BÖLÜM 2

TERMOPLASTİK TEKNE ÜRETİMİNDE FIRSATLAR ve ENGELLER

Ayberk Sözen[1]



[1] Dokuz Eylül Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü, Gemi İnşaatı Programı, Haydar Aliyev Bulvarı, No: 32, İzmir/Türkiye; ayberk.sozen@deu.edu.tr;
ORCID ID: 0000-0002-9657-5567.

1. GİRİŞ

Plastiklerin gündelik hayatımıza girdiği ve yaygınlaşmaya başladığı 20. yüzyıl başından itibaren denizel kullanımları da artan bir ivme ile sürmektedir. Plastikler ilk zamanlarda, denizel ortamda sağladıkları yüksek korozyon dayanımı, hafiflikleri, özellikle seri üretime uygunluk ve hızları ile görece düşük maliyetleri gibi avantajları sebebiyle tercih edilebilir olarak görülmüş olsa da artan çevresel kaygıların etkisiyle bu düşünce değişmiş, özellikle plastik atıkların yönetimi ve temelde geri dönüşüm konusunda kaygılar ortaya çıkmıştır. Giderek plastiklere karşı, toplumda büyük bir önyargı oluşmuş ve kullanımlarının yasaklanmaları konusunda çağrılar dahi yapılmaya başlanmıştır (Zarfl ve diğ., 2010). Bu kaygıların odağında büyük oranda 'termoset' olarak adlandırılan ve çapraz kimyasal bağlara sahip plastik türleri olsa da, 'termoplastik' ise üretim yöntemine ve kalitesine bağlı olarak, en az 4-5 kere geri dönüştürülebilirlikleriyle bu kaygıya yanıt veren seçenekler olarak belirmişlerdir (Kreiger ve diğ., 2014). Kullanımı günümüzde artarak yaygınlaşan termoplastikler, eklemeli imalat gibi yeni üretim teknolojilerinin de ortaya çıkışıyla büyük bir potansiyel barındırmaktadır (George ve diğ., 2001).

Çevresel avantajları bağlamında plastiklerin ahşap ve metallere karşı sağladığı ağırlık avantajı nedeniyle sevk yapan araçlarda yakıt tüketiminin görece azlığı nedeniyle karbon emisyonunun düşürülmesine katkıda bulunduğu (May-Pat ve diğ., 2013) dikkatten kaçmamalıdır. Ekonomik ömürlerinin daha uzun ve bakım maliyetleri daha düşük oluşuyla, termoplastiklerin yüksek darbe dirençleri gibi mekanik avantajlarının yanı sıra, üretim sürelerinin daha kısa ve maliyetlerinin de ucuz oluşu onları vaz geçilmesi çok zor bir seçenek haline dönüştürmektedir.

Son dönemlerde organik tabanlı ve çevresel etkilerde kısa sürede çözülebilen PLA (Polilaktik Asit) gibi plastiklerin mühendislik kullanımı üzerine de çalışmalar yürütülmektedir (Upadhyay ve diğ., 2020). Bu organik plastiklerin, denizel plastik kirliliğine çözüm seçeneği üretmede oldukça yol gösterici olacağı da açıktır. Tekne üretimi bağlamında ise biyo-çözünür plastiklerin deniz suyuyla direkt temas edilen noktalarda kullanılması çok mümkün gözükmese de iç mekanlarda kullanılabilirliği ön plana çıkmaktadır (Rodriguez ve diğ.., 2020).

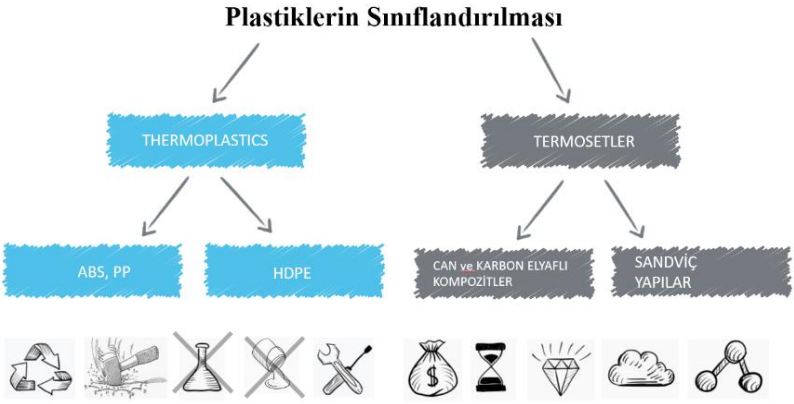
2. DENİZEL PLASTİKLERİN SINIFLANDIRILMASI

Denizel uygulamalardaki plastikler temel olarak Şekil 1'de görüldüğü gibi iki ana grupta sınıflandırılabilir. Termoset olanlar sahip oldukları güçlü iç

kimyasal bağlar ile yüksek mukavemet gereksinimi olan alanlarda (örneğin; yelkenlilerin karbon elyafla güçlendirilmiş direkleri, vb.) başarılı sonuçlar sergilerler (Wang ve diğ.., 2020). Yat teknelerinin gövdelerinin yapımında, kano, deniz bisikleti gibi küçük deniz araçlarında da termoset plastik kullanımı oldukça yaygındır. Özellikle küçük teknelerin performansı bu malzemenin kullanımı ile arttırılmış, yüksek yelken ve motor seyri hızlarına ulaşılabilmiştir.

Termosetler, denizel araçların kalıp kullanılarak seri üretilmesine imkân vermiştir. Teorik olarak herhangi bir boyut sınırlandırması bulunmasa da 30 metre üzerinde teknelerin bu malzeme tek cidarlı olarak üretilmesi pratik olarak zordur. İlk yatırım maliyeti (özellikle kalıp imalatı göz önüne alındığında) ve hazırlık süresi uzun olsa da seri üretime çok uygun, bir anlamda da maliyet bir malzeme grubudur. Tasarım aşamasında ise kalıplamanın imkanları ölçüsünde – ki bu imkanlar çelik malzemenin davranışıyla karşılaştırıldığında oldukça geniş kabul edilebilmektedir- tasarımcıya özgürlük sağlamaktadır ve bu durum özellik yaratıcı tasarımlarla rekabetçiliğin yaratıldığı yatlarda önemlidir.

Sağladığı avantajlara rağmen geri dönüştürülmesi oldukça zor ve maliyetli bir malzemedir. Ayrıca, üretimden kullanılan reçinelerin ve elyafların uygulanmasında iş sağlığı ve güvenliği anlamında ortadan kaldırılması gereken risklerin varlığı bu malzemelerin kullanımının giderek kısıtlanmasında bir etkendir. Ayrıca üretim koşullarına çok bağlı bu malzemelerin kalite kontrol konusunda bir standartın oluşması güçtür.



Şekil 1. Denizel Plastiklerin Sınıflandırılması

Termoplastiklerin ise ister petrol ister, organik türevi olsun termosetlerden farklı olarak, polimer zincirleri birbirine çapraz bağlarla bağlanmaz. Daha sade iç yapıları nedeniyle iyi bir geri dönüşüm yeteneğine sahiptirler. Kolaylıkla işlenilebilir, ısı yardımıyla yeniden şekil verilip kullanılabilirler. En büyük dezavantajları anılan görece zayıf bağlar nedeniyle mukavemet gereksiniminin yüksek olduğu kullanım alanlarında düşük etkinlikleridir. Doğal olarak ısıl etkiler altında deformasyonları fazladır. Bu deformasyonlar, yapısal olarak bir sorun teşkil etmese de görsel olarak son kullanıcıyı rahatsız edebilir. Sadece bu görsel özellik dahi yat inşaatı endüstrisinde termoplastik gövdeli teknelerin yaygınlaşmasını engellemiştir.

Denizel organizmalar termoplastik yüzeylere daha zor yapışırlar. Sadece bu avantajla dahi teknelerin bakım maliyetleri daha düşüktür. Kimyasal dayanımları da oldukça yüksektir.

Tok bir malzeme cinsi olan termoplastikler çatışmalarda daha emniyetli davranırlar (Sözen ve diğ., 2021).

Burada sözü edilen iki farklı plastik malzemenin maliyet karşılaştırması yapmak çok kolay değildir. Üretilecek olan deniz aracının boyutlarına, miktarına ve üretim yöntemine göre maliyetler çeşitlilik gösterecektir.

Yukarıda anılan işçi sağlığı, iş güvenliği açısından ise termoplastikler termosetlerle çalışmaya göre daha güvenlidir. Tekne imalatında sıklıkla başvurulan plastik kaynağı, bu bağlamda kolay ve güvenilirdir.

Benzer şekilde, kalite kontrol süreci standartlaşmaya daha uygudur. Özellikle bir termoplastik olan Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE), 1950'li yıllardan beri hayatımızda bulunsa da denizcilik sektörünün bu malzeme ile tanışması görece olarak yenidir (Julianto ve diğ., 2019). Polipropilen (PP) ve Naylon yani Poliamid (PA) gibi termoplastik malzemeler de denizel araçların yapımında son dönemde kullanılmaya başlanmıştır. Termoplastikler nispeten yeni olduğu için, bu ürünlerin denizel kullanımı ile ilgili kural tabanlı tasarım yaklaşımlarında eksiklikler görülmektedir.



Şekil 2. Termoplastik tekne örneği

3. TERMOPLASTİLERİN DENİZEL KULLANIM ALANLARI

Termoplastik malzemeler denizel olarak çok çeşitli kullanım alanlarına sahiptir. Estetik kaygılar sebebiyle yat sektörü için örnek bir kullanım alanı bulunmasa da yukarıda sayılan avantajlarıyla iş teknelerinde kullanımı yaygınlaşmaktadır. Ayrıca su altı kablolarında, balıkçı ağlarında, balık çiftliği kafeslerinde ve yüzer iskelelerde oldukça yaygın kullanılmaktadır (Şekil 3). Ayrıca kano ve deniz bisikleti gibi tahrikli sevk sistemi bulunmayan küçük deniz araçlarında da örnek kullanım alanları mevcuttur. Az da olsa, 6 metre altı amatör balıkçılık amaçlı küçük tekneler de termoplastik ile üretilebilmektedir. Bu tür tekneler üretim ve dolayısıyla kullanım amacıyla çok yaygınlaşmadığı için satış fiyatları termosetler eşdeğerlerine göre daha yüksektir. Son dönemde, Şekil 2'de görüldüğü gibi devriye teknelerinin termoplastikler ile üretimi yaygınlaşmaktadır.



Şekil 3. Termoplastik malzemenin örnek denizel kullanımı

4. TERMOPLASTİK ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Termoplastik deniz araçlarının günümüzde yaygın olarak kullanılan ve daha çok üretilecek teknenin boyutunun belirleyici olduğu iki temel üretim yöntemi bulunmaktadır:Rotasyon kalıplama yöntemi ve plaka kaynak yöntemi Anılan iki teknik de etkin ve güvenilirdir.

Rotasyon kalıplama yönteminde, metal bir kalıp içerisine bırakılan plastiklerkalıbın ısıtılarak döndürülmesi ile birlikte, merkez kaç kuvveti yardımıyla kalıbın şeklini alır. İlk yatırım ve kalıp maliyeti oldukça yüksektir. Bu yöntemde, metal kalıpların üretimi hem yüksek maliyetli hem de büyük zaman almaktadır.

6 metreden büyük teknelerin bu yöntemle üretimi hem oldukça maliyetli hem de üretim sırasında plastiklerin homojen dağılımı ile ilgili üretim hataları ortaya çıkma olasılığı yüksektir. İlk yatırım maliyeti de yüksek ve bununla birlikte tasarımcıya sunduğu serbestlik oldukça düşüktür.

Küçük tekne sektörü, pazar ihtiyaçları sürekli değişen dinamik bir sektördür. Bu bağlamda bu yöntem seri üretim için parça başına düşük maliyetli olsa da rekabetçiliği etkileyen dizaynın hızlı değişimi anlamında oldukça maliyetli ve zaman alıcıdır.

Bununla birlikte üretim süreci otomatik olduğu için, işçilik hataları oldukça düşüktür. Doğru ve güvenilir bir kalite kontrol süreci oturtulabilir.

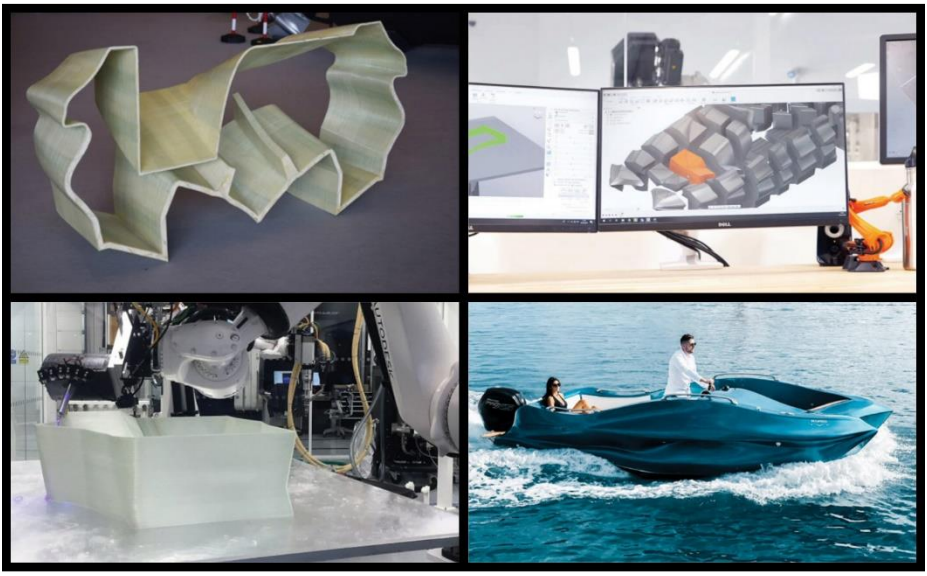
Kanolar, yüzer dubalar, deniz bisikletleri ve küçük balıkçı kayıkları bu yöntemle kolayca üretilebilmektedir.

Termoplastiklerin özellikle devriye botları ve iş tekneleri için yaygın bir başka üretim yöntemi ise plastik **plakaların** ısıtılarak bükülmesi ve **plastik kaynağı** ile kaynatılmasıdır. Plastik kaynağı metal kaynağına göre oldukça kolay ve hızlı uygulanabilen bir imalat yöntemidir ki 20 metreye kadar teknelerin üretimine imkan sağladığı söylenebilir.

Bu yöntemin tekne tasarımını ilgilendiren en büyük dezavantajı plakalar bükülerek üretim yapıldığı için, yumuşak köşeli hatlar yaratmak çok mümkün değildir. Bu durum tasarımı sınırlandırır ve yat sektöründeki müşterilerin tasarım kaygılarını karşılamakta başarısız kalmaktadır ki anılan yöntemden yararlanılarak üretim yapılan bu malzemenin yat sektöründe yaygınlaşamamasının en temel sebeplerinden birisi budur.. İş teknelerinde estetik kaygılar, çok daha geride olduğu için, iş teknelerinde termoplastik malzeme kullanımı ise her geçen gün artmaktadır.

Bu tekniğin sağladığı bir diğer avantaj da kalıp gerektirmediği için hızlı bir şekilde üretime başlamaya imkan vermesidir. Düşük sayıdaki tekne üretimlerinde bu durum maliyet açısından avantajlıdır.

Plaka büküm tekniğinin bir diğer avantajı da teknenin iç yapısına boyuna ve enine destek elemanlarının eklenmesine kolaylıkla imkân vermesidir. Zira rotasyon tekniğinde merkez kaç kuvvetiyle malzemelerin kalıbın etrafında toplanmasından dolayı teknenin içi boş kalmakta ve bu durumu tolare etmek için oldukça kalın bir dış kaplama kalınlığı oluşturmak gerekmektedir ve böylelikle desteksiz boy veya uzunluk arttığı için, rotasyonla yapılan tekneler, plaka büküm tekniğiyle üretilenlere göre ağırlık açısından dezavantajlı hale gelirler. Bir başka yönden de parçalı bir imalat yapıldığı için, rotasyondan üretilen tekneler tek renk olmak zorundayken, plaka kaynağıyla yapılan bu teknelerde çok renk kullanılabilir ki bu da tasarıma bir özgürlük sağlar.



Şekil 4. Eklemeli imalat ile örnek tekne üretimi

Bu iki teknik te endüstri tarafından benimse de son yıllarda alternatif deneysel bir yöntem ortaya çıkmıştır. **'Eklemeli imalat yöntemi'** olarak da bilinen bu yöntemde polimer ve metal malzemeler işlenebilmektedir. (Gibsonn ve diğ., 2015; Upadhyay ve diğ., 2020) Özellikle polimer bazlı yazıcılar bağlamında son yıllarda artanbaskı boyutları ve düşen cihaz maliyetleri sebebiyle küçük tekne endüstrisi için bu teknoloji cazip hale gelmiştir. YYPE, PP, ABS ve PA gibi termoplastikler bu yöntemle işlenebilmektedir. Bu mühendislik plastiklerini giriş seviyesinde ev kullanıcılarının hobi amaçlı kullandığı yazıcılarla ise işlemek mümkün değildir. Endüstriyel seviyede mekanik bir hassaslık ve termal deformasyonları engellemek için ısıtmalı bir yazıcı kabini gerekmektedir. Bir tekne modüler olarak üretilebileceği gibi tek parça olarak da bu yöntemle yakın gelecekte üretilebilecektir. Ayrıca eklemeli imalat teknolojilerinin karmaşık formları işleyebilmesi sayesinde, topoloji optimizasyonuna izin verilmekte ve ağırlık azaltımı sağlamaktadır.

Buradaki temel problem eklemeli imalat ile üretilen ürünlerin malzemeler izotropik olsa bile baskı yönü temelinde, polimer zincirlerin tekrardan sıralanmasıyla ve izotropinin bozulmasıdır. Bu malzemelerin yapısal mühendislik hesaplarını yapmak kolay değildir. Güvenlik katsayıları

güvenli bölgede kalmak için gereksiz derece yüksek alınabilir. Bu yöntem yaygınlaştıkça ampirik hesaplar ve rehberler yaygınlaşacaktır. Eklemeli imalat yöntemleri bir dizayn serbestliği yaratır ve tasarımcıların hızlı prototip üretimiyle yeniliklere yönelme sürecini hızlandırır.

5. DEĞERLENDİRME

Termoplastik tekne üretimi üstün ileri dönüştürülebilme yeteneği ve yeterli mekanik özllikleriyle darbe dayanımı ile termoplastik teknelere karşı oldukça güçlü bir avantaja sahiptir. Termoplastik malzemeler çok uzun zamandır günlük hayatımızda bulunsa da küçük tekne endüstrisinde henüz yaygınlaşamamıştır. Buradaki temel problem aslında estetik kaygılardır. Rotasyon tekniği kalıptan çıktığı için tasarım serbestliği sağlasa da üretilebilecek tekne boyutundaki limitler yat sektörü için bu yöntemi verimsiz kılar. Plaka büküm ve kaynak tekniği daha büyük boyutlara izin verse de tasarım verimliliği olarak yetersizdir. İş tekneleri için termoplastik malzemeler kullanılsa da bu tekne segmenti genel tekne endüstrisinin oldukça küçük bir kısmını oluşturur.

Ayrıca standartların ve sertifikasyon yöntemlerinin eksik olması üreticilerin ve son kullanıcıların bu termoplastik malzemeye mesafeli yaklaşmasının sebeplerindendir.. Denizcilik endüstrisi geçmişten köklü olarak gelen gelenek ve alışkanlıklara oldukça bağlıdır. Yeni bir teknolojiyi ve malzemeyi bu endüstriye entegre etmek oldukça zordur.

6. SONUÇ

Standart üretim yöntemleri termoplastikler için çeşitli fırsatlar sunsa da bu malzemeler termosetlere karşı tekne endüstrisinde geride kalmıştır. Eklemeli imalat yöntemlerinin termoplastiklerin kullanımına imkân vermesi bu durumu değiştirebilir zira bu yöntem üretim maliyetlerini düşürüp, tasarım kaygılarını giderebilir ve ayrıca üretim sürelerini kısaltılabilir. Otomasyona dayanan eklemeli imalat yöntemlerinde insan etkisini en aza indirerek kalite iyileştirilebilir. Bu bağlamda yakın gelecekte, termoplastik malzemelerden eklemeli imalat ile üretilmiş teknelerin görülmesi sürpriz olmayacaktır. Bununla birlikte, eklemeli imalat teknolojileri hala araştırma geliştirme aşamasındadır. Bu teknolojinin havacılık ve otomotiv endüstrisindeki gibi denizciliğe entegre edilebilmesi için belirli bir zaman geçmesi gerekecektir. Ayrıca plastik kirliliği ve ileri dönüşüm ile ilgili kaygıların artması termoplastik malzemelerin yaygınlaşmasını sağlayacaktır.

Termoplastik teknelerin bir diğer dezavantajı ve yaygınlaşmasını engelleyen problem üretim boyutlarının kısıtlı olmasıdır. Ayrıca sıcak hava ve aşırı soğukların olduğu bölgelerde tekneler termal olarak deforme olabilmektedir. Bu deformasyonları engellemek için plaka kalınlıkları ve dolayısıyla tekne ağırlığı gereksiz br şekilde arttırılmaktadır. Bu sorunu çözmek konusunda en fazla umut vadeden öneri, plastiklerin mikro boyutta cam ve karbon elyaflarla güçlendirilerek yeni ve ileri kompozitlerin üretilmesidir. Ayrıca bu yöntem tekne ağırlığını hafifletecek fakat maliyetleri de arttıracaktır. Çekme dayanımı artsa da yeni kompozitlerin de darbe dayanımı beklendiği gibi düşecektir. Bu aşamada optimum bir matris ve takviye oranı seçilmesi gerekmektedir ki güncel araştırmalar bu sorunlara odaklanmıştır

KAYNAKÇA

George, J., Sreekala, M. S., Thomas, S., George, J., Sreekala, M. S., & Thomas, S. (2001). A Review on Interface Modification and Characterization of Natural Fiber Reinforced Plastic Composites. 41(9).

Gibsonn, I., Rosen, D., & Stucker, B. (2015). Additive Manufacturing Technologies 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing. London: Springer.

Julianto, E., & Santoso, A. (2019). Design analysis in the application of solar energy for crossing river HDPE boat. AIP Conference Proceedings, 2187. doi: 10.1063/1.5138318

Kreiger, M. A., Mulder, M. L., Glover, A. G., & Pearce, J. M. (2014). Life cycle analysis of distributed recycling of post-consumer high density polyethylene for 3-D printing filament. Journal of Cleaner Production, 70, 90–96. doi: 10.1016/j.jclepro.2014.02.009

May-Pat, A., Valadez-González, A., & Herrera-Franco, P. J. (2013). Effect of fiber surface treatments on the essential work of fracture of HDPE-continuous henequen fiber-reinforced composites. Polymer Testing, 32(6), 1114–1122. doi: 10.1016/j.polymertesting.2013.06.006

Rodriguez, J. A. T., Zandi, M. D., Jerez-Mesa, R., & Lluma-Fuentes, J. (2020). Fatigue behavior of PLA-wood composite manufactured by fused filament fabrication. Journal of Materials Research and Technology, 9(4), 8507–8516. doi: 10.1016/j.jmrt.2020.06.003

Sözen, A., Neşer, G., & Bengisu, M. (2021). Effect of the geometry on the structural performance of high-density polyethylene small craft joints. Ships and Offshore Structures. doi: 10.1080/17445302.2021.1954326

Upadhyay, R. K., Mishra, A. K., & Kumar, A. (2020). Mechanical Degradation of 3D Printed PLA in Simulated Marine Environment. Surfaces and Interfaces, 21. doi: 10.1016/j.surfin.2020.100778

Wang, B., Zhang, Z., Pei, Z., Qiu, J., & Wang, S. (2020). Current progress on the 3D printing of thermosets. Advanced Composites and Hybrid Materials, 3, 462–472. doi: 10.1007/s42114-020-00183-z/Published

Zarfl, C., & Matthies, M. (2010). Are marine plastic particles transport vectors for organic pollutants to the Arctic? Marine Pollution Bulletin, 60(10), 1810–1814. doi: 10.1016/j.marpolbul.2010.05.026