



İLERİ MÜHENDİSLİK MALZEMELERİNİN ORMAN ENDÜSTRİSİNDE KULLANIMI

Ali Naci TANKUT¹, Timuçin BARDAK*², Mehmet ULUNAM¹, Selahattin BARDAK³

¹Bartın Üniversitesi, Bartın Orman Fakültesi, 74100/BARTIN

²Bartın Üniversitesi, Bartın Meslek Yüksekokulu, 74100/BARTIN

³Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin Çoruh Orman Fakültesi, 08000/ARTVİN

ÖZET

Günümüzde rekabetçi küresel piyasalarda malzemeler ve üretim teknikleri hızlı bir şekilde değişmektedir. Bu değişimin sonucu olarak ortaya çıkan ileri mühendislik malzemeleri çeşitli sektörlerde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu malzemelere olan talep giderek artmaktadır. İleri mühendislik malzemeleri orman endüstrisi sektörüne yeni piyasa fırsatları sunarken, verimlilik ve performansı da artırmaktadır. Güncel bilgiye sahip olmak ve bilgiyi üretebilir hale gelmek ülkemizdeki orman endüstrisinin küresel rekabet gücünü artırmak, yeni fırsatları değerlendirmek açısından önemlidir. Sonuç olarak, bu araştırmada ileri mühendislik malzemelerinin orman endüstrisinde kullanım alanları, teknolojik trendleri ve pazarı konusunda genel bilgi verilmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: İleri Kompozit Malzemeler, Fiber Takviyeli Polimer, Hibrit

THE USE OF ADVANCED ENGINEERING MATERIALS IN FOREST INDUSTRY

ABSTRACT

Nowadays, the material and production techniques have been rapidly changing in the competitive markets. Advanced engineering materials which have occurred as a result of this change have a widely usage field in various sectors. The demand of these materials have been increasingly raised. As the advanced engineering materials offer new market opportunities to forest industry sector, the productivity and performance are increased. Having current information and being able to produce the information are important in terms of increasing global competitive power of the forest industry in our country and evaluating new opportunities. In conclusion, in this study is aim to give the general information about the usage fields in forest industry, technological trends and market of the advanced engineering materials.

Keywords: Advanced Composite Materials, Fibre Reinforced Polymer, Hybrid

1. GİRİŞ

Mühendislik malzemelerini metal ve alaşımları, polimerler, seramikler, kompozitler olarak dört ana gruba ayırabiliriz (Karakaya, 2007). Kompozit malzeme tanımı, temel olarak iki veya daha fazla malzemenin bir arada kullanılmasıyla oluşturulan ve meydana geldiği malzemelerden farklı özelliklere sahip yeni tür malzemeleri belirtmek için kullanılmaktadır (Solmaz, 2007).

Yeni dayanıklı malzeme için yapılan araştırmalar sonunda Fiber Takviyeli Polimer (Fibre Reinforced Polymer FRP) olarak da bilinen İleri Kompozit Malzeme (Advanced Composites Material ACM) hayata geçmiştir (Mohd Sam et al., 2006). Havacılık, uzay ve diğer ticari sektörlerden gelişmiş *İleri Kompozit Teknolojisi* yenilikçi

* Yazışma yapılacak yazar: timucinbardak@hotmail.com

Makale metni 18.03.2011 tarihinde dergiye ulaştırılmış, 04.04.2011 tarihinde basım kararı alınmıştır.

yapısal tasarım ve uygulama açısından bir mühendisin hayali gibidir (Benjamin and Hassan, 2003). Son yıllarda kendilerine özgü özellikleri nedeniyle Fiber Takviyeli Polimerler (FTP) yüksek performanslı malzemeler olarak çeşitli alanlarda önem kazanmıştır. Bu özellikler mükemmel mekanik mukavemet, yüksek korozyon direnci, boyutsal kararlılık, düşük montaj maliyeti ve hafifliktir. Polimer kompozit malzemeler havacılık, otomotiv, denizcilik, altyapı, askeri sanayi, uçak sanayi, spor ekipmanları ve diğer sanayi alanlarında kullanılmaktadır (Singha and Thakur, 2009).

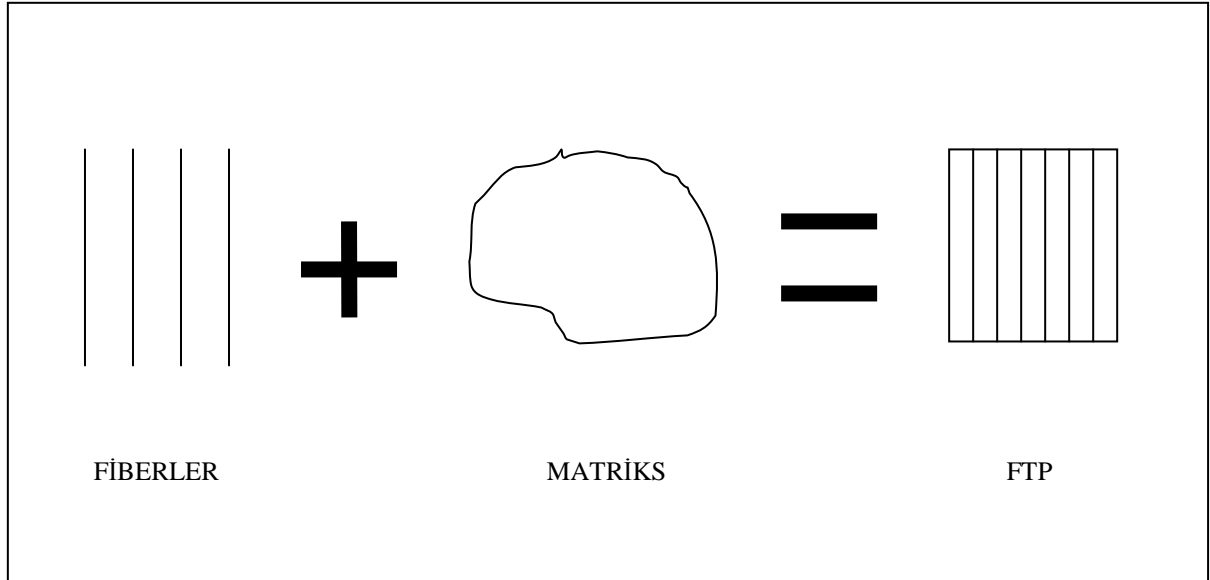
Çalışmalar gelecek yüzyılın başlarında tüm dünyada odunun kıt bir kaynak olacağını göstermektedir. Bu durum orman endüstrisi alanında da alternatif malzeme gelişimine yol açmıştır (Joseph et al, 1999). Metal gibi geleneksel malzemeler yerine FTP'ler yapısal ve yapısal olmayan uygulamalarda özellikle de mobilya endüstrisinde önemli bir potansiyele sahip olmuştur (Singha and Thakur, 2009). Dr. Dan Tingley, FTP takviyeli odun teknolojisi üzerine çalışan ilk kişidir. Tingley FTP takviyeli odun teknolojisini birçok yönden kapsamlı olarak araştırmıştır ve 24'ün üzerinde dünya çapında patentin sahibi olmuştur. FTP teknolojisi LVL (Laminated Veneer Lumber), Glulam (Glued laminated wood), Ahşap I kirişler (I-beams) ve yapı kerestesi gibi yapısal kompozitler için uygundur. Şu anda dünyanın her yerinde çeşitli yapısal kompozit keresteler (Structural Composite Lumber SCL) FTP teknolojisine göre geliştirilmekte ve lisanslanmaktadır (Martin et al, 2000).

Bu araştırmanın amacı, orman endüstrisinde kullanılan ileri mühendislik malzemelerinin teknolojisi, avantajları, dezavantajları ve kullanım alanları hakkında bilgi vermektir.

2. FİBER TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİT

FTP, yeni özellikler vermek için iki yada daha fazla malzemenin birleştirilmesi ile oluşan bir kompozittir. Fakat FTP diğer kompozitlerden ayrılmaktadır. Çünkü kendini oluşturan malzemeler moleküler düzeyde farklıdır ve mekanik olarak ayrılabilir. FTP'nin mekanik ve fiziksel özellikleri onu oluşturan bileşenlerin özellikleri ve mikro düzeyde yapılandırılmalar tarafından kontrol edilir (Tuakta, 2005).

FTP ara yüzeyde bağlanmış fiber ve matristen oluşmaktadır. Şekil 1'de fiber takviyeli polimer oluşumu gösterilmiştir (Tuakta, 2005).



Şekil 1. Fiber takviyeli polimer oluşumu (Tuakta, 2005).

2.1 Matriks

FTP’de matriksin rolü gerilmeler ve fiberler arasında transfer, olumsuz çevreye karşı bariyer oluşturmak ve fiberlerin yüzeyini mekanik aşınmadan korumaktır. Matriksin önemi kompozitte kritiktir (Taj et al, 2007). Fiberin istenen başarıyı göstermesi uygun matriks seçimine bağlıdır. Matriks seçiminde, malzemenin nem ve su alma özelliklerinin göz önünde bulundurulması gereklidir. Kayma sertliği, boyuna olan basınç mukavemeti, uzaması, kopması, yorulması, darbe özellikleri de çok önemlidir. Matriksin yüksek bir kayma modülüne sahip olması istenir. Böylece kompozitten elde edilen kayma katılığı sağlanır. Kayma gerilmesi ve kayma modülü, matriks için mukavemetten daha önemli bir unsurdur. Matrikslerin çoğu sıvı halde kullanıldığı için viskozite önemlidir. Erime noktası, kür zamanı, sıcaklık gibi fiziksel özellikler de matrikslerin diğer önemli noktalarıdır (Ulcay et al, 2002). Matriksler dört temel şekilde bildirilmiştir: Polimerik, Metalik, Seramik ve Karbon. Bugün endüstride kullanılan kompozitlerin çoğu polimer matrikse dayanmaktadır (Taj et al, 2007).

2.2 Fiberler

Fiberler, basit olarak bir boyutu diğer boyutuna göre çok büyük olan malzeme olarak tanımlanabilir (Kılıç, 2006). Fiber kendi çapına göre 100 kez daha fazla uzunlukta olan, silindirik, ince ve esnek bir yapıdır (Candan ve Eronat, 2008). ASTM’ye göre bir malzemenin fiber olarak kabul edilebilmesi için şu şartlar gerekmektedir:

- Uzunluk/kalınlık oranı en az 10/1 olmalıdır.
- En büyük kesit alanı $\leq 0.05 \text{ mm}^2$
- En büyük genişlik $\leq 0,25 \text{ mm}$ (Kılıç, 2006).

Fiberlerin ana fonksiyonları eğilmeye karşı mukavemet, sertlik ve termal stabilite sağlamaktır (Tuakta, 2005). Takviyeli fiberlerin en yaygın olanları cam elyafı, karbon ve aramiddir (Taj et al, 2007).

2.3 Arayüzey

Kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini etkileyen en önemli özelliklerden biri de fiber – matriks arayüzeyinin özellikleridir. Fiber ile matriks arasında bir bağ görevi yapan, arayüzey, fiber ve matriks malzemelerinin türüne göre fiziksel, kimyasal ya da mekanik bir bağ olabilir.

Fiber’e uygulanan yük arayüzey yardımı ile matrikse iletilmektedir böylece kompozit tabakaya uygulanan yükün tüm kompozit tarafından taşınması mümkün olmaktadır.

Güçlü bir arayüzeye sahip kompozit malzemelerin mukavemeti yüksek, sünekliği düşüktür. Zayıf bir arayüzey yapısına sahip malzemelerin ise mukavemeti düşük kırılma direnci yüksektir. Yine arayüzey özelliklerine bağlı olarak kompozit malzemenin korozyon direnci ve su içerisindeki davranışları da değişiklik gösterir (Gür ve Turan, 2004).

3. DOĞAL FİBER TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİTLER

Doğal fiber takviyeli polimer kompozitler ilk olarak otomotiv endüstrisi için geliştirilmiş olmasına rağmen mobilya endüstrisinde kullanımı giderek artmaktadır. Bu uygulamalarda malzemenin mekanik özellikleri termal ya da akustik özelliklerinden daha önemlidir (Medina et al, 2009). Geçtiğimiz son 10 yıl içerisinde, doğal fiberler tarafından takviyelenmiş polimer kompozitlere artan bir ilgi vardır (Kocsis et al, 2007). Keten, hint keneviri ve odun gibi doğal fiberler düzgün polimerlerle birleştiklerinde, iyi takviye yeteneklerine sahiptirler. Cam elyafı gibi sentetik fiberler ile karşılaştırıldıklarında bio fiberlerin bir takım avantajları vardır. Doğal fiberlerin düşük maliyetleri, düşük yoğunlukları, yenilebilirlikleri, spesifik kuvvetin olumlu değerleri ve mükemmel kimyasal dirençleri avantajlara örnek olarak gösterilebilir (Xu et al, 2008). Ancak doğal fiberlerin işleme sırasında bozulma, rutubetlenme ve fibril - matriks arasında uyumsuzluk gibi dezavantajları da vardır (Kocsis et al, 2007).

3.1 Odun Plastik Kompozitler

Odun plastik kompozitler (OPK) odun ya da diğer doğal fiberler ile takviyelenen termoplastikler olarak tanımlanır. Bu kompozitlerin üretiminde kullanılan termoplastikler polietilen (PE), polivinil klorür (PVC) ve polipropilen (PP) dir (Kuo et al, 2009). Şu anda çoğu OPK'ler dış yapılar için polietilen ile yapılır (Guo et al, 2010). Termoplastikler birer polimerdir ve ısı ile işlenebilirler, soğuduktan sonra kendi şeklini muhafaza ederler (Taj et al, 2007). Odun fiberi, termoplastik kompozitlerde bol, ucuz, sağlam ve düşük yoğunluklu olduğu için kullanılır (Doroudiani and Kortschot, 2004).

Genellikle odun plastik kompozitleri iki aşama halinde üretilmektedir. Kompozit malzemeyi oluşturacak olan hammaddeler karıştırıcı vasıtasıyla homojen olarak karıştırılarak birleştirilir. Birleştirilmiş olan bu maddeler ikinci bir işlemde geçer. Bu aşamada ise enjeksiyon, ekstrüzyon veya basınç kalıplama yöntemleriyle malzemeye son şekli verilmektedir. Alternatif olarak, ilk işlem sonrası elde edilen karışım daha sonra ısı ve pres altında eritilip şekillendirilerek üretim yapılabilir (Tufan ve Mengeloğlu, 2010).

Odun plastik kompozitler kereste, korkuluk, pencere profilleri, kapı çerçeveleri, mobilya, paletler, mimari profiller, tekne gövdeleri ve otomotiv parçaları gibi çeşitli uygulama alanlarında başarılı bir şekilde kullanılmaktadır (Lei and Wu, 2010).

Odun plastik kompozitlerin avantajları özetle;

- Odun fiberinin plastik matrisindeki varlığı, maliyetin düşmesine ve olduğundan daha sert malzeme elde edilmesine imkân verir.
- Odun doğal ve yenilenebilir bir kaynak olması nedeniyle plastik ile birlikte kullanımı karbon salınımını azaltır. Çünkü nihai ürünün yapımında daha az fosil enerji ve malzeme gereklidir.
- Geri dönüşümü mümkündür. Bu nedenle çevre dostu bir malzemedir.
- Rutubete karşı yüksek dirençlidir
- Yüksek boyutsal stabiliteye sahip olup çalışması çok azdır
- Daha az bakım gerektirir
- Mantar ve böceklerle karşı dayanıklıdır
- Farklı renklerde ve formlarda üretime imkân verir (Tufan ve Mengeloğlu, 2010; Taylor A. Et al, 2010).

Şekil 2'de çeşitli renklerde ve şekillerde odun plastik kompozitler gösterilmiştir

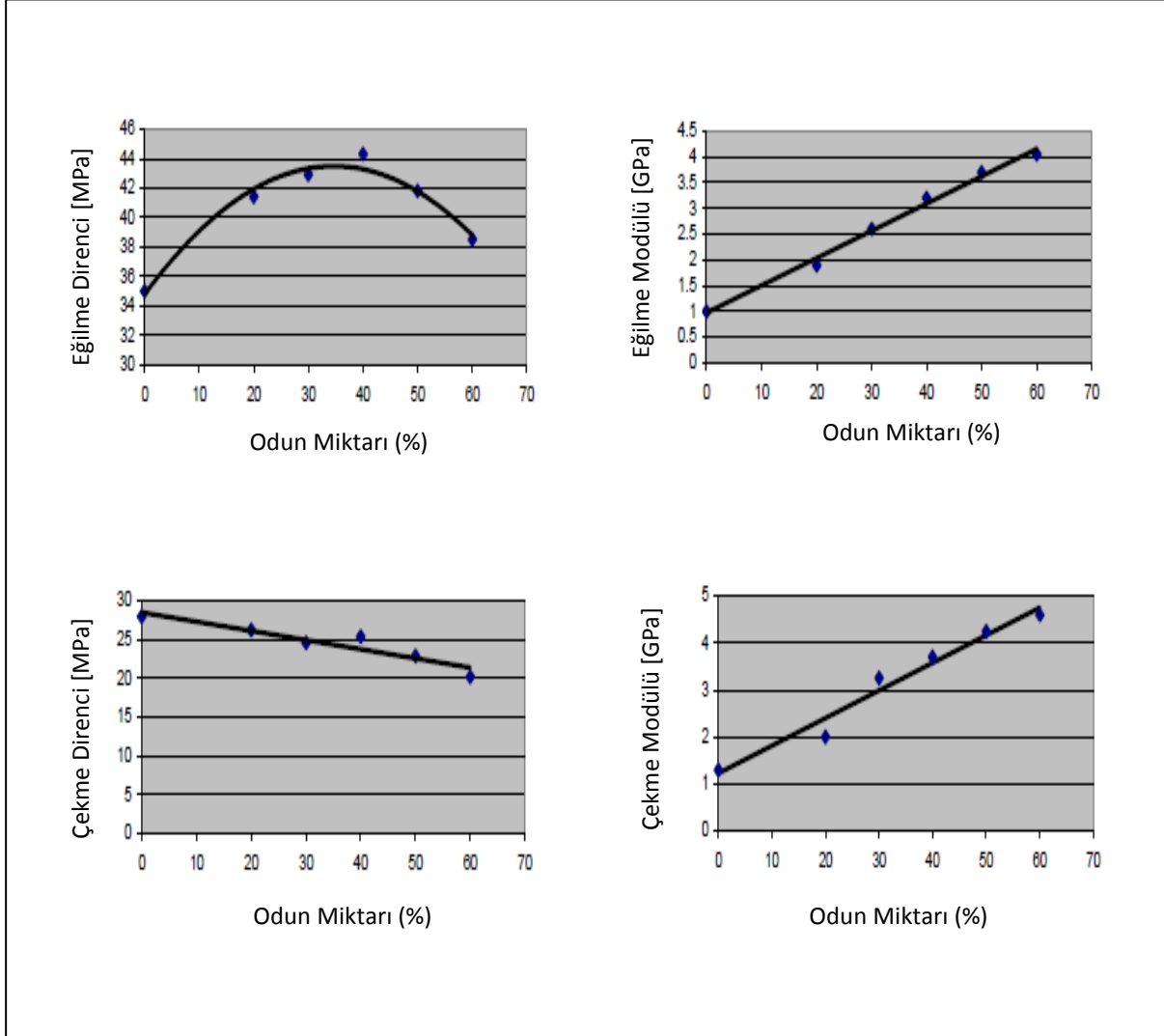


Şekil 2. Çeşitli renklerde ve şekillerde odun plastik kompozitler (Taylor A. Et al, 2010).

Odun plastik kompozitlerin dezavantajları ise şunlardır;

- Düşük hacim yoğunluğuna sahip olmaları ve buna bağlı olarak meydana gelen depolama sorunu
- Hammaddenin depolanması sırasında çıkabilecek yangın riski ve biyolojik bozunmalara maruz kalması.
- Özellikle tarımsal atıkların içerdiği silika'dan dolayı üretim makinelerinde sebep oldukları aşınma (Tufan ve Mengeloğlu, 2010; Taylor A. Et al, 2010).

Hammadde seçimleri, formülasyon, üretim yöntemi ve işleme parametreleri OPK'lerin bütün nihai özelliklerini etkiler. Şekil 3'te polipropilen ve 40 mesh ponderosa çam odunu içeren bir OPK'inin bazı mekanik özelliklerinin odun miktarına bağlı değişimi gösterilmiştir (Optimat Ltd and MERL Ltd, 2003).



Şekil 3. Odun plastik kompozitinin bazı mekanik özelliklerinin odun miktarına bağlı değişimi (Optimat Ltd and MERL Ltd, 2003).

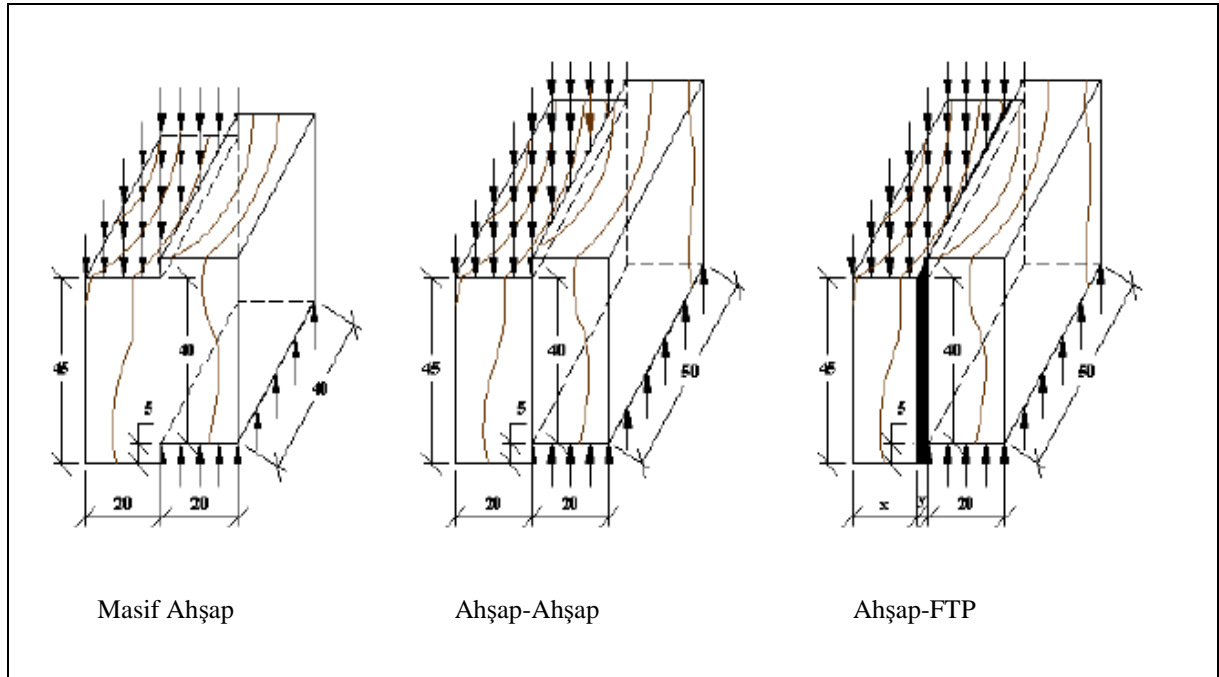
Günümüzde OPK'lerin yıllık ortalama büyüme oranları Kuzey Amerika'da yaklaşık %18 ve Avrupa'da %14 tür. Bu büyüme trendi ile odun plastik kompozitler plastik endüstrisinin en dinamik sektörlerinden biri olabilir. Sadece 1999 yılında OPK'lerin 210 bin ton üretildiği saptanmıştır. İstatistikler 2001 yılında ise bu üretimin 350 bin tona yükseldiğini göstermiştir (Ashari, 2008). OPK'lerin mevcut üretim miktarı yaklaşık 545 bin tondur ve bu üretim miktarının artması beklenmektedir (Singh and Mohanty, 2007).

4. FİBER TAKVİYELİ POLİMER- ODUN HİBRİT KOMPOZİTLER

FTP – Odun Hibrit Kompozit yüksek performanslı ileri mühendislik ürünüdür. Bu kompozitler hem ahşap hem de FTP avantajlarına sahiptir (Williamson, 2002). FTP ile takviyelenmiş odun elemanlarının başarılı olabilmesi için iki farklı malzeme arasında yüksek kaliteli ve dayanıklı bir bağ geliştirilmelidir (Herzog et al, 2005). Malzemede yapısal entegrasyonun sağlanmasında tutkal seçimi önemli bir rol oynamaktadır (Raftery et al, 2009a). Üretimde kullanılan başlıca tutkallar şunlardır.

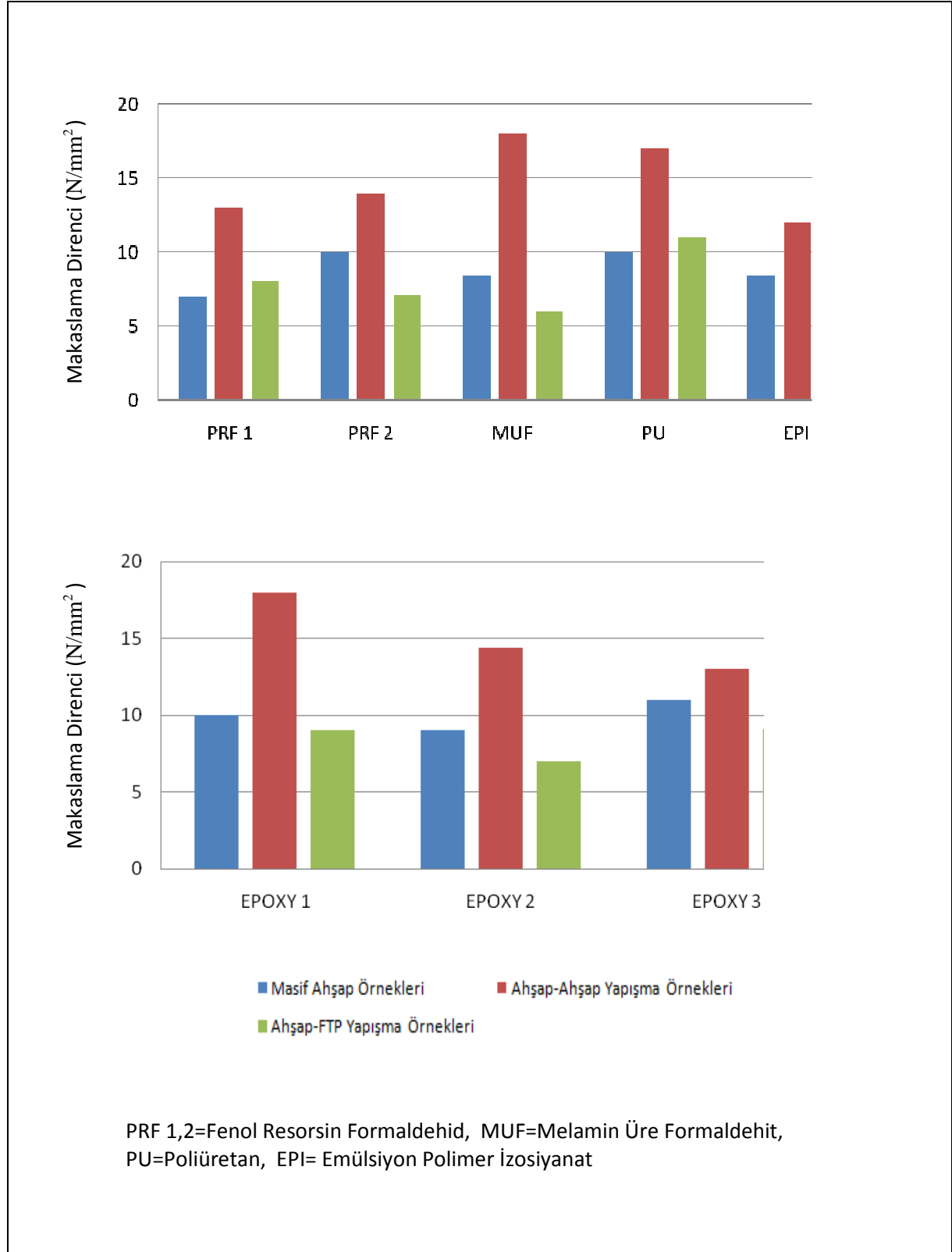
- Fenolik bazlı reçineler
 - Resorsin formaldehit
 - Fenol- resorsin formaldehit
- Epoksiler
- İzosiyanatlar
 - Poliüretan
- Vinil esterler Polyesterler (Gardner, 2010).

Ahşap için en iyi FTP/tutkal birleşimini belirlemek amacıyla yapılan bir araştırmada beş geleneksel ahşap laminasyon tutkalı (İki fenol resorsin formaldehit, bir melamin üre formaldehit, bir poliüretan, bir emülsiyon polimer izosiyanat) ve üç yapısal epoksinin makaslama dirençleri belirlenmiştir. Çalışmada cam elyaf takviyeli polimer kullanılmıştır (Raftery et al, 2006). Şekil 4’te Masif Ahşap, Ahşap-Ahşap, Ahşap-FTP’nin makaslama direnci için kullanılan test örneklerinin boyutları verilmiştir (Raftery et al, 2006).



Şekil 4. Masif Ahşap, Ahşap-Ahşap, Ahşap-FTP'nin makaslama direnci için kullanılan test örnekleri (Raftery et al, 2006).

Yukarıda bahsi geçen çalışmada Masif Ahşap, Ahşap-Ahşap, Ahşap-FTP test örneklerinin farklı tutkallarla elde edilen makaslama direnci değerleri Şekil 5’de gösterilmiştir (Raftery et al, 2006).



Şekil 5 Masif Ahşap, Ahşap-Ahşap, Ahşap-FTP'nin farklı tutkallarla elde edilen makaslama direnci değerleri. (Raftery et al, 2006).

Odunun ve FTP'nin rutubet ve sıcaklık değişimlerine verdikleri tepkiler farklıdır. Odun ile karşılaştırıldığında FTP malzemelerin rutubet alması çok daha düşüktür. Bu nedenle FTP- odun hibrit kompozitlerde oldukça yüksek gerilmeler oluşabilir (Raftery et al, 2009a; Raftery et al, 2009b).

4.1. Fiber Takviyeli Polimer-Glulam Teknolojisi

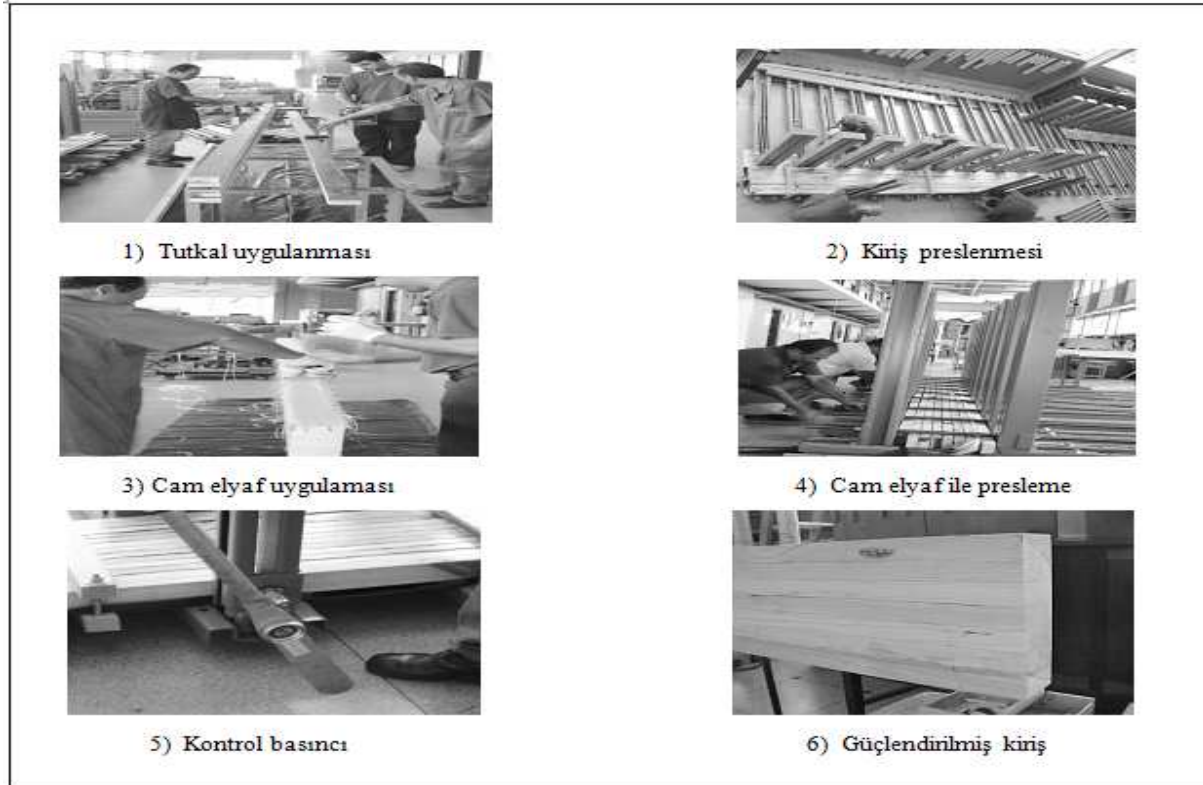
Günümüzde *glulam* olarak bilinen malzeme ilk kez 1893 yılında İsviçre Basel'de bir oditoryumun inşasında kullanılmıştır. Glulam masif kerestelerin büyük boyut oluşturmak için, uç uca yan yana ve üst üste eklenmesiyle üretilen bir yapı elemanıdır (Güller, 2001). Parçalar genellikle parmak birleştirmeler ile oluşturulur. Glulam, masif ahşaba göre daha uzun, daha kalın ve daha geniş üretilmesi açısından üstünlük sağlar (Richie, 2003).

Son günlerde artan maliyetler ve kullanılabilir yüksek kaliteli laminasyon stoklarının azalması glulamın FTP ile güçlendirilmesi konusunu daha çok gündeme getirmiştir. Yüksek mekanik özelliklere sahip FTP'nin rolü glulamda kusurlu kısımların kopmasını sınırlandırmak ve çatlakların açılmasını önlemektir (Davids, 2001; André, 2006). FTP'nin ince bir şerit halinde bulunması bile glulamın eğilme dayanımını % 100 üzeri oranda artırabilir (Stevens and Criner, 2000).

FTP'nin glulam'a sağladığı avantajlar şunlardır:

- Malzemenin mekanik özelliklerini artırır
- Malzemenin boyutlarını ve ağırlığını azaltır. Bu da kullanım kolaylığı sağlar
- Malzemenin toplam maliyetini düşürür. (André, 2006).

FTP'lerin maliyetlerinin azalmasından ve mevcut glulam üretim sürecine kolayca dahil edilebilmelerinden dolayı glulamların güçlendirilmesinde FTP'ler büyük bir kullanım potansiyeline sahiptirler (Dagher et al,1996). Şekil 6'da cam elyafı takviyeli glulam üretim süreci gösterilmiştir (Fiorellia and Dias, 2006).



Şekil 6. Cam elyafı takviyeli glulam üretim süreci (Fiorellia and Dias, 2006).

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Son yıllarda ileri mühendislik malzemelerinde oldukça büyük gelişmeler kaydedilmiştir. Bu malzemeler pek çok mühendislik uygulamasına ekonomiklik ve işlevsellik kazandırmıştır. Bunun sonucu olarak da geleneksel malzemelerin başarılı bir alternatifi haline gelmiştir. Orman ürünleri endüstrisinde bu malzemelerin kullanım alanları, piyasa imkânları ve gelişimine yönelik araştırmalar her geçen gün artmaktadır. Dünya orman ürünleri ticaretinin fırsatlarından yararlanabilmek için ülkemizde de konuya yönelik akademik araştırmalar daha fazla desteklenebilir ve mevcut laboratuvarlar güçlendirilebilirse bu alandaki rekabet gücü olumlu yönde etkilenecektir. Bu bilimsel araştırmalar, konu ile ilgili üniversitelerin laboratuvarlarında veya bu alanda üretim yapan sektörün kendi bünyelerinde oluşturacakları AR-GE birimlerinde ürün geliştirmeye ya da iyileştirmeye yönelik yapılabilir.

KAYNAKLAR

- André, A. 2006. Reserach Report, Fibres for Strengthening of Timber Structures, Luleå University of Technology, Department of Civil and Environmental Engineering, Division of Structural Engineering, ISSN: 1402-1528, Luleå, Sweden.
- Ashari, A. 2008. Wood-plastic composites as promising green-composites for automotive industries, Bioresource Technology, Volume 99, Issue 1, pp 4661-4667.
- Benjamin, M. and Tang, P.E. 2003. FRP Composites Technology Brings Advantages to The American Bridge Bulding Industry, Proceedings published in the 2nd International Workshop on Structural Composites for Infrastructure Applications, December 16-18, Cairo, Egypt, Office of Bridge Technology.
- Candan, Ü. ve Eronat, N. 2008. Fiberle Güçlendirilmiş Rezin Kompozitler, EÜ Dişhek Fak Derg, 29: 1-12, 1-10.
- Dagher, H. J., Kimball, T., Abdel-Magid, B. and Shaler S.M. 1996. Effect of FRP reinforcement on low-grade Eastern Hemlock Glulams. In: Proceedings of the national conference on wood transportation structures, October 23-25, Madison, WI.
- Davids, V. G. 2001. Nonlinear Analysis of FRP-Glulam-Concrete Bemas with Partial Composite, Journal of Structural Engineering, Vol. 127, No 8, pp. 967-971.
- Doroudiani, S. and Kortschot, M. 2004. Expanded Wood Fiber Polystyrene Composites: Processing-Structure Mechanical Properties Relationships, Journal of Thermoplastic Composite, 17 (1), pp. 13-30.
- Fiorellia, J. and Dias, A. A. 2006. Fiberglass-reinforced Glulam Beams: Mechanical Properties and Theoretical Model, Materials Research, Vol. 9, No. 3, 263-269.
- Gardner, D. Y. 2010. Adhesion Between Wood and Fiber Reinforced Polymers: Bonding Issues, <http://www.umaine.edu/adhesion/gardner/5502002/wood-frp%20adhesion.pdf>, Erişim: 23.01.2010.
- Guo, J., Tang, Y. and Xu, Z. 2010. Performance and thermal behavior of wood plastic composite produced bynonmetals of pulverized waste printed circuit boards, Journal of Hazardous Materials, Volume 179, Issues 1-3, p 203-207.
- Güller, B. 2001. Odun Kompozitleri, Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, Seri: A, Sayı: 2, ISSN: 1302-7085, 135-160.
- Gür, M. ve Turan, K. 2004. Fiber-Matriks Arayüzeyinde Gerilme Analizi, Doğu Anadolu Araştırmaları, 3 (1), 25-32.
- Herzog, B., Goodell, B., Lopez-Anido, R. and Gardner, D. 2005. Durability of fiber-reinforced polymer (FRP) composite-wood hybrid products fabricated using the composites pressure resin infusion system (ComPRIS), Forest Prod. J. 55(11): 54-60.
- Joseph, K., Filho, R. D. T., James, B., Thomas, S. and Carvalho, L. H. 1999. A Review on Sisal Fiber Reinforced Polymer Composites., Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.3, n.3, p.367-379.
- Karakaya, Ş. 2007. Tabakalı Kompozit Plakların Gelişmiş Global Optimizasyon Teknikleriyle Yapısal Optimizasyonu, Yüksek Lisans, Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Kılıç, E. 2006. Kompozit Malzemedden Yapılan Yaprak Yayların Analizi, Yüksek Lisans, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, İzmir.

- Kocsis, Z. and Czigang, T. 2007. Investigation of the debonding process in wood fiber reinforced polymer composites by acoustic emission, *Materials Science Forum*, Vols, 537-538, 199-206.
- Kuo, P., Wang, S., Chen, J., Hsueh, H. and Tsai, M. 2009. Effects of material compositions on the mechanical properties of wood-plastic composites manufactured by injection molding, *Materials and Design*, Volume 30, Issue 9, 3489-3496.
- Lei, Y. and Wu, Q. 2010. Wood plastic composites based on microfibrillar blends of high density polyethylene/poly(ethylene terephthalate), *Bioresource Technology*, Volume 101, Issue 10, pp 3665-3671.
- Martin, Z., Stith, J. and Tingley D. 2000. Commercialization of FRP reinforced glulam beam technology, *World Conference on Timber Engineering*, July 31- August 3, Whistler Resort, British Columbia, Canada, 3P51.
- Medina, L., Schledjewski, R. and Schlarb A. 2009. Process related mechanical properties of press molded natural fiber reinforced polymers, *Composites Science and Technology*, Vols 69, Issue 9, 1404-1411.
- Mohd Sam, A. R., Ihsak, M. Y. and Abu Hassan S. 2006. Advanced Composites in Malaysian Construction Industry, *Proceedings of the 6th Asia-Pacific Structural Engineering and Construction Conference*, 5 – 6 September, Kuala Lumpur, Malaysia, Faculty of Civil Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, 152-158.
- Optimat Ltd. and MERL Ltd. 2003. Wood Plastic Composites Study-Technologies and UK Market Opportunities, <http://www.ngcc.org.uk/DesktopModules/ViewDocument.aspx?DocumentID=1228> Erişim: 16.01.2010.
- Raftery, G., Harte, A. and Rodd, P. 2006. Performance Evaluation of Adhesives and Reinforcements in GFRP-Wood Connections. *Proceedings of the 9th World Conference on Timber Engineering (WCTE)*, Aug. 6-10, Portland, Oregon, U.S.A.
- Raftery, G., Harte, A. and Rodd, P. 2009a. Bond quality at the FRP-wood interface using wood-laminating adhesives, *International Journal of Adhesion & Adhesives*, Volume 29, Issue 2, pp 101-110.
- Raftery, G., Harte, A. and Rodd, P. 2009b. Bonding of FRP materials to wood using thin epoxy gluelines, *International Journal of Adhesion & Adhesives*, Volume 29, Issue 5, pp 580-588.
- Richie, M. 2003. Fatigue Behavior of FRP-Reinforced Douglas- Fir Glued Laminated Bridge Girders, Master, Maine University, Civil Engineering, Orono.
- Singh, S. and Mohanty, A.K. 2007. Wood fiber reinforced bacterial bioplastic composites: Fabrication and performance evaluation, *Composites Science and Technology*, Volume 67, Issue 9, p 1753-1763.
- Singha, A. S. and Thakur, V. K. 2009. Physical, Chemical and Mechanical Properties of Hibiscus sabdariffa Fiber/Polymer Composite, *International Journal of Polymeric Materials*, vol 58, Issue 4, p 217-228.
- Solmaz, M. Y. ve Gür, M. 2007. Tabakalı Kompozit Plakalarda Takviye Malzemesi ve Oryantasyon Açısının Gerilme Analizine Etkisi, *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, 6 (1), 16-25.
- Stevens, N. and Criner, G., Department of Resource Economics and Policy University of Maine, *Economic Analysis of Fiber-Reinforced Polymer Wood Beams*, Bulletin, ISSN 1070-1494. June 2000.
- Taj, S., Munawar, A. and Khan, S. 2007. Natural Fiber-reinforced Polymer Composites., *Pakistan Acad. Sci.* 44(2), 129-144.
- Taylor, A., Yadama, V., Englund, K., Harper, D. And Kim J. 2010. Wood Plastic Composites-A Primer, Washington State University, <http://www.utextension.utk.edu/publications/pbfiles/PB1779.pdf>, Erişim 11.01.2010.
- Tuakta, C. 2005. Use of Fiber Reinforced Polymer Composite in Bridge Structures, Master, Massachusetts Institute of Technology, Civil and Environmental Engineering, Massachusetts, Boston.
- Tufan, M. ve Mengeloğlu, F. 2010. Odun Plastik Kompozitleri ve Ülkemizde Odun Plastik Kompozit Üretiminde Kullanılabilecek Hammaddeler Üzerine Genel Bir Değerlendirme, III. Ulusal Karadeniz Ormanlık Kongresi, 20-22 Mayıs 2010, Artvin. Cilt: IV, Sayfa: 1658-1664.
- Ulcay, Y., Akyol, M. ve Gemci, R. 2002. Polimer Esaslı Lif Takviyeli Kompozit Malzemelerin Arabirim Mukavemeti Üzerine Farklı Kür Metotlarının Etkisinin İncelenmesi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi*, Cilt 7, Sayı 1, 93-116.
- Williamson, T. 2002. *Apa Engineered Wood Handbook*, McGraw Hill, New York.
- Xu, X., Jayaraman, K., Marin, C. and Pecavex, N. 2008. Life Cycle Assessment of Wood-Fibre-Reinforced Composites, *Journal of materials processing technology*, Volume 198, Issues 1-3, 168-177.