Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi
Furniture and Wooden Material Research Journal
Araştırma Makalesi - Research Article 2024 - 7(1), 54-69

Ahşap malzemede kerf kesim tekniği üzerine bir değerlendirme

Gökçe Kırkpınar[1], Yenal Akgün[2*], Matthieu Joseph Pedergnana[3]

ÖZ: Ahşap, geleneksel endüstriyel yapı malzemelerine kıyasla sağladığı hafiflik ve çevresel avantajlar ile mimarlar, iç mimarlar ve mobilya tasarımcıları için her zaman ilham kaynağı olmuştur. Ahşap, uygun kalınlıklarda doğru kesim ve üretim teknikleri uygulandığında esnek bir yapıya dönüştürülebilmektedir. Bu esnekliği kazandırma yöntemlerinden birisi de kerf kesim tekniğidir. Kerf kesim tekniği, bir panel üzerinde belirli bir desen veya şekil oluşturmak için kesimler yaparak sert bir malzemeyi esnek hale getirmeye dayanır. Bu sayede karmaşık fabrikasyon yöntemlerine ve ileri teknoloji malzemelere ihtiyaç duymadan, esnek ve şekil değiştirme özelliğine sahip mimari elemanlar ve mobilya ürünleri tasarlanabilir. Bu çalışmada, kerf kesim tekniğinin ahşap ürünlerdeki kullanım alanları incelenerek kesim teknolojileri, üretim teknikleri, kesim tipleri ve desen türleri üzerinden bir sınıflandırma yapılmaktadır. Kerf kesim tekniğinin ahşap işleri alanında önemini ve son yıllarda artan ilgiyi vurgulayan bu çalışma, tasarımcılar ve üreticiler için yenilikçi bir üretim yöntemi sunmaktadır. Bu teknik, esnek ve estetik açıdan özgün tasarımların geliştirilmesine katkıda bulunarak ahşap ürünlerin kullanım alanlarını genişletme potansiyeline sahiptir.

Anahtar kelimeler: Ahşap, mimarlıkta adaptasyon, adaptif malzemeler, kerf tekniği, eğilme

An evaluation of the kerf-cutting technique in wood

ABSTRACT: Wood has always been a source of inspiration for architects, interior designers, and furniture designers due to its lightness and environmental advantages compared to conventional building materials. Through the application of proper cutting and production techniques, wood can be transformed into a flexible structure. One such method is kerf-cutting. This technique is based on making cuts on a panel to form a specific pattern or shape, allowing a rigid material to become flexible. In this way, architectural elements and furniture products with flexible and shape-changing properties can be designed without the need for complex fabrication methods and advanced materials. This study examines the use of kerf-cutting in wood products and classifies them based on cutting technologies, production techniques, cutting types, and pattern types. Emphasizing the importance of the kerf-cutting technique in the field of woodworking and the increasing interest in recent years, this study offers an innovative production method for designers and manufacturers. This technique has the potential to expand the usage areas of wood products by contributing to the development of flexible and aesthetically unique designs.

Keywords: Wood, adaptation in architecture, adaptive materials, kerf technique, bending

Makale tarihçesi: Geliş:24.04.2024, Kabül:21.05.2024, Yayınlanma:30.06.2024, *e-posta: yenal.akgun@deu.edu.tr,
Yasar Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı İzmir/ Türkiye,
[2]Dokuz Eylül Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İzmir/ Türkiye,
[3]Yaşar Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İzmir/ Türkiye,

Atıf: Kırkpınar, G., Akgün, Y. & Pedergnana, J. M., (2024), Ahşap malzemede kerf kesim tekniği üzerine bir değerlendirme, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 7 (1), 54-69, DOI:10.33725/mamad.1473063

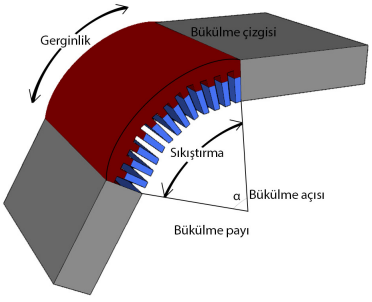
1 Giriş

Günümüzde esnek ve/ veya uyarlanabilir yüzeylerin üretimi mimarlıkta popüler bir araştırma konusudur ve birçok çalışma bu özelliklere sahip yüzeyler elde etmek için malzeme veya üretim teknikleri geliştirmeye odaklanmaktadır. Kerf tekniği bu tarz yüzeyleri üretmek için kullanılabilecek görece basit yöntemlerden birisidir. Bu yöntem, temelde sert ve düzlemsel malzemeler üzerinde çeşitli yöntemlerle eksiltme yapılarak esnek yüzeyler oluşturulmasına dayanır. Karmaşık geometriye sahip ve esnek yüzeyler oluşturmak için kullanılan bu teknik, mimariden, mobilya sektörüne, hatta müzik enstrümanlarının imalatına kadar çeşitli alanlarda kullanılmaktadır (Shadid ve ark., 2021).

Bu makalenin temel amacı; kerf kesim tekniği kullanılarak kesim, desen ve ahşap tiplerine bağlı olarak sert bir panele kazandırılan esnekliğin kullanım alanlarını ortaya koymak ve bu kesim tekniğinin potansiyelini incelemektir. Kerf kesim tekniğinin tasarım prensiplerinin anlaşılması için makalede öncelikle temel kavramlar ve malzeme türleri açıklanmaktadır. Daha sonra, kesim tekniği, üretim tekniği ve kesim tipi özelliklerine göre farklılık gösteren ahşap malzemenin esneklik kabiliyeti örnekler üzerinden incelenerek biçimlendirdiği yenilikçi tasarımlar tartışılmaktadır. Son olarak, kerf kesim tekniği kullanılarak üretilen ahşap ürün ve prototiplerin, gelecekteki uygulamalarda üretim ve kullanım potansiyellerinin belirlenmesi açısından bir sınıflandırma yapılmaktadır.

2 Temel Kavramlar

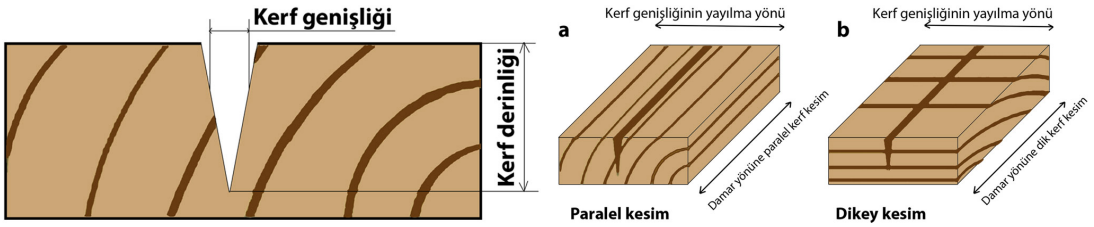
Kerf tekniği, sert bir panelden malzeme eksiltilerek, kesilen panelin eğilme direncinin değiştirilmesi ve esnek bir malzemeye dönüştürülmesi işlemidir (Zarrinmehr, 2017). Seçilen desene bağlı olarak kesilerek kazanılan boşluklar sayesinde sert panel bir yönde esneklik (eğilme ve bükülme yeteneği) kazanırken diğer yönde sağlamlığını korumaktadır (Capone ve Lanzara, 2019a) (Şekil 1). Bu eksiltme işlemi literatürde robotik kollar, freze veya daire testere gibi kesme ekipmanlarıyla gerçekleştirilmektedir. Farklı tip, karakter ve esneklikte yüzeyler oluşturabilmek için özellikle ahşap ve metal paneller üzerine karmaşık desenler uygulanabilmektedir. Malzemenin esnekliğini oluştururken, aynı zamanda dayanıklılığını da korumanın en önemli adımı, doğru kerf derinliğini, desenini ve aralığını belirlemektir. Panelin eğriliği malzemeye, desen tipine, panel kalınlığına ve kerf tipine bağlıdır.



Şekil 1. Kerf tekniği yardımıyla esnek bir malzemeye dönüşen sert bir panel

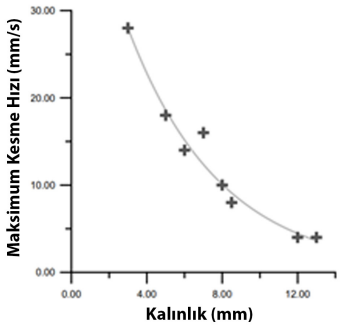
Bu teknik uygulanırken panel üzerinde "kerf" ya da "çentik" adı verilen sürekli bir çizgi oluşturmak gerekir. Ahşap üzerinde kerf açma işlemi sırasında testere bıçağı, lazer veya aşındırıcı bıçak kullanılmaktadır. Bu kesici takımların panel üzerinde oluşturdukları çizgi kalınlıkları malzemenin cinsine ve kalınlığına göre değişmektedir. Ahşap malzemelerde lazer kesim gücü, kesme hızı ve koruyucu gaz gibi parametreler kesim kalitesi açısından oldukça önemlidir (Khan ve ark., 1991). Ahşaba kerf tekniği uygulanırken çentiği daha etkili hale getireceğinden derin ve dar kesimler tercih edilmektedir (Guo ve ark., 2021). İki ana parametre olan kesme derinliği ve kesme yönü (damar yönüne dik veya paralel) kesme hızını

da etkilemektedir. Ahşabın damar yönüne paralel kerf açılarak kesilmesi, daha dar ve derin kesimlere ve daha yüksek verimliliğe yol açmaktadır (Guo ve ark., 2021), (Vay ve ark, 2015).



Şekil 2. Damar yönüne paralel ve damar yönüne dik kerf kesimin şematik diyagramı

Kerf tekniği ile üretilmiş esneme kabiliyeti ahşabın kalınlığına, cinsine ve özelliklerine göre değişmektedir. panellerin Menges (2016), esnekliği korurken minimum malzeme azaltımı sağlayacak şekilde optimum kerf derinliğini ve genişliğini belirlemek için testler uygulamıştır. Kerf derinliğinin kerf uzunluğu boyunca sabit tutulduğu bu çalışmada gerilim arttıkça kerf derinliklerinin buna bağlı olarak kademeli bir şekilde değiştiği görülmüştür (Şekil 3).



Şekil 3. Maksimum kesme hızı ile kalınlık arasındaki ilişki (Boutinguiza ve ark., 2002)

2.1 Kesim Tekniği

Panellerin kesilmesi ve desen elde edilmesinde literatürde hem geleneksel hem de ileri teknoloji teknikler kullanılmaktadır. Geleneksel yöntem olarak kullanılan testerenin yanı sıra dört farklı yeni teknoloji kesim tekniği bulunmaktadır: CNC (bilgisayarlı sayısal kontrol) tabanlı testere ile kesme, plazma ışınla kesme (PBC), aşındırıcı su jetiyle kesme (AWJC) ve lazer ışınla kesme (LBC) (Holterman, 2018). Farklı kerf modelleri oluşturulurken her tekniğin bazı avantaj ve dezavantajları olduğundan işlenecek kerf modeline göre uygun kesim tekniğinin seçilmesi en önemli adımlardan biridir.

CNC kesim, bilgisayar programlama kullanılarak panel üzerindeki kesici takımın belirli bir hız ve yönde hareket ettirilmesine dayanmaktadır. Bu işlem panelin hassas bir şekilde kesilmesini sağlamaktadır (Thomasnet, 2018). CNC kesim, freze uçları, matkaplar, testereler, su jeti kesiciler ve gelişmiş endüstriyel robotlar gibi birden fazla kesici aletin kullanımına olanak tanımaktadır (Breaz ve ark, 2017).

Robotik kollar CNC tezgahlarına göre daha özel işlevlere sahip makinelerdir (Zhang ve ark., 2005). Gelişmiş programlama yetenekleri ve kanıtlanmış uyarlanabilirlik ve esneklik kapasiteleri sayesinde kendilerini farklılaştırarak maliyet düşüşlerine neden olmaktadırlar (Perez-Ubeda ve ark., 2018). Ayrıca robotik kollarla frezeleme, geleneksel CNC tezgahlarda yapılan frezelemeye göre işlenmesi zor amorf yüzeylerin elde edilmesini kolaylaştırmaktadır (Thomasnet, 2018).



Şekil 4. Testere bıçağıyla kerf açma

Testere bıçağıyla kerf açmak, genellikle dekoratif şekiller oluşturmak, bir ahşabın kenarlarında kıvrımlar oluşturmak ve esneklik kazandırmak amacıyla kullanılmaktadır. Bu yöntemde testere bıçağı kullanılarak bir dizi çentikli sığ kesimler yapılarak istenilen sonuç elde edilmektedir (Aguilera ve Martin, 2001) (Şekil 4).

Aşındırıcı su jeti ile kesme (AWJC) ve su jeti ile kesme (WJC), çeşitli endüstriyel sektörlerde kullanılmaktadır. Özellikle karmaşık malzemelerin kesilmesinde etkili olan bu aletler yüksek performanslı malzemelerle çalışırken de verimliliği en üst düzeye çıkarmaktadırlar. Bu yaklaşımın önemli bir faydası, panellerin termal strese maruz kalmasını önleyerek panellerin yapısal bütünlüğünü koruyabilmesidir (Barabas ve Florescu, 2019).

Lazer kesim, metal, plastik veya ahşap gibi malzemelerin kesilmesinde kullanılmaktadır. Manuel müdahale gerektirmeyen ve hızlı bir işlem olması sebebiyle maliyet ve verimliliğe katkı sağlamaktadır. Lazer kesim sırasında ısı iletkenliğinin düşük olması nedeniyle en iyi sonucu veren malzeme ahşaptır (Sharma ve Yadava, 2017). Sonuç olarak lazer kesim, hassas, hızlı ve uygun maliyetli özellikleri sayesinde farklı endüstri ve uygulamalarda kullanılması oldukça avantajlı olduğundan tercih edilen bir yöntemdir (Çizelge 1.).

Çizelge 1. Kesim tekniklerinin karşılaştırılması

Teknikler	Olası Malzeme Kullanımı	Avantajlar	Dezavantajlar	Referans
Aşındırıcı Su Jeti	Metal Plastik Ahşap	Hassasiyet Çok yönlülük	Panel kalınlığı arttıkça kesimler yavaşlar ve hassasiyetleri azalır.	Barabas & Florescu, 2019
Lazer Kesim	Metal Plastik Ahşap	Hassasiyet Hız Uygun Maliyet	Panel kalınlığı metal hariç en fazla 12 mm olmalıdır. Kesilen yüzeylerde kömürleşme oluşmaktadır.	Belforte & Jefferson, 2016 Sharma & Yadava, 2017
Yüksek Güçlü Lazerler	Metal Plastik Ahşap	Küçük Boy Hafif Yüksek Elektro-optik	İç Bozunma, Ayna Yüzü Bozulması, Elektrot Bozulması	Smorfitt ve ark., 1999 Song ve ark., 2022
Testere bıçağı	Metal Plastik Ahşap	Kesinlik Çok yönlülük Yeterlik	Maliyet, Boşluk Uzay, Bakım, Gürültü	Skoblar ve ark.. 2016 Aguilera & Martin, 2001

2.2 İmalat Tekniği

İmalat teknikleri, malzeme ve kesim tekniklerinin bir araya getirilmesiyle bir ürün elde etme işlemidir. Seçilen malzemeye, uygulanan tekniğe ve elde edilmek istenen sonuca göre süreç değişmektedir (Capone ve Lanzara, 2019b).

Kerf morfolojisi, bir kesme işlemiyle oluşturulan bir kesik veya oluğun özelliklerini ifade etmektedir. Kerf morfolojisi doğrudan kesme yöntemine, kesme hızına, kesme derinliğine ve genişliğine ve kesilen malzemenin özelliklerine bağlıdır. Kerf morfolojisi, kesme işleminde çok önemli bir rol oynayan kesici aletin hareketinden kaynaklanan kesinin şeklini ifade etmektedir (Güzelci ve ark., 2016). Tipik olarak kerf, 30-45 derece civarında bir eğim açısına

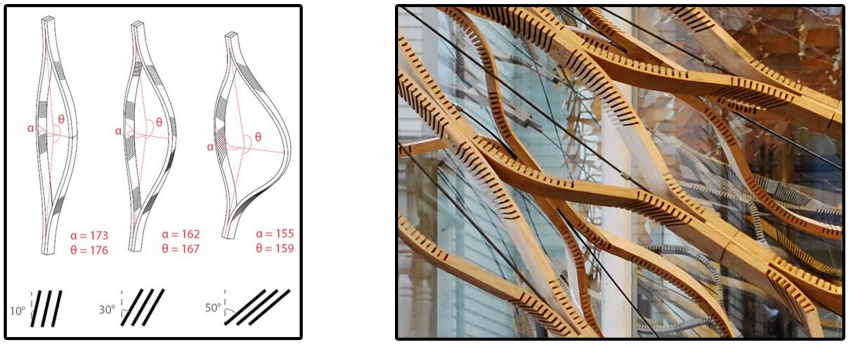
sahip, geniş V şeklinde bir form sunmaktadır. Bu şekil, kesme işlemi sırasında karşılaşılan dirençten etkilenen kesici takım ile malzeme arasındaki dinamik etkileşimden ortaya çıkmaktadır. Daha da önemlisi, bu şeklin özellikleri kesici takımın seçimi, çalışma hızı ve kesilen malzemenin özellikleri gibi faktörlere bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

2.3 Kesim Tasarım Süreci

Kerf için üç ana kesim türü kullanılmaktadır: panelin bir tarafında kesim, panelin her iki tarafında kesim ve panel boyunca kesim. Her kesme tipi farklı esneklikle sonuçlanmaktadır.

2.3.1 Panelin bir tarafında kesme

Panelin tek bir tarafından kesim, literatürdeki örnekler incelendiğinde en konvansiyonel kesim yaklaşımı olup, kerf kesimi panelin yalnızca bir tarafına uygulanmaktadır. Bu yöntem, paralel kesme (kesilen panelin kenarlarına paralel oluşturulan kerfler) ve açılı kesim (kesilen panelin kenarlarına açılı olarak oluşturulan kerfler) olmak üzere iki farklı tekniği barındırmaktadır. Bu yöntem ile tek eğrilikli yüzeyler elde edilebilirken, elde edilen yüzeyin esnekliği, kesiklerin aralığı, derinliği ve açısına göre belirlenmektedir (Capone ve Lanzara, 2019a). Kesiklerin derinliği ve kesilmeyen tarafta kalan malzemenin kalınlığı malzeme türüne göre değişmektedir. Kesme yöntemi, çeşitli kesme teknikleri kullanılarak farklılık göstermektedir. CNC tezgahları, testereler, lazer kesiciler veya parametrik makineler kullanılsa da, kesimler arasında tutarlı bir aralık bırakılması düzgün eğriler sağlamaktadır (Menges, 2016) (Şekil 5).



Şekil 5. Ker Tabanlı Kompleks Ahşap Sistemler (Menges, 2010)

2.3.2 Panelin her iki tarafından kesme

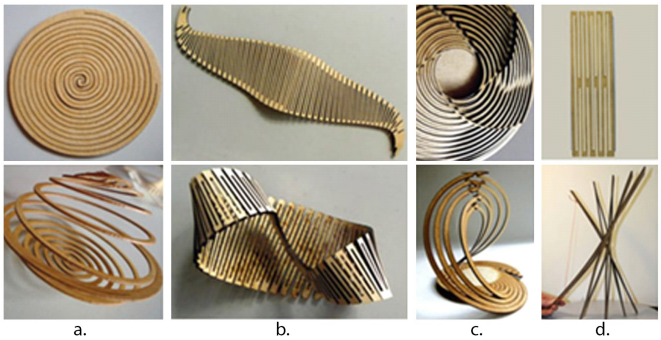
İkinci yöntem daha gelişmiş kesim teknikleri içeren bir kerf tekniğidir ve belirli kurallara göre panelin her iki tarafında sürekli bir kesme işlemini gerektirmektedir. Dukta DUNA, panelin her iki tarafının da desenli kesime tabi tutulduğu bir kesim tipidir. Bu modeller iki tarafta kesişerek, tek yönlü bir hareketten çok yönlü bir harekete geçiş yaparak esnekliğin artmasına neden olmaktadır. İşlem, panellerin her iki tarafının kesilmesiyle çift eğrilikli yüzeyler elde edilmesini sağlamaktadır. Ayrıca, bu parametrik yöntem kesimlere hassasiyet kazandırmaktadır (Capone ve Lanzara, 2019a) (Şekil 6).



Şekil 6. Kerf Tabanlı Kompleks Ahşap Sistemler (Menges, 2010)

2.3.3 Panel kalınlığınca kesme

Bu teknik, oluşturulmak istenen esneme yönüne bağlı olarak kesim geometrisinin belirlenmesiyle elde edilen, ve literatürde "ihtiyaç duyulan yerden kesme" olarak tanımlanan bir ileri kesme tekniğidir. Bu gelişmiş kerf tekniğinde kesimler panelin her iki yanında çapraz olarak devam ettirilmektedir. Bu yöntem, ahşap panelin üç boyutlu şekillerde bükülmesine olanak tanıyarak çift eğrilikli yüzeylere imkan vermektedir. Eğrilerin düzgün olması için boşlukların çok düzgün işlenmesi gerekmektedir (Bianconi ve Filippucci, 2020) (Şekil 7).



Şekil 7. Panel kalınlığınca kesim tasarımları, (Bianconi ve Filippucci, 2020)

Munoz ve ark. (2011)'nın araştırmasına göre kesme çentiği adını verdiği panel kalınlığını işleyen ileri kerf teknikleri dört ana grupta incelenmektedir:

1. Sarmal Kerf: Panelin ortasından kenarlarına kadar tek veya çift sıra halinde devam ettirilen kerf yöntemidir. Sürekli bir kesme işlemi ile elde edilmektedir. Esneklik yönü diktir (Şekil 7a).
2. Saçak Kerf: Panel üzerinde geometrik bir kural takip edilerek tüm yüzeyi kaplayan kerf yöntemidir. Bu yöntemde yüzeyin kenarları da işlenerek kerflerin uzunluğuna ve uydukları geometrik kurala bağlı olarak esneklik elde edilmektedir (Şekil 7b).
3. Zig Zag Kerf: Panelin kenarından başlayıp yavaş yavaş merkeze doğru devam eden kerf tekniğidir. Bu yöntemde kerflerin tekrarına, birbirleriyle ilişkilerine ve panel kalınlığına bağlı olarak esneklik elde edilmektedir. Ayrıca mobilya tasarımlarında kerf ile kerf şekli arasındaki uzunluk çok önemli hale gelir çünkü bu tür kerfler esnekliği çok yönlü hale getirmektedir (Şekil 7c).
4. Yarık Kerf: Panel üzerinde kafes deseni takip edilerek oluşturulan kerf yöntemidir. Bu yöntem dar panellerde işlenerek panele doğrusal esneklik kazandırmaktadır. Kerfin kenarlarının teması sınır oluşturacağından en önemli nokta boşluklardır (Şekil 7d).

Ayrıca, 1978'de Schattschneider tarafından adlandırılan, bir panele çift yönlü esneklik kazandıran duvar kağıdı olarak da adlandırılan desen kerf ise bir diğer kerf kesim tekniğidir. Kerf, ızgara düzeni kullanılarak desenlendirilmiş olup, ızgara kesişimleri paneli bir arada tutan bir çapa görevi görmektedir. Buna karşılık desenlerin kesişmediği alanlarda esneklik ve hareket elde edilmektedir. Esnekliğin kapsamı, malzemenin kalınlığının yanı sıra desen ızgaralarının boyutu ve yöneliminden de etkilenmektedir (Güzelci ve ark., 2016) (Şekil 8).



Şekil 8. Çift yönlü esnekliğe sahip kerf deseni (Zarrinmehr, ve ark., 2017)

Kullanılan spesifik desen tipine bağlı olarak, önemli ölçüde esnekliğe sahip olan ve birden fazla yönde harekete olanak tanıyan yüzeyler oluşturmak mümkün hale gelmektedir (Zarrinmehr ve ark., 2017).

2.4 Kerf Kesim için Uygun Malzemeler

Kerf tekniği, çelik, alüminyım, bakır ve titanyum gibi farklı metaller, masif ahşap bloklar ve ahşap paneller, plastikler, kompozitlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun yanında, malzemeye esneklik kazandırma amacı taşımasa da cam, seramik gibi malzemelerin birleşim detaylarında, ya da desen oluşturulmasında da bu teknikten yararlanılmaktadır.

2.4.1 Metal

Kerf kesme, malzemelere esneklik kazandırmak, bükme ve şekillendirmeyi mümkün kılmak amacıyla metallerde de kullanılmaktadır. Karmaşık desenlerin kesiminde uygun malzeme kalınlığı ve aletin kullanılmasıyla hassas kesimler kolaylaşmaktadır. Özellikle sert alaşımlı çeliğin kesilmesi için CO_2 lazer kullanıldığında, güç yoğunluğu arttıkça kerf genişliği de artmaktadır. Lazer gücündeki minimum değişiklik bile kerf boyutlarını büyük ölçüde etkilemektedir (Uslan, 2005).

2.4.2 Seramik ve cam

Kesim tekniği diğer malzeme kesimleriyle aynı işlemleri takip ettiğinden ve aynı parametrelere bağlı kaldığından bu malzemelere uygulanan teknik de kerf olarak adlandırılmaktadır. Bu malzemeleri keserken lazer ışını veya su jeti kullanılmaktadır. (Tsai ve Chen, 2003). Seramik karoları kesmek için farklı kesme hızları kullanıldığında, en kritik faktörün, yüksek sıcaklık değişim oranı nedeniyle altlıklarda oluşan çatlak hasarı olduğu belirlenmiştir (Black ve Chua, 1997).

2.4.3 Plastikler ve kompozitler

Kerf tekniği, plastik ve kompozitlere belirli şekil, boyut ve uzunluklarda kesilerek esneklik ve şekil vermek için de kullanılmaktadır. Bu sayede hassas kesimlerden ve karmaşık desenlerden oluşan tasarımlar temiz işçilikle üretilmektedir. Akrilik, polikarbonat ve PVC dahil çok sayıda düşük mukavemetli malzemenin tümü aynı yöntem kullanılarak işlenebilmektedir (Caiazzo ve ark., 2005). Plastik sektöründe karmaşık formların hassas kesim kalitesiyle kesilmesi için de kerf kesme uygulamaları kullanılmaktadır.

2.4.4 Ahşap

Kerf tekniği, özellikle mobilya yapımında ahşap malzemelerin esnekliğini arttırmak için kullanılmaktadır. (Den Bulcke ve ark., 2009). Doğal ahşabın yanı sıra MDF, laminat ve kontrplak gibi birçok ahşap işleme projesinde kullanılan çok yönlü bir tekniktir. Ahşap malzeme kategorisinde hafif bir malzeme olan kontrplak, diğer seçeneklere göre daha çok tercih edilmektedir (Eltawahnia ve ark., 2013).

MDF veya Orta Yoğunluklu Fiber Levha, ahşap elyaf parçalarının ve polimerik reçinenin sıkıştırılmasıyla oluşturulan ve yapısal olarak tutarlı bir bileşim sağlayan homojen bir malzemedir (Chen ve ark., 2020). Lamine ahşap, paralel ahşap panellerin ısıyla sertleşen reçineler kullanılarak yapıştırılmasıyla oluşturulmaktadır. Bu ince ve ayrı panel katmanlarının varlığı, kesme işlemi sırasında çatlakların oluşmasını engellemektedir (Peterson ve ark., 1981) (Şekil 9). Masif ahşapta ise, kesimin ahşabın damarı boyunca yapılması panel yüzeyinde düzgün bir işçilik elde edilmesine olanak sağlamaktadır (Pires, 1989). Ayrıca kerf tekniği, ahşap panellerde bağlantı noktaları oluşturmak için kullanılan bir işleme tekniğidir. Teknik, doğru işlenerek gönye, bindirme ve pahlı bağlantıların yapılması için kullanılmaktadır. Ahşap ürünler üretirken daha güçlü ürünler elde etmek için parçalar arasında güçlü bağlantılar

oluşturmak önemli bir adımdır. Bu teknik, ahşap parçaların birleştirilmesi ve uygun yerlerden kesimin yapılması amacıyla kullanılmaktadır.



Şekil 9. Gregg Fleishman'ın kontrplak mobilya tasarımı, CNC imalat tekniği kullanılarak üretilmesi (Capone & Lanzara, 2019a).

3 Materyal ve Metot

Bu çalışmada, kerf kesim tekniğinin ahşap üzerindeki uygulamalarını ortaya koymak amacıyla geneli aksesuar, mobilya vb. olmak üzere 47 adet mimari ürün incelenmiştir. Bu ürünler, veri haritalama yöntemi kullanılarak, ahşap türleri, kesim teknikleri, üretim teknikleri, kesim tipleri ve desen türleri üzerine karakteristik ve teknik özellikleri belirlemek amacıyla analiz edilmiştir. Literatürdeki dergi, makale ve akademik çalışmalardan derlenen bu ürünlerden bilgilerine ulaşılamayanlar tabloya eklenmemiştir. Yapılan bu analiz ile birlikte kerf kesim tekniği kullanılarak üretilmiş ahşap uyarlanabilir ürünler detaylı başlıklar altında incelenmiştir. Teknik özelliklerine göre gruplandırılan mimari elemanların sınıflandırılma tablosu çalışmanın bulgular ve tartışma kısmında verilmiştir.

4 Bulgular ve Tartışma

Bu çalışma, literatürde yer alan ağaç türleri, kesim türleri, kesi türleri ve bunların sonucunda ortaya çıkan ürünleri inceleyerek ahşap malzemelere uygulanan kerf kesme tekniklerinin detaylı bir analizini yapmayı amaçlamaktadır. Çizelge 2 de görüldüğü gibi, 1985 yılından bu yana kerf tekniği kullanılarak yürütülen akademik araştırmalar, prototipler, ticari objeler gibi farklı işlevlere sahip birçok ürün sınıflandırılmaktadır.

Çizelge 2 de yer verilen örnekler detaylı olarak araştırıldığında, yaklaşık üçte birinin seri üretime geçmemiş prototip çalışmaları olduğu görülmektedir. Bu da kerf tekniği ile üretilen ürinlerin seri üretime geçmekten ziyade test odaklı deneysel çalışmalarda daha çok görüldüğünü göstermektedir.

Çalışmalar arasında büyük çoğunluğu sandalye fonksiyonlu ürünler oluştururken, bunu aydınlatma elemanları, duvar panelleri ve heykeller takip etmektedir. Çalışmanın tamamında ahşap türleri açısından kontrplak, işin yarısından fazlasını oluşturan baskın malzeme olarak öne çıkmaktadır. Bunu yakından takip eden ikinci ve üçüncü sırada ise MDF (%21,3) ve huş (%19,15) gelmektedir. Çalışmalarda en sık kullanılan kesi tipi yarık kerftir (%29,8) ve bu da yaygınlığını göstermektedir. Karşılaştırmalarda özellikle desen (%23,4) ve saçak çentiği (%10,65) öne çıkmaktadır (Şekil 10.).

Çizelge 2. Kerf tekniği projelerine göre önerilen sınıflandırması

Proje Adı	Tamam-lanma Yılı	Doğal Ahşap Türü Sert Ağaçlar	Yumuşak Ağaçlar	Endüstriyel Ahşap Türleri	Kesme Yöntemi	Kesme Şekli	Kesi Türü	Burulma	Esneklik Boyutu	İşlev	Proje Görseli	Referans
Rock 'N' Roll	1985	Finlandiya Huş Ağacı Kontrplak, Euro Renkli Kontrplak, Letonya Huş Ağacı Kontrplak, Baltık Huş Ağacı			CNC	Panelin Kalınlığının Kesimi	Saçak Kerf ve Desen	2D	Radyal	Sandalye		URL-1
Baby Bear	1985	Finlandiya Huş Ağacı Kontrplak, Euro Renkli Kontrplak, Letonya Huş Ağacı Kontrplak, Baltık Huş Ağacı			CNC	Panelin Kalınlığının Kesimi	Saçak Kerf	2D	Düzlemsel	Sandalye		URL-1
Lumbar est	1985	Finlandiya Huş Ağacı Kontrplak, Euro Renkli Kontrplak, Letonya Huş Ağacı Kontrplak, Baltık Huş Ağacı			CNC	Panelin Kalınlığının Kesimi	Saçak Kerf	2D	Düzlemsel	Sandalye		URL-1
New Wave	1994	Finlandiya Huş Ağacı Kontrplak, Euro Renkli Kontrplak, Letonya Huş Ağacı Kontrplak, Baltık Huş Ağacı			CNC	Panelin Kalınlığının Kesimi	Saçak Kerf	3D	Radyal	Sandalye		URL-1
Alicia	1996	Finlandiya Huş Ağacı Kontrplak, Euro Renkli Kontrplak, Letonya Huş Ağacı Kontrplak, Baltık Huş Ağacı			CNC	Panelin Kalınlığının Kesimi	Saçak Kerf	3D	Radyal	Sandalye		URL-1
MJT	2003	Finlandiya Huş Ağacı Kontrplak, Euro Renkli Kontrplak, Letonya Huş Ağacı Kontrplak, Baltık Huş Ağacı			CNC	Panelin Kalınlığının Kesimi	Saçak Kerf	3D	Radyal	Sandalye		URL-1

Çizelge 2'nin devamı

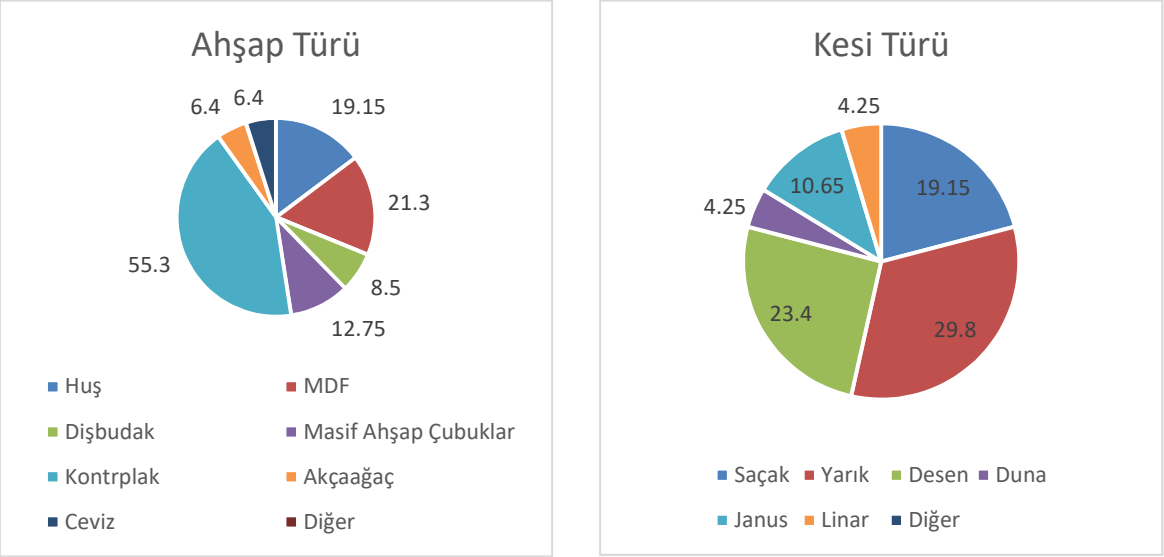
Proje Adı	Tamam-lanma Yılı	Doğal Ahşap Türü Sert Ağaçlar	Yumuşak Ağaçlar	Endüstriyel Ahşap Türleri	Kesme Yöntemi	Kesme Şekli	Kesi Türü	Bulma	Esneklik Boyutu	İşlev	Proje Görseli	Referans
Flame	2012	Finlandiya Huş Ağacı Kontrplak, Euro Renkli Kontrplak, Letonya Huş Ağacı Kontrplak, Baltık Huş Ağacı			CNC	Panelin Kalınlığının Kesimi	Saçak Kerf	3D	Radyal	Sandalye		URL-1
Nebula III	2018	Finlandiya Huş Ağacı Kontrplak, Euro Renkli Kontrplak, Letonya Huş Ağacı Kontrplak, Baltık Huş Ağacı			CNC	Panelin Kalınlığının Kesimi	Saçak Kerf ve Spiral Kerf	3D	Radyal	Sandalye		URL-1
lamp prototype 1 - cone	2018			MDF	CNC	Panelin Kalınlığının Kesimi	Yarık Kerf ve Zig Zag Kerf	3D	Radyal	Lamba Prototipi		Capone & Lanzara (a)
lamp prototype 2	2018			MDF	CNC	Panelin Kalınlığının Kesimi	Desen	3D	Radyal	Lamba Prototipi		Capone & Lanzara (a)
lamp prototype 2	2018			MDF	CNC	Panelin Kalınlığının Kesimi	Desen	2D	Düzlemsel	Lamba Prototipi		Capone & Lanzara (a)
Kerf-Based Complex Wood Systems	2010			Serbest Şekillendirilmiş Ağaçlık Çıtalar	Döner Testere & Robotik İmalat	Panelin Sadece Bir Tarafının Kesimi	Paralel kesim ve Açılı kesim	2D	Doğrusal	Kerf Sistemi Prototipi		URL-2
Cocoon: a Kerfing Experiment	2016			Bivoltin hibrit çeşidi CSR2 x CSR4 kozaları	CNC	Panelin Kalınlığının Kesimi	Desen	3D	Radyal	Lamba Prototipi		Bianconi & Filippucci (2020)
Dango	2017			Kontrplak	CNC	Panelin Kalınlığının Kesimi	Desen	2D	Radyal	Esnek Bir Koltuk		URL-3
Dukta Flexible Wood	-			MDF, Kontrplak, 3 Katlı Levha	CNC ve robotik imalat	Panelin Her İki Tarafında Kesim	Sonar	2D	Radyal	Panel		URL-4
Dukta Flexible Wood	-			MDF, Kontrplak, 3 Katlı Levha	CNC ve robotik imalat	Panelin Her İki Tarafında Kesim	Linar	2D	Radyal	Panel		URL-4
Dukta Flexible Wood	-			MDF, Kontrplak, 3 Katlı Levha	CNC ve robotik imalat	Cutting on Both Sides of the Panel	Foli	2D	Radyal	Panel		URL-4
Dukta Flexible Wood	-			MDF, Kontrplak, 3 Katlı Levha	CNC ve robotik imalat	Panelin Her İki Tarafında Kesim	Janus	2D	Radyal	Panel		URL-4

Çizelge 2'nin devamı

Proje Adı	**Tamam-lanma Yılı**	**Doğal Ahşap Türü**		**Endüstriyel Ahşap Türleri**	**Kesme Yöntemi**	**Kesme Şekli**	**Kesi Türü**	**Burulma**	**Esneklik Boyutu**	**İşlev**	**Proje Görseli**	**Referans**
		Sert Ağaçlar	**Yumuşak Ağaçlar**									
Dukta Flexible Wood	-			MDF, Kontrplak, 3 Katlı Levha	CNC ve robotik imalat	Panelin Her İki Tarafında Kesim	Janus-Tex	2D	Radyal	Panel		URL-4
Dukta Flexible Wood	-			MDF, Kontrplak, 3 Katlı Levha	Bant testere	Panelin Her İki Tarafında Kesim	Duna	3D	Radyal	Panel		URL-4
Ora	-			Tek Kesilmiş Kontrplak	CNC	Panelin Kalınlığının Kesimi	Linar	2D	Radyal	Lamba		URL-4
Lumbra	-	Huş Kontrplak			CNC	Panelin Kalınlığının Kesimi	Linar	2D	Radyal	Lamba		URL-4
Raya	-			dairesel kontrplak segment	CNC	Panelin Kalınlığının Kesimi	Saçak Kerf	3D	Radyal	Lamba		URL-4
Janus Partition	-	3 katmanlı akçaağaç			CNC	Panelin Kalınlığının Kesimi	Janus	2D	Radyal	Akustik Duvar		URL-4
Black Janus Partition	-			MDF siyah	CNC	Panelin Kalınlığının Kesimi	Janus	2D	Radyal	Akustik Duvar		URL-4
Janus Partition	-		3 katmanlı ladin		CNC	Panelin Kalınlığının Kesimi	Janus	2D	Radyal	Akustik Duvar		URL-4
Linar Concert Hall	2015			MDF, kaplama kontrplak	CNC	Panelin Kalınlığının Kesimi	Desen	2D	Radyal	Akustik Duvar		URL-4
TRIVIS	-			Kontrplak	Döner Testere	Panelin Kalınlığının Kesimi	Yarık Kerf	3D	Doğrusal	Heykel		URL-4
SINTA	-			Ham Odun Kütükler	Bant testere	Panelin Kalınlığının Kesimi	Yarık Kerf	3D	Radyal	Heykel		URL-4
TIRA	-			Ham Odun Kütükler	Bant testere	Panelin Kalınlığının Kesimi	Yarık Kerf	3D	Radyal	Heykel		URL-4
Spring Wood	2010	Dişbudak			Bant testere	Panelin Kalınlığının Kesimi	Duna	3D	Radyal	Tabure		URL-5
The Ash Cushion	2010	Dişbudak			Bant testere	Panelin Kalınlığının Kesimi	Yarık Kerf	2D	Düzlemsel	Tabure		URL-5
Flex Chair	2011			Kontrplak	Döner Testere	Panelin Kalınlığının Kesimi	Yarık Kerf	2D	Radyal	Sandalye		URL-6

Çizelge 2'nin devamı

Proje Adı	**Tamam-lanma Yılı**	**Doğal Ahşap Türü**		**Endüstriyel Ahşap Türleri**	**Kesme Yöntemi**	**Kesme Şekli**	**Kesi Türü**	**Burulma**	**Esneklik Boyutu**	**İşlev**	**Proje Görseli**	**Referans**
		Sert Ağaçlar	**Yumuşak Ağaçlar**									
Yin and Yang Stools	2013			Kontrplak	CNC	Panelin Kalınlığının Kesimi	Desen	2D	Radyal	Tabure		URL-7
Ampersand	-	Lamine Akçaağaç Kontrplak			Bant testere	Panelin Kalınlığının Kesimi	Yarık Kerf	2D	Düzlemsel	Sandalye		URL-8
Spannungsreihe	2012			Masif Ahşap Çubuk	Bant testere	Panelin Kalınlığının Kesimi	Yarık Kerf	3D	Radyal	Heykel		URL-9
Oxeye Hall Table	2010			Masif Ahşap	Bant testere	Panelin Kalınlığının Kesimi	Yarık Kerf	2D	Doğrusal	Masa		URL-10
Bird in Space	-	Claro Ceviz, Kıvırcık Akçaağaç			Bant testere	Panelin Her İki Tarafında Kesim	Yarık Kerf	3D	Doğrusal	Heykel		URL-10
Music Stand	-	Kiraz Ağacı, Kapitone Akçaağaç			Bant testere	Panelin Kalınlığının Kesimi	Yarık Kerf	2D	Doğrusal	Müzik Standı		URL-10
Dreamcatcher Hall Table	-	Dişbudak	Maun ağacı		Bant testere	Panelin Kalınlığının Kesimi	Yarık Kerf	2D	Doğrusal	Masa		URL-10
Stonehenge Bookends	-	Dişbudak Ağacı, Ceviz Ağacı			Bant testere	Panelin Kalınlığının Kesimi	Yarık Kerf	2D	Radyal	Bookends		URL-10
Jasmine Vase	-	Ceviz Ağacı			Bant testere	Panelin Kalınlığının Kesimi	Yarık Kerf	2D	Radyal	Vazo		URL-10
PLAAT	2014			Kontrplak	CNC	Panelin Kalınlığının Kesimi	Desen	2D	Radyal	Çanta		URL-11
-	2014			Kontrplak	CNC	Panelin Kalınlığının Kesimi	Desen	3D	Radyal	Panel		Zarrinmehr ve ark. (2017)
-	2017			Kontrplak	CNC	Panelin Kalınlığının Kesimi	Desen	3D	Radyal	Panel		Zarrinmehr ve ark. (2017)
-	2017			Kontrplak	CNC	Panelin Kalınlığının Kesimi	Desen	3D	Radyal	Panel		Zarrinmehr ve ark. (2017)
-	2017			Plywood	CNC	Panelin Kalınlığının Kesimi	Desen	3D	Radyal	Panel		Zarrinmehr ve ark. (2017)



Şekil 10. Ahşap Kerf Ürünlerinin Karşılaştırmaları

5 Sonuçlar

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar şu şekilde sıralanabilir:

- Kerf kesme tekniğinin kullanımı kontrplak malzemede ve yarık kesi tipinde belirgin olarak görülmekte ve yüksek kullanım oranı sergilemektedir.
- Buna karşılık, akçaağaç ve ceviz malzemesinin yanı sıra doğrusal ve duna kesi türleri daha düşük bir yaygınlık göstermektedir.
- Ürünlerin işlevsel yönleri incelendiğinde, sandalye tasarımlarında kerf kesiminin ağırlıklı olarak kullanıldığı, aksesuar tasarımlarının da hemen arkasından geldiği görülmektedir.
- Kesim parametlerine göre yön ve hareketlerini değiştirebilmeleri ve birleşim noktası olmaksızın tek panelden yalnızca kesim tekniği ile işlenerek elde edilebilmeleri sebebiyle kerf teknik kullanılarak üretilen ahşap ürünlerin ilk örnekleri 1985 yıllarına dayansa bile son yıllarda hızla ilgi görmeye başlamıştır.
- Aksesuar ve prototiplerden mobilya üretimine kadar geniş kullanım alanlarında örneklerini görebileceğimiz ahşap esaslı kerf kesimli ürünler esneme yönlerine ve özelliklerine göre çeşitlilik göstererek inovatif tasarımların oluşturulmasına katkı sağlaması sayesinde ilgi odağı olmaya başlamıştır.
- Tasarlanan ürünler içinde seri üretime geçmemiş olanlar çoğunluktadır.
- Kerf kesme tekniği kinetik ürün tasarlanmasında yaygın olarak kullanılmamıştır. Çizelgelerdeki %15 kadar ürün kinetik objelerdir.

Bu bağlamda, bu çalışma ahşap işleri alanında bu kesme tekniklerinin önemini vurgulamaktadır. Bulgular, çeşitli akademik makalelerde ve tasarımcı bloglarında açıkça görülen, ahşapta kerf kesimi konusundaki çalışmaların artan öneminin altını çizmektedir.

Yazar Katkıları

Gökçe Kırkpınar: Kavramsallaştırma (araştırma fikri ve amaçlarının geliştirilmesi), araştırmanın yapılması, analizlerin yapılması, kaynaklar, görselleştirme, makale taslak oluşturma, makale yazma **Yenal Akgün**: Kavramsallaştırma (araştırma fikri ve amaçlarının geliştirilmesi), proje yönetimi, metodolojinin belirlenmesi, araştırmanın yapılması, analizlerin yapılması, veri iyileştirme, kaynaklar, görselleştirme, makale yazma, inceleme ve düzenleme.

Matthieu Joseph Pedergnana Kavramsallaştırma (araştırma fikri ve amaçlarının geliştirilmesi), araştırmanın yapılması, veri iyileştirme, inceleme ve düzenleme.

Finansal destek beyanı
Finansal destek alınmamıştır.

Çıkar Çatışması
Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynaklar

Aguilera, A., & Martin, P. (2001). Machining qualification of solid wood of fagus silvatica L. and Piceaexcelsa L.: Cutting forces, power requirements, and surface roughness. *Holz als Roh-und Werkstoff*, 59(6): 483-488. DOI: 10.1007/s001070100243.

Barabas, S. A. & Florescu, A. (2019). Optimization method of abrasive water jet cutting of welded overlay materials. *Metals* 9. 1046. DOI: 10.3390/met9101046.

Belforte, D. A., & Jafferson, J. M. (2016). Laser cutting. *In Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*. DOI: 10.1016/B978-0-12-803581-8.01853-1.

Bianconi, F. & Filippucci, M. (2020). *Digital Wood Design Innovative Techniques of Representation in Architectural Design*. Springer Press. ISBN 978-3-030-03675-1.

Black, I. & Chua, K.L. (1997). Laser cutting of thick ceramic tile. *Journal of Optics & Laser Technology*. 29(4): 193–205. DOI: 10.1016/S0030-3992(97)00005-4.

Breaz, R. E., Bologa, O., & Racz, S. G. (2017). Selecting between CNC milling, robot milling, and DMLS processes using a combined AHP and fuzzy approach. *Procedia Computer Science, 122*, 796-803. doi: DOI: 10.1016/j.procs.2017.11.439.

Caiazzo, F., Curico,F., Daurelio,G. & Minutolo, F.M.C., (2005). Laser cutting of different polymetric plastics (PE, PP, and PC) by a CO2 laser beam. *Journal of Materials Processing Technology*. 159: 279–285. DOI:10.1016/j.jmatprotec.2004.02.019.

Capone, M. & Lanzara, E. (2019a). Parametric Kerf Bending: Manufacturing double curvature surfaces for wooden furniture design. *Digital Wood Design Innovative Techniques of Representation in Architectural Design.* Springer. 415-439. DOI:10.1007/978-3-030-03676-8_15.

Capone, M. & Lanzara, E. (2019b). *Kerf Bending Tests: Design for Manufacturing Doubly Ruled Surfaces*. Springer International Publishing AG. 1117-1130. DOI: 10.1007/978-3-319-93749-6_92.

Chen, R., Turman, C., Jiang, M., Kalantar, N., Moreno, M. & Muliana, A. (2020). *Mechanics of kerf patterns for creating freeform structures*. Springer Nature. Springer-Verlag GmbH Austria: 231. 3499-3524. DOI: 10.1007/s00707-020-02713-8.

Den Bulcke, J. V., Acker, J.V. & De Smet, J. (2009). An experimental set-up for real-time continuous moisture measurements of plywood exposed to outdoor climate. *Building and Environment*. 44 (12). 2368-2377. DOI: 10.1016/j.buildenv.2009.03.021.

Dukta Flexible Wood (2018a). https://dukta.com/en/about-us/dukta. Erişim Tarihi: 14.02.2024.

Eltawahnia, H. A., Rossinib, N. S., Dassistib, M., Alrashedc, K., Aldahamc, T. Benyounisd, K. Y. & Olabie, A. G. (2013). Evaluation and optimization of Laser Cutting Parameters for Plywood Materials. *Optics and Lasers in Engineering*. 51(9) 1029-1043. DOI: 10.1016/j.optlaseng.2013.02.019.

Guo, X., Deng, M., Hu, Y., Wang, Y, & Ye, T. (2021). Morphology, mechanism and kerf variation during CO2 laser cutting pine wood. *Journal of Manufacturing Processes*. 68: 13–22. DOI:10.1016/j.jmapro.2021.05.036.

Güzelci, O.Z., Alaçam, S. & Bacınoğlu, Z. (2016). Enhancing flexibility of 2D planar materials by applying cut patterns for hands-on study models. SIGraDi, XX Congress of the Ibero American Society of Digital Graphics. Buenos Aires, Argentina. DOI: 10.5151/despro-sigradi2016-382.

Kalantar, N. & Borhani, A. (2018). Informing deformable formworks-parameterizing deformation behavior of a non-stretchable membrane via kerfing. CAADRIA 2018: Learning, Prototyping and Adapting. 339-348. DOI: 10.52842/conf.caadria.2018.2.339.

Khan, P.A.A., Cherif, Kudapa, S., Barnekov, V., & Mukherjee, K. (1991). High speed, high energy automated machining of hardwoods by using a carbon dioxide laser: ALPS. *Laser Institute of America*. 1722. 238-252. DOI:10.2351/1.5058446.

Menges, A., Schwinn, T. & Krieg, O. D. (2016). *Advancing wood architecture: A computational approach.* London: Routledge Taylor& Francis Group. ISBN: 9781317392330.

Muñoz, P. (2011). *La flexibilidad en la generacion de la forma*. Ediciones de la forma Press, Argentina.

Perez-Ubeda, R., Gutiérrez, S. & Stanisic, R.Z. (2018). A Study on robot arm machining: advance and future challenges. 29th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation. 932-940. DOI: 10.2507/29th.daaam.proceedings.134.

Peterson, J., Madson, G. & Moody, RC. (1981). Tensile strength of one, two, and three-ply glulam members of 2 by 6 douglas-fir. *forest products journal*. 31(1):42-48.

Pires, M.C. (1989). Plywood inlays through CO2 laser cutting. CO2 Laser and Applications. SPIE Proceedings. 1042: 97-102.

Shahid, Z., Hubbard, J. E., Kalantar, N. & Muliana, A. (2021). An Investigation of the dynamic response of architectural kerf structures. Austria: Springer-Verlag GmbH. 233.157-181. DOI:10.1007/s00707-021-03108-z .

Sharma, A., & Yadava, V. (2017). Experimental analysis of Nd-YAG laser cutting of sheet materials – A review. *Optics & Laser Technology, 98* (Supplement C), 264-280. doi: DOI: 10.1016/j.optlastec.2017.08.002.

Skoblar, A., Andjelic, N., Zigulic, R. (2016). Determination of critical rotational speed of circular saws from natural frequencies of annular plate with analogous dimensions. *International Journal for Quality Research*, 10(1). 177-192. DOI: 10.18421/IJQR10.01-09.

Smorfitt, D. B., Herbohn, J. L., & Harrison, S. (1999). Factors in the acquisition and utilization of portable sawmills in Queensland. *Australian Forestry*. 62(1). 45-50. Doi: DOI:10.1080/00049158.1999.10674762.

Song, Y., Lv, Z., Bai, J., Niu, S., Wu, Z., Qin, L., Chen, Y., 1, Liang, L., Lei, Y., Jia, P., Shan, X. & Wang, L. (2022). Processes of the Reliability and Degradation Mechanism of High-Power Semiconductor Lasers. MDPI. 12(6). 2-26. DOI: 10.3390/cryst12060765

Thomasnet (2018). About CNC milling. https://www.thomasnet.com/about/cnc-milling-51276103.html, Erişim tarihi 01.02.2024.

Tsai, C., Chen, H. (2003). Laser cutting of thick ceramic substrates by controlled fracture technique. *Journal of Materials Processing Technology*. 136: 166–173. DOI:10.1016/S0924-0136(03)00134-1.

URL-1. Gregg Fleishman: Architecture for the new millennium, https://greggfleishman.com/, Erişim Tarihi: 10.02.2024.

URL-2. Achim Menges, http://www.achimmenges.net, Erişim Tarihi: 14.02.2024.

URL-3. Dango armchair by Polish designer Agnieszka Kowal, https://plainmagazine.com/dango-armchair-polish-designer-agnieszka-kowal/, Erişim Tarihi: 14.02.2024.

URL-4. Dukta Flexible Wood, https://dukta.com/, Erişim Tarihi: 12.02.2024.

URL-5. Spring Wood by Carolien Laro, https://www.dezeen.com/2011/01/05/spring-wood-by-carolien-laro/, Erişim Tarihi: 10.02.2024.

URL-6. Kenichi Sato Interactive Furniture, https://www.tokyoartbeat.com/en/events/-/2012%2F4809, Erişim Tarihi: 14.02.2024.

URL-7. Latkin Fetter, https://tr.pinterest.com/pin/709809591249310685/, Erişim Tarihi: 14.02.2024.

URL-8. Randy Weersing, https://www.core77.com/posts/22480/randy-weersings-zig-zag-chair-three-pieces-of-plywood-and-many-many-cuts-22480, Erişim Tarihi: 13.02.2024.

URL-9. Gramazio & Kohler Architects, https://www.gramaziokohler.com/web/d/installationen/227.html, Erişim Tarihi: 14.02.2024.

URL-10. Seth Rolland Custom Furniture Design, https://sethrolland.com/, Erişim Tarihi: 14.02.2024.

URL-11. Dewi Bekker, Quinten Peuling & Wisse, https://www.contemporist.com/clutch-is-made-from-wood-and-leather/, Erişim Tarihi: 15.02.2024.

Uslan, I. (2005). CO2 laser cutting: Kerf width variation during cutting. Proceedings of IMechE. Part B. *Journal of Engineering Manufacture*. 219: 572–577. DOI: 10.1243/095440505x32508.

Vay, O., De Borst, K., Hansmann, C., Teischinger, A. & Muller, U. (2015) Thermal conductivity of wood at angles to the principal anatomical directions. *Wood Sci Technol.* 49: 577–89. DOI:10.1007/s00226-015-0716-x.

Zarrinmehr, S., Akleman, E., Ettehad, M., Kalantar, N., & Borhani, A. (2017). Kerfing with generalized 2D meander-patterns: Conversion of Planar Rigid Panels into Locally- Flexible Panels with Stiffness Control. In G. Çagdas, M. Özkar, L. F. Gül, & E. Gürer (Eds.), *Future Trajectories of Computation in Design* (pp. 276-293). Istanbul, Turkey.

Zhang, H., Wang, J., Zhang, G., Gan, Z., Pan, Z., Hongliang Cui & Zhenqi Zhu (2005). Machining with flexible manipulator: Toward improving robotic machining performance. in proceedings. 2005 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics. IEEE. 1127–1132. DOI: 10.1109/AIM.2005.1511161.