

Yonga levhanın mekanik, fiziksel ve formaldehit emisyon özellikleri üzerine sıcak pres hızının etkisi

Effect of hot press speed on mechanical, physical, and formaldehyde emission properties of particle board

Osman ÇAMLİBEL¹ Ümit AYATA²

¹ Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale Meslek Yüksekokulu, İç Mekân Tasarımı Programı, Kırıkkale, Türkiye

² Bayburt Üniversitesi, Sanat ve Tasarım Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, Bayburt, Türkiye

Eser Bilgisi / Article Info

Araştırma makalesi / Research article

DOI: 10.17474/artvinofd.1312017

Sorumlu yazar / Corresponding author

Ümit AYATA

e-mail: umitayata@yandex.com

Geliş tarihi / Received

09.07.2023

Düzeltilme tarihi / Received in revised form

27.09.2023

Kabul Tarihi / Accepted

28.09.2023

Elektronik erişim / Online available

15.10.2023

Anahtar kelimeler:

Yonga levha

Fiziksel özellikler

Mekanik özellikler

Pres hızı

Formaldehit emisyonu

Keywords:

Particleboard

Physical properties

Mechanical properties

Press speed

Formaldehyde emission

Özet

Bu çalışmada, sıcak pres hızındaki değişimin yonga levha (PB)'nin fiziksel, mekanik ve formaldehit emisyon değerleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. PB üretiminde, odun hammaddesi olarak %40 meşe (*Quercus petraea* L), %50 sarıçam (*Pinus sylvestris* L) ve %10 akkavak (*Populus alba*) planya talaşı kullanılmıştır. Tutkal olarak %65 konsantrasyonda üre formaldehit (UF) (1/1:35 mol), sertleştirici olarak %20 konsantrasyonda amonyum sülfat (AS) ve su itici kimyasal olarak %60 konsantrasyonda sıvı parafin (LW) kullanılmıştır. PB deney örnekleri hazırlanırken üretim reçete değerleri sabit bırakılmış ve yalnızca üretim hızı değiştirilmiştir. Pres hızları 240 mm/sn (PH₂₄₀), 245 mm/sn (PH₂₄₅) ve 258 mm/sn (PH₂₅₈) olacak şekilde ayarlanmıştır. PB numunelerinin fiziksel, mekanik ve emisyon karakterizasyonu ilgili TSE standartlarına göre yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Sonuçlar arasında önemli farklılıklar bulunmuştur. Bu farklılıkların sıcak pres hızından kaynaklandığı görülmüştür. Pres hızının artması, PB'nin mekanik özelliklerini ve direnç testlerini olumlu yönde etkilemiştir. Pres hızındaki artış levhanın mekanik direncini düşürmüştür.

Abstract

In this study, the effect of variations in the hot pressing speed on the physical, mechanical, and formaldehyde emission values of particleboard (PB) was investigated. For PB production, wood raw materials consisting of 40% oak (*Quercus petraea* L), 50% Scots pine (*Pinus sylvestris* L), and 10% poplar (*Populus alba*) planer shavings were utilized. A urea-formaldehyde adhesive (UF) was used at a 65% concentration (1/1.35 mol), ammonium sulfate (AS) was employed as a hardener at a 20% concentration, and liquid paraffin (LW) was used as a water-repellent chemical at a 60% concentration. During the preparation of PB test samples, production recipe values were kept constant, and only the production speed was altered. Press speeds were adjusted to 240 mm/s (PH₂₄₀), 245 mm/s (PH₂₄₅), and 258 mm/s (PH₂₅₈). The physical, mechanical, and emission characterization of PB samples was conducted according to the relevant TSE standards. The obtained results were subjected to statistical analysis, revealing significant differences among them. It was observed that these differences were attributed to the hot pressing speed. An increase in press speed positively influenced the mechanical properties and resistance tests of PB, while an increase in press speed reduced the mechanical resistance of the board.

GİRİŞ

Yonga levha, sentetik reçineler veya diğer bağlayıcılarla birleştirilmiş yongaların, ısı ve basınç altında birbirine bağlanmış, parçalar veya parçacıklar biçiminde, genellikle ahşap olmak üzere, imal edilen bir panel olarak tanımlanmıştır (Kevin ve ark. 2018). Yonga levha, talaşların tutkalla sıkıştırılmasıyla yapılır. Düz preslenmiş yonga levhada, talaşlar esas olarak yüzeye paraleldir. Yüzey tabakasındaki talaşların orta tabakadakilerden daha ince olması, yonga levhanın yüzeyini orta tabakadan daha yoğun ve kompakt bir hale getirir. Standart yonga levhada en yaygın kullanılan bağlayıcı üre formaldehittir (Atoyebe ve ark. 2019). Yonga levhalar ve türevleri yaşam

alanlarının ihtiyacı olan her türlü donatının üretiminde ana hammadde olarak kullanılabilir. Yonga levhalar kullanım alanlarında; levhaların fiziksel, mekanik ve formaldehit emisyonu ölçüm sonuçları ilgili standart değerinin üstündedir.

Günümüzde yonga levhaya artan talebi karşılayabilmek için, ya yeni üretim tesislerinin oluşturulmasına ya da mevcut tesisler üzerinde bulunan üretim kapasitelerinin artırılmasına yönelik çalışmaların yapılmasına gerek duyulmaktadır. Kapasite artırımı yöntemi de; hem mevcut üretim proses parametrelerinin artırılması ile hem de pres üretim hızının artırılması ile gerçekleşmektedir. Pres hızının artırılması ile üretilen yonga levhaların fiziksel,

mekanik ve formaldehit emisyon değerlerinin performansı ölçülmektedir.

Formaldehit, oda sıcaklığında güçlü uçuculuk gösterir ve oldukça reaktiftir. Suda kolayca çözünür ve yapı malzemeleri, dezenfektanlar, koruyucular, gübreler, boyalar, sertleştiriciler ve korozyon inhibitörlerinde kullanılmaktadır (Wang ve ark. 2020, Wi ve ark. 2020). Formaldehit molekülleri, oda sıcaklığında amin gruplarıyla tersinir nükleofilik katılma reaksiyonlarına yatkındır (Feng ve ark. 2010, Wang ve ark. 2020).

Ahşap atıklar geri dönüştürüldüğünde, yonga levhadan ortama salınan formaldehit gibi bazı problemler dikkate alınmalıdır. Bu problemler, yonga levhanın bir içyapı ürünü olarak kullanılması sırasında üre-formaldehit (UF), üre-melamin-formaldehit (UMF), melamin-formaldehit (MF) veya fenol-formaldehit (PF) reçinelerinin tamamlanmamış reaksiyonlarından kaynaklanmaktadır (Wang ve ark. 2007). UF reçineleri, özellikle ahşap esaslı sunta olmak üzere iç mekân ahşap ürünlerinin imalatında yapıştırıcılar olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bununla birlikte, levhanın hizmet ömrü boyunca UF bağlayıcı tarafından salınan formaldehit, yaygın olarak bir iç mekân hava kirleticisi olarak kabul edilmiştir. Bunu sınırlayan katı standartlar birçok ülkede uygulanmıştır (Marutzky 1989, Ferg ve ark. 1993). Üre formaldehit reçinesi; düşük maliyet, hızlı kürlenme, panelde iyi performans, suda çözünürlük ve renksiz olma gibi bazı avantajları vardır. Fakat UF reçine yapıştırıcıların kritik bir dezavantajı ise panellerden formaldehit emisyonu yaymasıdır (Park ve Causin 2013). Formaldehit tehlikeli bir madde olarak kabul edilir ve kapalı ortamdaki varlığı birçok ülkede sınırlıdır. Ahşap esaslı paneller olası formaldehit emisyon kaynakları olduğundan, son yıllarda bu malzemelerin potansiyel formaldehit emisyonunu veya içeriğini belirlemek ve sınırlamak amacıyla analitik test yöntemlerini tanımlamak için birçok çalışma yapılmıştır (Bulian ve ark. 2003).

Kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde en önemli faktörlerden biri, yüzey tabakanın sıkıştırma ve bağlanma kalitesi ile yakın ilişki içinde olan eğilme mukavemeti ve yük altında deformasyona dayanmasıdır (Hematabadi ve Behrooz 2012). Iosifov ve ark. (1991) tarafından iğne yapraklı ağaçlardan üretilen yonga levhalara ait test özelliklerinin, diğer ağaç türlerinininkinden üretilen yonga levhalara kıyasla daha iyi performans gösterdikleri bildirilmiştir. Ayrıca, yonga levha üretiminde kullanılan ağaçlara ait yoğunluklarının 0.40-0.65 g/cm³ arasında tercih edilmesi gerektiğini de söylemişlerdir. Gündüz ve Masraf (2005)

tarafından yatık yonga levha üretiminde yüzey tabaka talaşı miktarı ve sıcak pres parametrelerinin değiştirilmesi sonucunda üretilen levhaların fiziksel ve mekanik testleri üzerine etkili olduğu bildirilmiştir. Ayrıca, pres parametreleri (pres basıncı, pres sıcaklığı, presleme süresi ve pres hızı), dış tabaka ve orta tabaka yonga geometrisi ve miktarı faktörlerinin levhalar üzerine etkili olduğu da söylenmiştir.

Bardak ve ark. (2011) tarafından, sıcak pres diyagramı ve levhanın yoğunluk profili üzerine hazırlanmış olan levhalara ait fiziksel ve mekanik özellikler incelenmiştir. Sonuçlar, yoğunluğa ait profilinin artması ile levhanın kalitesini olumlu yönde arttığı şeklinde açıklanmıştır. Dahası, sıcak pres ilk basıncının artması sonucunda levhanın eğilme direnci ve elastikiyet modülüyle, levha yüzey yoğunluğunda iyileşmeler olduğu belirtilmiştir. Pres hızının yavaşlamasıyla levhanın tüm özelliklerinin iyileştirildiği sonucuna varılmıştır. Pres çıkış basıncının, levhanın orta yoğunluğunu olumlu yönde arttırdığı şeklinde bir sonuçta ayrıca bildirilmiştir.

He ve ark. (2012) çalışmalarında, formaldehit içeren reçinelerin kullanılmasıyla üretilen levhalarda formaldehit emisyonunu analiz etmişlerdir. Reçinenin mol oranındaki formaldehit miktarı ile levhalardaki formaldehit emisyonunun doğru orantılı olarak arttığını açıklamışlardır. Kaptı ve Ayrılmış (2016), global bazda ahşap esaslı levhalarda formaldehit emisyonu ve uçucu bileşikler üzerine ilgili standartlar ve değerleri üzerine çalışmalar yapmışlardır. Formaldehit emisyon değerleri üzerine yasal düzenlemelerin sürekli gelişme kaydettiğini ifade etmişlerdir. Ucuncu ve ark. (2017) yonga levha üretimi sıcak pres parametreleri ve farklı sıcaklık değerlerinde kavak odunundan ürettikleri levhaların fiziksel, mekanik, anatomik, renk ve kristalik özelliklerini incelemişlerdir. Sonuç olarak, pres sıcaklığındaki artışla beraber levhaların fiziksel ve mekanik özelliklerinin de arttığını açıklamışlardır.

Bu çalışmada, yonga levha üretimine hazır hale getirilen yongalar 1/1.35 mol üre formaldehit reçinesi ile muamele edilmiştir. Araştırmada tek değişken olan pres hızının üretilen levhaların mekanik, fiziksel ve formaldehit emisyon değerleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Araştırmada kullanılan hammaddelerden Sarıçam ve Meşe, Kastamonu Orman İşletmeleri'nden; Planya Talaşı

ise Kastamonu'da bulunan özel kereste fabrikasına ait işletmelerden yonga levha fabrika sahasına getirilmiştir. Bu araştırmada, Sarıçam (*Pinus slyvestris* L.) %50, Meşe (*Quercus petraea* L.) %40 ve Planya Talaşı %10 oranında kullanılmıştır.

Tutkal

Yonga levha üretiminde kullanılan üre formaldehit tutkalının üretimi Kastamonu Entegre Tutkal Tesisleri'nde gerçekleştirilmiştir. Testlerde kullanılan üre formaldehit tutkalının özellikleri; katı maddesi; %64±1, üre formaldehit mol oranı; 1/1.35, yoğunluğu (20°C g/cm³); 1.226, viskozitesi (25°C cps); 20-35 saniye, gel time ((100°C %20 ((NH₄)₂(SO₄))); 25-45 saniye, pH; 7-8.5, serbest formaldehit miktarı; %0.20 maksimum, metilol gruplar; %12-15 ve son kullanma zamanı; 80 gündür.

Sertleştirici

Üre formaldehit (UF) reçinesinin sertleştirilmesinde %20 katı madde oranına sahip amonyum sülfat (AS) sulu çözeltisi kullanılmıştır. AS Gebze ilinden özel bir firmadan tedarik edilmiştir. %20'lik AS'nin yoğunluğu 0.97 g/cm³ ve pH: 6.6'dir.

Parafin

Denizli ilinde faaliyette bulunan özel bir işletmeden kirli beyaz renginde sıvı olarak tedarik edilmiştir. Sıvı parafinin özellikleri; katı madde: %60, pH: 0-10, viskozite: 12-24 saniye, yoğunluk: 0.97 g/cm³dür.

Yöntem

Yonga Levha Üretim Parametreleri

Bu araştırmada, yonga levha üretiminde uygulanan proses verileri Çizelge 1'de gösterilmiştir. Üretim parametreleri olarak pres hızı (PS₂₄₀, PS₂₄₅ ve PS₂₅₈), pres sıcaklığı, presleme süresi, pres basıncı, levha ölçüleri verilmiştir. Bu çalışmanın deneme levhaları özel bir yonga levha üretim prosesinde 7 katlı sıcak preste üretimi gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 1: Yonga levhaların sıcak pres proses uygulama değerleri

| Test grupları | Presleme zamanı (sn) | Presleme sıcaklığı (°C) | Presleme basıncı (kp/cm ²) | Presleme hızı (mm/sn) | Levha boyutları (mm ³) |
|-------------------|----------------------|-------------------------|--|-----------------------|------------------------------------|
| PH ₂₄₀ | 210 | 195 | 30 | 240 | 18 x 2100 X 2800 |
| PH ₂₄₅ | 210 | 195 | 30 | 245 | 18 x 2100 X 2800 |
| PH ₂₅₈ | 210 | 195 | 30 | 258 | 18 x 2100 X 2800 |

PH: Pres hızı, *Basıncı altında toplam presleme süresi

Yonga Levhaların Proseste Üretilmesi

Bu araştırmada kullanılan hammaddeler; ağaç türlerine göre birinci yongalama makinesinde orta tabaka makro yongaları (OT) ve yüzey tabaka mikro yongaları (YL) haline getirilmiştir. Yongalar, kapalı beton yonga deposunda türlerine göre depolanmıştır. Kaba yongalar ikinci yongalama makinesinde (pallmann değirmen), dış yüzey mikro yongaları (SL; 0.15-0.25 mm) ve iç yüzey makro yongaları (CL; 0.3-0.5 mm) ölçülerinde inceltirilmiştir.

YL ve OT yongaları ayrı ayrı döner silindri kurutucularda %1.75-2.5 rutubet değerine kadar kurutulmuştur. Kurutulan yongalar sarsak elekte tasnif edilmiştir ve standart dışı yongalar ayrılmıştır. YL ve OT yongaları pnömatik taşıma sistemi ile ayrı ayrı silolarda depolanmıştır. YL ve OT yongaları tutkallama ünitesinde dozajlama yapılmıştır. OT için %8 oranında tutkal, sertleştirici, sıvı parafin işlenmiş ve rutubeti %5.5 oranına ayarlanmıştır. YL için %12.5 tutkal işlenmiş, sertleştirici, sıvı parafin ve rutubeti %13 oranına göre ayarlanmıştır.

Tutkallanan yongalar, serme istasyonunda mekanik serme ile dış tabaka, orta tabaka ve üst tabaka yongaları serilerek pasta formuna getirilmiş ve ön presten geçirilerek, giriş asansörüne yüklenmiştir. Katlı sıcak preslerde Çizelge 1'deki deney parametrelere göre üretim gerçekleştirilmiştir. Sıcak presleme sonrasında 18x2100x 2800 mm³ ölçülerinde yonga levhalar üretilmiştir. Sıcak pres sonrası levhalar yıldız formundaki döner sistemde oda sıcaklığına kadar klimatize edilmiştir.

Levhalar ebatlama kısmında ölçülendirilmiştir. Levhalar paket haline getirilmiş ve yarı mamul hammadde alanında stoklanmıştır. Yarı mamul depolama alanında 5 gün bekletilmiştir. Zımpara makinesinde 40, 80 ve 100 kum zımpara kâğıdı ile zımparalanmıştır. Test levhaları beton zemin alanında istiflenmiştir.

Levhalar TS 642 ISO 554 (1997) standardına göre 20±2 °C ve %65±5 bağıl nem ortamında (RH) %12 rutubetine kadar kondisyonlanmıştır. Bu çalışmada; fiziksel, mekanik ve formaldehit emisyon testlerini ölçmek amacıyla levhalar deney numunelerinin ölçülerine göre ölçülendirilmiştir.

Levhalara Uygulanan Testler

Çalışmada, ahşap esaslı yonga levhaların; şartlandırma ve testlerin atmosfer ortamını sağlamak için TS 642- ISO 554 (1997), ahşap esaslı levhalarda deney numunelerinin seçimi, numune alma, kesme, sonuçların gösterilmesi için TS EN 326-1 (1999), tarif ve sınıflandırma için TS-EN 309 (1999), rutubet miktarının tayini için TS EN 322 (1999), su içerisine daldırma işlemi için TS EN 317 (1999), ahşap esaslı levhalarda formaldehit miktarı ve ekstraksiyon yöntemi için TS 4894 EN 120 (1999), yonga levhaların genel özellikleri için TS EN 312 (2012), özgül kütle için ölçümü için TS EN 323 (1999), test elementlerinin boyut ölçümleri için TS EN 325 (2012), eğilme ve eğilmede elastikiyet modülü için TS EN 310 (1999), yüzey sağlamlığı için TS EN 311 (1999), levhaların dik çekme mukavemeti için TS EN 319 (1999), ahşap esaslı levhaların boyut tayini, kalınlık, genişlik, uzunluk tayini için TS EN 324-1 (1999) standartları kullanılmıştır. Test elementleri 0.01 mm hassasiyetli dijital mikrometre ile ölçülmüştür. Mekanik ve fiziksel analizler imal IB700 tipi laboratuvar test cihazında yapılmıştır.

İstatistik Analiz

Çok değişkenli varyans analizi, homojenlik ve standart sapma, maksimum ve minimum değeri varyasyon katsayıları hesaplanmıştır. İstatistiksel analiz sonuçlarının değerleri $P < 0.05$ 'te anlamlı olarak kabul edilmiştir. SPSS 22 paket programında fiziksel, mekanik ve formaldehit emisyon özellikleri için Scatterplot Matrix Çizelgesi oluşturularak testler arası ölçüm değerlendirmesi yapılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Çizelge 2'de yonga levhaların fiziksel, mekanik özelliklerine ve formaldehit emisyon ölçümlerine ait çok değişkenli istatistiksel analiz sonuçları verilmiştir. Bu sonuçlara göre, kalınlık, yoğunluk, eğilme direnci, elastikiyet modülü, çekme mukavemeti, yüzey mukavemeti, nem oranı, kalınlığına şişme, su emme, formaldehit emisyonu testleri için pres hızı faktörünün anlamlı olarak elde edildiği görülmektedir (Çizelge 2).

Yonga levhaların fiziksel, mekanik özelliklerine ve formaldehit emisyon ölçümlerine ait sonuçları Çizelge 3'de sunulmuştur.

Levhaların kalınlık ölçüleri; PH_{240} :17.90 mm, PH_{245} :17.80 mm ve PH_{258} :17.90 mm olarak ölçülmüştür. Levhaların yoğunluk değerleri PH_{240} :635.10 kg/m^3 , PH_{245} :631.83

kg/m^3 ve PH_{258} :633.14 kg/m^3 olarak tespit edilmiştir. Levhalara ait yoğunluk değerlerinin birbirine yakın olduğu ve ilgili standardın üzerinde yer aldığı görülmüştür (Çizelge 3).

Gündüz ve Masraf (2005) tarafından yonga levhaların üretimi esnasında ağaç türü, yonga ölçüleri ve geometrisi, tutkal türü ve miktarı, sermenin homojenliği, pres sıcaklığı, pres süresi gibi faktörlerinin, levhanın yoğunluğu üzerinde yapılan testler için etkili olduğu bildirilmiştir.

Levhaların eğilme mukavemeti; PH_{240} :14.54 N/mm^2 , PH_{245} :13.51 N/mm^2 ve PH_{258} :15.80 N/mm^2 olarak ölçülmüştür. Grupların ölçüm sonuçları birbirinden farklı ölçülmüştür. Pres hızı arttıkça eğilme mukavemeti değerinin arttığı görülmektedir. Pres hızı levhaların eğilme mukavemetine olumlu etki etmiştir (Çizelge 3).

Eğilmede elastikiyet modülü; PH_{240} :2890.36 N/mm^2 , PH_{245} :2653.92 N/mm^2 ve PH_{258} :2893.96 N/mm^2 olarak bulunmuştur. Grupların ölçüm sonuçlarının birbirinden farklı olduğu görülmektedir. Pres hızı arttıkça eğilmede elastikiyet modülü değerinin PH_{245} pres hızında azaldığı, ancak PH_{258} pres hızında arttığı görülmektedir (Çizelge 3).

Yüzeye dik çekme mukavemeti (YDÇ) sonuçlarına bakıldığında, PH_{240} :0.60 N/mm^2 , PH_{245} :0.49 N/mm^2 ve PH_{258} :0.60 N/mm^2 olarak elde edilmiştir. Pres hızı arttıkça çekme mukavemeti PH_{245} pres hızında azalır iken, PH_{258} pres hızında arttığı görülmektedir. Pres hızı levhaların çekme mukavemetini olumlu etkilemiştir (Çizelge 3).

Yüzey sağlamlığı mukavemetine ait sonuçlara bakıldığında (YSM); PH_{240} :1.40 N/mm^2 , PH_{245} :1.27 N/mm^2 ve PH_{258} :1.24 N/mm^2 olarak ölçülmüştür. Pres hızı arttıkça yüzey sağlamlığı mukavemeti değerinin kademeli olarak azaldığı görülmektedir. Pres hızının levhaların yüzey sağlamlığı mukavemetini olumsuz etkilediği görülmüştür (Çizelge 3).

Çamlıbel (2021) yonga levha üretiminde çok katlı sıcak pres parametrelerinin (katlı presin sıcaklığı, presleme süresi, pres hızı) mekanik özellikleri üzerine etkisini incelemiştir. Sonuçlara göre, pres hızı parametresinin azalması ile yüzeyine dik çekme, elastikiyet modülü ve vida tutma direnci gibi özelliklerinin arttığı, eğilme direnci ve yüzey sağlamlığı mukavemeti özelliklerinin ise olumsuz yönde etkilendiği bildirilmiştir.

Levhaların rutubeti (LR) değerleri, PH_{240} :%6.70, PH_{245} :%6.84 ve PH_{258} :%7.00 olarak ölçülmüştür. Pres hızı arttıkça levhalara ait rutubet değerinin arttığı görülmüştür.

Çizelge 2: Yonga levhaların fiziksel, mekanik özelliklerine ve formaldehit emisyon ölçümlerine ait çok değişkenli varyans analizi sonuçları

| Varyans kaynağı | Test | Kareler toplamı | Serbestlik derecesi | Ortalama kare | F değeri | P≤0.05 |
|----------------------|--------------------|-----------------|---------------------|---------------|----------|--------|
| Pres hızı | Kalınlık | 0.067 | 2 | 0.034 | 5.532 | 0.010* |
| | Yoğunluk | 54.169 | 2 | 27.084 | 7.875 | 0.002* |
| | Eğilme direnci | 26.301 | 2 | 13.151 | 283.905 | 0.000* |
| | Elastikiyet modülü | 378453.451 | 2 | 189226.725 | 280.071 | 0.000* |
| | Çekme mukavemeti | 0.075 | 2 | 0.037 | 61.699 | 0.000* |
| | Yüzey mukavemeti | 0.141 | 2 | 0.070 | 77.123 | 0.000* |
| | Nem oranı | 0.439 | 2 | 0.220 | 21.928 | 0.000* |
| | Kalınlığına şişme | 16.175 | 2 | 8.087 | 216.696 | 0.000* |
| | Su emme | 506.790 | 2 | 253.395 | 1359.412 | 0.000* |
| Formaldehit emisyonu | 4.046 | 2 | 2.023 | 53.663 | 0.000* | |
| Hata | Kalınlık | 0.164 | 27 | 0.006 | | |
| | Yoğunluk | 92.865 | 27 | 3.439 | | |
| | Eğilme direnci | 1.251 | 27 | 0.046 | | |
| | Elastikiyet modülü | 18242.264 | 27 | 675.639 | | |
| | Çekme mukavemeti | 0.016 | 27 | 0.001 | | |
| | Yüzey mukavemeti | 0.025 | 27 | 0.001 | | |
| | Nem oranı | 0.271 | 27 | 0.010 | | |
| | Kalınlığına şişme | 1.008 | 27 | 0.037 | | |
| | Su emme | 5.033 | 27 | 0.186 | | |
| Formaldehit emisyonu | 1.018 | 27 | 0.038 | | | |
| Toplam | Kalınlık | 9579.267 | 30 | | | |
| | Yoğunluk | 12034367.050 | 30 | | | |
| | Eğilme direnci | 6438.422 | 30 | | | |
| | Elastikiyet modülü | 237743010.040 | 30 | | | |
| | Çekme mukavemeti | 9.827 | 30 | | | |
| | Yüzey mukavemeti | 51.570 | 30 | | | |
| | Nem oranı | 1408.522 | 30 | | | |
| | Kalınlığına şişme | 6185.677 | 30 | | | |
| | Su emme | 157965.959 | 30 | | | |
| Formaldehit emisyonu | 6497.470 | 30 | | | | |
| Toplam hata | Kalınlık | 0.232 | 29 | | | |
| | Yoğunluk | 147.034 | 29 | | | |
| | Eğilme direnci | 27.552 | 29 | | | |
| | Elastikiyet modülü | 396695.715 | 29 | | | |
| | Çekme mukavemeti | 0.091 | 29 | | | |
| | Yüzey mukavemeti | 0.165 | 29 | | | |
| | Nem oranı | 0.710 | 29 | | | |
| | Kalınlığına şişme | 17.182 | 29 | | | |
| | Su emme | 511.822 | 29 | | | |
| Formaldehit emisyonu | 5.064 | 29 | | | | |

*: Anlamlı

24 saat suda kalınlığına şişme değerleri PH₂₄₀:%13.30, PH₂₄₅:%14.81 ve PH₂₅₈:%14.89 olarak belirlenmiştir. Çalışmada, pres hızı arttıkça 24 saat suda kalınlığına şişme değerleri de kademeli olarak artmıştır. Pres hızı, levhaların 24 saat suda kalınlığına şişmesini olumsuz yönde etkilemiştir (Çizelge 3).

24 saat su alma değerleri PH₂₄₀:%66.72, PH₂₄₅:%74.40 ve PH₂₅₈:%76.20 olarak ölçülmüştür. Pres hızı arttıkça 24 saat su alma değerlerinin kademeli olarak arttığı

görülmektedir. Pres hızı levhaların 24 saat su alma değerlerini olumsuz etkilemiştir (Çizelge 3).

Çamlıbel (2020) çalışmasında yonga levha üretim prosesinde katlı pres için sıcak pres parametrelerinden birisi olan pres hızının artmasıyla levhanın fiziksel özelliklerinden olan 24 saat su alma ve 24 saat suda kalınlığına şişme değerlerinin olumsuz yönde etkilendiğini ifade etmiştir.

Çizelge 3. Yonga levhaların fiziksel, mekanik özelliklerine ve formaldehit emisyon ölçümlerine ait sonuçları

| Test | Pres hızı | N | Ortalama | HG | SS | Minimum | Maksimum | Varyasyon katsayısı |
|---|-------------------|----|----------|-----|-------|---------|----------|---------------------|
| Kalınlık (mm) | PH ₂₄₀ | 10 | 17.90 | A* | 0.10 | 17.73 | 17.99 | 0.55 |
| | PH ₂₄₅ | 10 | 17.80 | B** | 0.08 | 17.71 | 17.95 | 0.45 |
| | PH ₂₅₈ | 10 | 17.90 | A* | 0.05 | 17.82 | 17.98 | 0.26 |
| Yoğunluk (kg/m ³) | PH ₂₄₀ | 10 | 635.10 | A* | 2.42 | 630.00 | 638.00 | 0.38 |
| | PH ₂₄₅ | 10 | 631.83 | B** | 1.04 | 630.00 | 633.00 | 0.17 |
| | PH ₂₅₈ | 10 | 633.14 | B | 1.83 | 630.00 | 637.00 | 0.29 |
| Eğilme direnci (N/mm ²) | PH ₂₄₀ | 10 | 14.55 | B | 0.34 | 14.30 | 15.45 | 2.33 |
| | PH ₂₄₅ | 10 | 13.51 | C** | 0.14 | 13.26 | 13.68 | 1.02 |
| | PH ₂₅₈ | 10 | 15.80 | A* | 0.07 | 15.70 | 15.92 | 0.47 |
| Elastikiyet modülü (N/mm ²) | PH ₂₄₀ | 10 | 2890.36 | A | 38.37 | 2849.10 | 2976.60 | 1.33 |
| | PH ₂₄₅ | 10 | 2653.92 | B** | 23.09 | 2618.10 | 2686.70 | 0.87 |
| | PH ₂₅₈ | 10 | 2893.96 | A* | 4.64 | 2886.20 | 2899.50 | 0.16 |
| Çekme mukavemeti (N/mm ²) | PH ₂₄₀ | 10 | 0.61 | A* | 0.03 | 0.57 | 0.65 | 5.12 |
| | PH ₂₄₅ | 10 | 0.50 | B** | 0.02 | 0.47 | 0.55 | 4.57 |
| | PH ₂₅₈ | 10 | 0.61 | A* | 0.02 | 0.58 | 0.63 | 3.04 |
| Yüzey mukavemeti (N/mm ²) | PH ₂₄₀ | 10 | 1.40 | A* | 0.05 | 1.34 | 1.46 | 3.26 |
| | PH ₂₄₅ | 10 | 1.28 | B | 0.01 | 1.26 | 1.29 | 0.89 |
| | PH ₂₅₈ | 10 | 1.25 | C** | 0.02 | 1.21 | 1.29 | 1.83 |
| Nem oranı (%) | PH ₂₄₀ | 10 | 6.71 | C** | 0.11 | 6.59 | 6.89 | 1.62 |
| | PH ₂₄₅ | 10 | 6.84 | B | 0.05 | 6.79 | 6.92 | 0.76 |
| | PH ₂₅₈ | 10 | 7.00 | A* | 0.12 | 6.80 | 7.20 | 1.78 |
| Kalınlığına şişme 24 saat (%) | PH ₂₄₀ | 10 | 13.30 | B** | 0.24 | 13.02 | 13.68 | 1.77 |
| | PH ₂₄₅ | 10 | 14.82 | A | 0.22 | 14.54 | 15.16 | 1.49 |
| | PH ₂₅₈ | 10 | 14.90 | A* | 0.09 | 14.75 | 15.02 | 0.59 |
| Su alma 24 saat (%) | PH ₂₄₀ | 10 | 66.73 | C** | 0.66 | 65.50 | 67.49 | 0.98 |
| | PH ₂₄₅ | 10 | 74.41 | B | 0.25 | 74.01 | 74.88 | 0.33 |
| | PH ₂₅₈ | 10 | 76.20 | A* | 0.26 | 75.81 | 76.50 | 0.34 |
| Formaldehit emisyonu (mg/100gr) | PH ₂₄₀ | 10 | 14.32 | C** | 0.17 | 14.10 | 14.61 | 1.16 |
| | PH ₂₄₅ | 10 | 14.61 | B | 0.27 | 14.11 | 14.96 | 1.82 |
| | PH ₂₅₈ | 10 | 15.20 | A* | 0.12 | 15.10 | 15.52 | 0.79 |

N:Ölçüm sayısı, SS:Standart sapma, HG:Homojenlik grubu, *:En yüksek değer, **:En düşük değer

Iswanto ve ark. (2014) tarafından üretilen yonga levhalara ait kalitesi üzerinde, tutkal türünün, pres sıcaklığının, presleme süresinin ve pres hızının etkili olduğu ifade edilmiştir.

Bardak ve ark. (2016) tarafından yapılan yonga levhalar (sıcak pres sıcaklığı ve presleme süresinin hızlanması (pres hızı) kombinasyonu) üzerinde elde edilen sonuçlara göre; presleme sıcaklığı ile presleme süresi parametrelerinin, kullanılan PVAc tutkalı için kabul edilebilir sınırlar içinde olması gerektiği şeklinde ifade edilmiştir. Bu sayede levhada, etkili bağlanma mukavemeti ve birim zamanda daha yüksek üretim hacmine ulaşabileceği bildirilmiştir. Ayrıca, presleme sıcaklığının ve presleme süresinin (pres hızı) levhanın yapışma mukavemeti üzerinde etkili bir faktör olduğunu da belirtmişlerdir.

Formaldehit emisyonu değerleri; PH₂₄₀:14.32 mg/100gr, PH₂₄₅:14.60 mg/100gr ve PH₂₅₈:15.20 mg/100gr olarak ölçülmüştür. Pres hızı arttıkça formaldehit emisyonu değerleri de kademeli olarak artmıştır. Pres hızı levhaların

formaldehit emisyon sonuçlarını olumsuz yönde etkilemiştir (Çizelge 3).

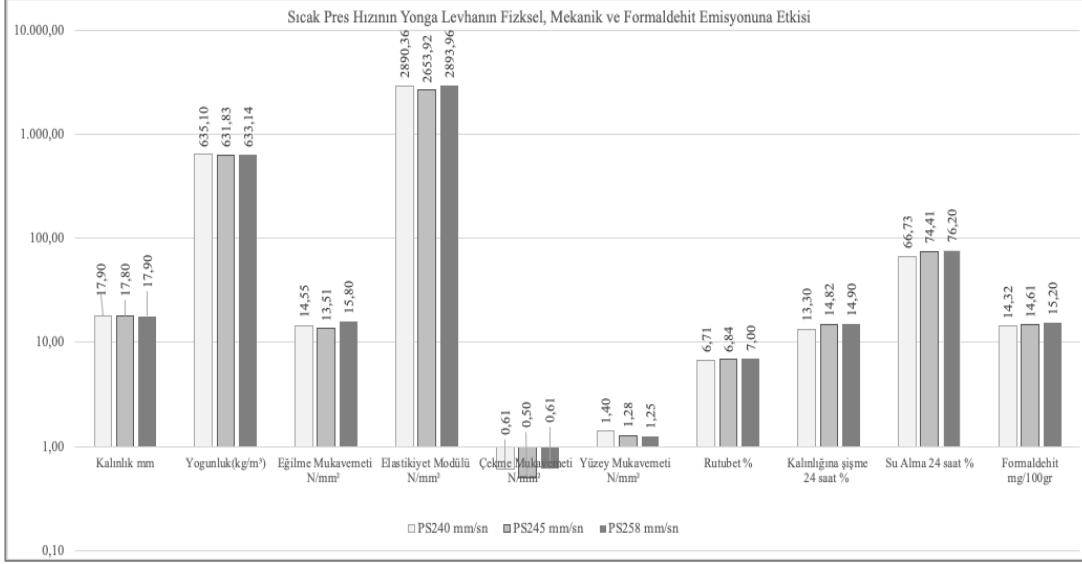
Çamlıbel (2020) çalışmasında yonga levha üretim prosesinde, katlı sıcak pres parametrelerinden pres hızı arttıkça formaldehit emisyonu değerinin arttığını belirtmiştir.

Kaptı ve Ayrılmış (2016) tarafından yapılan araştırmada formaldehit emisyon analizi TS 4894 EN 120 (1999) perforatör test yöntemine göre yonga levha ve MDF formaldehit emisyon standart değeri; E1 sınıfı muhteva ≤8 mg/100 gr fırın kurusu levha kütlesi analiz sonucu ve E2 sınıfı muhteva >8 mg/100 gram fırın kurusu levha kütlesi ve muhteva ≤20 mg/100 gram fırın kurusu levha kütlesi analiz ölçüm aralığında yer aldığı bildirilmiştir.

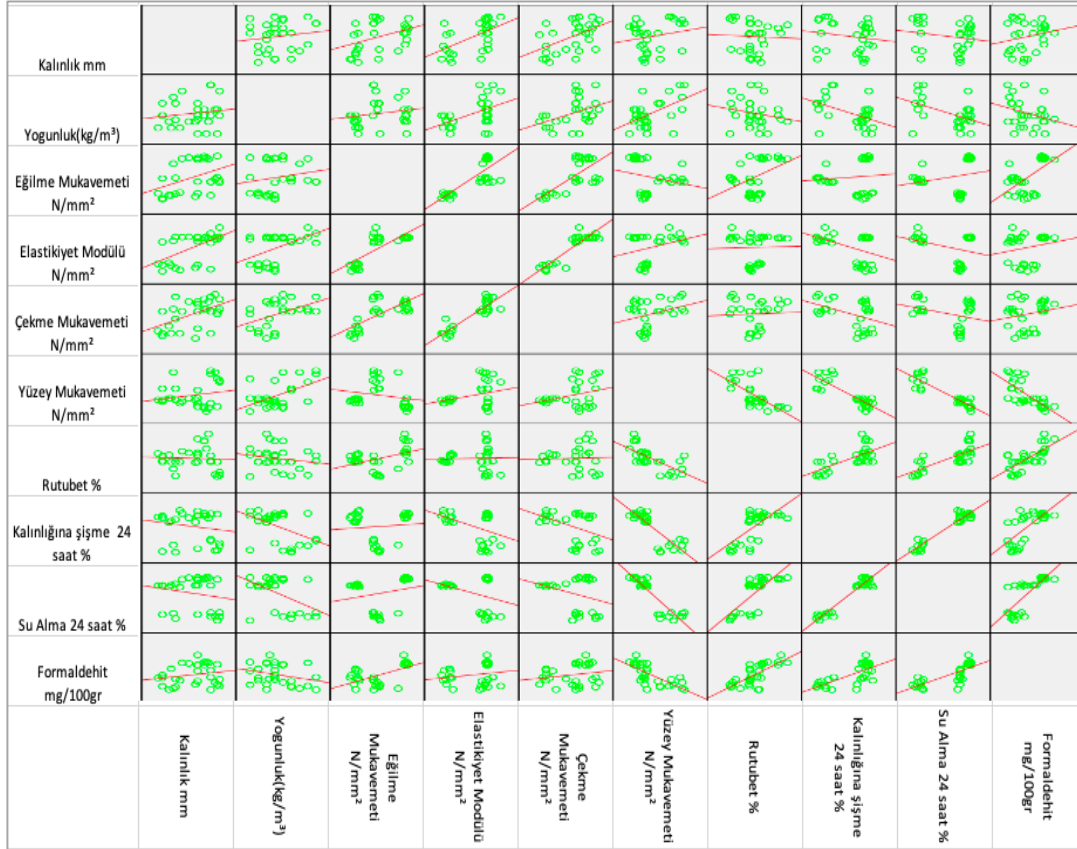
Şekil 1 ve Çizelge 3'de üç farklı sıcak pres hızlarında ve 1/1.35 mol üre formaldehit tutkalı ile üretilen levhaların formaldehit emisyon sonuçları üzerinde pres hızının etkili olduğu görülmektedir. Pres hızı arttıkça levhalarda

formaldehit emisyonu artmıştır. Pres hızı ile levhalardaki formaldehit emisyonunun doğru orantılı olarak arttığı görülmektedir. Formaldehit emisyonu TS 4894 EN 120 (1999) perforatör analiz sonucuna göre E2 sınıfında yer almaktadır.

Levhaların fiziksel, mekanik ve formaldehit emisyon matrisinde test grupları arasında artan ve azalan değerler şeklinde ölçüm sonuçları Şekil 2’de Scatterplot Matrix grafiği ile gösterilmiştir. Bu grafiğe göre, formaldehit emisyonu yoğunluk ile yüzey mukavemetinde azalan bir grafik gösterirken; diğer testlerde artan bir grafik gösterdiği tespit edilmiştir.



Şekil 1: Sıcak pres hızının, yonga levhanın fiziksel, mekanik ve formaldehit emisyon sonuçları üzerine etkisi



Şekil 2: Fiziksel ve mekanik özellikler için scatterplot matrix dağılımı

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada pres hızının yonga levha kalitesi üzerine etkileri araştırılmıştır. Pres hızındaki artışın levhaların mekanik özelliklerini olumlu etkilediği tespit edilmiştir. Pres hızındaki artışın levhanın yüzey sağlamlığını, kalınlığına şişme miktarını, su alma miktarını ve formaldehit emisyon miktarını olumsuz etkilediği belirlenmiştir.

Yonga levha üretiminde; presleme süresinde, pres hızının levhanın fiziksel, mekanik ve formaldehit emisyonu ölçüm değerlerinin sonuçları üzerinde önemli etkisi olduğu görülmektedir. Pres hızındaki artış, birim zamanda daha fazla levha üretimi yaparak, üretim maliyetini azaltırken, üretilen yonga levhaların kalitesinden ödün vermeden, rekabetçi piyasa şartlarında rakiplerinden daha avantajlı duruma gelebilme imkânı sağlamaktadır.

TEŞEKKÜR

Çalışmanın veri elde edilmesindeki destekleri için Kastamonu Entegre Ağaç Sanayi Tic. A.Ş. Kastamonu Fabrikalar Direktörü Enüs KOÇ'a yardımlarından dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Atoyebi OD, Osueke CO, Badiru S, Gana AJ, Ikpotokin I, Modupe AE, Tegene GA (2019) Evaluation of particle board from sugarcane bagasse and corn cob. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 10(1):1193-1200.
- Bardak S, Nemli G, Sarı B, Baharoğlu M, Zeković E (2011) Effects of density profile and hot press diagram on the some technological properties of particleboard composite. *High Temperature Materials and Processes*, 30(1-2).
- Bardak S, Tiryaki S, Nemli G, Aydın A (2016) Investigation and neural network prediction of wood bonding quality based on pressing conditions. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 68:115-123.
- Bulian F, Battaglia R, Ciroi S (2003) Formaldehyde emission from wood based panels. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 61:213-215.
- Çamlıbel O (2020) Sıcak pres parametrelerinin yongalevhanın fiziksel özellikleri ve formaldehit emisyonuna etkisi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 21(2):276-283.
- Çamlıbel O (2021) Yonga levha üretiminde çok katlı sıcak pres parametrelerinin mekanik özelliklere etkisi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 8(3):800-807.
- Feng L, Musto CJ, Suslick KS (2010) A simple and highly sensitive colorimetric detection method for gaseous formaldehyde. *Journal of the American Chemical Society*, 132(12):4046-4047.
- Ferg EE, Pizzi A, Levendis DC (1993) ¹³C NMR analysis method for urea-formaldehyde resin strength and formaldehyde emission. *Journal of Applied Polymer Science*, 50(5):907-915.
- Gündüz G, Masraf Y (2005) Üç tabakalı yatık yongalı yonga levha üretiminde üretim şartlarının değiştirilmesinin levhaların mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine etkisi. *ZKÜ Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 7(8):49-57.
- He Z, Zhang Y, Wei W (2012) Formaldehyde and VOC emissions at different manufacturing stages of wood-based panels. *Building and Environment*, 47:197-204.

- Hematabadi H, Behrooz R (2012) The effect of urea pretreatment on the formaldehyde emission and properties of straw particleboard. *Journal of Forestry Research*, 23(3):497-502.
- Iosifov N, Vicheva L, Ganey S (1991) The effect of the wood species on the physical and mechanical properties of particleboards. *Nauka-za-Gorata*, 28(1):87-92.
- Iswanto, AH, Azhar I, Supriyanto, Susilowati A (2014) Effect of resin type, pressing temperature and time particleboard properties made from sorghum bagasse. *Agriculture, Forestry and Fisheries*, 3(2):62-66.
- Kaptı T, Ayrılmış N (2016) Ahşap Esaslı Levhalardan Ayrışan Formaldehit Emisyonu ve Organik Uçucu Bileşikler için Yönetmelikler ve Standartlar. *Uluslararası Malzeme Bilimi ve Teknolojisi Konferansı, Kapadokya (IMSTEC'16)*, Nevşehir.
- Kevin El, Ochanya, OM, Olukemi AM, Bwanhot, STN, Uche I (2018) Mechanical properties of urea formaldehyde particle board composite. *American Journal of Chemical and Biochemical Engineering*, 2(1):10-15.
- Marutzky R (1989) Release of formaldehyde by wood products. In *Wood Adhesives Chemistry and Technology*, Pizzi, A, Ed: Marcel Dekker, 2(10).
- Park BD, Causin V (2013) Crystallinity and domain size of cured urea-formaldehyde resin adhesives with different formaldehyde/urea mole ratios. *European Polymer Journal*, 49(2):532-537.
- TS 4894 EN 120 (1999) Ahşap Esaslı Levhalar, Formaldehit Miktarının Tayini, Ekstraksiyon Metodu ile Ayırma. TSE, Ankara.
- TS 642 ISO 554 (1997) Kondisyonlama ve/veya Deney için Standard Atmosferler-Özellikler. TSE, Ankara.
- TS EN 310 (1999) Ahşap Esaslı Levhalar-Eğilme Dayanımı ve Eğilme Elastikiyet Modülünün Tayini. TSE, Ankara.
- TS EN 311 (1999) Ahşap Esaslı Levhalar-Yüzey Sağlamlığı-Deney Metodu. TSE, Ankara.
- TS EN 312 (2012) Yonga Levhalar-Özellikler. TSE, Ankara.
- TS EN 317 (1999) Yonga Levhalar ve Lif Levhalar-Su İçerisine Daldırma İşleminde Sonra Kalınlığına Şişme Tayini. TSE, Ankara.
- TS EN 319 (1999) Yonga Levhalar ve Lif Levhalar-Levha Yüzeyine Dik Çekme Dayanımının Tayini. TSE, Ankara.
- TS EN 322 (1999) Ahşap Esaslı Levhalar-Rutubet Miktarının 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 (2012) 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.
- Ucuncu T, Durmaz E, Kaymakci A (2017) Characteristics of hot-compressed poplar wood boards. *BioResources*, 12(4):9038-9049.
- Wang SY, Yang TH, Lin LT, Lin CJ, Tsai MJ (2007) Properties of low-formaldehyde-emission particleboard made from recycled wood-waste chips sprayed with PMDI/PF resin. *Building and Environment*, 42(7):2472-2479.
- Wang JL, Guo YJ, Long GD, Tang YL, Tang QB, Zu XT, Ma JY, Du B, Torun H, Fu YQ (2020) Integrated sensing layer of bacterial cellulose and polyethyleneimine to achieve high sensitivity of ST-cut quartz surface acoustic wave formaldehyde gas sensor. *Journal of Hazardous Materials*, 388:121743.
- Wi S, Kim MG, Myung SW, Baik YK, Lee KB, Song HS, Kwak MJ, Kim S (2020) Evaluation and analysis of volatile organic compounds and formaldehyde emission of building products in accordance with legal standards:A statistical experimental study. *Journal of Hazardous Materials*, 393:122381.