

TARIMSAL ATIKLARDAN LİF VE YONGA LEVHA ÜRETİMİ

Mustafa Burak ARSLAN, Beyhan KARAKUŞ, Ergün GÜNTEKİN
SDÜ Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, 32260 Isparta

ÖZET

Günümüzde ahşap esaslı kompozitler en önemli orman ürünleri arasında bulunmaktadır. Bu ürünlere olan talebin artması ve üretim teknolojisinin ilerlemesinin sonucu olarak hammadde olan oduna alternatif olarak bazı hammadde kaynakları araştırılmıştır. Oduna alternatif lignoselülozik hammaddeler temelde ikiye ayrılmaktadır. Bunlar, doğal lif kaynakları ve tarımsal atıklardır. Tarımsal atıklardan kompozit malzeme üretimine ilişkin Dünyada ve Ülkemizde bazı çalışmalar yapılmış ve bazı çalışmalarda devam etmektedir. Yapılan araştırmalarda tarımsal atıklardan elde edilen yonga veya lifler tek başlarına ya da bazı odun yonga ve lifleri ile belirli oranlarda karıştırılarak çeşitli yoğunluklarda ve farklı kalınlıklarda paneller üretilmiştir. Yonga veya liflerin yapıştırılmasında farklı oranlarda çeşitli tutkallar kullanılmıştır. Levhalar farklı pres sıcaklıklarında üretilmiştir. Sonuç olarak, tarımsal atık esaslı yongalardan ve liflerden üretilen bazı panellerin odun yongalarından ve liflerinden üretilen panel malzemelere alternatif olabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Tarımsal atıklar, Lif levha, Yonga levha.

FIBERBOARD AND PARTICLEBOARD PRODUCTION USING AGRICULTURAL WASTE

ABSTRACT

Today, wood based composites are among the most important forest products. Due to the increase in demand and improvement in manufacturing technologies, some possible alternative raw materials to wood have been investigated. Basically, alternative raw materials can be divided in two groups; namely, natural fiber resources and agricultural wastes. Uses of agricultural wastes in composite manufacturing have been widely investigated in worldwide. Agricultural chips and fibers were mixed with wood chips and wood fiber in manufacturing of particleboard and fiberboard in different densities and thicknesses. Several adhesives in different ratios were applied in experimental board manufacturing. Boards were manufactured under different temperature and pressure regimes. Results indicate that boards manufactured by using agricultural waste can be alternative to boards manufactured by using wood source.

Keywords: Agricultural waste, Fiberboard, Particleboard.

1. GİRİŞ

İnsanlık tarihinin başlangıcından beri en çok kullanılan malzemelerin başında odun esaslı ürünler gelmektedir. Son yüz yılda teknolojinin de ilerlemesi ile ahşap malzemeye olan talep artmıştır. Ağaç malzemeye talebin artması ile masif malzemeye alternatif ağaç malzemeler geliştirilmiştir. Masif malzemeye en önemli alternatif odun esaslı malzeme ise ahşap kompozitleridir. Son kırk yılda ise bu sektörde önemli gelişmeler gerçekleştirilmiştir. Özellikle sürekli pres sistemine geçildikten sonra üretim hızlanmıştır. Amerika Birleşik Devletleri'nden Orta Asya Ülkeleri'ne kadar ahşap kompozit üretimi yapan bir çok fabrika sürekli pres sistemine geçiş yapmıştır. Ahşap kompozitlere olan talebin ve üretimin artması ile hammadde olarak kullanılan odun yonga ve lifine alternatif hammadde kaynakları araştırılmaya başlanmıştır. Testere talaşı, planya atığı, kereste atıkları gibi sanayi atıkları ahşap kompozit üretimine katılmıştır. Ayrıca bazı bitkisel esaslı lignoselülozik

materyallerde hammadde olarak uygulanmıştır. Kuzey Amerika’ da saman esaslı yüksek yoğunluklu yonga levha üretimine başlanmıştır. Orta doğuda ise ticari olarak pirinç kabuğundan orta ve yüksek yoğunluklu yonga levha üretimi yapılmaya başlanmıştır. Günümüz orman ürünleri sanayinde odun, sanayi atıkları ve bitkisel esaslı lignoselülozik materyallerden yıllık milyonlarca ton kompozit materyal üretilmektedir (Maloney, 1996; Youngquist, 1999).

Özellikle son dönemlerde, atıl durumda bulunan tarımsal atıkların kompozit malzeme üretiminde hammadde olarak kullanılması hem laboratuvar ortamında hem de ticari olarak büyük önem kazanmıştır (Youngquist et al., 1994, Fowler et al., 2006). Bu çalışmada lif ve yonga levha üretiminde kullanılan orman kaynaklarına alternatif olan tarımsal esaslı hammaddelerden üretilen lif ve yonga levhaların performans özellikleri hakkında bilgi verilmektedir. Ayrıca tarımsal esaslı liflerin özellikleri hakkında da bilgi verilmektedir. Bu konu ile ilgili ülkemizde ve dünyada yapılan birçok çalışma incelenmiştir.

2. LİF LEVHA VE YONGA LEVHA ÜRETİMİNDE TARİHİ GELİŞİM

Lignoselülozik materyallerin insanlar tarafından kullanımı Eski Mısır Uygarlığı’na kadar uzanmaktadır. Eski Mısır Uygarlığı’nda tuğla yapımında çamur ile saman karıştırılmış ve bu sayede sağlamlık artırılmıştır (Ndazi et al., 2006). Bitkisel esaslı lignoselülozik materyallerin ağaç malzemeye alternatif olarak kullanılması üzerine yapılan bilimsel araştırmaların tarihi ise yaklaşık olarak yüz yıl önceye dayanmaktadır. 1913’te Bond tarafından köprü yapı için bambunun kullanımına ilişkin bazı deneyler yapılmıştır. 1929’ da Emley ve 1930’da Arnold tarafından mısır saplarından izolasyon levhası üretimi üzerine çalışmalar yapılmıştır (Youngquist et al., 1994).

Şeker kamışı, bambu, jüt, kenaf, pamuk, pirinç sapı, pirinç kabuğu, muz, buğday, tütün, ananas, ay çiçeği sapı, mısır sapı, kenevir, yulaf sapı, pamuk sapı, saman, çavdar, arpa, keten vb. ellinin üzerinde bitkisel esaslı lignoselülozik materyalden kompozit materyal üretilmesi üzerine laboratuvar ortamında yüzlerce araştırma yapılmıştır (Youngquist et al., 1994). Günümüz orman ürünleri endüstrisinde jüt, kenaf, kenevir, keten, kapok, rami gibi bitkisel esaslı lignoselülozik materyaller ticari lif kaynakları olarak kullanılmaktadır (Ndazi, vd, 2006). Kompozit malzeme endüstrisinde odun lifi en avantajlı hammaddedir. Doğal orman kaynaklarının azalması, insan yapımı ormanların sınırlı olması odun dışı liflerin büyük önem kazanmasına neden olmuştur (Ganapathy, 1997).

3. TARIMSAL ESASLI LİFLERİN ÖZELLİKLERİ

Ticari açıdan değerli lifler uzun, hücre çeperi kalın, lümen boşluğu az ve selülozca zengin özellikte olmalıdır. Bu nedenle lif levha üretiminde kullanılacak liflerin boyutları, selüloz miktarları ve lümen boşlukları büyük bir önem taşımaktadır. Tarımsal esaslı liflerin selüloz ve bazı kimyasal bileşimleri Çizelge 1’ de gösterilmektedir

Çizelge 1. Bazı tarımsal esaslı liflerin kimyasal özelliklerinin odun lifiyle karşılaştırılması (Han, 1998).

Lif Tipi	Selüloz (%)	Lignin (%)	Pentozan (%)	Kül (%)	Silis (%)
Pirinç	28-48	12-16	23-28	15-20	9-14
Buğday	29-51	16-21	26-32	4.5-9	3-7
Arpa	31-45	14-15	24-29	5-7	3-6
Yulaf	31-48	14-19	27-38	6-8	4-6.5
Çavdar	33-50	14-19	27-30	2-5	0.5-4
Şeker kamışı	32-48	19-24	27-32	1.5-5	0.7-35
Bambu	26-43	21-31	15-26	1.7-5	0.7
Kenaf	44-57	15-19	22-23	2-5	-
Jüt	45-63	21-26	18-21	0.5-2	-
Kenevir	57-77	9-13	14-17	0.8	-
İğne yapraklı ağaç	40-45	26-34	7-14	< 1	-
Yapraklı ağaç	38-49	23-30	19-26	< 1	-

Lif boyutları lif levhaların özelliklerini etkileyen en önemli faktörlerin başında gelmektedir. İğne yapraklı ağaçlar %90 oranında lif hücresi, yapraklı ağaçlar ise %50 oranında lif hücresi içermektedir. Tarımsal esaslı lifler ise lif hücrelerinin yanı sıra çok çeşitli hücrelere sahiptir. Tarımsal esaslı hammaddelerin lif içeriğini iki tip lif hücresi oluşturmaktadır. İç kısımdaki kısa lifler uzun lif tabakası tarafından oluşan tabakayla çevrelenmiştir (Hurter ve Eng, 2001). İğne yapraklı ağaçlarda lif boyu 3-7 mm, lif genişliği 0,010-0,045 mm ve yapraklı ağaçlarda ise lif boyu 0,5-2 mm, lif genişliği 0,015-0,060 mm arasındadır (Olesen ve Placket, 1999). Çizelge 2’de bazı tarımsal esaslı liflerin uzunluk ve genişlik değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 2 Bazı tarımsal esaslı liflerin lif uzunluk ve genişlikleri (Han, 1998).

Lif Tipi	Lif Uzunluğu (mm)	Lif Genişliği (mm)
Pirinç	0.4-3.4	4-16
Buğday	0.4-3.2	8-34
Mısır	0.5-2.9	14-24
Şeker kamışı	0.8-2.8	10-34
Bambu	1.5-4.4	7-27
Kenaf	2-6	14-33
Jüt	2-5	10-25
Kenevir	5-55	10-51
Keten	9-70	5-38
Pamuk	10-40	12-38

Lif özellikleri lif levhaların performansını direk olarak etkilediği için hammadde olarak kullanılacak liflerin morfolojisi çok önemlidir. Çizelge 2’den de görüleceği üzere pamuk, keten ve kenevir dışında tarımsal esaslı liflerin çam lifinden daha kısa ve daha dar olduğu görülmektedir. Odun liflerin tarımsal esaslı liflerden daha uzun ve geniş olması odun esaslı lif levhaların performans özelliklerinin daha yüksek olmasına yol açmaktadır. Fakat levha üretiminde yaygın olarak kullanılan tutkal türlerinden daha dirençli tutkalların kullanılması, ya da kullanılan tutkalların miktarlarının artırılması veya tarımsal esaslı lifler, odun lifleri ile kombine edilerek kullanılması ile panellerin performans özellikleri arasındaki fark azaltılabilir.

Dünyada lignoselülozik kompozit malzeme üretimindeki en önemli hammadde kaynağı ağaçlardır. Ağaçlar dünyadaki lif kaynaklarının %68,5’ni teşkil etmektedir. Geri kalan %31,5’luk kısmı tarımsal esaslı lifler teşkil etmektedir ve bu oran azımsanmayacak niteliktedir. Dünyadaki odun ve tarımsal esaslı liflerin miktarları (ton) ve oranları (%) Çizelge 3’de gösterilmektedir.

Çizelge 3 Lif kaynaklarının miktarı ve oranı (Ndazi et al., 2006).

Lif kaynağı	Miktar (x10 ³ ton)	Oran (%)
Odun	1.750.000	68,5
Pirinç sapı	700.000	27,4
Pirinç kabuğu	70.000	2,8
Pamuk	18.645	0,75
Bambu	10.000	0,39
Jüt	3.630	0,14
Kenaf	970	0,04
Keten	830	0,03
Sisal	380	0,01
Kenevir	220	0,009
Rami	110	0,004
Hindistan cevizi	100	0,0039

4. TARIMSAL ESASLI LİFLERDEN LİF LEVHA ÜRETİMİ

Lee et al. (2005) tarafından bir çalışmada bambu ve şeker kamışı liflerinin karışımından lif levhalar üretilmiştir. Şeker kamışı/bambu (%75–25, 50–50, 0–100) lifleri UF (üre formaldehit) (%4) ve PMDI (polimerik di fenil metan di izosiyanat) (%1) kombinasyonundan oluşmuş yapıştırıcı madde ile muamele edilip 14 dakika süre ile preslenerek 6,4 mm kalınlığında 721 ve 737 kg/m³ yoğunluklarında orta yoğunlukta lif levhalar ve 1010, 1090, 1150 kg/m³ yoğunluklarında sert lif levhalar üretilmiştir. Şeker kamışı ve bambu liflerinin karışımlarından üretilen sert lif levhaların eğilme dirençleri 32-40 MPa, elastikiyet modülleri 3,6–3,8 GPa, iç yapışma dirençleri 1,2–1,4 MPa, kalınlığına şişme miktarları %13-17, orta yoğunlukta lif levhaların eğilme dirençleri 12–18 MPa, elastikiyet modülleri 1,8–2,5 GPa, iç yapışma dirençleri 0,44–0,71 MPa, kalınlığına şişme miktarları %13–15 olarak görülmüştür. Lif karışımındaki bambu miktarı arttıkça hem sert lif levhaların hem de orta yoğunlukta lif levhaların mekanik özellikleri artış gösterirken, boyutsal özellikler yakın değerler olarak görülmektedir.

Halvarsson et al. (2005) tarafından yapılan bir çalışmada buğday saplarından orta yoğunlukta lif levha üretilmiştir ve levhaların performans özellikleri MDF için Avrupa Standartları (EN 622-5) ile karşılaştırılmıştır. Buğday sapından elde edilen yongalar %12,5, %13,1 ve %14 oranlarında melamin üre formaldehit (MUF) ile tutkallanarak 155 °C’ de 2 dakika süre preslenerek 790–860 kg/m³ aralığında yoğunluklarda levhalar üretilmiştir. Ortalama yoğunlukları 800–850 kg/m³ ve tutkal miktarları %12,5, %13,1 ve 14 olan levhaların eğilme dirençleri 28–32 MPa olarak tespit edilmiştir. Orta tabaka yoğunlukları 750–830 kg/m³ olan panellerin iç yapışma dirençlerinin 0,70–0,78 MPa olduğu görülmüştür. Buğday saplarından üretilen MDF panellerin 24 saat suda bekletildikten sonra kalınlığına şişme değerlerinin % 6–7 civarında olduğu görülmüştür. Bu araştırmadan elde edilen sonuçlara göre orta yoğunlukta lif levha üretiminde buğday liflerinin melamin üre formaldehit tutkalı ile uyumlu olduğu ve üretilen levhaların performans özelliklerinin standartlara uygun olduğu görülmüştür.

Ye et al. (2007) tarafından yapılan bir çalışmada buğday, soya fasulye saplarından elde edilen lifler ile odun liflerinden ayrı ayrı ve odun lifleri ile tarımsal esaslı lifler yarı yarıya karıştırılarak orta yoğunlukta lif levhalar (MDF) üretilmiştir. Tarımsal esaslı lifler %6–9–12 oranında üre formaldehit tutkalı ile tutkallanıp 138 °C’ de 7 dakika süre ile preslenerek 12,5 mm kalınlığında 750–800 kg/m³ yoğunluklarda MDF’ler üretilmiştir. Buğday/Odun (100–0, 50–50, 0–100) liflerinden üretilen panellerin eğilme dirençleri 18-30 N/mm², elastikiyet modülleri 2500-3200 N/mm², iç yapışma dirençleri 0,38–0,80 N/mm², kalınlığına şişme miktarları %3–35 olarak görülmüştür. Soya fasulyesi/Odun (100-0, 50-50, 0-100) liflerinden üretilen levhaların eğilme dirençleri 18–30 N/mm², elastikiyet modülleri 2400–3200 N/mm², iç yapışma dirençleri 0,385–0,81 N/mm², kalınlığına şişme miktarları %2–17,5 olarak görülmüştür.

Ahmad et al. (2005) tarafından yapılan bir çalışmada *Elaeis guineensis* Jacq (Oil palm) ağacının içi boş meyve demeti ile kauçuk ağaç lifleri çeşitli oranlarda (%30–70, 40–60, 50–50, 60–40, 70–30) karıştırılarak orta yoğunlukta lif levhalar (MDF) üretilmiştir. Lif karışımı poliüretan ile tutkallanarak, 90 °C’ de 15 dakika süre ile preslenerek 755–993 kg/m³ yoğunluğunda paneller üretilmiştir. Üç tip levha üretilmiştir. Lifleri herhangi bir işleme tabi tutulmamış MDF’ler, lifleri silan ile muamele edilmiş MDF’ler ve hibrit lifli MDF’ler. MDF meyve-ağaç lifi esaslı orta yoğunlukta lif levhaların eğilme dirençleri 39,69–83,22 MPa ve elastikiyet modülleri 2726–6675,9 MPa olarak görülmüştür. En iyi performans özelliklerinin meyve-ağaç lifi oranı %30–70 ve lifleri silan ile muamele şartlarında üretilen panellerde olduğu görülmüştür. Silan ile muamele edilmiş lifler ile tutkal arasında kuvvetli bir yapışma gerçekleştiğinden, lifleri silan ile muamele edilmiş lif levhaların mekanik özellikleri iyileşme göstermiştir.

Xu et al. (2006) tarafından bir çalışmada kenaf yongalarına tutkal ilave edilmeksizin buharlı basınç etkisi ile yongaların birleşmesi sağlanarak düşük yoğunluklarda kenaf esaslı lif levhalar üretilmiştir. Rutubet miktarları %10 ve %30 olan kenaf lifleri, liflendirme sürecinde 10-30 dakika süre ile pişirilmiştir. Kenaf lifleri 0.4–0.8 MPa buhar basıncı etkisi ile 190 °C’ de 3-10 dakika süreyle preslenerek 6 mm (sıcak pres) ve 12 mm (buhar enjeksiyonlu pres) kalınlığında 300 ve 500 kg/m³ yoğunluklarında lif levhalar üretilmiştir. Yoğunluğu 500 kg/m³ olan levhaların mekanik özelliklerinin daha iyi olduğu görülmüştür. En yüksek eğilme direnç değeri 19,4 MPa, en yüksek elastikiyet modül değeri 2,4 GPa, en yüksek iç yapışma direnç değeri ise 0,51 MPa olarak görülmüştür.

Tarımsal esaslı lifler lif levha üretiminde teknolojik olarak odun lifleri kadar uygun değildir. Bu nedenle tarımsal lif esaslı lif levhaların performans özellikleri odun lifi esaslı levhalar kadar iyi olmamaktadır. Fakat tarımsal esaslı lifler ile odun esaslı lifler belirli oranlarda karıştırılarak, lif levha üretiminde geleneksel yapıştırıcı olarak kullanılan üre formaldehit tutkalının oranı artırılarak yada üre-formaldehitten daha dirençli tutkallar (melamin üre-formaldehit, 4,4'-difenilmetan di izosiyanat vb.) kullanılarak tarımsal esaslı lif levhaların performans özellikleri daha da geliştirilebilir (Le et al., 2005; Halvarsson et al., 2005; Ye et al., 2007).

5. TARIMSAL ATIKLARDAN YONGA LEVHA ÜRETİMİ

Grigoriou (2000) tarafından yapılan bir çalışmada saman ve odun yongaları çeşitli oranlarda karıştırılarak (100–0, 75–25, 50–50, 25–75, 0–100) panel malzemeler üretilmiştir. Saman balyalarının rutubet miktarları yaklaşık %10 olarak tespit edilmiştir. Yongalar UF (üre formaldehit), PMDI (polimerik di fenil metan di izosiyanat) ve UF/PMDI (10–0, 8–2, 7–3, 6–4, 5–5) kombinasyonu ile %8–10 oranında yapıştırıcılar ile tutkalanmıştır. PMDI tutkalı üretilen levhalara %0,7 oranında vaks ilave edilmiştir. 650–700 kg/m³ yoğunluğa sahip 12 mm kalınlığında tek tabakalı levhalar üretilmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar Çizelge 4’ de gösterilmektedir. UF/PMDI (10–0, 8–2, 7–3, 6–4, 5–5) ile üretilen levhalarda saman/odun oranı sadece %50–50’ dir. Tutkal karışımındaki PMDI’ ın oranı arttıkça levhaların fiziksel ve mekanik özelliklerinin arttığı görülmüştür. Ayrıca %50-50 odun/saman yonga karışım miktarında UF ile üretilen paneller ile UF/PMDI ile üretilen paneller karşılaştırılmıştır. UF/PMDI karışımındaki PMDI miktarı arttıkça panellerin özelliklerinin arttığı görülmüştür.

Çizelge 4. Saman ve odun yonga karışımlarından (%25–75, 50–50, 75–25) üretilen levhaların fiziksel ve mekanik özellikleri.

Tutkal Türü	Tutkal Oranı	Eğilme Direnci (MPa)	İç Yapışma Direnci (MPa)	Su Emme (%)	Kalınlığına Şişme (%)
UF	%10	11,58-16,88	0,07-0,40	65-79,1	23,3-31,3
PMDI	%8	23,19-32,66	0,88-1,28	37,4-42,3	12,1-14,3
UF/PMDI	%10	18,54-30,99	0,29-0,87	35,3-62,7	8,7-23,4

Wu (2001) tarafından yapılan başka bir çalışmada şeker kamışlarından yonga levhalar üretilmiştir. Şeker kamışı yongaları % 5–8 oranında di fenil metan di izosiyanat tutkalı ile tutkalanarak 185 °C’ de 2,5 dakika preslenerek 6,65–7,40 mm kalınlıklarında ve 840–900 kg/m³ arası yoğunluklarda paneller üretilmiştir. Şeker kamışlarından üretilen yonga levhaların (bagasse particleboard) eğilme dirençleri 19,11–27,88 MPa, elastikiyet modülleri 2,30–3,79 GPa, iç yapışma dirençleri 1,63–2,70 MPa ve levhaların merkezlerindeki kalınlığına şişme miktarları %8,6–11,9 olarak görülmüştür.

Papadopoulos et al. (2002) tarafından yapılan çalışmada Hindistan cevizi yongaları %2-8 oranında izosiyanat (EMDI) tutkalı ile tutkalanarak 200 °C’ de 6 dakika süre ile preslenerek 722–761 kg/m³ yoğunluklarda tek tabakalı yonga levhalar üretilmiştir. %6’lık tutkala %1 oranında ve %8’lik tutkala %0,5 oranında vaks ilave edilmiştir. Hindistan cevizi yongalarından üretilen yonga levhaların eğilme dirençleri 10,58–20,5 MPa, iç yapışma dirençleri 0,38–1,18 MPa ve kalınlığına şişme miktarları %7,1–36,8 olarak görülmüştür. En iyi özellikler %0,5 vaks ilave edilmiş %8 tutkal içeren panellerde görülmüştür.

Sellers et al. (1995) tarafından düşük yoğunlukta kenaf esaslı yonga levhalar üretilmiştir. Kenaf esaslı yongalar üç farklı tip yapıştırıcı ile tutkalanmak sureti ile 25 mm kalınlığında üç çeşit levha üretilmiştir (%8 UF, %4 FF, %3 PMDI). %8 UF içeren levhalar 180 °C’ de 10 dakika süreyle, %4 FF içeren levhalar 205 °C’ de 10 dakika süre ile ve %3 PMDI içeren levhalar 177 °C’ de 6 dakika süreyle preslenerek üretilmiştir. %8 UF içeren levhaların yoğunlukları 239 kg/m³ eğilme dirençleri 0,931 MPa, elastikiyet modülleri 145 MPa, iç yapışma dirençleri 0,239 MPa, 24 saat suda bekletildikten sonra şişme miktarları %14 olarak, %4 FF içeren panellerin yoğunlukları 235 kg/m³, eğilme dirençleri 0,614 MPa, elastikiyet modülleri 101 MPa, iç yapışma dirençleri 0,172 MPa, 24 saat suda bekletildikten sonra şişme miktarları %15 olarak, %3 PMDI içeren kenaf esaslı levhaların yoğunlukları 249 kg/m³, eğilme dirençleri 0,724 MPa, elastikiyet modülleri 105 MPa, iç yapışma dirençleri 0,172 MPa, 24 saat suda bekletildikten sonra şişme miktarları %16 olarak görülmüştür.

Ntalos et al. (2002) tarafından yapılan çalışmada asma budama atıklarından tek ve orta tabakası asma budama atıklarından yonga levhalar üretilmiştir. Asma yongaları tek tabakalı levhalar ve üç tabakalı levhaların orta tabakası için %8, üç tabakalı levhaların yüzey tabakaları için %12 üre formaldehit tutkalı uygulanarak 180 °C' de 6 dakika süreyle preslenerek 16 mm kalınlığında 646–740 kg/m³ yoğunluklarında tek tabakalı ve 689 kg/m³ yoğunluğunda üç tabakalı yonga levhalar üretilmiştir. Endüstriyel odun yongaları ve asma yongaları çeşitli oranlarda (% 87,5–12,5, 75–25, 50–50, 25–75, %100 odun yongası ve %100 asma yongası) karıştırılarak panel malzemeler üretilmiştir. Yongaları çeşitli oranlarda karıştırılmış tek tabakalı panellerin eğilme dirençleri 11,8–17,8 MPa, elastikiyet modülleri 1584–2340 MPa, iç yapışma dirençleri 0,82–0,84 MPa, kalınlığına şişme miktarları %20,9–19,2 olarak görülmüştür. Test sonuçlarına göre yonga karışımındaki asma yongası miktarı arttıkça panellerin mekanik özelliklerinin düştüğü görülmüştür. Sadece asma yongalarından elde edilen 646-740 kg/m³ yoğunluklarındaki tek tabakalı panellerin eğilme dirençleri 8-11,2 MPa, elastikiyet modülleri 1048-1451 MPa, iç yapışma dirençleri 0,65–1,13 MPa olarak görülmüştür. Aynı çalışmada çeşitli oranlarda endüstriyel ve asma yongalarının karıştırılması ile üretilen üç tabakalı panellerin eğilme dirençleri 17–18,5 MPa, elastikiyet modülleri 2561–2735 MPa, iç yapışma dirençleri 0,70–0,82 MPa olarak tespit edilmiştir. %100 asma yongasından üretilmiş panellerin eğilme dirençleri 14,4 MPa, elastikiyet modülleri 2341 MPa, iç yapışma dirençleri 0,70 MPa olarak bulunmuştur.

Xu et al. (2003) tarafından yapılan bir çalışmada kenaf yongalarından tutkal kullanılmaksızın buharlı basınç veren pres kullanılarak düşük yoğunluklarda paneller üretilmiştir. Kenaf yongaları tutkal ilave edilmeksizin 0.10 MPa buhar basıncı uygulanarak 190 °C plaka sıcaklığında 7 ve 10 dakika preslenerek 100-300 kg/m³ yoğunluklarda 12 mm kalınlığında yonga levhalar üretilmiştir. 10 dakika süre ile preslenen ve 200 kg/m³ yoğunluğa sahip olan panellerin eğilme direnci 1,1 MPa, elastikiyet modülü 300 MPa, iç yapışma direnci 0,10 MPa ve 24 saat suda bekletildikten sonraki kalınlığına şişme miktarı %6,6 olarak belirlenmiştir. Yoğunluğu 256 kg/cm³ olan ve %4 fenol formaldehit ilavesi ile üretilen panellerin eğilme dirençleri 1,07 MPa olmasına karşın tutkal kullanılmaksızın buhar enjektisi ile oluşturulan panellerin eğilme dirençleri 1,85 MPa olarak görülmüştür.

Nugroho ve Ando (2000) tarafından yapılan bir çalışmada bambu esaslı levhalar üretilmiştir. Çapları 1,5-9,5 mm olan bambular yonga haline getirilmiştir. Bambu yongaları %8 oranında metilen di izosiyanat (MDI) tutkalı ile karıştırılarak 160 °C sıcaklıkta 15 dakika süre ile preslenerek 18 mm kalınlığında 600–900 kg/m³ arası yoğunluklarda paneller üretilmiştir. Bambu esaslı levhalar eğilme dirençleri 26,08–108.3 MPa, elastikiyet modülleri 4824–7825 MPa, iç yapışma dirençleri 0,49–1.74 MPa ve kalınlığına şişme miktarları %2,32–5,21 olarak görülmüştür. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre bambu esaslı levhaların rutubetli ve kuru ortamlarda ticari olarak kullanılabilirliği görülmüştür.

Papadopoulos ve Hague (2003) tarafından tek tabakalı keten esaslı yonga levhalar üretilmiştir. Keten yongaları ile odun yongaları belirli oranlarda (%30–70, 20–80, 10-90) karıştırılmıştır. Ayrıca %100 keten yongasından ve %100 odun yongasından da paneller üretilmiştir. Odun ve tarımsal esaslı yonga karışımı %13 oranında UF tutkalı ile tutkalanmıştır. Tutkallanan yongalar 200 °C' de 6 dakika süre ile preslenerek 739-748 kg/m³ yoğunluklarda ve 17,5 mm kalınlığında levhalar üretilmiştir. Ayrıca aynı kalınlık ölçülerinde 0,748 kg/m³ yoğunlukta %100 keten esaslı ve 0,751 kg/m³ yoğunluğa sahip %100 odun esaslı paneller üretilmiştir. Keten-odun yonga karışımından üretilen levhaların eğilme dirençleri 13,22–15,51 MPa, iç yapışma dirençleri 0,43-0,89 MPa ve 24 saat suda bekletildikten sonra kalınlığına şişme miktarları %19,5-37,5 olarak görülmüştür. %100 keten yongası esaslı panellerin eğilme dirençleri 11,72 MPa, iç yapışma dirençleri 0,09 MPa ve kalınlığına şişme miktarları %62,9 olarak tespit edilmiştir. %100 odun yonga esaslı panellerin eğilme dirençleri 16,92 MPa, iç yapışma dirençleri 1,21 MPa ve kalınlığına şişme miktarları %13,5 olarak bulunmuştur. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar ışığında %30 keten–%70 odun yongası içeren panellerin iç mekan kullanımında Avrupa EN standartlarını karşıladığı görülmüştür.

Bektaş et al. (2005) tarafından yapılan bir çalışmada ayçiçeği sapları ve akkavak yongalarından üç tabakalı yonga levhalar üretilmiştir. Ay çiçeği/kavak yonga karışımı %25–75, 50–50 ve 75–25 olacak şekilde ayarlanmıştır. Ayrıca %100 ayçiçeği sapı yongası ve %100 kavak yongası içeren paneller de üretilmiştir. Orta tabaka yongaları %9 ve yüzey tabakaları %11 olacak şekilde UF tutkalı ile tutkalanarak 150 °C' de 7 dakika süreyle pres işlemine tabi tutularak 700 kg/m³ yoğunluğuna sahip paneller üretilmiştir. %100 kavak esaslı levhaların eğilme dirençleri 25,30 MPa, elastikiyet modülleri 2963,3 MPa, iç yapışma dirençleri 0,69 MPa, 24 saat suda bekletildikten sonra kalınlığına şişme miktarları %17,99 olarak, %100 ayçiçeği sapı esaslı panellerin

eğilme dirençleri 15,65 MPa, elastikiyet modülleri 1800,2 MPa, iç yapışma dirençleri 0,46 MPa, 24 saat suda bekletildikten sonra kalınlığına şişme miktarları %25,05 olarak görülmüştür. Ay çiçeği-kavak yonga karışımından üretilen levhaların eğilme dirençleri 19,53–22,96 MPa, eğilme dirençleri 2440,2–2681,2 MPa, iç yapışma dirençleri 0,47–0,53, 24 saat suda bekletildikten sonra kalınlığına şişme miktarları %21,36–21,96 olarak görülmüştür. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre ay çiçeği sapı esaslı yongaların üre formaldehit ile uyumlu olduğu ve ay çiçeği saplarının tek başına ya da ak kavak yongaları ile karıştırılarak yonga levha üretiminde hammadde olarak kullanılabilirliği ortaya konulmuştur.

Güler ve Özen (2004) tarafından yapılan çalışmada pamuk saplarından yonga levhalar üretilmiştir. Pamuk saplarından elde edilen yongalar orta tabakalar için %6–8–10, yüzey tabakaları için %8–10–12 oranlarında üre formaldehit tutkalı ile tutkalanıp 150 °C’ de 6 dakika süreyle preslenerek 20 mm kalınlığında 400–700 kg/m³ yoğunluklarında üç tabakalı levhalar üretilmiştir. Ayrıca kontrol panellerinde orta tabaka için %10 ve yüzey tabakaları için %12 fenol formaldehit tutkalı uygulanmıştır. Pamuk sapı yongalarından üretilen panellerin eğilme dirençleri 3,31–16,79 MPa (fenol formaldehit tutkalıyla üretilen kontrol panellerinde 17,95 N/mm²), iç yapışma dirençleri 0,110–0,563 MPa (fenol formaldehit tutkalıyla üretilen kontrol panellerinde 0,591 N/mm²) olarak tespit edilmiştir.

Güler et al. (2006) tarafından yapılan bir çalışmada ayçiçeği sapları ve kızıl çam yongaları belirli oranlarda karıştırılıp (25–75, 50–50, 75–25, %100 ay çiçeği ve %100 kızıl çam) üre-formaldehit tutkalı (orta tabaka %9 ve yüzey tabakaları %11) ile tutkalanıp 150 °C’ de 7 dakika süre ile preslenerek 700 kg/m³ yoğunlukta yonga levhalar üretilmiştir. Üretilen yonga levhaların eğilme dirençleri 15,67–18,74 MPa, elastikiyet modülleri 1800,2–2973,1 MPa ve iç yapışma dirençleri 0,447–0,584 MPa olarak tespit edilmiştir. En iyi mekanik özellikler 50–50 karışım oranındaki levhalarda görülmüştür.

Bajwa ve Chow (2003) tarafından yapılan bir çalışmada kavak-kenaf yonga karışımından yönlendirilmiş yonga levhalar (OSB) üretilmiştir. Ayrıca %100 kenaf esaslı ve %100 kavak esaslı OSB’ ler üretilmiştir. Yongalar %4 ve %6 oranında hem sıvı hem de toz haldeki fenol formaldehit ile tutkalanmıştır. %4 FF içeren yongalar 204 °C’ de 10 dakika ve %6 FF içeren yongalar 204 °C’ de 10 dakika süresince preslenerek 10,7–11,4 mm kalınlıklarında ve 680–750 kg/m³ yoğunluklarında levhalar üretilmiştir. Yongalar üç şekilde serilmiştir. Yongalar homojen, dikey ve paralel yönde yönlendirilerek serilmiştir. Homojen serilen yongalardan üretilen paneller tek tabaka ve yongaları dikey ve paralel serilen levhalar 3 tabaka içermektedir. Çizelge 5’ de bu çalışmada elde edilen levhaların üretim şartları ve özellikleri görülmektedir.

Çizelge 5. Yongaları homojen ve yönlendirilmiş kavak-kenaf kompozitlerin üretim şartları ve performans özellikleri

Levha Türü	Serme Biçimi	Eğilme Direnci (MPa)	Elastikiyet Modülü (MPa)	İç Yapışma Direnci (MPa)	Kalınlığına Şişme (%)
Kenaf-kavak	Homojen	22,1-34,47	3343,95-5171,1	0,21-0,40	4,95-4,25
Kenaf-kavak	Dikey	18,96-20,54	2068,42-3654,22	-	-
Kenaf-kavak	Paralel	29,3-33,44	4805,64-6336,27	0,27-0,51	3-15
kenaf	Homojen	21,72	3275	0,20	14
kenaf	Dikey	13,79	1654,75	-	-
kenaf	Paralel	26,2	3732,16	0,14	23
kavak	Homojen	39,64	4833,22	0,48	3,4
kavak	Dikey	22,15	2757,9	-	-
kavak	Paralel	46,88	6338,24	0,54	1,7

Kenaf-kavak yonga karışımındaki kenaf miktarı azaldıkça levhaların performans özelliklerinin iyileştiği görülmüştür. %25 kenaf–%75 kavak yonga karışımından üretilen OSB’ lerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin %100 kavak esaslı OSB’ ler ile karşılaştırılabilir olduğu görülmüştür.

6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Günümüz dünyasında teknolojinin ilerlemesi, lignoselüozik kompozitlere talebin artması ve orman kaynaklarının gün geçtikçe azalması, araştırmacıları lignoselüozik kompozit üretiminde oduna alternatif hammadde kaynaklarının üzerinde çalışmalara yönlendirmiştir. Bu çalışmalar özellikle son yirmi yıl içerisinde hem laboratuvar ortamında hem de ticari olarak hız kazanmıştır. Bu çalışmalar günümüzde artarak devam etmektedir. biyo-kompozit üretiminde hammadde olarak oduna en önemli alternatif olarak tarımsal esaslı lif ve yongalar göze çarpmaktadır. Tarımsal esaslı hammaddelerin lif levha ve yonga levha üretiminde tek başına veya odun lif ve yongaları ile karıştırılarak hammadde olarak kullanılması üzerine önemli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada, tarımsal esaslı hammaddelerden lif levha ve yonga levha üretiminde yapılmış birçok önemli çalışma irdelenmiştir. Bu çalışmalarda elde edilen sonuçlara göre tarımsal esaslı hammaddelerden üretilen panellerin performans özellikleri hakkında bilgiler verilmiştir. Ayrıca yapılan çalışmalar ışığında odun lifi ile tarımsal esaslı liflerin fiziksel ve kimyasal özellikleri karşılaştırılması tablolar halinde sunulmuştur.

Yapılan çalışmalarda lif ve yonga levhalar, sadece tarımsal esaslı hammaddelerden veya odun hammaddesi ile karıştırılarak üretilmiştir. Levhaların üretiminde çeşitli pres sıcaklık ve süre değerleri kullanılmıştır. Levhalar farklı yoğunluk (düşük-orta-yüksek) ve kalınlıklarda üretilmiştir. Yongaların tutkalanma işlemlerinde UF, MUF, FF, PMDI, EMDI gibi tutkallar kullanılmıştır. Ayrıca bazı çalışmalarda belirli tutkallar birbirleri ile kombine edilerek kullanılmıştır.

Tarımsal esaslı lif ve yonga levha üretimine ilişkin çalışmalarda ortaya konan sonuçlara göre; tarımsal esaslı lif ve yongaların tek başlarına ya da odun hammaddesi ile kombine edilerek lif ve yonga levha üretiminde kullanılabilecekleri açıkça görülmektedir. Fakat tarımsal atıkların toplanması, taşınması ve depolanmasındaki maliyetlerin yüksek olması bunların orman endüstrisinde kullanılmasında engel olarak karşımıza çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

- Ahmad, S.H., Bonnia, N.N., Ali, E.S. and Zakaria, S. 2005. Eco-medium density fiberboard hybrid using empty fruit bunch and rubber wood fibre, *Appita* 531-536
- Bajwa, D. S. and Chow, P. 2003. Some performance characteristics of aspen-kenaf composite boards, *Forest Products Journal* 53:30-35
- Bektaş, İ., Güler, C., Kalaycıoğlu, H., Mengeloğlu, Nacar, Mehmet 2005. The Manufacture of Particleboards using Sunflower Stalks (*helianthus annuus* L.) And Poplar Wood (*populus alba* L.), *Journal of Composite Materials* 39:467-473
- Fowler, P.A., Hughes, J.M. and Elias, R.M. 2006. Review Biocomposites: technology, environmental credentials and market forces, *J Sci Food Agric* 86:1781-1789
- Ganapathy, P.M. 1997, Sources of Non Wood Fibre for Paper, Board and Panels Production: Status, Trends and Prospects for India, Working Paper No: APFSOS/WP/10, Asia Pacific Forestry Sector Outlook Study, Bangalore
- Grigoriou, A.H. 2000. Straw-wood composites bonded with various adhesive systems, *Wood Science and Technology* 34:355-365
- Güler C., Bektaş, İ. and Kalaycıoğlu H. 2006. The experimental particleboard manufacture from sunflower stalks (*Helianthus annuus* L.) and Calabrian pine (*Pinus brutia* Ten.) *Forest Prod. J.* 56:56-60
- Güler, C. and Ozen, R. 2004. Some properties of particleboards made from cotton stalks (*Gossypium hirsutum* L.), *Holz als Roh- und Werkstoff* 62:40-43
- Halvarsson, S., Norgren, M. and Edlund, H. 2005. processing of wheat straw materials for production of medium density fiberboard (MDF), *Appita* 623-629
- Han, J.S. 1998. Properties of Nonwood Fibers, In: *Proceedings of The Korean Society of Wood Science and Technology Annual Meeting, Korea*, pp. 3-12
- Hurter, R.W. and Eng, P. 2001. Nonwood plant fiber characteristics, Hurter Consult Inc.
- Lee, S., Shupe, T. F. and Hse, C. Y. 2006. Mechanical and physical properties of agro-based fiberboard. *Holz als Roh- und Werkstoff.* 64:74-79.

- Maloney, T.M. 1996. The family of wood composite materials, *Forest Prod. J.* 46:19-26
- Ndazi, B., Tesha, J. V. and Bisanda, E. T. N. 2006. Some opportunities and challenges of producing bio-composites from non-wood residues, *J Mater Sci* 41:6984–6990
- Ntalos, G. A. and Grigoriou, A. H. 2002. Characterization and utilisation of vine prunings as a wood substitute for particleboard production. *Industrial Crops and Products* 16 (2002) 59–68.
- Nugroho, N. and Ando, N. 2000. Development of structural composite products made from bamboo I: fundamental properties of bamboo zephyr board, *J. Wood Science*, 46:68-74
- Olesen, P.O. and Plackett, D.V. 1999. Perspectives on the performance of natural plant fibres. *Proceedings of the Natural Fibres Performance Forum. May 27-28, 1999, Copenhagen, Denmark*, pp. 1-7
- Papadopoulos, A.N. and Hague, J.R.B. 2003. The potential for using flax (*Linum usitatissimum L.*) shiv as a lignocellulosic raw material for particleboard, *Industrial Crops and Products* 17:143 147
- Papadopoulos, A., Traboulay, J. and Hill, C.A.S. 2002. One layer experimental particleboard from coconut chips (*Cocos nucifera L.*), *Holz als Roh- und Werkstoff* 60:394-396.
- Sellers, T., Miller, G.D., Fuller, M.J., Broder, J.G. and Loper, R.R. 1995. Lignocellulosic-Based Composites Made of Core from Kenaf, an Annual Agricultural Crop, *IUFRO XX World Congress Proceedings*
- Ye, X.P., Julson, J., Kuo, M., Womac, A. and Myers, D. 2007. Properties of medium density fiberboards made from renewable biomass, *Bioresource Technology* 98:1077–1084
- Xu J., Widyorini R, Yamauchi H. and Kawai, S. 2006. Development of binderless fiberboard from kenaf core, *J. Wood Science*, 52:236-243
- Xu J., Sugawara, R., Widyorini, R., Han G. and Kawai, S. 2004. Manufacture and properties of low-density binderless particleboard from kenaf core, *J. Wood Science*, 50:62-67
- Wu, Q. 2001. Comparative properties of bagasse particleboard. Pages 277-284 *in* Mei C., Zhou X., Sun D., Zheng Y., Xu X. eds. *Proc. Symposium on Utilization of Agricultural and Forestry Residues*, October 31-November 3. Nanjing Forestry University, Nanjing, China.
- Youngquist, J.A. 1999. Wood-based composites and panel products, *In: Wood handbook, wood as an engineering material*, FPL-GTR 113, Madison WI
- Youngquist, J.A., English, B.E., Scharmer, R.C., Chow, P. and Shook, S.R. 1994. Literature Review on Use of Nonwood Plant Fibers for Building Materials and Panels, United States Department of Agriculture Forest service Forest Products Laboratory General Technical Report FPL-GTR-80