



Üre-Formaldehit Reçine Mol Oranının Yüksek Yoğunlukta Lif Levhanın (HDF) Mekanik Özellikleri Üzerine Etkileri

Effects of Urea-Formaldehyde Resin Mole Ratio on the Mechanical Properties of High-Density Fiberboards (HDF)

¹Osman ÇAMLİBEL , ²Mehmet AKGÜL 

¹Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale Meslek Yüksekokulu, İç Mekan Tasarım, Kırıkkale, Türkiye

²Karamanoglu Mehmetbey Üniversitesi, Karaman, Türkiye

¹osmancamlibel@kku.edu.tr, ²mehmetakgul@kmu.edu.tr

Araştırma Makalesi/Research Article

ARTICLE INFO

Article history

Received : 2 July 2020

Accepted : 17 August 2020

Keywords:

HDF, Mechanical Properties, Urea Formaldehyde, Moles Ratio

ABSTRACT

In this study, 50% yellow pine (*Pinus sylvestres* L), 30% fir (*Abies nordmanniana* L), 20% beech (*Fagus orientalis* L) woods were chipped. Chips were cooked at 8.3 bar steam pressure, 186 °C and 3.5 minutes at Andritz defibrillator. According to the dry fiber weight; glues (R;1.17, X;0.98, Y; 0.88) 11%, hardener 0.72% and paraffin 1.38% were given on fibres in the blowline. The fibers were dried to 12% moisture. Continuous hot press (950 mm/sec, 218 °C, 58 sec.) was produced 7.7x2100x2440 mm boards. Test results; density (A; 870.4 kg/m³, B; 875.6 kg/m³, C; 857.4 kg/m³), bending strength (A; 40.97 N/mm², B; 39.90 N/mm², C; 38.08 N/mm²), modulus of elasticity (A; 3814.2 N/mm², B; 3525 N/mm², C; 3356.6 N/mm²), internal bond (A; 1.48 N/mm², B; 1.38 N/mm², C; 1.17 N/mm²) were measured. Consequently, the difference in the mechanical properties of boards was due to the urea-formaldehyde glues used in different mole ratios.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihleri

Gönderim : 2 Temmuz 2020

Kabul : 17 Ağustos 2020

Anahtar Kelimeler:

HDF, Mekanik Özellikler, Üre Formaldehit, Mol Oranı

ÖZET

Bu çalışmada, %50 sarı çam (*Pinus sylvestres* L), %30 göknar (*Abies nordmanniana* L), %20 kayın (*Fagus orientalis* L) odunları yongalanmıştır. Yongalar Andritz defibrilatöründe; 8.3 bar buhar basıncında, 186°C ve 3.5 dakika pişirilmiştir. Kuru lif ağırlığına göre; üç farklı mol üre-formaldehit tutkalları (R;1.17, X;0.98, Y; 0.88) %11 sertleştirici %0.72 ve parafin %1.38 liflere blowline hattında verilmiştir. Lifler %12 rutubete kadar kurutulmuştur. MDF üretim hattında, sürekli sıcak presin hızını 950 mm/sn, pres sıcaklığını 218°C ve 58 saniyede preslenerek 7.7x2100x2440 mm HDF levhalar üretilmiştir. HDF levhalarının test sonuçları; yoğunluğu (A; 870.4 kg/m³, B; 875.6 kg/m³, C; 857.4 kg/m³), eğilme direnci (A; 40.97 N/mm², B; 39.90 N/mm², C; 38.08 N/mm²), elastikiyet modülü (A; 3814.2 N/mm², B; 3525 N/mm², C; 3356.6 N/mm²), çekme mukavemeti (A; 1.48 N/mm², B; 1.38 N/mm², C; 1.17 N/mm²) ölçülmüştür. Çalışmanın sonucunda, HDF levhalarının mekanik özelliklerindeki farklılıkların sebebi, farklı mol oranlarında kullanılan üre formaldehit tutkalından kaynaklanmaktadır.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Dağa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

1. GİRİŞ

Amino bazlı reçineler özellikler üre formaldehit reçineleri odun bazlı levha ürünlerini üretimin çok önemli bağlayıcı gurubundadır. Yüksek yoğunlukta lif levhalar (HDF) büyük çoğunluğu iç mekanlarda HDF laminant olarak zemin kaplamada kullanılmaktadır. HDF laminantlar iç mekân tasarımların zemin döşemede vazgeçilmez önemli bir üründür.

Eroğlu ve Usta yaptığı çalışmada, serbest formaldehitin odun bazlı levhalardan açığa çıkma biçimi üzerine çalışma yapmıştır [4]. Çalışmasına göre serbest formaldehit, ilk sıcak preslemeden sonra ikincisi kullanım yerlerinde açığa çıktığını ifade etmişlerdir. Grigsby vd. yaptıkları çalışmada MDF levhasını oluşturan liflerin dağılımını analiz etmek ve azot içerikli üre formaldehit liflere kaplayarak x ışını foto elektron spektroskopi yöntemi ile analiz edilmiştir [8]. Çalışmalarına göre lif yüzeyine kaplanan reçine, parafin içeriği, reçine sprey damlacık boyutu, reçine püskürtme memesinin blowline'daki konumu üzerine çalışmışlardır. Angelatos, yaptığı çalışmada, üre formaldehit, melamin formaldehit ve melamin üre formaldehit tutkallarının kimyasal yapıları üzerine çalışmıştır. Araştırmaya göre, reçine sentezleme adımlarında metilasyon aşamasından sonra melamin ve ürenin birlikte yoğunlaşmayıp ağırlıklı olarak melamin ve ürenin kendi kendine yoğunlaştığını ifade etmiştir [1]. Xing vd. yaptıkları çalışmada, MDF üretim hattında reçine hazırlama ile sıcak pres arasında geçen safhada reçinenin ön kürleşmesi derecesinin levhanın çekme mukavemetini üzerine etkisi DSG (differential scanning calorimetry) yöntemiyle araştırmışlardır [28]. Araştırma sonucuna göre çekme mukavemeti ile DSC arasında reçine ön kür derecesi ile doğrusal bir ilişki olduğunu göstermişlerdir. Louis Cyr vd. yaptıkları çalışmada, gerçek ölçekte MDF üretim hattında deneylerini yapmışlardır. Çalışmalarına göre, rafiner ünitesi blowline hattında kırmızı parlak boya ile tutkal liflere püskürtülmüştür. Üre melamin formaldehit reçinesinin lif içindeki dağılımını konforal lazer tarama mikroskobu ile araştırılmıştır. Bu araştırma sonucunda; tutkalın liflere %22.5 oranında homojen kaplandığı görülmüştür. Liflerde kayıp reçine ise lif üzerindeki. Lümen, çukurlar ve çatlaklar aşırı reçineyi absorbe etmesinden dolayı tutkal kayıplarına neden olduğunu açıklamışlardır [11].

Park vd. yaptıkları çalışmada üre formaldehit reçinesinde formaldehit mol oranının etkisi üzerine araştırma yapmışlardır [15]. Çalışmaya göre üre formaldehit tutkalına melamin eklendikçe üre melamin formaldehit tutkalında (UMF) düşük hidrolitik stabilite sağlanmaktadır. Kürleşmiş UMF reçinesi asit hidrolizine karşı duyarlılığını ifade etmektedir. Hashim vd. MDF üretim hattında kavuçük ağacı liflerine odun kurusu lif ağırlığına oranla %15 üre formaldehit ve yangın geçiktirici (sodyum alüminat, alüminyum trihidrat ve çinko borat) %10, %15, %20 ve %30 oranlarında kullanılarak üretilen MDF levhalarının fiziksel, mekanik özellikleri ve yangına karşı direnç testleri yönüyle araştırmışlardır [9].

Kim, yaptığı çalışmada, mobilya malzemesi olarak kullanılan orta yoğunlukla lif levhaların (MDF) içindeki formaldehit gaz emisyonunu ve uçucu bileşikleri azaltmak amacıyla ponza minerali formaldehit tutucu olarak kullanmışlardır. Ürettikleri levhaların fiziksel, mekanik özellikleri ve formaldehit gaz analizini (küçük chamber yöntemi) ölçmüşlerdir. Ponza mineralinin formaldehit gazını tutma performansını ölçmüşlerdir [10].

Alpar vd. yaptıkları çalışmada; MDF/HDF üretim prosesinde kullanılacak ağaç türlerini araştırmak amacıyla; 1214 kavak, kavak türleri, kara keçiboynuzu, kara çam ağaçları kullanarak laboratuvar ortamında MDF üretmişlerdir. Üretilen levhaların fiziksel ve mekanik testlerini yapmışlardır [2]. Testlerde sadece çekme dışında tüm testler araştırmacıların beklentilerini karşılamıştır. Roffael vd. araştırmalarında, üre formaldehit ile üretilmiş yongalevha ve liflevhaların geri dönüşümü ile hazırlanmış termomekanik yöntemle üretilen lifler ile normal odundan üretilmiş liflerin özellikleri karşılaştırılmıştır [16]. Geri dönüşümden elde edilen lifin marfolyik ve kimyasal özelliklerini değiştirdiğini göstermişlerdir. Geri dönüşümden elde edilen lifler ile üretilen levhaların formaldehit emisyonunun arttığı ve fiziksel, mekanik özelliklerde önemli değişiklik görmemişlerdir. Buna ilaveten geri dönüşüm içindeki bozulmuş kimyasallar MDF üretiminde kullanılan yeni reçine ile kimyasal etkileşime girdiğini açıklamışlardır.

Park ve Jeong yaptığı çalışmalarında yüksek mol üre formaldehit reçinesi (F/Ü: 1.6 ile 1.4) ile düşük mol üre formaldehit reçinesi (F/Ü: 1.2 ile 1.0) kürleşmiş üre formaldehit reçinelerinin etki eden faktörleri analiz etmiştir [14]. Çalışmalarına göre; üre formaldehit reçine üretiminde formaldehit katılımı azaldıkça reçinenin amorf ve kristalin bölgesinde hidrolitik dengenin daha stabil olduğunu ifade etmişlerdir. ÜF reçinenin kürleşme sıcaklığı, kürleşme süresi artıkça kristalin bölge yoğunluğu arttığını gözlemlemişlerdir. Ancak kristalin bölgesinin 2 teta açılarından dolayı sertleşme sıcaklığı, sertleşme süresi, sertleştirici tipi, sertleştirici miktarı bu bölgeye etki etmediği dolayısıyla reçinenin doğal formundan kaynaklandığını ifade etmişlerdir. Martin vd. yaptıkları çalışmada MDF yüzeyine doğal kayın kaplamasını üre formaldehit reçinesi sıcak pres altında yapışma mukavemeti ile ilgilidir [12]. Çalışma sonucunda MDF levha yüzeyine yapıştırılan kayın kaplamasında uzun presleme sonucunda yüzey sağlamlığında azalma olduğunu göstermişlerdir.

Grigsby ve Thumm çalışmalarında, MDF üretim hattında, floresan boya katkılı üre formaldehit reçinesi ve parafin kullanarak odun hücreci 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 [7]. Roffael ve Behn, yaptıkları çalışmada, yongalevha üretiminde kullanılan yüksek mol oranlı üre formaldehit reçinesi ile düşük mol üre formaldehit reçinesini levha oluşumuna etkileri ve çevre açısından serbest formaldehit gaz emisyonları hakkında çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir [17]. Costa vd. yaptığı çalışmada, yonga levha üretiminde formaldehit gaz emisyonunu

azaltmak amacıyla üç farklı formaldehit tutucu (sodyum metabisülfid, amonyum bisülfid) kullanarak ürettikleri yonga levhaların fiziksel, mekanik özelliklerini ve perforatör ve desikatör yöntemiyle formadehit emisyon performansını analiz etmişlerdir [3].

Mao ve Kim, yaptığı araştırmasında, düşük mol içerikli üre formaldehit tutkalın yapısındaki metilen eter gruplarının odun bazlı kompozit levha ürünlerinde formaldehit emisyon etki değeri üzerine çalışmıştır [13]. Yaptığı çalışmanın sonucunda üre formaldehit tutkalında metil eter gruplarının artması formaldehit emisyonun artırma potansiyeli olduğunu ifade etmişlerdir. Grigsby vd., yaptıkları çalışmada, kürlenmiş reçinenin su ekstraksiyonu ile reçinenin hidrolitik dengesine etkisi araştırılmıştır [6]. MDF üretimi sırasında lif üzerinde çok aktif olan üre formaldehit reçinesi sertleşme sonucunda çapraz bağlı, reçine matriksine eksik katılımların olmasından dolayı ÜF reçinesinin kürlenmesi tamamlanamamaktadır. Araştırmaya göre su ile ekstraksiyonda %50-70 bağlanma kayıpları oluşabildiğini açıklamışlardır. Dazmire ve ark., yaptıkları çalışmalarında, 1.9, 2.1 ve 2.3 mol oranlarına sahip MDF panelleri üzerinde şişme, eğilme direnci, elastikiyet modülü çekme mukavemetine ve formaldehit gaz emisyonu testlerini belirlemişlerdir [30]. Sani ve Enayiti, yaptıkları çalışmada, endüstriyel odun lifleri ile melamin reçine emdirilmiş kâğıt atıklarının %10, %20, %30 oranlarında karıştırarak ve reçine kuru life oranla %8 ve %10 kullanarak üretilen orta yoğunlukta lif levhaların fiziksel ve mekanik testleri yönüyle çalışmışlardır [18]. 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 üretim gerçekleşmiştir [5].

Bu çalışmada, orta yoğunlukta lif levha üretimin prosesinde üretim parametreler sabit kalarak, üç farklı mol oranlarında sentezlenen formaldehit bazlı üre reçinelerinin HDF levhalardaki performansı araştırılmıştır. Üretilen HDF levhalarının bazı mekanik özellikleri yönüyle araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Hammadde

Bu çalışmada; %60 sarı çam (*Pinus sylvestres* L), %20 göknar (*Abies nordmanniana* L), %20 kayın (*Fagus orientalis* L) kullanılmıştır. Bu odunlar Kastamonu Daday bölgesinden temin edilerek Kastamonu Organize Sanayi Bölgesinde özel bir MDF üretim tesisine getirilmiştir.

2.2. Tutkal

Üre formaldehit tutkalları Kastamonu Tutkal Üretim Tesisleri'nde üretilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan üre formaldehitin reçinesinin kimyasal analiz değerleri;

1.17 mol ÜF tutkalın özellikleri;

- Katı madde: 63±1
- Üre-Formaldenit mol oranı: 1.17
- Yoğunluk (20 °C g/cm³):1.227
- Vizkosite (25 °C cps) :20-35 sn
- jel zamanı (100°C) (20% (NH₄)₂SO₄):20-45 sn
- pH: 7- 8.5
- Serbest formaldehit: %0.20 max
- Metilol grups %12-15
- Raf ömrü: 75 gün

0.98 mol ÜF tutkalın özellikleri;

- Katı madde: 58±1
- Üre-Formaldenit mol oranı: 0.98
- Yoğunluk (20 °C g/cm³):1.227
- Vizkosite (25 °C cps) :15-35 sn
- jel zamanı (100 °C) (20% (NH₄)₂SO₄): 20-60 sn
- pH: 7- 8.5
- Serbest formaldehit: %0.18 max
- Metilol grup %12-15
- Raf ömrü: 75 gün

0.88 mol ÜF tutkalın özellikleri;

- Katı madde: 58±1
- Üre-Formaldenit mol oranı: 0.88
- Yoğunluk (20 °C g/cm³):1.227
- Vizkosite (25 °C cps) :15-35 sn
- Jel zamanı (100 °C) (20% (NH₄)₂SO₄): 30-75 sn

- pH: 7- 8.5
- Serbest formaldehit: %0.15 max
- Metilol grup %12-15
- Raf ömrü: 75 gün

2.3. Parafin

Parafin rengi kirli beyaz sıvıdır. Denizli ilinden faaliyet gösteren özel bir işletmeden tedarik edilmiştir.

- Katı madde: %60
- pH: 9-10
- Vizkosite: 13-23 sn
- Yoğunluğu: 0.96 gr/cm³

%20'lik çözelti özellikleri

- Yoğunluğu; 0.95 gr/cm³
- pH: 6.5'dir.

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.

%20'lik çözelti özellikleri

- Yoğunluğu; 0.95 gr/cm³
- pH: 6.5'dir.

2.5. Üretim Parametreleri

Bu çalışmada uygulana üretim parametreleri Çizelge 1'de gösterilmiştir. Test grubundaki levhalar A, B, C semboli ile ifade edilmiştir. Üç farklı mol üre-formaldehit tutkalı F:Ü; A; 1.17, B; 0.98 ve C; 0.88 mol üre-formaldehit tutkalı kullanılmıştır. Deneme levhalar Kastamonu Entegre Ağaç San. Tic AŞ Kastamonu MDF Tesislerinde üretimi yapılmıştır.

Çizelge 1. 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)
A	1.17	11	1.38	58	218	950	7.7x2100x2440
B	0.98	11	1.38	58	218	950	7.7x2100x2440
C	0.88	11	1.38	58	218	950	7.7x2100x2440

2.6. HDF Levhalarının Üretimi

İlk olarak, sert ağaç ve yumuşak ağaç türleri Batı Karadeniz ormanlarından getirilmiştir. MDF üretiminde, çam, kayın ve göknar odunları hammaddenin kullanılmış ve daha sonra bu türler yongalanmıştır. Üretim parametrelerine göre tek tek silolarda depolanmıştır. Çipsler, Andritz defibrilatöründe 8.3 bar buhar basıncı içinde 186°C'de 3.5 dakika pişirildi. Reçineler ve diğer kimyasallar tutkal fabrikasında hazırlanmıştır. HDF üretim hattındaki kimyasal tank depolarına sevk edilmiştir. 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 %1.38 olarak ilave edilmiştir.

Lifler kurutucuda %12 rutubete kadar kurutulmuştur. HDF levhalar sürekli sıcak preste üretilmiştir. Sürekli sıcak pres parametreleri; pres sıcaklığı; 218°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, 150 kum zımpara kâğıdı ile zımparalanmıştır.

Levhalar 20 ± 2 ve $\%65\pm 5$ bağıl nem (RH) koşullarında TS 642-ISO 554 (1997) standardına göre kondisyonlanmıştır [19]. Testler üç farklı kademede Çizelge 1 parametrelerine göre üretilmiştir. HDF levhalar A (874 kg/m^3), B (881 kg/m^3) ve C (860 kg/m^3) hedef yoğunluğunda $7.7\text{mm}\times 2100\text{mm}\times 2440 \text{ mm}$ boyutlarında sürekli sıcak preste üretilmiştir. Bu çalışmada HDF levhaların yoğunluğuna, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve levha düzlemine dik çekme mukavemeti performans testlerine bakılmıştır.

Deneylerde üç farklı mol oranlarında (1.17, 0.98 ve 0.88) sentezlenen üre formaldehit tutkalı kullanılmıştır. Levhalar $7.7\text{mm}\times 2100\text{mm}\times 2440\text{mm}$. boyutlarında HDF levhalar sonsuz bantlı sıcak pres MDF üretim hattında üretimi gerçekleştirilmiştir. HDF levhalarının üretim parametreleri Çizelge 1’de gösterilmektedir. Bu çalışmada toplam mekanik testler için 60 adet ölçüm yapılmıştır.

Levhalara uygulanan testler; levhaların birim hacim ağırlığının tayini TS-EN 323, levhaların boyutlarının tayini (kalınlık, genişlik ve uzunluğun) [23], TS EN 324-1, deney numunelerinin boyutlarının tayini [24], TS EN 325 , levhalardan numune alma kesme ve muayene bölümü (deney numunelerinin seçimi, kesimi ve deney sonuçlarının gösterilmesi) tayini [25], TS EN 326-1, levhalarını standart kondisyonlama tayini [26], TS 642 ISO 554 [19], TS-EN 316 [20] ve levha özellikleri (bölüm 1, genel özellikler) TS 64-1 EN 622-1, standartlarına göre testleri yapılmıştır [27]. TS EN 310, levhalarda eğilme ve eğilme dayanımı esneklik modülü [21], TS EN 319, levha düzlemine dik çekme dayanım standartları uygulanmıştır [22].

Testlerde İmal IB700 laboratuvar test 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 TARTIŞMA

3.1. Mekanik Test Sonuçları

Üç farklı mol ÜF (A; 1.17, B; 0.98, C; 0.88) reçinesi ile üretilen HDF levhalarının mekanik testlerinin sonuçları çizelge 2’de gösterilmiştir.

Çizelge 2. HDF levhaların mekanik testlerinin performans sonuçları.

Testler	Gruplar	Ort.x	Std. Sapma	Std. Hata	Ortalama için%95 Güven Aralığı		Min.	Max.
					Alt sınır	Üst sınır		
Yoğunluk (kg/m^3)	A	870.4 ^a	3.91	1.75	865.54	875.26	864.00	874.00
	B	875.6 ^a	5.37	2.40	868.94	882.26	867.00	881.00
	C	857.4 ^b	4.83	2.16	851.41	863.39	850.00	861.00
Eğilme Mukavemeti (N/mm^2)	A	40.95 ^a	1.06	0.47	39.64	42.26	39.85	41.95
	B	39.90 ^b	0.13	0.06	39.74	40.06	39.79	40.12
	C	38.07 ^c	1.03	0.46	36.80	39.36	37.03	39.16
Elastikiyet Modülü (N/mm^2)	A	3814.2 ^a	24.80	11.09	3783.40	3845.00	3784.00	3845.00
	B	3525.0 ^b	10.95	4.90	3511.40	3538.60	3514.00	3543.00
	C	3356.6 ^c	17.17	7.68	3335.28	3377.92	3333.00	3378.00
Çekme Mukavemeti (N/mm^2)	A	1.48 ^a	0.03	0.01	1.45	1.52	1.45	1.53
	B	1.38 ^b	0.02	0.01	1.36	1.40	1.36	1.40
	C	1.17 ^c	0.05	0.02	1.11	1.23	1.11	1.22

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

Yoğunluk değerleri Çizelge 2’de gösterilmiştir. A levhasında yoğunluğu 870.4 kg/m^3 ölçülmüştür. B levhasının yoğunluğu 875.6 kg/m^3 ve C levhasının yoğunluğu 857.4 kg/m^3 olarak ölçülmüştür. Testlerdeki HDF levhaların yoğunlukları birbirine yakın ölçülmüştür.

Çizelge 2’ye göre istatistiki ANOVA (Duncan) test hesaplama sonucunda A, B ve C arasında anlamlı anlamlı farklılık bulunmuştur. Bu farklılık HDF üretimi esnasında tutkalın üre ve formaldehit mol oranından kaynaklanmaktadır. A levhası B levhasına göre yoğunluğu $\%0.59$ artarken C levhasının yoğunluğuna göre $\%1.52$ yoğunluğu fazla ölçülmüştür.

Levhalarının eğilme mukavemeti test sonuçları çizelge 2’de gösterilmiştir. A levhasının eğilme mukavemeti 40.95 N/mm², B levhasının eğilme mukavemeti 39.90 N/mm², C levhasının eğilme mukavemeti 38.07 N/mm² ölçülmüştür. HDF levhaların eğilme mukavemeti sonuçları istatistiki ANOVA (Duncan) analiz sonucuna göre gruplar arasında anlamlı farklılık bulunmuştur. Bu farklılık üretimde kullanılan; farklı mol oranları ile sentezlenen üre formaldehit tutkalından kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada tek değişken farklı mol oranları ile sentezlenen üre formaldehit tutkalıdır. A levhası B levhasına göre eğilme mukavemeti test sonucu %2.63 azalmıştır. A levhası C levhasına göre eğilme mukavemeti %7.54 oranında azalmıştır. Bu çalışmada A levhasının test sonucu en yüksek performans sergilemiştir.

Levhalarının eğilmede elastikiyet modülü test sonuçları çizelge 2’de gösterilmiştir. A levhasının eğilmede elastikiyet modülü 3814.2 N/mm², B levhasının eğilmede elastikiyet modülü 3525 N/mm², C levhasının eğilmede elastikiyet modülü 3356.6 N/mm² ölçülmüştür. HDF levhaların eğilmede elastikiyet modülü sonuçları istatistiki ANOVA (Duncan) analiz sonucuna göre gruplar arasında anlamlı farklılık bulunmuştur. Bu farklılık üretimde kullanılan; üre formaldehit tutkalından kaynaklanmaktadır. Bu araştırmada tek değişken farklı üre formaldehit tutkalıdır. A levhası B levhasına göre eğilmede elastikiyet modülü test sonucu %8.20 azalmıştır. A levhası C levhasına göre eğilme mukavemeti %13.63 oranında azalmıştır. Bu çalışmada A levhasının test sonucu en yüksek performans göstermiştir.

A, B, C levhalarının çekme mukavemeti test sonuçları çizelge 2’de gösterilmiştir. A levhasının çekme mukavemeti 1.48 N/mm², B levhasının çekme mukavemeti 1.38 N/mm², C levhasının çekme mukavemeti 1.17 N/mm² ölçülmüştür. HDF levhaların çekme mukavemeti sonuçları istatistiki ANOVA (Duncan) analiz sonucuna göre gruplar arasında anlamlı farklılık bulunmuştur. Bu farklılık üretimde tek değişken olarak üre formaldehit tutkalından kaynaklanmaktadır. A levhası B levhasına göre çekme mukavemeti test sonucu %7.83 azalmıştır. A levhası C levhasına göre çekme mukavemeti %27.18 oranında azalmıştır. Bu çalışmada çekme mukavemeti en yüksek performans gösteren A levhasıdır. Quoa vd 2007 yılında yaptıkları çalışmada, (F:Ü) 1.27, 1.19 ve 1.05 mol oranları üre formaldehit tutkalı ile yongalevha üretimi yapmıştır [29]. Çalışması sonucunda üre formaldehit tutkalında mol oranı azaldıkça levhalarda mekanik test sonucu; eğilme mukavemeti, eğilmede elastikiyet modülü, çekme mukavemetini azaldığını ifade etmiştir. Quoa vd. 2007 yılındaki çalışmasının sonuçları, üre-formaldehit reçine mol oranının HDF’nin mekanik test sonuçlarını desteklemektedir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; üretim prosesinde tüm parametreler aynı olmasına rağmen, üretiminde tek değişken üre formaldehit tutkalın mol oranlarında olmuştur. Tutkalın mol oranı azaldıkça levhaların eğilme mukavemeti, eğilmede elastikiyet modülü, çekme mukavemeti test sonuçlarında değişiklik olmuştur.

Tutkalın mol oranı azaldıkça levhaların eğilme mukavemeti değerlerinde değişiklik olmuştur. ÜF tutkalının mol oranının azalması levhalarda eğilme mukavemeti değerleri azalmıştır. Tutkalın mol oranı azaldıkça levhaların eğilmede elastikiyet modülü değerleri azalmıştır.

Tutkalın mol oranı (F: Ü); 1.17 mol den 0.88 mol oranına düştükçe levhaların çekme mukavemetinde en fazla %27.18 oranında azalma gerçekleşmiştir.

HDF üretiminde üre formaldehit tutkalı sentezleme aşamasında formaldehit oranı azaldıkça ve sentezlenen üre formaldehit mol oranı azaldıkça levhalarda mekanik mukavemet test sonuçları azalmıştır.

Bu çalışma sonucunda üretilen levhaların TS EN standartların belirlediği kriterler içinde kalmak koşuluyla F: Ü; 1.17 mol üre formaldehit ve F: Ü; 0.98 mol üre formaldehit reçinesi mekanik değerler sonucuna göre HDF üretiminde kullanılması önerilebilir.

Yazar Katkıları

Yazarlar çalışmaya eşit oranlı katkı sunmuşlardır.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler

Teşekkür

Kastamonu Entegre Ağaç Sanayi Tic. A.Ş., Kastamonu-Samsun Fabrikalar Direktörü Enüs KOÇ’a, yardımlarından dolayı teşekkür ediyorum.

KAYNAKÇA

- [1] A. S. Angelatos, “NMR structural elucidation of amino resins”, *Journal of Applied Polymer Science*, 91(6):3504–3512. DOI:10.1002/app.13538, 2004.
- [2] T. Alpar, T. Faczan, I. Racz and Katoli, G, “MDF/HDF Production from Plantation Wood Species. *Drvna Industrija*, 61 (3) 183-191, 2010.
- [3] N. A. Costa, J. Pereira, J. Ferra, P. Cruz, J. Martins, F. D. Magalhães, A. Mendes and L. H. Carvalho, “Scavengers for achieving zero formaldehyde emission of wood-based panels”, *Wood Science and Technology*, 47, 1261–1272, 2013.
- [4] H. Eroğlu ve M. Usta, “Lif Levha Üretim Teknolojisi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Genel Yayın No: 200, Fakülte Yayın No: 30, Trabzon, s. 351, 2000.
- [5] Faostat, “Forestry Production and Trade. Food and Agriculture Organization of the United Nations”, <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FO>, Accessed: 24.01.2020.
- [6] W. J. Grigsby, J. E.P. Carpenter and R. Sargent, “Investigating the Extent of Urea Formaldehyde Resin Cure in Medium Density Fiberboard: Resin Extractability and Fiber Effects”, *Journal of Wood Chemistry and Technology* Vol; 34, Issue 3, <https://doi.org/10.1080/02773813.2013.861850>, 2014.
- [7] W. J. Grigsby, and A. Thumm, “Resin and wax distribution and mobility during medium density fibreboard manufacture”, *European J. Wood and Wood Products*, 70(1–3): 337–348. DOI: 10.1007/s00107-011-0560-0, 2012.
- [8] W.J. Grigsby, A. G. McDonald, A. Thumm and C. Loxton, “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, 2004.
- [9] R. Hashim, O. Sulaiman, R.N. Kumar, P. F. Tamyaz, R.J. Murphy and Z. Ali, “Physical and mechanical properties of flame-retardant urea formaldehyde medium density fiberboard”, *Journal of Materials Processing Technology*.vol;209, issue;2, pages 635-640. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2008.02.036>, 2009.
- [10] S. Kim, “The reduction of indoor air pollutant from wood-based composite by adding pozzolan for building materials”, *Constr Build Mater* 23(6):2319–2323, 2009.
- [11] P. Louis Cyr, B. Riedl and X. M. Wang, “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, 2008.
- [12] J. Martins, C. Coelho, J. Ferra, P. Cruz and L. Carvalho, “Low formaldehyde emission MDF overlaid with wood veneer: bonding problems assessment”, *International Wood Products Journal*. Vol;3 pages 1–31, 2012.
- [13] A. Mao and M.G. Kim, “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, 2013.
- [14] B. D. Park and H. W. Jeong, “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, 2011.
- [15] B. D. Park, S. M. Lee and J. K. Roh, “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, 2009.
- [16] E. Roffael, B. Dix, C. Behn and G. Bär, “Use of UF-bonded recycling particle- and fibreboards in MDF-production”, *European Journal of Wood and Wood Products* vol; 68, pages121–128, 2010.
- [17] E. Roffael and C. Behn, “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* vol; 70, pages819–822, 2012.
- [18] F. R. Sani and A. A. Enayiti, “Reduced use of urea-formaldehyde resin and press time due to the use of melamine resin-impregnated paper waste in MDF”, *Journal of the Indian Academy of Wood Science*. vol. 17, pages100–105, 2020.
- [19] TS 642-ISO 554, “Kondisyonlama ve/veya Deneysel İçin Standart Atmosfer – Özellikler”, TSE, Ankara, 1997.
- [20] TS-EN 316, “Odundan mamul lif levhalar-tarifler, sınıflandırma ve semboller”, TSE, Ankara, 2011.
- [21] TS EN 310 “Ahşap esaslı-paneller, eğilme ve eğilme dayanımı esneklik modüllerinin belirlenmesi”, TSE, Ankara, 1999.
- [22] TS EN 319 “Yonga levhalar ve suntalar, levha düzlemine dik çekme dayanımının belirlenmesi”, TSE, Ankara, 1999.
- [23] TS-EN 323, “Ahşap esaslı levhalar-birim hacim ağırlığının tayini”, TSE, Ankara, 1999.

- [24] TS EN 324-1, “Ahşap esaslı levhalar-levha boyutlarının tayini-bölüm 1: kalınlık, genişlik ve uzunluğun tayini”, TSE, Ankara, 1999.
- [25] TS EN 325, “Ahşap esaslı levhalar-deney numunelerinin boyutlarının tayini. TSE, Ankara, 2008.
- [26] TS EN 326-1, “Ahşap esaslı levhalar-numune alma kesme ve muayene bölüm 1: deney numunelerinin seçimi, kesimi ve deney sonuçlarının gösterilmesi”, TSE, Ankara, 1999.
- [27] TS 64-1 EN 622-1, “Lif levhalar özellikler-bölüm 1: genel özellikler”, TSE, Ankara, 2005.
- [28] C. Xing, B. Riedl, A. Cloutier and G. He, “The effect of urea-formaldehyde resin pre-cure on the internal bond of medium density fiberboard”, Holz als Roh- und Werkstoff vol:62, pages 439–444, 2004.
- [29] Z. Quea, T. Furunoa, S. Katoa and Y. Nishinob, “Effects of urea–formaldehyde resin mole ratio on the properties of particleboard”, Building and Environment 42, pages1257–1263, 2007.
- [30] MK. Dazmiri, MV. Kiamahalleh, A. Dorieh and A. Pizzi. 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, DOI: 10.1016/j.ijadhadh.2019.102440, 2019.