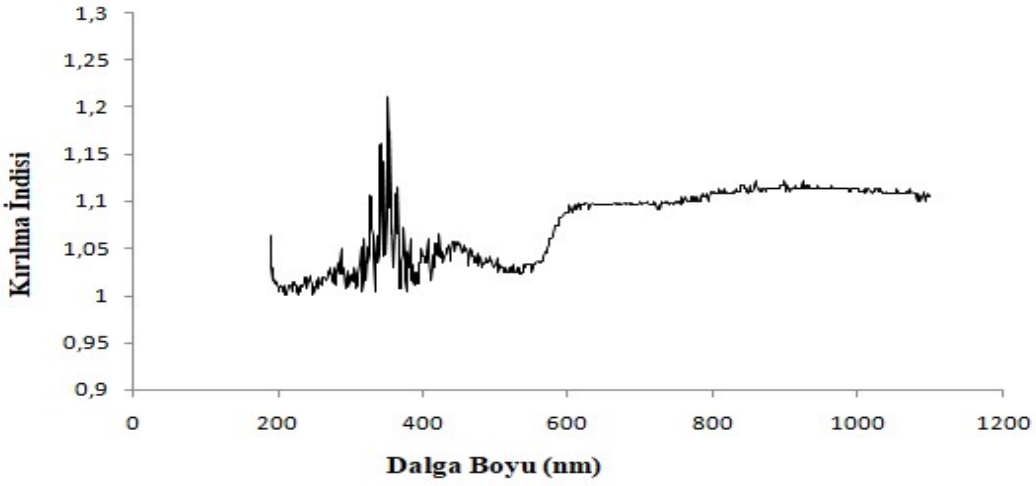
Şekil 7.124'de 3 gr kobalt oksit ile doplanmış örneğin dalga boyu kırılma indisi grafiği görülmektedir. 300 ile 400 nm dalga boyunda 1,18 kırılma indisi değerine sahiptir. Yansıma ve geçirgenlik grafiklerinde görüldüğü gibi 500-600 nm dalga boyunda en düşük kırılma indisi

değerine sahip olduğu görülmektedir. 1 gr kobalt oksit ile doplanmış örnek ile karşılaştırıldığında kırılma indisi değerinin düştüğü görülmektedir. Katkısız örnek ile kırılma indisi değerleri karşılaştırıldığında yine kırılma indisi değerinin azaldığı görülmektedir.



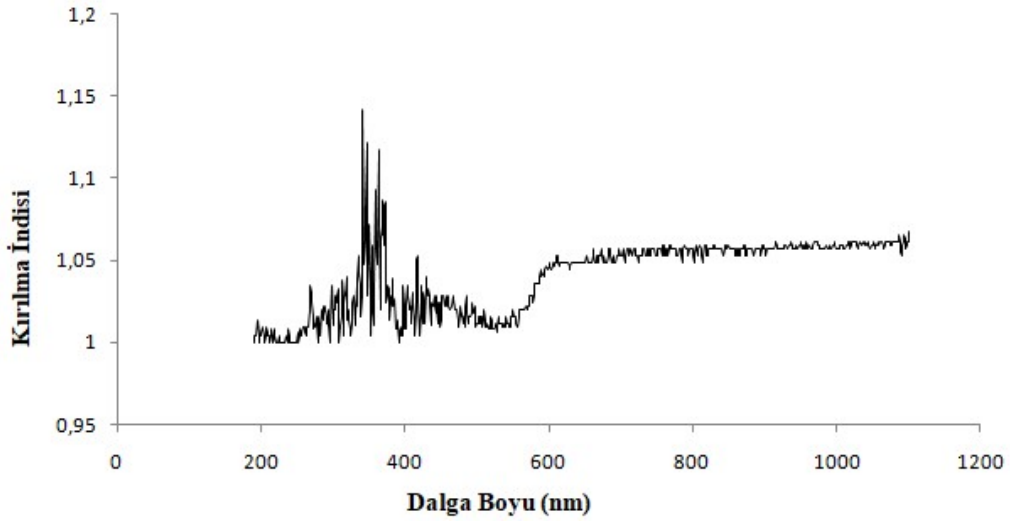
Şekil 7.124. 3 gr. Kobalt oksit ile doplanmış D7.19 kodlu örneğin dalga boyu- kırılma indisi grafiği (En yüksek kırılma indisi değeri UV dalga boyu aralığında görülmektedir).

Şekil 7.125'de 3 gr nikel oksit ile doplanmış örneğin dalga boyu kırılma indisi grafiği yer almaktadır. 300 ile 400nm dalga boyu aralığında en yüksek kırılma indisi değerine sahiptir. Kırılma indisi değeri 1,23 olarak hesaplanmıştır. Doplanmamış örnek ile karşılaştırıldığında kırılma indisi miktarının azaldığı görülmektedir.



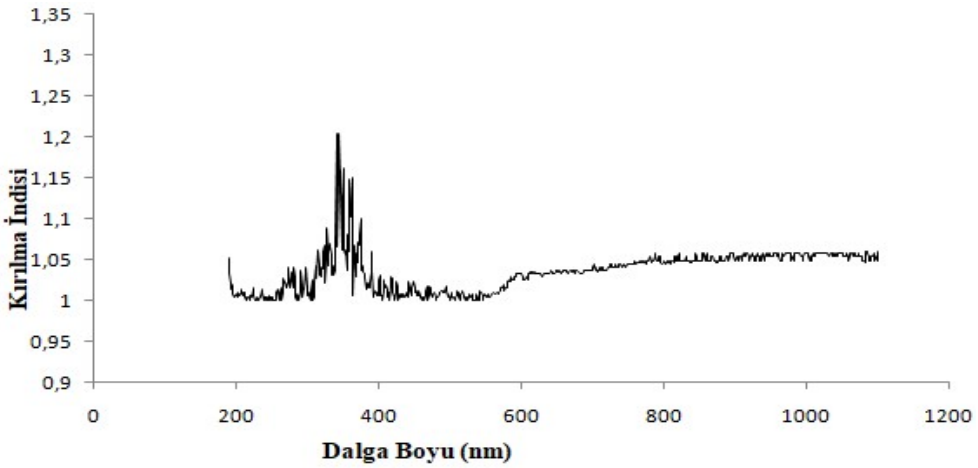
Şekil 7.125. 3 gr. Nikel oksit ile doplanmış D7.28 kodlu örneğin dalga boyu- kırılma indisi grafiği(En yüksek kırılma indisi değeri UV dalga boyu aralığında görülmektedir).

Şekil 7.126'da 0,025 gr krom oksit ile doplanmış örneğin dalga boyu kırılma indisi grafiği yer almaktadır. 300 ile 400 nm dalga boyu aralığında en yüksek kırılma indisi değerine sahiptir. Kırılma indisi değeri 1,15 olarak hesaplanmıştır. Doplanmamış örnek ile karşılaştırıldığında kırılma indisi miktarının azaldığı görülmektedir.



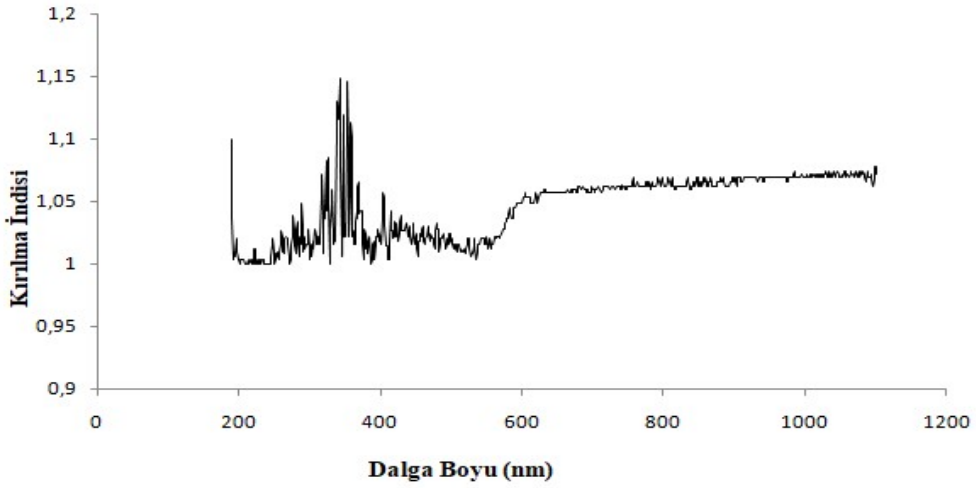
Şekil 7.126. 0,025 gr Krom oksit ile doplanmış D7.32 kodlu örneğin dalga boyu- kırılma indisi grafiği(En yüksek kırılma indisi değeri UV dalga boyu aralığında görülmektedir).

Şekil 7.127'de 1 gr krom oksit ile doplanmış örneğin dalga boyu kırılma indisi grafiği yer almaktadır. 300 ile 400 nm dalga boyu aralığında en yüksek kırılma indisi değerine sahiptir. Kırılma indisi değeri 1,21 olarak hesaplanmıştır. 0,025 krom oksit ile doplanmış örneğe göre kırılma indisi değerinin de bir miktar artış olduğu görülmektedir. Kırılma indisinin büyüklüğü oluşan kristal fazların yoğunluğu ile tanımlanmaktadır. Doplanmamış örnek ile karşılaştırıldığında kırılma indisi miktarının azaldığı görülmektedir.



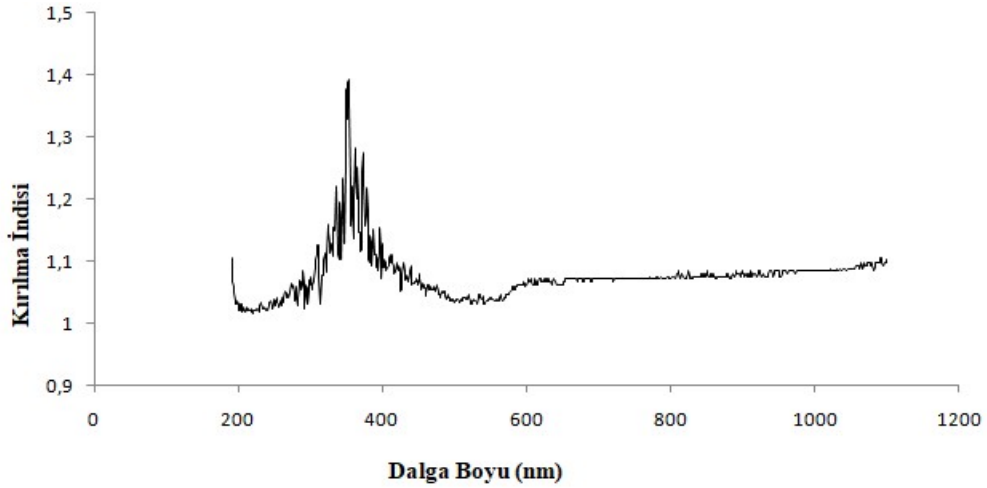
Şekil 7.127. 1 gr Krom oksit ile doplanmış D7.34 kodlu örneğin dalga boyu- kırılma indisi grafiği (En yüksek kırılma indisi değeri UV dalga boyu aralığında görülmektedir).

Şekil 7.128'de 1 gr demir oksit ile doplanmış örneğin dalga boyu kırılma indisi grafiği yer almaktadır. 300 ile 400 nm dalga boyu aralığında en yüksek kırılma indisi değerine sahiptir. Kırılma indisi değeri 1,15 olarak hesaplanmıştır. Doplanmamış örnek ile karşılaştırıldığında kırılma indisi miktarının azaldığı görülmektedir.



Şekil 7.128. 1 gr Demir oksit ile doplanmış D7.34 kodlu örneğin dalga boyu- kırılma indisi grafiği (En yüksek kırılma indisi değeri UV dalga boyu aralığında görülmektedir).

Şekil 7.129'da 1 gr bakır oksit ile doplanmış örneğin dalga boyu kırılma indisi grafiği yer almaktadır. 300 ile 400 nm dalga boyu aralığında en yüksek kırılma indisi değerine sahiptir. Kırılma indisi değeri 1,40 olarak hesaplanmıştır. Doplanmamış örnek ile karşılaştırıldığında kırılma indisi miktarının arttığı görülmektedir.



Şekil 7.129. 1 gr Bakır oksit ile doplanmış D7.55 kodlu örneğin dalga boyu- kırılma indisi grafiği(En yüksek kırılma indisi değeri UV dalga boyu aralığında görülmektedir).

Hesaplanan kırılma indisi değerlerine bakıldığında renklendirici oksitler ile doplama sonucunda kırılma indisi değerlerinde azalma meydana geldiği görülmektedir. Fakat D7.15 ve D7.55 kodlu örneklerde doplama ile birlikte kırılma indisi değerinin arttığı görülmektedir. Bu kırılma indisi değerinin artışının nedeni yansıma ve geçirgenlik grafiklerinde görüldüğü üzere burada olan artıştan meydana geldiği görülmektedir. Yasıma ve geçirgenlik miktarı arttıkça kırılma indisinin de arttığını söyleyebiliriz. Kırılma indislerinin dalga boyu ile değiştiği görülmektedir. İmitasyon olarak elde edilen örneklerin kırılma indisleri ile doğal süs taşlarının kırılma indisleri karşılaştığında imitasyon olarak elde edilenlerin kırılma indisinin düşük olduğu görülmektedir. Sodalit süs taşının kırılma indisi 1,47 iken imitasyon olarak elde edilen D7.15 kodlu örneğin kırılma indisi 1,45 olarak hesaplanmıştır. Obsidyenin kırılma indisi 1,45 ile 1,55 arasında, oniksin 1,53-1,54 arasında değişirken imitasyon olarak elde edilen D7.19 kodlu örneğin kırılma indisi 1,18 olarak hesaplanmıştır. Prehnit süs taşının kırılma indisi 1,61 iken, imitasyon olarak elde edilen D7.28 kodlu örneğin kırılma indisi 1,23 olarak hesaplanmıştır. Jadeit süs taşının kırılma indisi 1,65 iken imitasyon olarak elde edilen D7.34 kodlu örneğin kırılma indisi 1,21 olarak hesaplanmıştır. D7.43 kodlu örneğin kırılma indisi 1,15 olarak hesaplanmıştır. Jasperın kırılma indisi 1,54-2,65, karnelyan 1,530-1,539'dur. Turkuazın kırılma indisi 1,61-1,65, krizokolun 1,46-1,57, azuritin 1,72 ile 1,78 arasında değişirken bunların imitasyonu olarak elde edilen D7.55 kodlu örneğin kırılma indisi 1,40 olarak hesaplanmıştır.

8. EKONOMİK ANALİZ

İmitasyon olarak elde edilen D7, D7.15, D7.19, D7.28, D7.32, D7.34, D7.43 ve D7.55 kodlu örneklerin 1 Kg. toz hammadde üzerinden ekonomik analizi yapılmıştır. Genel olarak kullanılan hammaddeler $Na_2B_4O_7$, Al_2O_3 ve renklendirmek amacı ile farklı miktarlarda kobalt oksit, nikel oksit, krom oksit, demir oksit ve bakır oksit kullanılmıştır. Çizelge 8.1.'de 1 kg üzerinden hammaddelerin ekonomik analizleri verilmiştir. En yüksek maliyetin nikel oksit içeren örnekte olduğu görülmektedir. 1 kg toz kullanılarak hazırlanan örneklerin hammadde maliyetleri D7.15 kodlu örneğin 33,87 TL/Kg, D7.19 kodlu örneğin 73,87 TL/Kg, D7.28 kodlu örneğin 179,77 TL/Kg, D7.32 kodlu örneğin 17,24 TL/Kg, D7.34 kodlu örneğin 27,37 TL/Kg, D7.43 kodlu örneğin 18,37 TL/Kg ve D7.55 kodlu örneğin 15,57 TL/Kg olduğu görülmektedir.

Çizelge 8.1. İmitasyon olarak elde edilen süs taşlarının reçete maliyeti.

Hammaddeler	Reçete Oranı (%)	Birim Fiyatları (TL/Kg)	Reçete % Oranına Göre Maliyet (TL/Kg)
$Na_2B_4O_7$	73,30	8	5,864
Al_2O_3	26,70	30	8,01
Kobalt Oksit	10	200	20
	30		60
Nikel Oksit	30	553	165,9
Krom Oksit	2,5	135	3,375
	10		13,5
Demir Oksit	10	45	4,5
Bakır Oksit	10	170	1,7

Toz hazırlama sürecinde 100 gr. olarak hazırlanan $Na_2B_4O_7$ - Al_2O_3 tozunun üzerine %10 ile %30 arasında renklendirici oksit ilavesi yapılmıştır. Bir adet imitasyon süs taşı elde etmek için 1.5-2 gr arasında toz hammadde kullanılmıştır. Daha sonra bu toz pres ile şekillendirilmiş, sinterlenmiş ve zımparalanmıştır. Bu giderler de düşünülerek elde edilen imitasyon süs taşlarının maliyetleri Çizelge 8.2 'de verilmektedir. Çizelge 8.2'de gösterildiği üzere imitasyon olarak elde edilen süs taşlarının maliyetlerinin düşük olduğu görülmektedir.

Çizelge 8.2. İmitasyon olarak elde edilen örneklerin hammadde maliyeti ve işçilik, enerji ve hammadde dahil toplam maliyeti.

Örnek Kodu	1 Adet İmitasyon Süs Taşı Hammadde Maliyeti TL. (15mm Boyutunda)	1 Adet İmitasyon Süs Taşı Toplam Maliyeti (İşçilik+Enerji+ Hammadde) TL. (15mm boyutunda)
D7	0,027	0,330
D7.15	0,067	0,370
D7.19	0,15	0,45
D7.28	0,36	0,66
D7.32	0,04	0,34
D7.34	0,05	0,35
D7.43	0,04	0,34
D7.55	0,03	0,33

Doğal olan süs taşlarının ortalama maliyeti işlenmiş ya da işlenmemiş olmasına göre değişkenlik göstermektedir. www.gemselect.com ve www.etsy.com internet sitelerinde doğal ve sentetik süs taşlarının satış fiyatları incelendiğinde sentetik kabaşon kesimli jadeit, agat ve aventurin süs taşlarının tanesinin (25mmx18mm boyutlu) 26 TL'ye satıldığı görülmektedir. Bu süs taşlarının renk, parlaklık ve nadir olmasına göre fiyatında farklılık olmaktadır. Ekonomik analiz sonucunda elde edilen imitasyon süs taşlarının piyasada bulunan doğal eşleniklerine göre 25 kat ve sentetik eşleniklerine göre neredeyse 10 kat daha ekonomik olduğu görülmektedir. Bu ekonomik analiz elde edilen imitasyon süs taşlarının maliyetleri hesaplanarak yapılmış olup satış fiyatı değişdir. Karşılaştırma yapılan doğal ve sentetik eşlenikler ise satış fiyatlarıdır. Bu ekonomik analiz laboratuar ölçekli üretim baz alınarak hesaplanmıştır. Endüstriyel boyutlu üretimde elde ediliş maliyetin daha da düşeceği düşünülmektedir. Böylece malzeme seçiminde fiyat kriteri baz alınarak yapıldığındada imitasyon olarak elde edilen süs taşlarını rekabet edilebilir ve cazip olacağı söylenebilir.

9. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışmada süstaşı endüstrisinde kullanılmak üzere, alüminyumoksit ve cam yapıcı malzeme olan di-sodyum tetraborat kullanılarak, cam-seramik yapıda imitasyonmalzemeler elde edebilmek için bir toz karışım hazırlanmıştır. Bu toz karışım (pelet), presleme yöntemi ile şekillendirilerek 650°C'de 1 saat süre boyunca sinterleme işlemi uygulanarak kaboşon şekilde bir bisküvi elde edilmiştir.

Doğal süstaşlarının kimyasal bileşimleri incelendiğinde görülmüştür ki en yaygın renk verici elementler kobalt, nikel, bakır, demir, mangan ve krom olduğu görülmüştür. Bu nedenle, bu çalışmada da üretilen bu imitasyon örneklerinin süstaşı olarak kullanılabilmeleri için, renklendirilmesi gerekmektedir. Bu yüzden, kobaltoksit, nikeloksit, kromoksit, demiroksit, bakıroksit ve manganoksitgibi bazı metal oksitler farklı oranlarda bu bisküvilere doplanmıştır. Daha sonra da bu örnekler, 600°C ve 650°C'de 30 dakika, 60 dakika ve 90 dakika sürelerdesinterleme işlemlerine tabi tutulmuşlardır.

Elde edilen örneklerden en iyi imitasyon süstaşı niteliğinde olan sekiz örnek seçilerek karakterizasyon işlemlerine tabi tutulmuşlardır. Bu amaçla; X-ışını saçınımı (XRD), sertlik testi, özgül ağırlık ölçümü, mikro yapı için FE-SEM analizi, renk analizi, parlaklık ölçümü ve malzemenin optik özelliklerini ve kırılma indisini tayin etmek amacı ile UV-VIS analizi yapılmıştır.

Kobalt oksit ile doplanan örneklerden 1gr. kobalt oksit ile doplanmış 600 °C'de 60 dakika süre ile sinterlenen D7.15 kodlu örnek ve 3gr. kobalt oksit ile doplanmış 600 °C'de 60 dakika süre ile sinterlenen D7.19 kodlu örnek sırasıyla sodalit (mavi renk ve damarlı yapısı gön önüne alındığında) obsidyen ve oniks süs taşı imitasyonu olarak elde edilmiştir (Şekil 7.5 ve Şekil 7.9). Nikel oksit ile yapılan denemelerde düşük miktarda nikel oksit ile (0,025 ve 1gr.) doplanan örneklerin renk ve parlaklık açısından yetersiz olduğu görülmüştür. Aynı zamanda bu örneklerin yüzeylerinin pürüzlü ve buğulu olduğu görülmüştür. Bunun üzerine nikel oksit miktarı arttırılarak denemeler yapılmıştır. Bu deneme neticesinde 650 °C'de 60 dakika süre ile sinterlenen D7.28 kodlu örnek prehnit süs taşının imitasyonu olarak elde edilmiştir (Şekil 7.17).

Krom oksit ile yapılan çalışmalarda 0.025gr. ve 1 gr. krom oksit katkısı ile denemeler yapılmıştır. 0,025 gr. krom oksit doplu 650°C'de 60 dakika süre ile sinterlenen D7.32 kodlu örnek ile 1 gr. krom oksit doplu 650°C'de 60 dakika süre ile sinterlenen D7.34 kodlu örneklerin aventurin ve jadeit süs taşının imitasyonu olarak elde edilmiştir (Şekil 7.20 ve Şekil 7.22).

Demir oksit ile yapılan çalışmada 0,025 gr. ve 1 gr. Demir oksit katkısı yapılmış olup 650 °C'de 90 dakika sinterleme süresinin en uygun olduğu tespit edilmiştir. 650 °C'de 90'da sinterleme ile elde edilen D7.43 kodlu örnek agat, jasper ve karnelyan süs taşının imitasyonu olarak elde edilmiştir (Şekil 7.25).

0,025 gr. ve 1gr. bakır oksit katkılı örnekler 600°C'de 60 dakika, 650 °C'de 30, 60 ve 90 dakika boyunca sinterleme işlemi yapılmıştır. Şekil 7.29'da gösterilen D7.54 kodlu örnek 600°C'de sinterlendiğinde grimsi mavi bir renk aldığı ancak üzerinde kahverengi lekelerin olduğu görülmüştür. Bu lekelerin yok edilmesi için çalışma sıcaklığı 650°C'ye çıkartılmıştır. 650°C'de 30 dakika sinterleme işlemi sonucunda grimsi mavi göreceli olarak parlak bir renk elde edilmiştir. Sinterleme süresinin artması bünye yüzeyinde kırmızı lekelerin oluşmasına sebep olmuştur. Bakır oksit ile yapılan çalışmada süs taşı olabilecek nitelikte D7.55 kodlu örneğin (Şekil 7.30) turkuaz, malakit, azurit ve krizokolun imitasyonu olabileceği düşünülmektedir.

Mangan oksit doplu örneklere 600°C'de 60 dakika, 650 °C'de 30, 60 ve 90 dakika boyunca sinterleme işlemi yapılmıştır. Sinterleme işlemi sonrasında koyu gri yapı elde edilmiş olup, süs taşı olabilecek renk kalitesine ve parlaklık elde edilememiştir.

İmitasyon olarak elde edilen örneklerin mineralojik analizi yapılmıştır. Mineralojik analiz sonucunda, referans olarak elde edilen katkısız D7 kodlu örnekte Sodyum Borat ($Na_2B_2O_4$), Alüminyum oksit (Al_2O_3), Sodyum Alüminyum Oksit (Na_5AlO_4), Alüminyum Borat ($Al_4B_2O_9$) ve Sodyum Oksit (Na_2O_2) fazları tespit edilmiştir (Şekil 7.39). D7.15 kodlu örneğin XRD ile yapılan mineralojik analiz sonucunda Sodyum Borat ($Na_2B_2O_4$), Sodyum alüminyum oksit ($NaAlO_2$), Alüminyum Kobalt (Al13Co4) ve alüminyum oksit fazları tespit edilmiştir (Şekil 7.40). D7.19 kodlu örneğin XRD ile yapılan mineralojik analiz sonucunda Alüminyum borat ($Al_4B_2O_9$), Kobalt alüminat ($CoAl_2O_4$), Sodyum Borat ($Na_2B_2O_4$ ve $Na_5B_2O_6$) ve alüminyum oksit fazları tespit edilmiştir (Şekil 7.41). Kobalt oksit ile doplanan iki örnek arasında farklı olarak kobalt alüminat ve alüminyum borat fazlarının oluştuğu görülmektedir. Bu faz farklılığı sertlik ve kırılma indisi özelliklerinde değişikliğe sebep olduğu söylenebilir. D7.28 kodlu örneğin XRD ile yapılan mineralojik analiz sonucu yer almaktadır. Sodyum Borat ($Na_4B_2O_5$), Nikel Oksit (NiO) ve Alüminyum oksit (Al_2O_3) fazları tespit edilmiştir (Şekil 7.42). D7.32 kodlu örneğin XRD ile yapılan mineralojik analiz sonucunda Alüminyum krom oksit ve Alüminyum oksit fazları tespit edilmiştir (Şekil 7.43). D7.34 kodlu örnekte ise krom oksit (Cr_2O_3), Alüminyum Krom Oksit, Sodyum Alüminat, Alüminyum Borat, Alüminyum oksit ve bor alüminyum fazları tespit edilmiştir (Şekil 7.44). Krom oksit miktarının değişmesi ile birlikte

faz yapısında büyük bir değişiklik meydana geldiği görülmektedir. D7.32 kodlu örnekte yapı içinde bulunması gereken bor elementinin amorf yapı içerisinde dağıldığı düşünülmektedir. D7.43 kodlu örnekte, Alüminyum oksit (Al_2O_3), Demir oksit (Fe_2O_3), Sodyum Borat ($Na_2B_4O_7$) ve Sodyum demir oksit ($Na_{10}Fe_{16}O_{29}$) fazları tespit edilmiştir (Şekil 7.45). Diğer örneklerin aksine sinterleme süresinin artması oluşan sodyum borat fazında değişikliğe sebep olduğu düşünülmektedir. D7.55 kodlu örnekte Alüminyum Borat ($Al_4B_2O_9$), Sodyum Borat (NaB_3O_5, Na_5AlO_4), Bakır borat ($Cu_3B_2O_6$), bakır oksit (CuO) ve alüminyum oksit fazları tespit edilmiştir (Şekil 7.46). Bu örneğinde sinterleme süresinin az olması oluşan sodyum borat fazlarda değişikliğe neden olduğu söylenebilir. Mineralojik analiz sonucu oluşan sodyum borat fazlarının değişikliği sertlik ve kırılma indislerinde değişikliğe sebep olmaktadır.

Süs taşlarının en önemli özelliklerinden biride sertliktir. Süs taşları Mohs Sertlik Sıralamasına göre sıralanmaktadır. Bu çalışmada Vickers mikro sertlik testi sekiz örneğe uygulanmıştır. Elde edilen Vickers mikro sertlik değerleri, Eşitlik 7.1'de ki denklem kullanılarak Mohs Sertlik Değeri de hesaplanmıştır. Doplanmamış referans numunenin mikro sertlik değeri 125.6 H_v olarak ölçülmüştür. Kobalt oksit ile yapılan doplama neticesinde örneklerin sertliğinde bir düşüş meydana gelmiştir. Ancak bu düşüş D7.15 kodlu örnekte daha fazla olduğu görülmektedir. Sertlik değerinin bu örnekte azalması SEM mikroyapı görüntülerinde tespit edilen mikro çatlaklardan kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Özellikle nikel oksit ile doplanmış örneğin sertlik değerinin çok düşük çıktığı tespit edilmiştir. Bunun ana nedeni SEM görüntülerinde görüldüğü üzere büyük çatlak ve porozitelerden kaynaklanmaktadır. Diğer doplanmış örneklerde beklenildiği gibi metal oksit ilavesi ile sertliklerinde artış meydana gelmiştir. İmitasyon sodalit olarak elde edilen D7.15 kodlu örneğin Mohs Sertlik Değeri 3,2 iken, doğal sodalitin sertlik değeri 5,5-6 arasındadır. İmitasyon obsidyen ve oniks olarak elde edilen D7.19 kodlu örneğin Mohs Sertlik Değeri 3,4 iken doğal obsideyenin sertlik değeri 5-6 civarında, oniksin ise 7'dir. İmitasyon prehnit olarak elde edilen D7.29 kodlu örneğin Mohs Sertlik Değeri 2 iken, doğal prehnitin Mohs Sertlik Değeri 6 ile 6,5 arasında değişmektedir. İmitasyon aventurin olarak elde edilen D7.32 kodlu örneğin Mohs Sertlik Değeri 5,20 iken doğal aventuruinin Mohs Sertlik Değeri 6,5-7 arasında değişmektedir. İmitasyon jadeit olarak elde edilen D7.34 kodlu örneğin Mohs Sertlik Değeri 5,27 iken doğal jadeitin Mohs Sertlik Değeri 6,5-7 civarındadır. İmitasyon akik, jasper ve karnelyan olarak elde edilen D7.43 kodlu örneğin Mohs Sertlik Değeri 4,90 iken doğal akiki karnelyan ve jasperın Mohs Sertlik Değeri 7'dir. Bu çalışma kapsamında elde edilen imitasyon örneklerinin sertlikleri doğal süs taşlarından daha düşüktür. Ancak imitasyon süs taşları sadece görsel olarak benzer yapıda olması gerektiği için sertlik değerleri tolere edilebilir bir değerdedir.

Elde edilen örneklerin hem bulk yoğunlukları hem de Arşimet yöntemi kullanılarak özgül ağırlıkları hesaplanmıştır. Bulk yoğunluğu örnek ağırlığının örnek hacminin oranı olarak hesaplanmakta iken, özgül ağırlık ise malzemenin yoğunluğunun bir referansın yoğunluğu ile ilişkili bir yoğunluktur. Referans olarak genellikle su kullanılmaktadır. Bulk yoğunluğu ölçülürken örneğin çapı, yüksekliği ve ağırlığı ölçülmüştür. Özgül ağırlık ise özgül ağırlık terazisi kullanılarak ölçülmüştür. Doplanmış olan örneklerin doplanmamış örneğe göre özgül ağırlıklarının arttığı görülmektedir. Kobalt doplu örnekler incelendiğinde kobalt miktarı 0.025gr, 2gr ve 3gr olan örneklerin özgül ağırlığının 1gr kobalt oksit doplu olanlara göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Nikel oksit miktarının, sinterleme sıcaklığının ve sinterleme süresinin artması ile birlikte örneklerin özgül ağırlıklarında artış meydana geldiği görülmüştür. Krom oksit içeren örneklere bakıldığında krom oksit miktarının artması özgül ağırlığın artmasına neden olmuştur. Diğer oksitler ile doplanan örneklerin aksine Fe_2O_3 katkılı örneklerde doplanma oranı arttıkça özgül ağırlığında azalma meydana gelmiştir. Bunun nedeni yapı içerindeki gözeneklerdir. Fe_2O_3 oranının artması ile yapıdaki gözenek oranı artmıştır bu da yoğunluğu etkilemiştir. Bakır oksit miktarının artması da özgül ağırlığın artışına neden olmuştur. Kısacası renklendirici oksitler ile doplanmış örneklerin özgül ağırlıkları doplanmamış örneklere göre arttığı görülmektedir.

Örneklerin renk ölçümleri L*a*b cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Renklendirici oksit miktarının artması örnek renginin değişmesine sebep olmaktadır.

Örneklerin parlaklık ölçümleri glossmetre kullanılarak ölçülmüştür. Örnek parlaklıklarının çok yüksek olmadığı görülmektedir. Ancak renklendirci oksit ile doplama yapılan örneklerin, doplanmamış örneğe göre parlaklığının daha yüksek olduğu görülmektedir. Aynı şekilde aynı renklendirici oksit ile doplanan örnekler incelendiğinde renklendirici oksit miktarının artması parlaklığı olumlu yönde etkilediği görülmektedir. Özellikle D7.19, D7.34 ve D7.43 kodlu örneklerin parlaklıkları en yüksek değerde ölçülmüştür.

Biri referans olan 8 imitasyon örneğin mikro yapılarını incelemek amacıyla SEM görüntüleri çekilmiş olup bölgesel EDX analizi yapılmıştır. Tüm örneklerin kristalleri köşeli ve oval yapıda olduğu görülmektedir. Atom numarası küçük olması EDX analizinde bor elementinin tespit edilmesinde sıkıntı oluşturmaktadır. Ancak bölgesel olarak yapılan EDX analizinde bazı bölgelerde bor elementi tespit edilmiştir. Bu da o bölgede bor miktarının yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Kobalt doplu D7.15 kodlu örnekte (Şekil 7.57) çatlakların olduğu görülmektedir. Buda örnek sertliğini etkilemektedir. Nikel oksit ile doplanmış örnekte (Şekil 7.72) ise çok büyük çatlak ve oyuklar görülmektedir. Bundan dolayı sertlik değeri en

düşük hesaplanan örnektir. D7, D7.28, D7.32, D7.34 ve D7.55 kodlu örneklerde ise yapıda porozitelerin olduğu görülmektedir. EDX analizinden alınan sonuçlar ile XRD verilerinin örtüştüğü görülmektedir.

Bir süs taşının en önemli ve en belirgin özelliklerinden biri de kırılma indisidir. Malzemenin optik özelliklerinin incelenmesi ve kırılma indisinin hesaplanması amacı ile UV-VIS ölçümü yapılmıştır. 190 ile 1190 nm dalga boyu aralığında ölçüm yapılmıştır. Kırılma indisi hesaplamaları yansıma değerleri ve absorblanma katsayısı kullanılarak

$n= [(4R/(1-R)^2)-k^2]^{1/2}-(R+1/R-1)$ formülle hesaplanmıştır.

Bu analiz neticesinde en yüksek yansıma miktarının D7.15 kodlu örnekte olduğu görülmektedir. Daha sonra ise bakır oksit katkılı D7.55 kodlu örneğin yansıma miktarının yüksek olduğu görülmektedir. Referans örneğimiz olan D7 kodlu örneğin yansıma değerinin de diğer doplanmış örneklere (D7.19, D7.28, D7.32, D7.34, D7.43) göre daha yüksek olduğu grafiklerde açıkça görülmektedir. Krom oksit ile doplanmış örnekler kıyaslandığında krom oksit oranının artması yansıma miktarının artışına sebep olmaktadır. Ancak kobalt oksit ile doplanmış örnekler karşılaştırıldığında ise bu durum değişmekte ve yansıma değerinin azaldığı görülmektedir. Örneklere ilave edilen metal oksitlerin yansıma derecesini azalttığını söylemek genel olarak mümkündür. Sadece iki örnekle bunun aksi durum görülmektedir. Bu da örneklerin kristal yapısından kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Genel olarak en yüksek yansıma derecelerinin 340 ile 360 nm dalga boyunda tespit edildiği 540- 560 nm dalga boyu aralığında bir absorblanma olayından kaynaklı bir çukur oluşumu görülmektedir. 590 nm dalga boyundan itibaren ise tüm örneklerde yansıma derecesinin bir miktar arttığı görülmektedir.

Süs taşlarının önemli bir özelliği de ışığı geçirme özelliğidir. Işığı geçirme derecesine göre saydam, yarı saydam ya da opak özellikte olmaktadır. Bunun neticesinde UV-VIS analizi sonucunda elde edilen imitasyon örneklerin geçirgenlik grafikleri çizilmiştir. Geçirgenlik miktarlarının çok düşük olduğu görülmektedir. Geçirgenlik ve yansıma grafiklerinin birbirine benzer olduğu görülmektedir. Yansıma değerlerinde olduğu gibi geçirgenlik değerlerinin de en yüksek olduğu aralık 290 ile 390 nm arasında olduğu görülmektedir. Yani UV dalga boyuna ait bölgede yansıma ve geçirgenlik değerleri yüksektir.

Hesaplanan kırılma indisi değerlerine bakıldığında renklendirici oksitler ile doplama sonucunda kırılma indisi değerlerinde azalma meydana geldiği görülmektedir. Fakat D7.15 ve D7.55 kodlu örneklerde doplama ile birlikte kırılma indisi değerinin arttığı görülmektedir. Bu kırılma indisi değerinin artışının nedeni yansıma ve geçirgenlik grafiklerinde görüldüğü üzere

burada olan artıştan meydana geldiği görülmektedir. Yasıma ve geçirgenlik miktarı arttıkça kırılma indisinin de arttığını söyleyebiliriz. Kırılma indislerinin dalga boyu ile değiştiği görülmektedir.

Nihayi sonuç olarak bu tez çalışması ile cam-seramik yapıda opak, yeşil ve tonları, mavi, siyah, gri ve kahvemsi kırmızı renkli imitasyon malzemeler elde edilmiştir. Bunların süstaşı endüstrisinde kullanılabileceği düşünülmektedir. Laboratuvar şartlarından elde edilen bu imitasyon süstaşları ile onların benzeri doğal eşleniği olan süstaşları karşılaştırıldığında, imite süstaşlarının sertlik parlaklık ve kırılma indisi değerlerinin, doğal olanlara göre oldukça düşük değerlerde olduğu saptanmıştır. Ancak imitasyon süstaşı kavramının, sentetik süstaşı kavramından farklı olarak, sadece görsel olarak doğalına benzemesi gerektiği kuralı gereğince, ve de diğer fiziksel ve kimyasal özelliklerinin aynı olması gerekmediğinden dolayı, bu düşük ve benzemeyen verilerin tolere edilebilir bir durum olduğu yorumlanmıştır.

İmitasyon süstaşı yapımının en önemli kuralı maliyetlerinin çok ucuz olmasıdır. Bu kural gereği, yapılan ekonomik analiz hesaplarına göre elde edilen bu imitasyon süstaşı örneklerinin, doğal eşleniklerine göre tahminen 25 kat, sentetik eşleniklerine göre tahminen 10 kat daha ucuz olacağı saptanmıştır. Hattabunların endüstriyel boyutta üretimde (seri üretimlerinde) daha da ekonomik bir fiyat maliyetinin söz konusu olacağı bir gerçektir.

Bu çalışmanın devamında;

- Mikro yapıda oluşan çatlakların ve porozitelerin giderilmesi için çalışmalar yapılabilir.
- Örneklerin farklı renklerde oluşmasını sağlamak için kullanılan metal oksitlerin literatürde görüldüğü gibi farklı oranlarda karıştırılarak ya da farklı miktarlarda doplama yapılarak renk gelişmesi sağlanabilir.
- Temel hammadde olan $Na_2B_4O_7$ ve Al_2O_3'ün bileşen miktarları değiştirilerek yeni sıcaklık ve sürelerde sinterleme çalışmaları yapılabilir.
- Örneklerin opak görüntüsünü saydam ya da yarı saydam hale getirebilmek için SPS (Spark plasma sinterleme) ya da sıcak sinterleme işlemi yapılabilir.
- Özellikle düşük parlaklık değerine sahip örneklerin parlaklıklarının iyileştirilmesi için çalışmalar yapılabilir.
- Süs taşlarının iyileştirilmesinde kullanılan cam dolgu malzmesi olarak denemeler yapılabilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Abdu, Y.A.,Hull, S.K., Fayek, M., Hawthorne, F.C. (2011). The Turquoise-Chalcosiderite Cu (Al, Fe3+) 6 (PO4) 4 (OH) 8· 4H2O Solid-Solution Series: a Mössbauer Spectroscopy, XRD, EMPA, and FTIR study*, American. Mineralogist,* 96 (10), 1433–1442.

Achiwawanich S., Brack, N., James, B.D., Liesegang, J. (2006). Surface Analysis of Heat-Treated Mong Hsu rubies, *Applied Surface Science* 252, 8646–8650.

Agrosi, G., , Tempesta, G., Scandale, E. , Legnaioli, S., Lorenzetti, G., Pagnotta, S., Palleschi, V., Mangone, A., Lezzerini, M. (2014). Application of Laser Induced Breakdown Spectroscopy to the İdentification of Emeralds From Different Synthetic Processes, / *Spectrochimica Acta Part B* 102 48–51.

Alderton, D. (2020). Olivines. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. doi:10.1016/b978-0-08-102908-4.00040-0

Angeli, F., Jollivet, P., Charpentier, T., Fournier, M., Gin, S. (2016).Structure and Chemical Durability of LeadCrystalGlass, *EnvironmentalScience&Technology,* 50(21), 11549–11558.

Anovitz, L. M., Mamontov, E., ben Ishai, P., & Kolesnikov, A. I. (2013). Anisotropic Dynamics of Water Ultraconfined in Macroscopically Oriented Channels of Single-Crystal Beryl: A multifrequency Analysis. *Physical Review E, 88(5)*.doi:10.1103/physreve.88.052306

Arockiaraj, M., Clement, J., Paul, D., & Balasubramanian, K. (2020). Quantitative Structural Descriptors of Sodalite Materials. *Journal of Molecular Structure,* 128766.doi:10.1016/j.molstruc.2020.128766

Aurisicchio, C., Conte, A. M., Medeghini, L., Ottolini, L., & De Vito, C. (2018). Major and Trace Element Geochemistry of Emerald From Several Deposits: Implications For Genetic Models and Classification Schemes. *Ore Geology Reviews*, 94, 351–366. doi:10.1016/j.oregeorev.2018.02.001

Aydın, B., Toplan, Ö.H., Toplan N. (2019). $CaO\text{-}Al_2O_3\text{-}SiO_2$ (CAS) esaslı cam-seramiklerinin kristalizasyonkinetiğine farklı hammaddelerin etkisi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 19, 195-203.*

Ayvacıklı, M., Garcia-Guinea, J., Jorge, A., Akalın, İ., Kotan, Z., & Can, N. (2012).Luminescence and Micro-Raman İnvestigations on İnclusions of Unusual Habit in Chrysoprase from Turkey. *Journal of Luminescence*, 132(7), 1750–1758.doi:10.1016/j.jlumin.2012.02.018 .

Baggio, S. B., Hartmann, L. A., Massonne, H.-J., Theye, T., & Antunes, L. M. (2015).Silica Gossan as a Prospective Guide for Amethyst Geode deposits in the Ametista do Sul mining District, Paraná Volcanic Province, Southern Brazil. *Journal of Geochemical Exploration*, 159, 213–226.doi:10.1016/j.gexplo.2015.09.011

Balitsky, V.S, Balitskaya, L.V., Lu, T., Shigley, J., E. (2002). Experimental Study of The Simultaneous Dissolution and Growth of Quartz and Topaz, *Journal of Crystal Growth* 833–836.

Barlet, M., Delaye, J.-M., Charpentier, T., Gennisson, M., Bonamy, D., Rouxel, T., & Rountree, C. L. (2015). Hardness and toughness of sodium borosilicate glasses via Vickers's indentations. *Journal of Non-Crystalline Solids,* 417-418, 66–79.doi:10.1016/j.jnoncrysol.2015.02.005

Biedermann, A. R., Koch, C. B., Pettke, T., & Hirt, A. M. (2015). Magnetic Anisotropy in Natural Amphibole Crystals. *American Mineralogist,* 100(8-9), 1940–1951.doi:10.2138/am-2015-5173.

Binev, D., Nikolav, V., Peshev, P. (2005). Regions of phasecrystallization in theternarysystemNa_2O-Al_2O_3-B_2O_3.*Journal of AlloyCompounds*, 391 256–261.

Balasubramanian, A. (2017). Quartz Group of Mınerals, Educational Video Documentaries in Earth, Atmospheric and Ocean Sciences, *Thecnical Report.*

Boggs Jr., S. (2009) Petrology of Sedimentary Rocks. *2nd Edition, Cambridge University Press*, New York, 600.

Boonin K., Songpakob, W., Aminah, N.S., Kaewkhao, J. (2018) "Fabrication of Ruby by Flame Fusion Technique and Their Properties Materials Today: *Proceedings (5),* 15010–15013.

Bootkul, D., Kulrat, N., Dangtip, S., Intarasiri, S. (2017). Development of Glass-Ceramic From Soda-Lime-Silica Glass Waste by Sintering Method for Opal Imitation, *Materials Today: Proceedings 4,* 6043–6050.

Bosshart, G. (1983). Cobalt Glass as a Lapis Lazuli Imitation. *Gems & Gemology*, 19, 4

Boudiaf, S., Nasrallah, N., Mellal, M., Belabed, C., Belhamdi, B., Meziani, D., Mehdi, B., Trari, M. (2020). Synthesis and Characterization of Semiconductor CoAl2O4 for Optical and Dielectric Studies: Application to Photodegradation of Organic Pollutants Under Visible Light. *Optic*,(219), 165038. doi:10.1016/j.ijleo.2020.165038

Bublikova, T.M., Balitskya, V.S., Khanina, D.A., Nekrasova, A.N. (2019). Features of the Internal Structure of a Synthetic Malachite, *Moscow University Geology Bulletin,* 74, No. 1, 73–80.

Bulatovic, S. M. (2015). Beneficiation of Feldspar Ore. Handbook of Flotation Reagents: Chemistry, *Theory and Practice, 107–119*. doi:10.1016/b978-0-444-53083-7.00032-4

Bunaciu, A. A., Udriştioiu, E. Gabriela, Aboul-Enein, H. Y. (2015). X-Ray Diffraction: Instrumentation and Applications. *Critical Reviews in AnalyticalChemistry,* 45(4), 289–299.doi:10.1080/10408347.2014.949616

Bushby, J. (2005). Measuring The Hardness of Minerals, *APMC* 10 (2), 26-29.

Callister, D.W., Rethwisch, D.D. (2015). Malzeme Bilimi ve Mühendsiliği, Nobel Akademi Yayıncılık, ISBN: 9786051334189, 992.

Candar, M. (2007). Batı Ve Orta Anadoludan Bazı Potansiyel Gemolojik Örnekler Ve Jeolojik Konumları, *Doktora tezi, Çukurova Üniversitesi*, Adana.

Cartier, L. E. (2019). Gemstones and Sustainable Development: Perspectives and Trends in Mining, Processing and Trade of Precious Stones. *The Extractive Industries and Society.* doi:10.1016/j.exis.2019.09.005.

Chaiwong, C., Yu, D.L., Schinarakis, K., Vilaithong, T. (2005). Optical Property Modification of Ruby and Sapphire by N-ion Implantation, *Surface & Coatings Technology* 196, 108–112.

Chauviré, B., Rondeau, B., Alexandre, A., Chamard-Bois, S., La, C., & Mazzero, F. (2018). Pedogenic Origin of Precious Opals from Wegel Tena (Ethiopia): Evidence From Trace Elements and Oxygen İsotopes. *Applied Geochemistry,*doi:10.1016/j.apgeochem.2018.12.028.

Chen, C., Wei, W.J., Roosen, A. (2006). Crystallizationkinetics of La_2O_3–Al_2O_3–B_2O_3glass–ceramic composites, *Journal of theEuropeanCeramicSociety*,26(15), 3325-3334.

Chindudsadeegul, P., Jamkratoke M. (2018). Effect of Heat Treatment on The Luminescence Properties of Natural Apatite, *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 204, 276–280.

Choudhary, G. (2010). A New Type of Composite Turquoise, *Gems & Gemology,* 46, No.2, 106-113.

Çalık, A., Arzoğulları, U. (2014).Occurrence of Dendritic Agate from Dereyalak Village (Eskişehir) – NW of Turkey and its Relationship to Sepiolite Nodules in The Region. *Journal of African Earth Sciences*, 97, 99–108.doi:10.1016/j.jafrearsci.2014.04.028

Çiftçi, E., Selim, H., Sendir, H. (2019). Authentic Semi-precious and Precious Gemstones of Turkey: Special Emphasis on the Ones Preferred for Prayer Beads*, 14th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM2019),*183-188.

Dill, G.H., Weber, B. (2013), Gemstones and geosciences in space and time. Digital maps to the "Chessboard classification scheme of mineral deposits", *Earth Science Reviews*,127,262-269.

Dobrovinskaya, E. R., Lytvynov, L. A., & Pishchik, V. (2009). Properties of Sapphire. *Sapphire, 55–176. doi:10.1007/978-0-387-85695-7_2*

Dubin, L.S. (1995). TheHistory of Beads. *Tamesand Hudson-London*, Japan, s.176.

Dumańska-Słowik, M., Toboła, T., Jarmołowicz-Szulc, K., Naglik, B., Dyląg, J., & Szczerba, J. (2017). Inclusion Study of Hourglass Amethyst from Boudi (Morocco) by Raman

Microspectroscopy and Microthermometric Measurements. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy,* 187, 156–162. doi:10.1016/j.saa.2017.06.053

Dutkiewicz, A., Landgrebe, T. C. W., & Rey, P. F. (2015). Origin of Silica and Fingerprinting of Australian Sedimentary Opals. *Gondwana Research,* 27(2), 786–795. doi:10.1016/j.gr.2013.10.013

Earle, S. (2015). Physical Geology, *Libretext.*

Emmett J.L., Scarratt, K., McClure, S.F., Moses, T., Douthit, T.Y., Hughes, R., Novak, S., Shigley, J.E., Wang, W., Bordelon, O., Kane, K.E. (2003). Beryllium Diffusion of Ruby and Sapphire. *Gems & Gemology*, 39, 2, 84- 135.

Ercenk, E. (2017). MgF_2 katkısının vermikülit esaslı cam-seramiklerin işlenebilirlik özellikleri üzerine etkisi,*Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 21(2), 2017, 203-209*

Fallick, A. E., Giuliani, G., Rigaudier, T., Boyce, A. J., Pham, V. L., & Pardieu, V. (2019). Remarkably Uniform Oxygen İsotope Systematics for Co-Existing Pairs of Gem-Spinel and Calcite in Marble, With Special Reference to Vietnamese Deposits. *Comptes Rendus Geoscience.* doi:10.1016/j.crte.2018.11.008.

Fernıe, W. T. (2013). Precıous Stones. *Precious Stones*, 1–356. doi:10.1016/b978-1-4831-6684-1.50007-4

Fridrichová, J., Bačík, P., Ertl, A., Wildner, M., Dekan, J., & Miglierini, M. (2018). Jahn-Teller Distortion of Mn^{+3} Occupied Octahedra in Red Beryl From Utah İndicated by Optical Spectroscopy. *Journal of Molecular Structure*, 1152, 79–86. doi:10.1016/j.molstruc.2017.09.081

Fritsch, E., Gaillou, E., Rondeau, B., Barreau, A., Albertini, D., & Ostroumov, M. (2006). The Nanostructure of Fire Opal. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 352(38-39), 3957–3960.doi:10.1016/j.jnoncrysol.2006.08.005

Frost, R.L., Reddy, B.J., Martens, W.N., Weier, M. (2006). The Molecular Structure of The Phosphate Mineral Turquoise-a Raman Spectroscopic Study, *Journal of Molecular Structure. 788, 224–231.*

Gabash, H., Klauser, F., Bertel, E., Rauch,T. (2008). Colorıng of Topaz by Coatıng and Dıffusıon Processes: An X-Ray Photoemıssıon Study of What Happens Beneath The Surface*, Gems&Gemology,* 148-154.

Gaillou, E., Delaunay, A., Rondeau, B., Bouhnik-le-Coz, M., Fritsch, E., Cornen, G., & Monnier, C. (2008). The Geochemistry of Gem Opals as Evidence of Their Origin. *Ore Geology Reviews,* 34(1-2), 113–126.doi:10.1016/j.oregeorev.2007.07.004

Gao,J., Yuan,X., Chen, B., Liu,Z., Su,W. (2020). High-Pressure Phase Transformation of Carbonate Malachite Cu2(CO3)(OH)2 Driven by [CuO6] Regularization and [CO3] Rotation, *Geoscience Frontiers* (12) 965-973.

Goreva, J. S., Ma, C., & Rossman, G. R. (2001). Fibrous Nanoinclusions in Massive Rose Quartz: The Origin of Rose Coloration. *American Mineralogist,* 86(4), 466–472.doi:10.2138/am-2001-0410

Götze, J., Möckel, R., Vennemann, T., & Müller, A. (2016). Origin and Geochemistry of Agates in Permian Volcanic Rocks of the Sub-Erzgebirge Basin, Saxony (Germany). *Chemical Geology,* 428, 77–91.doi:10.1016/j.chemgeo.2016.02.023

Götze, J., Schrön, W., Möckel, R., & Heide, K. (2012). The Role of Fluids in the Formation of Agates.ChemieDerErde-*Geochemistry,*72(3), 283–286.doi:10.1016/j.chemer.2012.07.002

Greenfıeld, S.,& Clıft, M. (1975). General Propertıes Of The Condensed Phosphates. *Analytical Chemistry of the Condensed Phosphates, 1–36.*

Groat, L. A., Giuliani, G., Marshall, D. D., & Turner, D. (2008). Emerald Deposits and Occurrences: A review. *Ore Geology Reviews,* 34(1-2), 87–112.doi:10.1016/j.oregeorev.2007.09.003

Groat, L. A., Turner, D. J., & Evans, R. J. (2014). Gem Deposits. *Treatise on Geochemistry,* 595–622. doi:10.1016/b978-0-08-095975-7.01126-8

Gruber, D. P., Buder-Stroisznigg, M., Wallner, G., Strauß, B., Jandel, L., &Lang, R. W. (2012). Characterization of Gloss properties of Differently Treated Polymer Coating Surfaces by Surface Clarity Measurement Methodology. *AppliedOptics,* 51(20), 4833.doi:10.1364/ao.51.004833

Haldar, S. K.,& Tišljar, J. (2014). Basic Mineralogy. *Introduction to Mineralogy and Petrology, 39–79.*

Haldar, S.K., (2020). Introduction to Mineralogy and Petrology, *Second Edition, Elsiver.*

Hasanuzzaman, M., Rafferty, A., Sajjia, M., Olabi, A.G. (2016). Properties of GlassMaterials, *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering.*

Hatipoğlu, M. (2007). Türkiye'de süstaşı potansiyeli, rezervleri, madenciliği ve Ekonomisi[Gemstone potential, reserves, mining and economics in Turkey], *6. Uluslararası Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu (1-3 Şubat), İzmir, 201-212.*

Hatipoğlu, M. (2020b). Arkeo-Gemoloji [Archaeo-Gemmology].*TalebeYayınDağıtım, Kırtasiye, Ar-Ge San. veTic.Ltd.Şti. Niğde,* 1. Baskı, 467s. E-ISBN: 978-625-7247-00-9

Hatipoğlu, M. (2020a). Süstaşları Mineralojisi *[Mineralogy of The Gemstones]*.TalebeYayınDağıtım, Kırtasiye, Ar-Ge San. Ve Tic.Ltd.Şti. Niğde, 3. Baskı, 195s. E-ISBN: 978-625-7247-11-5

Hatipoğlu, M. (2021). Süs taşları Mineralojisi Ders Notları.

Hatipoğlu, M., Ajò, D., & Sezai Kırıkoğlu, M. (2011a). Cathodoluminescence (CL) Features of The Anatolian Agates, Hydrothermally Deposited in Different Volcanic Hosts from Turkey. Journal of Luminescence, 131(6), 1131–1139.doi:10.1016/j.jlumin.2011.02.013.

Hatipoğlu, M., Babalık, H., Chamberlian, C. (2010a). Gemstone Deposit in Turkey, *Rock&Minerals*, 85:2, 124-133.

Hatipoğlu, M., Can, N., & Karali, T. (2010b).Effects of Heating on Fire Opal and Diaspore From Turkey. Physica B: Condensed Matter, 405(7), 1729–1736.doi:10.1016/j.physb.2009.12.078

Hatipoğlu, M., Kılıç, S., Babalık, H., Güner, E., Güney, H. (2018). Süstaşlarının (yumrusal ve kristalin görünüşlü) insan hayatı üzerine şifasal-terapi (korunma ve tedavi) etkileri; Antik ve Orta Çağlarda kullanılmış bazı örnekleri [Healing-therapy (protectiveandtreatment) effects on thehuman life of thegemstones (havingnodularandcrystallineappearances); Somesamplesused in the Ancient andMedieval Times]. *International Journal of Scientific and Technological Research, 4(7), 11-37. ISSN: 2422-8702*

Hatipoğlu, M., Ören, U., & Kibici, Y. (2011b).Micro-Raman Spectroscopy of Gem-Quality Chrysoprase From The Biga–Çanakkale Region of Turkey. Journal of African Earth Sciences, 61(4), 273–285.doi:10.1016/j.jafrearsci.2011.08.002

Hawthorne, F. (1985), Towards a structural classification of minerals: The $^{VI}M^{IV}T_2\Theta_m$ Minerals, *American Mineralogist*, (70), 455-473.

Heaney, P. J., Fisher, D. M. (2003). New İnterpretation of The Origin of Tiger's-eye. *Geology,* 31(4), 323. doi:10.1130/0091-7613(2003)031<0323:niotoo>2.0.co;2.

Howie, R. A. (2005). Minerals | Pyroxenes. *Encyclopedia of Geology. Syf. 570-575*

Holland W., Beall G. (2002). Glass-ceramic technology*,"The American Ceramic Society",* Westerville, OH, USA, 372.

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Struct_Turquoise.png

https://en.wikipedia.org

https://libretexts.org/

https://prosafety.com.tr

https://www.gemsociety.org/article/understanding-gem-synthetics-treatments-imitations-part-2-crystal-growth/

https://www.gemsociety.org/article/yttrium-aluminium-garnet-information/

https://www.gia.edu/gem-imitation.

https://www.sciencelearn.org.nz/images/45-types-of-reflection

https://www.xrite.com/blog/lab-color-space

Hu, Y., Lu, R. (2020). Color Characterıstıcs of Blue to Yellow Beryl From Multıple Orıgıns, *Gems & Gemology,* (56) 1, 54-65.

Huang, Y. (2019). Modeling and analysis of SiO_2 deposition during high-purity fused silica glass synthesis by $SiCl_4$ chemical vapor deposition, *Ceramics International*, 45, 10740–10745.

Huang, Z.H., Wang, T., Zhang, X.L., Zheng, L.N., Xue, G., Liang, J.S. (2016). Preparation of Tourmaline/Graphene Oxide and İts Application in Thermal İnterface Materials, *Journal Composite Material*, 50, 3953-3960.

Hui, R. (2020). Optical fibers.*Introduction to Fiber-Optic Communications*, 19–76. doi:10.1016/b978-0-12-805345-4.00002-0.

Hutton, D. R. (1964). Paramagnetic Resonance of Fe^{++} in Amethyst and Citrine Quartz. *Physics Letters,* 12(4), 310–311.doi:10.1016/0031-9163(64)90971-0

Intarasiri, S., Bootkul, D., Yu, L.D., Kamwanna, T., Singkarat, S., Vilaithong T. (2009). Gemological Modification of Local Natural Gemstones by Ion Beams, Surface & Coatings Technology 203, 2788–2792.

Işık, İ. (2007). DPÜ Seramik Mühendisliği Bölümü Genel Jeoloji Ders Notları, syf. 32.

Jones, V. (2021). Phosphates*,Encyclopedia of Geology (Second Edition)*, 422-427.

Kaiser, A., Sporn, D., & Bertagnolli, H. (1994). Phase Transformations and Control of Habit in Lyothermal Synthesis of α-Al2O3. *Journal of the European Ceramic Society,* 14(1), 77-83. doi:10.1016/0955-2219(94)90047-7 .

Kane, R. (2009). Seeking Low-Cost Perfection: Synthetic Gems, *Elements*, (5), 169–174.

Kane, R. E., Kammerling, R. C., Koivula, J. I., Shigley, J. E. ve Fritch, E. (1990). The Identification of Blue Diffusion-Treated Sapphire, Gemological Institute of America, Gems & Gemology, 26 (2), 115-133.

Karakaya, N., Çelik, M. (1998). Sistematik Mineraloji, *Bizim Büro Basımevi, Ankara*.

Karasu, B., Akkaşoğlu, E. (2018). Organik Camlar. *El-Cezıri Fen ve Mühendislik Dergisi, 5(2), 512-536.*

Karmakar, B. (2016). Fundamentalsof Glass and Glass Nanocomposites, *GlassNanocomposites*, 3–53.

Katı, M.I., Türemis, M., Keskin, C.I., Taştekin, B., Kibar, R., Çetin, A., Can, N. (2012). Luminescence Behaviour of Beryl (Aquamarine Variety) From Turkey, *Journal of Luminescence*, 132 , 2599–2602.

Kaung, Y., Xu, J., Li, B., Ye, Z., Haung, S., Chen, W., Zhang, D., Zhou, W., Ma, M. (2019). Crystal-Chemical Properties of Synthetic Almandine-Pyrope Solid Solution by X-Ray Single-Crystal and Raman Spectroscops, *Crystals* 9(10), 541.Doi: 10.3390/cryst9100541.

Kawaminami, S., Mochizuki, K., Hahimoto, S., Adachi, N., Ota, T., (2013). "Coloration of Ti-doped Sapphire Grown by The Flame-Fusion Method *Journal of Asian Ceramic Societies*(1) , 362-367

Kibar, R., Garcia-Guinea, J., Çetin, A., Selvi, S., Karal, T., & Can, N. (2007).Luminescent, Optical and Color Properties of Natural Rose Quartz. *Radiation Measurements,* 42(10), 1610–1617.doi:10.1016/j.radmeas.2007.08.007

Koivula, J.I., Kammerling, R.C. (1989) "Opalite": Plastic Imitation Opal with True Play-Of-Color. *Gems & Gemology*, 25, 1

Koivula, J.I., Kammerling, R.C., DeGrihonno, D., Reinitz, I., Fritsch, E., Johnson, M.L. (1996). Gemological Investigation of a New Type of Russian Hydrothermal Synthetic Emerald. *Gems & Gemology,* 32, 1.

Koohpayeh, S.M. (2016). Single Crystal Growth by The Traveling Solvent Technique: A review, *Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials* 62, 22–34.

Korkut, T., Korkut, H., Karabulut, A., & Budak, G. (2011). A New Radiation Shielding Material: Amethyst Ore. *Annals of Nuclear Energy*, 38(1), 56–59.doi:10.1016/j.anucene.2010.08.017

Kunde, G. B.,& Sehgal, B. (2020). Eco-Designed İron Aluminate (FeAl2O4) Freestanding Mesoporous Film and Supported Ultrafiltration Membrane for Wastewater Treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering, 104201. doi:10.1016/j.jece.2020.104201.*

Kuk Lee, Y.,& Jin Chung, S. (1999). The Dependence of Cobalt Concentration on The Growth Temperature in Synthetic Blue Quartz. *Journal of Crystal Growth,* 196(1), 151–155. doi:10.1016/s0022-0248(98)00817-3

Lai, L.T. (2017). Coated Berly Imitating Emerald, *Gems & Gemology*,53,4

Lang,S.B. (2004). A 2400 Year History of Pyroelectricity: From Ancient Greece to Exploration of the Solar System, *Advice Application Ceramic* (103), 65-70.

Lebernegg, S., Tsirlin, A. A., Janson, O., & Rosner, H. (2013). Spin Gap in Malachite Cu2(OH)2CO3 and İts Evolution Under Pressure. *Physical Review B*, 88(22). doi:10.1103/physrevb.88.224406

Lee, H.B., Teraji, T., Ito, T. (2006a). Bleaching and Micro-Cracking Phenomena Induced in Various Types of Sapphires by keV-Electron Beam Irradiations, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 248, 311–318.

Lee, H.B., Teraji, T., Ito, T. (2006b). Different Behaviors of F^+ Centers Due to Electron Beam Irradiations Between Synthetic Sapphire and Be-Diffusion-Treated Natural Sapphire, *Journal of Crystal Growth* 292, 546–549.

Lee, L.P., Huang, E., Lee, S. J., Yu, C.S. (2011). Effects of Cr^{+3} Impurity Concentration on The Crystallography of Synthetic Emerald Crystals, *Journal of Crystal Growth* 324, 263–267.

Li, C.-X., Duan, Y.-H., & Hu, W.-C. (2015).Electronic structure, elastic anisotropy, thermal conductivity and optical properties of calcium apatite $Ca_5(PO_4)_3X$ (X = F, Cl or Br). *Journal of Alloys and Compounds*, 619, 66–77

Lima, G., Lameiras, S.F. (2015). COLOR Change of Gemstones by Exposure to Gamma Rays, *International Nuclear Atlantic Conference (INAC*), 4-9.

Limbach, R., Winterstein-Beckmann, A., Dellith, J., Möncke, D., & Wondraczek, L. (2015). Plasticity, crack initiation and defect resistance in alkali-borosilicate glasses: From normal to anomalous behavior. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 417-418, 15–27.doi:10.1016/j.jnoncrysol.2015.02.019

Lucas A. (2012) Gem News International: Bicolored Tourmaline Imitation. *Gems & Gemology*, Vol. 48, No. 1

Lulian –Adrian, P., Elena-Andra, F. (2019). Blue Quartz Around The Globe, *Tom*.(35) 207-213.

Lum, J. E., Viljoen, F., Cairncross, B., & Frei, D. (2016). Mineralogical and Geochemical Characteristics of Beryl (Aquamarıne) From the Erongo Volcanic Complex, Namibia. *Journal of African Earth Sciences*, 124, 104–125.doi:10.1016/j.jafrearsci.2016.09.006

Mackenzie,F.,T. (2013). Carbonate Mineralogy and Geochemistry, *Sedimentology*,147-158.McClure, S.F., Elen, S., Shigley, J.E. (1997). Syhnthetic Moissanite: A New Diamond Substıtute, *Gems &Gemology,* 260- 275.

McClure SF, Smith CP (2000) Gemstone Enhancement and Detection in the 1990s. *Gems & Gemology* 36, 336-359.

McClure, S.F., Shigley, J.E. (2009). Laboratory-Treated Gemstones, *Elements,* 5, 175–178.

McClure, S.F., Smith, C.P., Wang, W., Hall, M. (2006). Identıfıcatıon and Durabılıty of Lead Glass–Fılled Rubıes, *Gems&Gemology*, 22-34.

Mei, Y., Peng, R.-M., Chen, B.-W., & Zheng, W.-C. (2016). Local Compressibilities of Cr^{+3} Octahedral Clusters in The Natural and Synthetic Emerald Crystals. Optik - International Journal for Light and Electron Optics, 127(12), 5152–5154.doi:10.1016/j.ijleo.2016.03.002

Mofrad, A.M., Schellenberg, P.S., Peixoto, C., Hunt, K.H., Hammond, K.D. (2020). Calculated İnfrared and Raman Signatures of Ag^+, Cd^{+2}, Pb^{+2}, Hg^{+2}, Ca^{+2}, Mg^{+2}, and K^+ Sodalites, *Microporous and Mesoporous Materials,* 296, 109983

Mohanty, P., Mohapatro, S., Mahapatra, R., & Mishra, D. K. (2020). Low Cost Synthesis Route of Spinel ZnAl2O4. *Materials Today*: Proceedings. doi:10.1016/j.matpr.2020.03.508

Monreo, E.A. (1986). Green Aventurine Quartz: Mineralogical Characterization, *The Journal of Gemmology,* 20, 2, 83-85.

Nakamura,T., Kubo,T. (1992). Tourmaline Group Crystals Reaction with Water, *Ferroelectrics* (137) 13-31.

Nassau, K. (1981). Cubic Zirkonia: An Update*, Gems&Gemology,* Spring , 9-19.

Nassau, K. (1985). Alterıng The Color of Topaz, *Gems&Gemology*, 26-34.

Nassau, K. (1994). Gemstone enhancement. *Butterworth, London, England*.

Nassau, K. (2009). Gemstone Treatment. *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*.

Nespolo, M. (2020). Pyroxenes. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*.doi:10.1016/b978-0-12-409548-9.12409-1.

Neuhauser, S., Handler, J., (2013) "Colouranalysis of theequineendometrium: Comparison of Spectrophotometry and Computer-assisted Analysis of Photograph Swithin the Lab colour Space System*" TheVeterinary Journal 197, 753–760.*

Nicol, M. J. (2018). The Kinetics of The Dissolution of Malachite in Acid Solutions. *Hydrometallurgy*, 177, 214–217. doi:10.1016/j.hydromet.2018.03.017

Nikbakht, T., Kakuee, O., Rachti, L.M (2017). An efficient ionoluminescence analysis of turquoise gemstone as a weakly luminescent mineral, *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 179 (2017) 171–177.

Oishi, S. (2013). Crystal Growth of Gemstones. *Crystal Growth Technology*, 561–580. doi:10.1016/b978-081551453-4.50019-1.

Öztürk, O., Asikuzun, E., Tascı, A.T., Gokçen, T., Ada, H., Koralay, H., Cavdar, S. (2017). Comprasion of VickersMicrohardness of Undoped and Ru Doped BSSCO Glass Ceramic *Materials, Journal of Material Science: Materials İn Electronic*, 29(5), 3957-3966.

Panchuk, K. (2019). Physical Geology, *First University of Saskatchewan Edition*.

Pardieu, V., Lomthong, P., Sturman, N. (2010). Lead Glass Filled Star Rubies Reportedly From Madagascar, *GIA Research & News*, 1-21.

Patterson, E.,& Baron, J. (2018). Real-time Rocks. *Acm Sıggraph 2018 Educator's Forum on - Sıggraph* '18.doi:10.1145/3215641.3215656

Pekkan, K. Yalçın, G. (2018). Effect of Different Metal Oxides on Vickers Hardness of the Frit Based Crystalline Glazes, *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi,* 7(1), 32-40

Pérez, J. M., Casasola, R., Rincón, J. M., & Romero, M. (2012). Nucleation and crystallisation kinetics of a Na-fluorrichterite based glass by differential scanning calorimetry (DSC). Journal of Non-Crystalline Solids, 358(20), 2741–2748.doi:10.1016/j.jnoncrysol.2012.05.047

Pertille, J., Hartmann, L. A., Duarte, S. K., Arena, K., Rosa, M. L. C. C., & Barboza, E. G. (2013). Gossan Characterization in the Quaraí and Los Catalanes Amethyst Geode Districts (Brazil and Uruguay), Paraná Volcanic Province, Using Rock Geochemistry and Gamma-Spectrometry. Journal of Geochemical Exploration, 124, 127–139.doi:10.1016/j.gexplo.2012.08.017

Petrescu, M.I. (1999). Self Consistency Between The Mohs Hardness and The Vickers Micro hardness for Some Sulphides and Sulphosalts, *UPB Scientific Bulletin, Series B,* 61,3-4.

Pezzotta, F.,& Laurs, B. M. (2011).Tourmaline: The Kaleidoscopic Gemstone. Elements, 7(5), 333–338.doi:10.2113/gselements.7.5.333

Prakasam, M., Largeteau A.,(2015). Hydrothermal Crystal Growth From SiO2 - GeO2 Solıd Solutıon for Pıezoelectrıc Applıcatıons, Crystals and Crystal Growth, 1-25.

Qiao, X., Li, W., Zhang, L., White, N. C., Zhang, F., & Yao, Z. (2019). Chemical and Boron İsotope Compositions of Tourmaline in The Hadamiao Porphyry Gold Deposit, Inner Mongolia, China. *Chemical Geology*.doi:10.1016/j.chemgeo.2019.04.029.

Overton T.W., Shigley J.E. (2008) A history of diamond treatments. *Gems & Gemology*, 44, No. 1,. 32–55

Rahmanpaur, P., Salid, S., Hovd, M., (2017). "Run-To-Run Control of The Czochralski process*, Computers & Chemical Engineering, 104*, syf. 353-365

Rahmanpaur, P., Salid, S., Hovd, M., Gronnig, O., Jomaa, M., (2016). Nonlinear Model Predictive Control of the Czochralski Process, *IFAC-Papers OnLine* 49, 120-125.

Rao, S.K., Sahoo, R.K., Dash, T., Magudapathy, P., Panigrahi,P.K., Nayak, B.B., Mishra, B.K.. (2016). N and Cr ion Implantation of Natural Ruby Surfaces and Their Characterization, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 373, 70–75.

Rapp, G. (2009). Archaeomineralogy. *2nd Ed., (Editors; Herrmann, B., Wagner, G. A.), Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin*.

Read, P. (1988). Beginner's Guide to Gemmology-*Butterworth-Heinemann, ISBN 0 434 91753 2,Printed and bound in Great Britain by Butler & Tanner Ltd, Frome and London.*

Read, P. (2005). Gemmology, *Third Edition, Butterworth-Heinemann, ISBN 0 7506 6449 5*

Read, P. G. (1988). Dictionary of Gemmology. 2nd Ed. *Butterworth & Co. London, England, pp.97.*

Saeseaw, S.,Weeramonkhonlert, V., Khowpong, C., Ng-Pooresatien, N., Sangsawong, S., Raynaud, V., Ito, C. (2015) GIA Lab Reports on a New Cobalt Diffusion Treatment of Natural Spinel. GIA Research & News, 1-22.

Sahoo, R. K., Mohapatra, B. K., Singh, S. K., & Mishra, B. K. (2015). Aesthetic Value İmprovement of The Ruby Stone Using Heat Treatment and İts Synergetic Surface Study. Applied Surface Science, 329, 23–31. doi:10.1016/j.apsusc.2014.12.111

Sakthivel, R., Pradhan, K. C., Nayak, B. B., Dash, T., Sahu, R. K., & Mishra, B. K. (2017). Effect of Fusion Mixture Treatment on the Surface of Low Grade Natural Ruby. *Applied Surface Science*, 403, 267–273. doi:10.1016/j.apsusc.2017.01.167

Sanjeewa, L.D., McMillen, C.D.,Willett, D., Chumanov, G., Kolis, J.W. (2016). Hydrothermal Synthesis of Single Crystals of Transition Metal Vanadatesin the Glaserite Phase, *Journal of Solid State Chemistry*,236, 61–68.

Savaşçın, M.Y., Hatipoğlu, M., (1985). Sarıcakaya (Eskişehir) yöresinin jeolojisi ve kalsedon yataklarının tarihçesi. *38. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 16.*

Schulz- Dubois, O.E. (1971). Flux Growth of Large Crystals by Accelerated Crucıble-Rotatıon Technıque, *Journal of Crystal Growth* 304-306.

Sejkora, J., Skoda, R., Ondrus, P. (2006). New Naturally Occurring Mineral Phases From The Krásno-Horní Slavkov area, Western Bohemia, Czech Republic, *Journal Geoscience*, 51 (1-2), 159–187.

Sejkora, J.,Cícha,J., Jebavá, I. (2011). Minerální Asociace Fosfátů z Čížové u Písku (Česká republika), *Bulletin Mineralogicko-Petrologickeho Oddeleni Narodniho Muzea v Praze 19 (1).*

Selim, H. (2015). Türkiye'nin Değerli ve Yarı Değerli Mücevher Taşları. *İstanbul: İTO Yayınları.*

Setkova, T., Shapovalov, Y., Balitsky, V. (2011). Growth of Tourmaline Single Crystals Containing Transition Metal Elementsin Hydrothermal Solutions, *Journal of Crystal Growth 318, 904–907.*

Smith C.P, McClure S.F (2002) Chart of Commercially Available Gem Treatments. *Gems & Gemology* 38, 294-300.

Sodo, A., Nardone, M., Ajo, D., Pozza, G., Bicchieri, M. (2003). Optical and Structural Properties of Gemmological Materials Used in Works of Art and Handicraft, *Journal of Cultural Heritage* 4, 317–320.

Stone-Sundberg J. (2013a) Sapphire Series Part 1: Introduction to Sapphire and Synthetic Sapphire. *GIA Research & News*.

Stone-Sundberg J. (2013b) Sapphire Series Part 2: The Next Generation of Sapphire Crystal Growth Techniques. *GIA Research & News.*

Su, J., Yuan, G., Zhao, Y., Zeb, S., Sun, G., Cui, Y.,& Jiang, X. (2020). Effect of Composite Additives on Phase Transition and Dispersibility of α-Al2O3. Ceramics International. doi:10.1016/j.ceramint.2020.12.117

Sutherland,F.L., Zaw,K., Meffre, S., Yui, T.F.,Thu,K. (2015). Advances in Trace Element Fingerprinting of Gem Corundum, Ruby and Sapphire, Mogok Area, Myanmar*, Minerals* 5, 61–79.

Şahin, G., Akova, S., (2019). Türkiye'nin Coğrafi İşaret Niteliğindeki Jeolojik Değerleri, A*sia Minor Studies*, Cilt 7 Sayı 2, 335-354.

Tang, C., Zhu, J., Li, Z., Zhu, R., Zhou, Q., Wei, J., He.,H., Tao, Q. (2015). Surface Chemistry and Reactivity of SiO_2 Polymorphs: A comparative Study on α-Quartz and α-Cristobalite. *Applied Surface Science*, 355, 1161–1167.doi:10.1016/j.apsusc.2015.07.214

Teixeira, M. I., Souza, D. N., & Caldas, L. V. E. (2011). Onyx as Radiation Detector For High Doses. *Radiation Measurements*, 46(12), 1894–1896.doi:10.1016/j.radmeas.2011.07.021

Teixeira, M. I.,& Caldas, L. V. E. (2014).OSL Technique for Studies of Jasper Samples. *Radiation Physics and Chemistry*, 95, 148–150.doi:10.1016/j.radphyschem.2012.12.040

Thompson, GRR, ve Turk, J.,(1997), Introduction to Physical Geology, *Physical Geology* (21).

Toka, R.M., Selim, H.H. (2020). Türkiye'deki Yarı Değerli Taşların Satış Stratejilerinin Geliştirilmesi, *İstanbul Ticaret Üniversitesi, Teknoloji ve Uygulamalı Bilimler Dergisi,*(2),(2) syf: 1-9.

Tollan, P., Gurenko, A., & Hermann, J. (2020). Elucidating The Processes Affecting Highly Primitive Lavas of The Borgarhraun flow (northern Iceland) Using Trace Elements in Olivine. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. doi:10.1016/j.gca.2020.07.033

Trindade, N. M., Cruz, M. R., & Yoshimura, E. M. (2020). Correlation Between Thermoluminescence and Pptically Stimulated Luminescence Responses of Natural Alexandrite.*Applied Radiation and Isotopes*, 109402. doi:10.1016/j.apradiso.2020.109402.

Tucker, M. E. (2003). Sedimentary Rocks in the Field, *3rd ed. The Geological Field Guide Series,* ISBN: 0470851236.

Turkoğlu, P. (2019). Zirkonyanın Dayanımı ve Yüzey Özellikleri *Turkiye Klinikleri J Prosthodont-Special Topics* 2017;3(2):84-93

Uecker, R. (2014). The Historical Development of the Czochralski Method. *Journal of Crystal Growth*,401, 7–24

Ueltzen, M. (1993). The Verneuil Flame Fusion Process: *Substances Journal Of Crystal Growth, North Holland* (132), 315-328.

Varshneya, A. K., &Mauro, J. C. (2019).Elastic Propertiesand Hardness of Glass. *Fundamentals of InorganicGlasses,* 187–214. doi:10.1016/b978-0-12-816225-5.00008-0

Venkataramana, C., Botsa, M.S., Shyamala,P., Muralikrishna R.(2020). Photocatalytic Degradation of Polyethylene Plastics by NiAl2O4 Spinels-Synthesis and Characterization*, Journal Pre-proof*,1-17.

Venkateswara Rao, R., Venkateswarulu, P., Kasipathi, C., & SivaJyothi, S. (2013).Trace Elemental Analysis of Indian Natural Moonstone Gems by PIXE and XRD Techniques. *Applied Radiation and Isotopes,* 82, 211–222.doi:10.1016/j.apradiso.2013.07.030

Venkateswarulu, P., Srinivasa Rao, K., Kasipathi, C., & Ramakrishna, Y. (2012). Multielemental Analyses of İsomorphous Indian Garnet Gemstones by XRD and External Pixe Techniques. *Applied Radiation and Isotopes,* 70(12), 2746–2754. doi:10.1016/j.apradiso.2012.07.023

Vodyanitskii, N., Savichev, A.T., (2017). "The İnfluence of Organic Matter on Soil Color Using the RegressionEquations of Optical Parameters in the System CIE-L*a*b* *Annals of Agrarian Science15, 380-385.*

Wakasugi, T., Ota, R., Fukunaga, J. (1992). Glass-forming ability and crystallization tendency evaluated by the DTA method in theNa_2O-B_2O_3-Al_2O_3system, *Journal of American Ceramic Society.* 75, 3129–3132.

Wakasugi, T., Ota, R., Nozawa, Y., Fukunaga, J. (1995). Amorphous regions and crystallization behavior of RF sputtered films in theB_2O3-Na_2O-Al_2O_3system, *Journal ofNon-Crystalline Solids,* 191, 238–247.

Welch, M. D. (2005). Mİnerals, Feldspathoids. Encyclopedia of Geology, 539–541. doi:10.1016/b0-12-369396-9/00268-9

Welch, M. D. (2020). Amphiboles. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*.doi:10.1016/b978-0-08-102908-4.00095-3

White, A. J. R., Laukamp, C., Stokes, M. A., Legras, M., & Pejcic, B. (2017). Vibrational spectroscopy of epidote, pumpellyite and prehnite applied to low-grade regional metabasites. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis, geochem2016–007. doi:10.1144/geochem2016-007*

Widmer, R., Malsy, A.-K., & Armbruster, T. (2014). Effects of Heat Treatment on Red Gemstone Spinel: Single-Crystal X-ray, Raman, and Photoluminescence study. *Physics and Chemistry of Minerals,* 42(4), 251–260.

Wise, M. (2020) Gems and Gem Mineral, *Encyclopedia of Geology, 2nd edition*

Wu, J. Mao, W.J., Wu, Z., Xu, X.L., You,H.L., Xue, A.X., Jia, Y.M. (2016). Strong Pyrocatalysis of Pyroelectric BiFeO3 Nanoparticles Under a Room-Temperature Coldehot Alternation, *Nanoscale* 8, 7343-7350.

www.britannica.com

www.bilimfili.com

www.cografyasozlugu.com

www.coursehero.com

www.gemselect.com

www.geology.com

www.gia.edu

www.jeolojibilgi.blogspot.com

www.korozyon doktoru.org

www.mindat.org

www.minerals.net

www.minerals.net

www.mta.gov.tr

www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/kiymetli-taslar

www.trademap.org

Xia, Y.T., Jia, Y.M., Qian, W.Q., Xu, X.L., Wu, Z., Han, Z.C., Hong, Y.T., You, H.L., Ismail, M., Bai, G., Wang, L.W. (2017). Pyroelectrically İnduced Pyro-Electro-Chemical Catalytic Activity of BaTiO3 Nanofibers Under Room-Temperature Coldehot Cycle Excitations, *Metals* (7) 122.

Xie, M.Y., Dunn, S., Boulbar, E.L., Bowen, C.R. (2017). Pyroelectric Energy Harvesting for Water Splitting*, InternationalJournal Hydrogen Energy* 42, 23437- 23445.

Yang, J., Yang, L., & Long, J. (2015).Theoretical İnvestigation of The Electronic Structure, Optical, Elastic, Hardness and Thermodynamics Properties of Jadeite. *Materials Science in Semiconductor Processing,* 31, 509–516.

Yang, D.W., Brik, M.G., Srivastava, A.M., Ma, G.C., Piasecki, M. (2020). Influence of Low-Symmetery Component of Crystal Field on Gemstones Colors: Cr^{+3} in Ruby and Emerald*, Journal of Luminescence*, 1-4.

Ying, G., Xinyan, Z., Xiang, L., Ye, Z. (2018). Quantitative Characterization Appreciation of Golden Citrine Golden by The Irradiation of $[FeO_4]^{-4}$, *Arabian Journal Chemistry 11, 918-923.*

Yoder, C.H. (2006). Ionic Compounds Applications of Chemistry and Mineralogy, *Wiley Interscience,* 135-149.

Yu, C., Tong, Z., Li, S., & Yin, Y. (2018).Enhancing the Photocatalytic activity of ZnO by Using Tourmaline. Materials Letters. doi:10.1016/j.matlet.2018.12.109

Zahao, L., Ma, H., Fang, C., Ding, L., Jia, X. (2018). Synthesis and Characterization of Purple NaAlSi2O6 Jadeite Under High Pressure and High Temperature, *Journal of Crystal Growth* 499, 30–34.

Zhandun, V. S.,& Nemtsev, A. V. (2021). Ab İnitio Comparative Study of The Magnetic, Electronic and Optical Properties of AB2O4 (A, B= Mn, Fe) Spinels. *Materials Chemistry and Physics*, 259, 124065. doi:10.1016/j.matchemphys.2020.124065.

Zhao, L., Ma, H., Fang, C., Ding, L., & Jia, X. (2018). Synthesis and Characterization of Purple NaAlSi2O6 Jadeite Under High Pressure and High Temperature. *Journal of Crystal Growth,* 499, 30–34.doi:10.1016/j.jcrysgro.2018.07.034

Zhou, G., Liu, H., Chen, K., Gai, X., Zhao, C., Liao, L., Shen, K., Fan, Z., Shan, Y. (2018). The Origin of Pyroelectricity in Tourmaline at Varying Temperature. *Journal of Alloys and Compounds.*

Zim, S., H., Shaffer, R.P. (2016), Rock and Minerals- A guide to Minerals, *Gem and Rocks (Gold Nature Guides)- Golden Press New York.*

Zwan, J.C., Kraus, M.R., Renfro, N.D., McClure, F.S., Laurs, M.B. (2018). Rhodochorosite Gems: Properties and Provenance, *The Journal of Gemmology*, 36(4),332-345.

ÖZGEÇMİŞ

E-Posta Adresi :mervеariyurek@hotmail.com

Telefon (cep) : 05333793391

Adres : Sazova Mah. Ziraat Cad. No:301 D:F-3
Tepebaşı/ESKİŞEHİR

Öğrenim Bilgisi:

Yüksek Lisans	KÜTAHYA DUMLUPINAR ÜNİVERSİTESİ
2015	FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ/ SERAMİK MÜHENDİSLİĞİ
	Kütahya Çinileri İçin Web Tabanlı Ürün Geliştirme Sistemi
	Tez Danışmanı: Prof. Dr. İskender Işık ve Prof. Dr. Bülent Yılmaz

Lisans	KÜTAHYA DUMLUPINAR ÜNİVERSİTESİ
2011	MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ/ SERAMİK MÜHENDİSLİĞİ

Projeler:

1. "Taş ve Gümüş Takıya Dönüşüyor Engeller Kalkıyor", Zafer Kalkınma Ajansı Destekli Projede eğitmen olarak, 2020
2. "Alev Sprey Piroliz Sistemiyle Termoelektrik Nanoseramik Üretimi" Tübitak Destekli projede doktora öğrencisi olarak, 2019
3. "Sinop Merkez Ve Boyabat Kılıçlı Yaylası Kilise-Nekropol Kurtarma Kazılarında Ele Geçen Helenistik Ve Roma Seramiklerinin Arkeometrik Karakterizasyonu" Tübitak Destekli projede doktora öğrencisi olarak, 2018-2019
4. "Kütahya seramik/çini kobilerinde e-ticaret tabanlı ürün geliştirme süreci tasarımı ve uygulamaları" Sanayi Bakanlığı Destekli projede yüksek lisans öğrencisi olarak 2012-2014

Akademik ve Sanatsal Çalışmalar:

1. Ulusal Geçmişten Günümüze Kuyumculuk Sempozyumu, "Malatya/Doğanşehir Yakutlarının Ön Araştırması" poster sunumu, 10-13 Mayıs 2017, Süleyman Demirel Üniversitesi/Isparta
2. 5. Uluslararası Sosyal ve Eğitim Bilimleri Araştırma Kongresi, "Kuyumculuk Sektöründe Kullanılan Süs Taşlarında Ateş Opali" poster sunumu, 11-14 Temmuz 2019, Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi
3. Sergi /5. Uluslararası Sosyal ve Eğitim Bilimleri Araştırma Kongresi,"Opalin Doğuşu" eser, 11-14 Temmuz 2019, Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi
4. Kişisel Sergi/Çember Adlı Kişisel Süs Taşı ve Takı Tasarım Sergisi, 12-18 Eylül 2020, Esnaf Ve Sanatkarlar Odaları Birliği, Eskişehir
5. 3. Uluslararası Sanat ve Tasarım Sempozyumu, "Elmas'ın Süs Taşı Olarak Kuyumculuk Sektörü ve Takı İmalatındaki Yeri" bildiri, 1-3 Ekim 2020, Dumlupınar Üniversitesi-Kütahya
6. Sergi/ 3. Uluslararası Sanat ve Tasarım Sempozyumu "Ateş Çemberi" eser, 1-3 Ekim 2020, Dumlupınar Üniversitesi-Kütahya
7. Arıyürek, M. ve İyioğlu, M. T. (2020). "Elmas ve Elmasın Mücevher Takı İmalatında Kullanımı". ulakbilge, 55, s. 1575–1587. doi: 10.7816/ulakbilge-09-55-09

Ödüller:

Türk Dünyası Mühendisler ve Mimarlar Birliği, The IV International Festival of Architectural, Civil Engineering and Desing School of Eurasia- Industrial Design The Fist Degree Diploma