

Farklı mol oranlarıyla sentezlenen üre reçinelerinin yüksek yoğunlukta lif levhaların (HDF) fiziksel özelliklerine ve formaldehit emisyonuna etkisi

Osman Çamlıbel^{a,*} 

Özet: Yaşam alanlarının vazgeçilmez ürünü yüksek yoğunlukta lif levha (HDF) bazlı ve türevi ürünlerin (laminant parke türevleri vb.) hammaddesi HDF levhalarıdır. HDF levhalarının fiziksel test değerleri ilgili standart değerlerde ve formaldehit emisyonunun E1 veya E0 olması hedeflenmiştir. Bu çalışmada, yüksek yoğunlukta lif levha üretim hattında %50 sarıçam (*Pinus sylvestres* L.), %30 göknar (*Abies nordmanniana* L.), %20 kayın (*Fagus orientalis* L.). Üretim hattında üç farklı mol üre-formaldehit reçinesi (R; 1.17, X; 0.98 ve Y; 0.88) kullanılarak 7.7mmx2100mmx2440mm HDF levhalar üretilmiştir. Proseste üretim parametreleri sabit kalmıştır. Tek değişken üç farklı mol oranlarında kullanılan üre formaldehit tutkalı olmuştur. Sıcak pres parametrelerinden pres hızını 950 mm/sn ve pres sıcaklığını 215°C ve 60 saniye presleme süresi parametrelerinde üretim gerçekleştirilmiştir. Üretilen R, X, Y HDF levhaların; fiziksel testlerine (kalınlığına, yoğunluğuna, levha rutubetine, 24 saat suda kalınlığına şişme ve 24 saat su alma) ve formaldehit gaz emisyonuna bakılmıştır. Her bir test grubundan beş levha ölçülmüştür. HDF levhalarının fiziksel özellikleri, özgül ağırlığı R;874 kg/m³, X;881 kg/m³ ve Y;860 kg/m³, kalınlığına suda şişmesi 24 saat R; %17.79, X; %19.65 ve Y; %19.08, 24 saat su alma R; %19.65, X; %19.09 VE Y; %22.42 ölçülmüştür. Formaldehit gaz emisyon değerleri R; 14.96, mg/100g. X; 8.28 mg/100g ve Y; 6.79 mg/100g analiz edilmiştir. Çalışmanın sonucunda (R;1.17, X;0.98 ve Y;0.88) mol üre formaldehit kullanarak üretilen HDF levhalarına hem fiziksel test sonuçları hemde formaldehit gaz emisyonu sonuçlarına göre farklılıklar ortaya konulmuştur.

Anahtar kelimeler: HDF, Fiziksel özellikler, Üre formaldehit, Mol oranı, Formaldehit emisyonu

The effect of urea resins synthesized with different mole ratios on physical properties of high density fiberboards (HDF) and formaldehyde emission

Abstract: The indispensable product of living spaces, the raw material of high density fiberboard (HDF) based derivative products (laminant flooring derivatives, etc.) are HDF boards. The test values (physical and formaldehyde emission properties) of HDF boards are targeted both physical properties and formaldehyde emission E1 or E0 standard. In this study, 50% yellow pine (*Pinus sylvestres* L.), 30% fir (*Abies nordmanniana* L.), 20% beech (*Fagus orientalis* L.) were used biomass. HDF boards of 7.7mmx2100mmx2440mm were produced on the production line which using three different moles of urea-formaldehyde resins (R; 1.17, X; 0.98 and Y; 0.88). Production parameters remained constant in the HDF line process and the only variable were urea formaldehyde resins used in three different molar ratios. The productions were manufactured in pressing speed of 950 mm/second and pressing temperature 215°C and 60 seconds pressing time in the continue hot press. R, X, Y HDF boards produced; physical tests (thickness, density, board moisture, 24 hours Thickness-swelling and 24 hours water absorption) and formaldehyde gas emissions were analysed which was five boards were measured from each test group. Physical properties of HDF boards were measured which was the density of boards (R; 874 kg/m³, X; 881 kg/m³ and Y; 860 kg/m³) Thickness swelling of boards at 24 hours (R; 17.79%, X; 19.65% and Y; 19.08%) water absorption of boards at 24 hours (R; 19.65%, X; 19.09% and Y; 22.42%). Formaldehyde gas emission result of HDF boards were analysed (R; 14.96, mg/100g. X; 8.28 mg/100g and Y; 6.79 mg/100g). As a result of the study, differences were determined according to both physical test results and formaldehyde gas emission results for HDF boards produced.

Keywords: HDF, Physical properties, Urea formaldehyde, Moles ratio, Formaldehyde emission

1. Giriş

Amino bazlı reçineler özellikler üre formaldehit reçineleri odun bazlı levha ürünlerinin üretiminde çok önemli bağlayıcılar. Yüksek yoğunlukta lif levhalar (HDF) büyük çoğunluğu iç mekanlarda HDF laminant olarak zemin kaplamada kullanılmaktadır. HDF laminantlar iç mekân tasarımlarının zemin döşemesinde vazgeçilmez önemli bir üründür.

Bu çalışmada HDF levha üretiminde üç farklı mol oranlarında üre formaldehit (ÜF) reçinesi kullanılmıştır. Üretilen HDF levhalarının bazı fiziksel özellikleri yönüyle araştırılmıştır. Eroğlu ve Usta (2000) yaptığı çalışmada, serbest formaldehitin odun bazlı levhalardan açığa çıkma biçimi üzerine çalışmışlardır. Araştırmacıların çalışmasına göre, serbest formaldehit ilk sıcak preslemeden sonra ikincisi kullanım yerlerinde de açığa çıktığını açıklamışlardır. Grigsby vd. (2004) yaptıkları çalışmada, orta yoğunlukta lif levha (MDF) levhasını oluşturan liflerin

✉ ^a Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale Meslek Yüksekokulu, Mobilya ve Dekorasyon Programı, Kırıkkale

@ ^{*} **Corresponding author** (İletişim yazarı): osmancamlibel@kku.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 26.06.2020, **Accepted** (Kabul tarihi): 30.09.2020



Citation (Atıf): Çamlıbel, O., 2020. Farklı mol oranlarıyla sentezlenen üre reçinelerinin yüksek yoğunlukta lif levhaların (HDF) fiziksel özelliklerine ve formaldehit emisyonuna etkisi. Turkish Journal of Forestry, 21(4): 49-55. DOI: [10.18182/tjf.758505](https://doi.org/10.18182/tjf.758505)

dağılımını analiz etmişler ve azot içerikli üre formaldehiti liflere kaplayarak x ışını foto elektron spektroskopisi yöntemi ile analizini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarına göre, lif yüzeyine kaplanan reçine, parafin içeriği, reçine sprey damlacık boyutu ve reçine püskürtme memesinin blowline'daki konumu üzerine çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Angelatos (2004) yaptığı çalışmada, üre formaldehit (ÜF), melamin formaldehit (MF) ve melamin üre formaldehit (MUF) tutkallarının kimyasal yapıları üzerine çalışmıştır. Araştırmaya göre, reçine sentezleme sürecinde metilasyon aşamasından sonra melamin ve ürenin birlikte yoğunlaşmayıp ağırlıklı olarak melamin ve ürenin kendi kendine yoğunlaştığını ifade etmiştir.

Xing vd. (2004) yaptıkları çalışmada, MDF üretim hattında, reçine hazırlama ile sıcak pres arasında geçen safhada reçinenin ön kürleşme derecesi tespit etmek amacıyla, levhanın çekme mukavemeti üzerine etkisi ve diferansiyel tarama kalorimetrisi yöntemiyle araştırmışlardır. Araştırma sonucuna göre, çekme mukavemeti ile diferansiyel tarama kalorimetrisi arasında reçine ön kürleşme derecesi ile doğrusal bir ilişki olduğunu göstermişlerdir. Kim ve Kim (2005) yaptıkları çalışmada, üre formaldehit, melamin formaldehit ve melamin üre formaldehit reçineleri ile üretilen MDF levhalarının formaldehit gaz emisyonları TS 4894 EN 120 (1999), JIS 5908 (1994) ve gaz kromatografisi yöntemine göre analiz etmişlerdir. Analiz sonucuna göre, ÜF reçinesinin içerisinde melamin ilave edildikçe formaldehit gaz emisyonunun azaldığını ifade etmişlerdir. Mansouri ve Pizzi (2006) yaptıkları araştırmada, üre formaldehit reçinesine az miktarda propanal eklenerek polikondenzasyon işlemi gerçekleştirmişlerdir. Üre formaldehit propanal (ÜFP) reçinesinin su toleransı analizi yapılmıştır. ÜFP reçinesi ile üretilen levhanın kalınlığına şişme testi yapılmıştır.

California Hava Kaynakları Kurulu (CARB, 2007) standardı, kompozit ahşap panel ürünlerdeki formaldehit emisyon seviyesi ile ilgilidir. California Hava Kaynakları Kurulu tarafından ahşap esaslı panel ürünlerinden salınan formaldehit gaz emisyonunun seviyeleri ile ilgili geliştirdikleri standartlar ile CARB I ve CARB II açıklamışlardır. Kurul (CARB, 2007), kompozit ahşap ürünlerden yayılan formaldehit miktarını sınırlayan bir yönetmeliği kabul etmişlerdir. Louis Cyr vd. (2008) yaptıkları çalışmada, gerçek ölçekte MDF üretim hattında deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacıların çalışmalarına göre, rafiner ünitesi blowline hattında kırmızı parlak boyayı tutkal liflerine püskürtmüşlerdir. Üre melamin formaldehit reçinesinin lif içindeki dağılımını konforal lazer tarama mikroskobu ile araştırmışlardır. Bu araştırma sonucunda; tutkalın lifleri %22.5 oranında homojen kapladığını ifade etmişlerdir. Liflerdeki kayıp reçineler ise lif üzerindeki lümen, çukurlar ve çatlaklar tarafından absorbe edildiğinin açıklamışlardır. Park vd. (2009) yaptıkları çalışmada, üre formaldehit reçinesindeki formaldehitin mol oranına etkisi üzerine araştırma yapmışlardır. Üre formaldehit tutkalına melamin eklendikçe üre melamin formaldehit tutkalında (UMF) düşük hidrolitik stabilite sağlandığını açıklamışlardır. Araştırma sonucunda, kürlenmiş UMF reçinesinin asit hidrolizine karşı performans göstereceğini göstermiştir.

Kim (2009) yaptığı çalışmada, mobilya malzemesi olarak kullanılan orta yoğunlukta lif levhaların (MDF) içindeki formaldehit gaz emisyonunu ve uçucu bileşikleri

(VOC) azaltmak amacıyla ponza mineralini formaldehit tutucu olarak kullanmışlardır. Üretilen levhaların fiziksel, mekanik özellikleri ve formaldehit gaz analizini (küçük chamber yöntemi) yapmışlardır. Ponza mineralinin formaldehit gazını tutma performansını ölçmüşlerdir. Alpar vd. (2010) yaptıkları çalışmada; MDF/HDF üretim prosesinde kullanılacak ağaç türlerini araştırmak amacıyla; I214 kavak, kavak türleri, kara keçi boynuzu, kara çam ağaçları kullanarak laboratuvar ortamında MDF üretmişlerdir. Üretilen levhaların fiziksel ve mekanik testlerini yapmışlardır. Testlerde sadece çekme dışında tüm testler araştırmacıların beklentilerini karşılamıştır. Despres vd. (2010)'nin araştırmalarında, amino reçinesine yeni renksiz, toksit içermeyen, uçucu olmayan aldehit, dimetoksietanal (DME) üre reçinesine katarak levhalar üretmişlerdir. Dimetoksietanal, formaldehite göre daha düşük reaktivite göstermiştir. Ürettikleri levhaların formaldehit gaz performansını test etmişlerdir. Park ve Jeong (2011) yaptıkları çalışmalarında, mol oranı yüksek üre formaldehit reçinesi (F/Ü: 1.6 ile 1.4) ile düşük mol üre formaldehit reçinesi (F/Ü: 1.2 ile 1.0) kürleşme esnasında üre formaldehit reçinelerine etki eden faktörleri analiz etmişlerdir. Araştırmaya göre; üre formaldehit reçine üretiminde, formaldehit katılımı azaldıkça reçinenin amorf ve kristalin bölgesindeki hidrolitik dengenin daha stabil olduğunu ifade etmişlerdir. ÜF reçinesinin kürleşme sıcaklığı, kürleşme süresi artıca kristalin bölge yoğunluğu arttığını gözlemlemişlerdir. Ancak kristalin bölgedeki 2 teta açılardan dolayı sertleşme sıcaklığı, sertleşme süresi, sertleştirici tipi, sertleştirici miktarı bu bölgeye etki etmediğinin dolayısıyla reçinenin doğal formundan kaynaklandığını ifade etmişlerdir. Boran vd (2011) tutkal türlerinden, amino grubunu içerenlerin içinden üre formaldehit reçinesi; diğer amino grubu içeren reçine türlerine göre; üretim maliyeti daha düşük, reçine sertleşme zamanını değiştirilebilmesi, sıcak pres altında (sıcaklık, basınç) hızlı reaksiyona girebilmesi su toleransının yüksek olması, aşınmaya dirençli olması, mikroorganizmalara dayanıklı olması ve renksiz olmasıyla çok avantajlı bir üründür. Ancak bu reçinenin sertleşme sonrası formaldehit gazı açığa çıkması istenmeyen bir durum olduğunu ifade etmişlerdir.

Johnsson vd. (2011) yaptıkları çalışma, Jann ve Deppe (1990) tarafından geliştirilen $3 \leq$ levha rutubet içeriği $\leq 9\%$ 'a göre yongalevha ve lif levhalar (MDF)'in perforatör yöntemi ile ölçülen serbest formaldehit gaz analiz sonucunu levha rutubet değerine göre düzeltmek için geliştirilmiş bir yöntem ile alakalı metodu güncelleme üzerine çalışmışlardır. Martins vd. (2012) yaptıkları araştırmada, MDF yüzeyine doğal kayın kaplamasını üre formaldehit reçinesinin sıcak pres altında yapışma mukavemeti ile ilgilidir. Çalışma sonucunda, MDF levha yüzeyine yapıştırılan kayın kaplaması uzun presleme sonucunda yüzey sağlamlığında azalma olduğunu göstermişlerdir.

Grigsby ve Thumm (2012) çalışmalarında MDF üretim hattında, floresan boya katkılı üre formaldehit reçinesi ve parafin kullanarak odun hücresi boyunca dağılımı ve hareketliliği üzerine analiz yapmışlardır. Rafiner çıkışı blowline hattında üre formaldehit reçinesinin lif yüzeyine kaplanması ve lif life bağlanma derecesi reçine damlacık boyutu ile doğru orantılı olduğunu ifade etmişlerdir. Parafin türleri (emülsiyon parafini, hafif katı parafin) prosese verilmiş yerine göre farklılık olabildiğini açıklamışlardır.

Salem vd. (2012) yaptıkları çalışmalarında, çeşitli ahşap esaslı panel levhaların formaldehit emisyonu ve formaldehit içeriği yongalevha, orta ve yüksek yoğunlukta lif levha, kontrplak ve döşeme malzemeleri (HDF laminant, masif ahşap, masif bambu ve polivinil klorür) materyallerine; Avrupa küçük ölçekli chamber EN 717-1 (2004), gas analizi EN 717-2 (1994), Amerikan küçük ölçekli chamber (ASTM D 6007-02, 2002) ve perforator TS 4894 EN 120 (1999) yöntemlerine göre formaldehit gaz analiz testleri yapmışlar ve analiz sonuçlarına göre yöntemler arası korelasyon analizi göstermişlerdir. Roffael ve Behn (2012) yaptıkları çalışmada, yongalevha üretiminde kullanılan yüksek mol oranlı üre formaldehit reçinesini ile düşük mol üre formaldehit reçinesini levha oluşumuna etkileri ve çevre açısından serbest formaldehit gaz emisyonları hakkında çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Mao ve Kim (2013) yaptıkları araştırmasında, düşük mol içerikli üre formaldehit tutkalın yapısındaki metilen eter gruplarının odun bazlı kompozit levha ürünlerinde formaldehit gaz emisyonuna etki değeri üzerine çalışmışlardır. Çalışmanın sonucunda, üre formaldehit tutkalında metil eter gruplarının artması formaldehit emisyonunu artırma potansiyeli olduğunu ifade etmişlerdir. Costa vd. (2013) yaptıkları çalışmada, yongalevha üretiminde formaldehit tutucu olarak sodyum metabisülfid kullanmışlardır. Üre formaldehit farklı mol oranlarında ve melamin formaldehit farklı mol oranlarında sentezlenen reçinelere sodyum metabisülfid katılmıştır. Üretilen yongalevhaların fizikomekanik ve formaldehit gaz emisyonları test edilmiştir.

Grigsby vd. (2014) yaptıkları çalışmada, kürlenmiş reçinenin su ekstraksiyonu ile reçinenin hidrolitik dengesine etkisi üzerine araştırma yapmışlardır. MDF üretimi sırasında lif üzerinde çok aktif olan üre formaldehit reçinesini sertleşme sonucunda çapraz bağlı, reçine matrisine eksik katılımların olmasından dolayı ÜF reçinesinin kürlenmesi tamamlanamamaktadır. Araştırmaya göre su ile ekstraksiyonda %50-70 bağlanma kayıpları oluşabilmektedir. Mantanis vd. (2018) çalışmalarında, Avrupa, orta yoğunlukta lif levha (MDF) ve yönlendirilmiş yonga levha (OSB) de kullanılan yapıştırıcı üzerine çalışmışlardır. Araştırmaya göre kullanılan levhaların üretim maliyetini ve formaldehit gaz emisyonunu azaltma gerekliliğini ifade etmişlerdir.

Son yıllarda Türkiye'de MDF/HDF üretimi 4.910.000 m³/yıl Avrupa'da birinci sırada yer almaktadır. 2018 yılında Avrupa da MDF üretimi yaklaşık 17.764.338 m³/yıl olmuştur. Dünyada 99.443.242 m³/yıl MDF üretim gerçekleşmiştir (Foostat, 2020). Bu çalışmada, orta yoğunlukta lif levha üretim prosesinde, üretim parametreleri sabit kalarak, üç farklı mol oranlarında sentezlenen formaldehit bazlı üre reçinelerinin HDF levhalardaki performansı araştırılmıştır.

Bu çalışma sonucunda, farklı mol oranları ile sentezlenen reçineler ile üretilen levhaların TS EN standartların belirlediği kriterler içinde kalmak koşuluyla F:Ü; 0.98 mol üre formaldehit ve F:Ü; 0.88 mol üre formaldehit reçinesini hem fiziksel değerleri hemde formaldehit gaz salınımı test sonuçlarına göre HDF üretiminde kullanılması önerilebilir.

2. Materyal ve yöntem

2.1. Hammadde

Bu çalışmada; %50 sarı çam (*Pinus sylvestres* L), %30 göknar (*Abies nordmanniana* L), %20 kayın (*Fagus orientalis* L) kullanılmıştır. Bu odunlar Kastamonu Daday bölgesinden kastamonu organize sanayi bölgesinde özel bir MDF üretim tesisine getirilmiştir.

2.2. Tutkal

Üre formaldehit tutkalları Kastamonu Tutkal Üretim Tesisleri'nde üretilmiştir.

Tutkalların kimyasal özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

2.3. Parafin

Parafin rengi kirli beyaz sıvıdır. Denizli ilinden faaliyet gösteren özel bir işletmeden tedarik edilmiştir. Parafinin kimyasal özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

2.4. Sertleştirici

Üre formaldehit tutkalını sertleştirilmesinde katalizör olarak amonyum sülfat (NH₄)₂SO₄ kullanılmıştır. İstanbul'dan özel bir firmadan tedarik edilmiştir. Kullanılan katalizör %20'lik amonyum sülfat (NH₄)₂SO₄ solüsyondur. Sertleştiricinin kimyasal özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1'de HDF üretiminde kullanılan tutkal türlerinin kimyasal özellikleri, parafinin kimyasal özellikleri ve sertleştiricinin kimyasal özellikleri verilmiştir.

2.5. Üretim parametreleri

Bu çalışmada uygulana üretim parametreleri Çizelge 2'de gösterilmiştir. Test grubundaki levhalar R, X, Y sembolü ile ifade edilmiştir. Üç farklı mol üre-formaldehit tutkalı (ÜF) R; 1.17, X; 0.98 ve Y; 0.88 mol üre-formaldehit tutkalı (ÜF) kullanılmıştır. Bu çalışmada deneme levhalar Kastamonu Entegre Ağaç San. Tic. AŞ Kastamonu MDF Tesislerinde üretim yapılmıştır.

Çizelge 1. HDF üretiminde kullanılan kimyasalların özellikleri

Özellikler	1.17 mol ÜF	0.98 mol ÜF	0.88 mol ÜF	Parafin	Sertleştirici
Katı madde	63±1	58±1	58±1	60	20
Yogunluk (20 °C g/cm ³)	1.227	1.227	1.227	0.96	0.95
Vizkosite (25°C cps) (sn)	20-35	15-35	15-35	13-23	-
Jelleşme zaman (100°C) (20% (NH ₄) ₂ SO ₄) (sn)	20-45	20-60	20-75	-	-
pH	7-8.5	7-8.5	7-8.5	9-10	6.5
Serbest formaldehit (%) maksimum	0.20	0.18	0.15	-	-
Metilol grup (%)	12-15	12-15	12-15	-	-
Raf ömrü (gün)	75	75	75	45	-

ÜF:Üre formaldehit

Çizelge 2. HDF üretim parametreleri

Testler	Üre formaldehit mol oranı (F: Ü)	Tutkal life göre tüketim (%)	Parafin life göre tüketim (%)	Pres süresi (sn)	Pres sıcaklığı (°C)	Pres hızı (mm/sn)	Levha ölçüleri (mm)
R	1.17	11	1.35	60	215	950	7.7x2100x2440
X	0.98	11	1.35	60	215	950	7.7x2100x2440
Y	0.88	11	1.35	60	215	950	7.7x2100x2440

R; 1.17 mol üre-formaldehit tutkalı, X; 0.98 mol üre-formaldehit tutkalı, Y; 0.88 mol üre-formaldehit tutkalı

2.6. HDF levhalarının üretimi

İlk olarak, sert ağaç ve yumuşak ağaç türleri Batı Karadeniz ormanlarından getirilmiştir. MDF üretiminde, çam, kayın ve göknar odunları hammadde olarak kullanılmış ve daha sonra bu türler yongalanmıştır. Üretim parametrelerine göre tek tek silolarda depolanmıştır. Cipsler, Andritz defibrilatöründe (2008 model; Andritz AG, Graz, Austria) 8.3 bar buhar basıncı içinde 186°C'de 3.5 dakika pişirildi. Reçineler ve diğer kimyasallar tutkal fabrikasında hazırlandı. HDF üretim hattındaki kimyasal tank depolarına sevk edildi. Bu çalışmada kullanılan 1.17 mol üre formaldehit tutkalı, 0.98 mol üre formaldehit tutkalı ve 0.88 mol üre formaldehit tutkalı ayrı ayrı tanklarda depolanmıştır. Daha sonra tanklarda depo edilen sıvı parafin, amonyum sülfat ve üre formaldehit üretim parametrelerine göre sırasıyla defibratör tarafından liflendirilmiş liflere blowline hattında üretime verilmiştir. Üre formaldehit kuru lif ağırlığına göre %11 oranında verilmiştir. Sertleştirici olarak amonyum sülfat kuru life ağırlıkça %0.72 kullanıldı. Parafin, kuru life ağırlıkça %1.35 olarak ilave edildi. Lifler kurutucuda %12 rutubete kadar kurutulmuştur. HDF levhalar sürekli sıcak preste üretilmiştir. Sürekli sıcak pres parametreleri; 215°C presleme hızı yaklaşık 950 mm/sn, pres faktörü yaklaşık 8.50 sn/mm presleme süresi boyunca uygulanmıştır. Levhaların boyutları 7.7mmx2100mmx2440mm boyutlarında kesilmiştir. Daha sonra, levhalar 5 gün boyunca ön depolamada dinlendirilmiştir. Levhalar burada iklimlendirilmiştir. Bu işlemden sonra panellerin üst ve alt yüzeyleri 40, 80, 120 kum zımpara kâğıdı ile zımparalanmıştır.

Levhalar 20±2 ve %65±5 bağıl nem (RH) koşullarında TS 642-ISO 554 (1997) standardına göre kondisyonlanmıştır. Testler üç farklı kademede Çizelge 2 parametrelerine göre üretilmiştir. HDF levhalar R (874 kg/m³), X (881 kg/m³) ve Y (860 kg/m³) hedef yoğunluğunda 7.7mmx2100mmx2440 mm boyutlarında sürekli sıcak preste üretilmiştir. Bu çalışmada HDF levhaların kalınlığı, yoğunluğuna, levha rutubeti, 24 saat kalınlığına suda şişme yüzdesine ve 24 saat su alma yüzdesine ve formaldehit gaz salınım performans testleri yapılmıştır.

Deneylerde üç farklı mol oranlarında (1.17, 0.98 ve 0.88) sentezlenen üre formaldehit tutkalı kullanılmıştır. Levhalar 7.7mmx2100mmx2440mm. boyutlarında HDF levhalar sonsuz bantlı sıcak pres MDF üretim hattında üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada toplam fiziksel ve formaldehit gaz emisyon testler dahil 90 tane ölçüm yapılmıştır.

Levhalara uygulanan testler; levhaların birim hacim ağırlığının tayini TS-EN 323 (1999), levhaların boyutlarının

tayini (kalınlık, genişlik ve uzunluğun) TS-EN 324-1 (1999), deney numunelerinin boyutlarının tayini TS-EN 325 (2008), levhalardan numune alma kesme ve muayene bölüm (deney numunelerinin seçimi, kesimi ve deney sonuçlarının gösterilmesi) tayini TS-EN 326-1 (1999), levhalarını standart kondisyonlama tayini TS 642 ISO 554 (1997), levhaların su içerisine daldırma işleminden sonra kalınlığına şişme ve su alma tayini TS-EN 317 (1999), levhaların tarifleri, sınıflandırma ve sembolleri TS-EN 316 (2011) ve levha özellikleri (bölüm 1, genel özellikler) TS 64-1 EN 622-1 (2005), standartlarına göre testleri yapılmıştır. TS 4894 EN 120 (1999) ekstraksiyon metodu ile formaldehit miktarının tayini ölçülmüştür. Deney numunelerini ölçerken 0.01 mm duyarlı dijital mikrometre kullanılmıştır. Testlerde İmal IB700 laboratuvar (İmal Mobiltemp shc 22, model IB700, San Damaso, Italy) cihazı kullanılmıştır. Verilen istatistiksel analizde SSPS 22 paket programından yararlanılarak tek yönlü varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. ANOVA'da farklıların tespit edilmesi için post hoc testlerinden Duncan testi ile farklılıklar araştırılmıştır. Sonuçlar p<0.05'te istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir. Veriler tek yönlü varyans analizi ve Duncan (ANOVA) analizine göre istatistiki değerlendirmeler yapılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Fiziksel test sonuçları

Üç farklı mol ÜF reçinesi ile üretilen HDF levhalarının fiziksel testlerini sonuçları çizelge 3'de gösterilmiştir.

HDF levhalarının kalınlık ölçüm sonuçları çizelge 3'de gösterilmiştir. R levhasının kalınlığı 7.73 mm, X levhası 7.68 mm ve Y levhasının kalınlığı 7.68 mm ölçülmüştür. Ölçüm sonucunda HDF levhaların kalınlıkları birbirine yakın sonuçlanmıştır. İstatistiki ANOVA (Duncan) analiz sonucu gruplar arasında anlamlı farklılık bulunmamıştır. Farklı mol oranlarında sentezlenen üre formaldehit tutkalı, levhaların kalınlıklarına etki etmediği sonucuna varılmıştır. HDF levhaların kalınlıkları fiziksel testlere ve formaldehit sonuçlarını etki etmeyeceği anlamına gelmektedir.

Yoğunluk değerleri Çizelge 3'de gösterilmiştir. R levhasında yoğunluğu 874.2 kg/m³ ölçülmüştür. X levhasının yoğunluğu 881.2 kg/m³ ve Y levhasının yoğunluğu 860.8 kg/m³ ölçülmüştür. Testlerdeki HDF levhaların yoğunlukları birbirine yakın ölçülmüştür. İstatistiki ANOVA (Duncan) test hesaplama sonucunda R, X ve Y arasında anlamlı farklılık bulunmuştur. Bu farklılık HDF üretimi esnasında tutkalın üre ve formaldehit mol oranından kaynaklanmaktadır. R levhası X levhasına göre yoğunluğu %0.79 azalırken Y levhasının yoğunluğuna göre %1.56 yoğunluğu fazla ölçülmüştür.

Çizelge 3. HDF levhaların fiziksel testlerinin performans sonuçları

Deneyler	Test	Ortalama	Std. sapma	Std. hata	Ortalama için %95 güven aralığı**		Minimum	Maximum
					Alt sınır	Üst sınır		
Kalınlık (mm)	R	7.73 ^a	0.03	0.02	7.69	7.77	7.68	7.77
	X	7.68 ^a	0.07	0.03	7.59	7.78	7.59	7.79
	Y	7.68 ^a	0.04	0.02	7.63	7.74	7.62	7.74
Yoğunluk (kg/m ³)	R	874.2 ^b	3.77	1.69	869.52	878.88	868.00	87.00
	X	881.2 ^c	5.97	2.67	873.78	888.62	871.00	886.00
	Y	860.8 ^a	4.82	2.15	854.82	866.78	854.00	866.00
Levha Rutubeti (%)	R	7.64 ^a	0.16	0.07	7.45	7.84	7.45	7.85
	X	7.55 ^a	0.10	0.04	7.43	7.67	7.45	7.65
	Y	7.55 ^a	0.05	0.02	7.48	7.62	7.48	7.63
24 saat kalınlığına şişme (%)	R	17.79 ^a	0.42	0.19	17.28	18.32	17.10	18.20
	X	19.65 ^c	0.02	0.01	19.63	19.69	19.64	19.69
	Y	19.08 ^b	0.11	0.05	18.95	19.22	19.01	19.22
24 saat su alma (%)	R	19.65 ^b	0.14	0.06	19.48	19.83	19.48	19.82
	X	19.09 ^a	0.07	0.03	19.00	19.18	19.02	19.19
	Y	22.42 ^c	0.08	0.03	22.32	22.52	22.32	22.53

*Ortalama ANOVA için % 95 güven aralığı; a, b, c harfleri aynı harfle anlamlı olarak farklı değildir (Duncan testi)

Levhalarının rutubet ölçüm sonuçları çizelge 3'de gösterilmiştir. R levhasının rutubet değeri %7.64 X levhası rutubeti %7.55 ve Y levhasının rutubeti %7.68 ölçülmüştür. Ölçüm sonucunda HDF levhaların rutubetleri birbirine yakın sonuçlanmıştır. İstatistik ANOVA (Duncan) analiz sonucu gruplar arasında anlamlı farklılık bulunmamıştır. İstatistik sonuçlara göre levhaların rutubet sonuçları fiziksel testlere ve formaldehit gaz analiz sonuçlarını etkilemeyeceği anlamına gelmektedir.

Levhalarının 24 saat kalınlığına suda şişme ölçüm sonuçları çizelge 3'de gösterilmiştir. R levhasının kalınlığına şişme değeri %17.79 X levhası kalınlığına şişme değeri %19.65 ve Y levhası suda kalınlığına şişme değeri %19.08 ölçülmüştür. HDF levhaların suda kalınlığına şişme ölçüm sonuçları istatistik ANOVA (Duncan) analiz sonucuna göre gruplar arasında anlamlı farklılık bulunmuştur. Bu farklılık üretimde kullanılan üre formaldehit tutkalından kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada tek değişken üre formaldehit tutkalıdır. R levhası X levhasına göre 24 saat suda kalınlığına şişme ölçüm sonucu %9.46 artmıştır. R levhası Y levhasının suda kalınlığına şişme sonucu %6.76 oranında artmıştır. Bu çalışmada X levhası en fazla kalınlığına su alan levhası olmuştur. R levhası en az kalınlığına şişme performansı sergilemiştir.

HDF levhalarının 24 saat su alma sonuçları çizelge 3'de gösterilmiştir. R levhasının su alma değeri %19.65, X levhası su alması değeri %19.09 ve Y levhası su alma değeri %22.42 ölçülmüştür. HDF levhaların su alma ölçüm sonuçları istatistik ANOVA (Duncan) analiz sonucuna göre gruplar arasında anlamlı farklılık bulunmuştur. Bu farklılık üretimde kullanılan ÜF tutkalından kaynaklanmaktadır. 24 saat su alma test performansına göre; R levhası X levhasına göre %2.96 azalmıştır. R levhası Y levhasının su alma test performansına göre %12.33 oranında artmıştır. Bu çalışmada X levha en az kalınlığına su alan performansı göstermiştir. Y levhası en kötü performans gösteren levha olmuştur. Mao ve Kim (2013) yaptıkları çalışmada ÜF reçinesini mol oranı azaldıkça levhalarda 24 saat suda kalınlığına şişme ve su alma performans değerlerini azaldığını ifade etmişlerdir. Mao ve Kim (2013) yaptıkları ÜF mol oranları ile ilgili çalışması bu çalışmanın verilerini desteklemektedir. Dazmire vd. (2019) yapılan çalışmada, MDF levhalarında, fiziksel testlerden 24 saatlik su alma ölçümü en yüksek

sonucu 1.9 mol oranında %17, 2.1 mol oranında %13 ve 2.3 mol oranında ise %15 ölçmüştür

R (F/Ü:1.17), X(F/Ü:0.98), Y(F/Ü:0.88), farklı mol oranlarında sentezlenen üre formaldehit tutkalından üretilen HDF levhalarının fiziksel testlerden 24 saat su alma ve 24 suda kalınlığına şişme ölçüm sonuçlarında değişiklik göstermektedir. Tutkalların formaldehit içeriğine 24 saat su alma ve 24 suda kalınlığına şişme performansları farklılık göstermiştir. 24 saat su alma test ölçüm sonucu Y>R>X olarak sıralanmaktadır. 24 suda kalınlığına şişme ölçüm sonucu X>Y>R şeklinde sıralanmıştır. Test sonucunda en az su alan ve en az kalınlığına şişme değeri R ve X ÜF tutkalla üretilen HDF levhalarında gerçekleşmiştir. Bu araştırma sonucunda üre formaldehit tutkalında formaldehit oranı artıkça levhaların fiziksel direnci artığı görülmektedir.

3.2. Formaldehit gaz emisyon sonuçları

Üç farklı mol ÜF reçinesi ile üretilen HDF levhalarının formaldehit gaz emisyon performans sonuçları çizelge 4'de gösterilmiştir.

HDF levhalarının formaldehit gaz emisyon test sonuçları Çizelge 4'de gösterilmiştir. R levhasının formaldehit gaz emisyon test sonucu 14.96 mg/100g, X levhası formaldehit gaz emisyon 8.28 mg/100g, Y levhasının formaldehit gaz emisyon test sonucu 6.79 mg/100g ölçülmüştür. Levhaların formaldehit gaz emisyon sonuçları istatistik ANOVA (Duncan) analiz sonucuna göre gruplar arasında anlamlı farklılık bulunmuştur. Bu farklılık üretimde kullanılan üre formaldehit tutkalının mol oranından kaynaklanmaktadır.

TS 4894 EN 120 (1999) perforatör yöntemine göre analizi yapılan levhaların birbirine göre performansı ölçülmüştür. Formaldehit gaz emisyonu X levhası R levhasına göre %80.64 daha az formaldehit gaz salınımı gerçekleştirmiştir. Y levhasında R levhasına göre %120.38 oranında en az formaldehit gaz emisyonu ölçülmüştür. Y levhası formaldehit gaz salınım performansı R levhasın göre %120.38 oranında azalmıştır. Bu çalışmada, Y levhasında en düşük formaldehit gaz emisyonu ölçülmüştür. R levhasında, en fazla formaldehit gaz emisyonu ölçülmesinden dolayı en kötü performansı gösteren levha olmuştur.

Çizelge 4. HDF levhaların formaldehit gaz emisyon performans sonuçları

Testler	Levhalar	Ort. ^x	Std. sapma	Std. hata	Ortalama için %95 güven aralığı*		Min.	Max.
					Alt Sınır	Üst sınır		
Formaldehit gaz emisyonu (mg/100g)	R	14.96 ^c	0.17	0.08	14.75	15.18	14.78	15.24
	X	8.28 ^b	0.07	0.03	8.20	8.37	8.22	8.36
	Y	6.79 ^a	0.07	0.03	6.71	6.87	6.70	6.88

X; levhaların ortalama değeri; *Ortalama ANOVA için% 95 güven aralığı; a, b, c harfleri aynı harfle anlamlı olarak farklı değildir (Duncan testi)

Formaldehit analizi perforatör TS 4894 EN 120 (1999) test yöntemine göre PB, MDF, OSB levhalarda limit değeri >8 mg/100g ve ≤30 mg/100g arasındaki ölçümler E2 sınıfında yer almaktadır (Boran ve Usta, 2010). Bu levhalardaki formaldehit gaz limit değerine göre; R levhası E2 sınıfına dahil olurken X levhasının formaldehit gaz analiz sonucu E1 çok yakın değerde ölçülmüştür. Y levhası E1 sınıfında içinde yer almıştır. Eroğlu ve Usta (2000) yaptıkları çalışmada, serbest formaldehitin iki farklı yolla odun bazlı levhalardan açığa çıktığını açıklamıştır. Bu çalışmaya göre; ilk yolla açığa çıkması sıcak pres esnasında üre ile reaksiyona giremeyen levha oluşumundan sonra ortaya çıkan serbest formaldehit, ikinci yolla açığa çıkan ise bu tür levhaların kullanım yerlerindeki sıcaklık ve rutubete bağlı olarak metil eter bağlarının deformasyonu sonucu açığa çıkan serbest formaldehittir.

Bu çalışmada, CARB (2007) ahşap bazlı kompozit ürünlerden yayılan formaldehit miktarını sınırlayan bir yönetmeliğe göre, iç mekanlarda yaşayan insanlar tarafından CARB I veya CARB II seviyelerinde olması istenmektedir. Buna açıklama göre Y levhasının formaldehit gaz salınımı CARB I kriterlerini karşılamaktadır. Dazmiri vd. (2019) çalışmalarında, TS 4894 EN 120 (1999) perforatör yöntemine göre orta yoğunlukta lif levhaların formaldehit gaz salınım değerleri; 1.9 mol oranında 6.8 mg/100g, 2.1 mol oranında 8.5 mg/100g ve 2.3 mol oranında 11 mg/100g olarak analiz edilmiştir.

R (F/Ü:1.17), X(F/Ü:0.98), Y(F/Ü:0.88), farklı mol oranlarında sentezlenen üre formaldehit tutkalından üretilen HDF levhalarının formaldehit gaz salınım testi TS 4894 EN 120 (1999)'e göre analiz edilmiştir. Formaldehit gaz salınım ölçüm sonucu büyükten küçüğe doğru R>X>Y olarak sıralanmaktadır.

HDF levhalarının hem fiziksel özellikleri hemde formaldehit gaz salınımı açısından optimum performansı gösteren X(F/Ü:0.98) reçinesi ile üretilen levhalarda gerçekleşmiştir. HDF levhaların üretiminde F/Ü:0.98 mol üre formaldehit reçinesi önerilebilmektedir.

4. Sonuç ve öneriler

Bu çalışmada; HDF üretim prosesinde tüm parametreler aynı olmasına rağmen, üretiminde tek değişken üre formaldehit tutkalının mol oranlarında olmuştur. Tutkalın mol oranı azaldıkça levhaların fiziksel testlerden; levha kalınlığı, levhanın rutubeti ve levha yoğunluğunda değişiklik olmamıştır. ÜF tutkalının mol oranının azalması; levha kalınlığını, rutubetini ve yoğunluğunu etkilememiştir.

Tutkalın mol oranı azaldıkça ters orantılı olarak levhaların fiziksel testlerden; 24 saat suda kalınlığına şişme ve 24 saat su alma değerlerinde değişiklik olmuştur. ÜF tutkalının mol oranının azalması sonucu levhalarda; suda kalınlığına şişme ve su alma değerleri arttığı görülmüştür.

Tutkalın mol oranı azaldıkça doğru orantılı olarak levhaların formaldehit gaz salınım test ölçüm sonucu azalmaktadır.

Üre formaldehit tutkalının içeriğindeki formaldehit miktarı azaldıkça, HDF levhalarının formaldehit gaz salınımı değerlerinde doğru orantılı olarak azaldığı görülmüştür.

Fiziksel özelliklerinin test sonucu ve TS 4894 EN 120 (1999) yöntemiyle formaldehit gaz salınım sonucu üre formaldehit reçinesinin mol oranı azaldıkça formaldehit gaz salınım değeri azalmıştır. HDF levhalarının üretiminde, 0.98 mol üre formaldehit tutkalı önerilebilir.

Açıklama

Kastamonu Entegre Ağaç Sanayi Tic. A.Ş, Kastamonu-Samsun Fabrikalar Direktörü Enüs KOÇ'a, Tutkal üretim müdürü Uğur ÇELİK'e yardımlarından dolayı teşekkür ediyorum.

Kaynaklar

- Alpar, T., Faczan, T., Racz, I., Katoli, G., 2010. MDF/HDF production from plantation wood species. *Drvna Industrija*, 61(3): 183-191.
- Angelatos, A.S., 2004. NMR structural elucidation of amino resins. *Journal of Applied Polymer Science*, 91(6): 3504-3512. DOI:10.1002/app.13538.
- ASTM D 6007-02, 2002. Standard test method for determining formaldehyde concentration in air from wood products using a small-scale chamber. ASTM Standards, USA.
- Boran, S., Usta, M., 2010. Odun esaslı panellerde açığa çıkan formaldehit ve formaldehit sınırları hakkında bilgiler. III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, 20-22 Mayıs, Artvin, s. 1968-1975.
- Boran, S., Usta, M., Gümüşkaya, E., 2011. Decreasing formaldehyde emission from medium density fiberboard panels produced by adding different amine compounds to urea formaldehyde resin. *International Journal of Adhesion&Adhesive*, 31: 674-678.
- CARB, 2007. Proposed Airborne Toxic Control Measure (ATCM) to reduce formaldehyde emission from composite wood products. http://www.arb.ca.gov/sites/default/files/classic/toxics/compwood/consumer_faq.pdf. Accessed: 30.09.2020.
- Costa, N., Pereira, J., Ferra, J., Cruz, P., Martins, J., Magalhaes, F., Mendes, A., Carvalho, L., 2013. Sodium metabisulfite as scavenger of air pollutions in wood based building materials. *International Wood Products Journal*, 4(4): 242-247. doi:10.1179/2042645313Y.0000000037.
- Dazmiri, M.K., Kiamahalleh, M.V., Dorieh, A., Pizzi, A., 2019. Effect of the initial F/U molar ratio in urea-formaldehyde resins synthesis and its influence on the performance of medium density fiberboard bonded with them. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 95: 102440. DOI: 10.1016/j.ijadhadh.
- Despres, A., Pizzi, A., Vu, C., Delmotte, L., 2010. Colourless formaldehyde-free urea resin adhesives for wood panels. *European Journal Wood Product*, 68(1): 13-20.
- EN 717-1, 2004. Wood based panels-determination of formaldehyde release-Part 1: formaldehyde emission by the chamber method. European Standard.
- EN 717-2, 1994. Wood based panels-determination of formaldehyde release-Part 2: formaldehyde release by the gas analysis method. European Standard.

- Eroglu, H., Usta, M., 2000. Lif Levha Üretim Teknolojisi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Genel Yayın No: 200, Fakülte Yayın No: 30, Trabzon.
- Faostat, 2020. Forestry production and trade. Food and Agriculture Organization of the United, Nations, <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FO>, Accessed: 24.01.2020.
- Grigsby, W., McDonald, A.G., Thumm, A., Loxton, C., 2004. X-ray photoelectron spectroscopy determination of urea formaldehyde resin coverage on MDF fibre. *Holz als Roh- und Werkstoff: European Journal of Wood and Wood Industries*, 62(5): 358-364.
- Grigsby, W.J., Carpenter, J.E.P., Sargent, R., 2014. Investigating the extent of urea formaldehyde resin cure in medium density fiberboard: Resin extractability and fiber effects. *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 34(3): 225-238. <https://doi.org/10.1080/02773813.2013.861850>.
- Grigsby, W.J., Thumm, A., 2012. Resin and wax distribution and mobility during medium density fibreboard manufacture. *European Journal of Wood and Wood Products*, 70(1-3): 337-348. DOI: 10.1007/s00107-011-0560-0.
- Jann, O., Deppe H.J., 1990. Zur Berücksichtigung der Aerialfeuchte bei der Formaldehydmessung von Spanplatten. *Holz Roh-Werkst* 48:365-368
- JIS A-5908, 1994. Japanese industrial standard. JIS standard specification for particleboard.
- Johnsson, B., Engström, B., Roffael, E., 2011. Influence of molar ratio in aminoplastic resins on the dependence of the measured perforator values on the moisture content of wood-based panels. *Wood Science Technology*, 45: 389-398.
- Kim, S., 2009. The reduction of indoor air pollutant from wood-based composite by adding pozzolan for building materials. *Construction and Building Materials*, 23(6): 2319-2323.
- Kim, S., Kim, H.J., 2005. Comparison of standard of methods and gas chromatography method in determination of formaldehyde emission from MDF bonded with formaldehyde based resins. *Bioresource Technology*, 96(13): 1457-1464.
- Louis Cyr, P., Riedl, B., Wang, X.M., 2008. Investigation of urea-melamine-formaldehyde (UMF) resin penetration in Medium-Density Fiberboard (MDF) by high resolution confocal laser scanning microscopy. *Holz als Roh- und Werkstoff: European Journal of Wood and Wood Products*, 66(2): 129-134.
- Mansouri, H.M., Pizzi, A., 2006. Urea-formaldehyde-propionaldehyde physical gelation resins for improved swelling in water. *Journal of Applied Polymer Science*, 102(6): 5131-5136.
- Mantanis, G.I., Athanassiadou, E.T., Barbu, M.C., Wijnendaele, K., 2018. Adhesive systems used in the European particleboard MDF and OSB industries. *Wood Material Science & Engineering*, 13(2): 104-116. DOI:10.1080/17480272.2017.1396622.
- Mao, A., Kim, M.G., 2013. Low mole ratio urea-melamine-formaldehyde resins entailing increased methylene-ether group contents and their formaldehyde emission potentials of wood composite boards. *BioResources*, 8(3): 4659-4675.
- Martins, J., Coelho, C., Ferra, J., Cruz, P., Carvalho, L., 2012. Low formaldehyde emission MDF overlaid with wood veneer: Bonding problems assessment. *International Wood Products Journal*, 3(1): 1-31.
- Park, B.D., Jeong, H.W., 2011. Hydrolytic stability and crystallinity of cured ureaformaldehyde resin adhesives with different formaldehyde-urea mole ratios. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 31(6): 524-529. DOI: 10.1016/j.ijadhadh.2011.05.001.
- Park, B.D., Lee, S.M., Roh, J.K., 2009. Effects of formaldehyde/urea mole ratio and melamine content on the hydrolytic stability of cured urea-melamine-formaldehyde resin. *European Journal of Wood and Wood Products*, 67(1): 121-123. DOI: 10.1007/s00107-008-0277-x.
- Roffael, E., Behn, C., 2012. On the influence of binder content in particleboards bonded with resins of high and low molar ratio on the formaldehyde release measured by the perforator method. *European Journal of Wood and Wood Products*, 70(6): 819-822.
- Salem, M.Z.M., Bohm, M., Srba, J., Berankova, J., 2012. Evaluation of formaldehyde emission from different types of wood-based panels and flooring materials using different standard test methods. *Building Environment*, 49: 86-96.
- TS 4894 EN 120, 1999. Ahşap esaslı levhalar, formaldehit miktarının tayini, ekstraksiyon metodu ile ayırma. TSE, Ankara.
- TS 64-1 EN 622-1, 2005. Lif levhalar özellikler-bölüm 1: genel özellikler. TSE, Ankara.
- TS 642-ISO 554, 1997. Kondisyonlama ve-veya deney için standart atmosfer - özellikler. TSE, Ankara.
- TS-EN 316, 2011. Odundan mamul lif levhalar-tarifler, sınıflandırma ve semboller. TSE, Ankara.
- TS-EN 317, 1999. Yonga levhalar ve lif levhalar-su içerisine daldırma işleminden sonra kalınlığına şişme tayini. TSE, Ankara.
- TS-EN 323, 1999. Ahşap esaslı levhalar-birim hacim ağırlığının tayini. TSE, Ankara.
- TS-EN 324-1, 1999. Ahşap esaslı levhalar-levha boyutlarının tayini-bölüm 1: kalınlık, genişlik ve uzunluğun tayini. TSE, Ankara.
- TS-EN 325, 2008. Ahşap esaslı levhalar-deney numunelerinin boyutlarının tayini. TSE, Ankara.
- TS-EN 326-1, 1999. Ahşap esaslı levhalar-numune alma kesme ve muayene bölüm 1: deney numunelerinin seçimi, kesimi ve deney sonuçlarının gösterilmesi. TSE, Ankara.
- Xing, C., Riedl, B., Cloutier, A., He, G., 2004. The effect of urea-formaldehyde resin pre-cure on the internal bond of medium density fiberboard. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 62(6): 439-444.