

Huş (*Betula pendula* L.) odunu biokütlesinden orta yoğunlukta lif levha (MDF) üretimi

Osman Çamlıbel^{a,*} 

Özet: Çalışma kapsamında kullanılan huş (*Betula pendula* L) odunu Ukrayna'nın batı bölgelerinden Türkiye'deki Kastamonu İnebolu Limanına özel bir firma tarafından getirilmiştir. İnebolu Limanı'ndan Kastamonu Organize Sanayi Bölgesinde faaliyette bulunan özel bir orta yoğunlukta lif levha (MDF) üreten fabrikaya getirilmiştir. Çalışmada %100 huş odununun liflerinden MDF üretimi yapılmıştır. MDF üretiminde 0.96 mol E1 üre formaldehit tutkalı farklı oranlarda kullanarak levhalar üretilmiştir. Bu levhaların test performansları için deney numuneleri sonsuz bant pres hattında imal edilmiştir. Test üretiminde dört farklı yüzde oranlarda (%10.05, %12.96, %13.46 ve %13.94) tutkal kullanılmıştır. Tutkal tüketim oranlarına göre MDF levhalarının fiziksel (levha yoğunluğu, kalınlığına şişme, su alma) ve mekanik (eğilme mukavemeti, eğilmede elastikiyet modülü, çekme mukavemeti, levha vida tutma mukavemeti) test performansları ölçülmüştür. Sonuç olarak MDF üretiminde üre formaldehit tüketim yüzdesi arttıkça levhaların performans değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Huş odunundan MDF üretirken, performansı optimum test sonuçlarını veren tutkal tüketimine göre levha üretimi gerçekleştirilmelidir.

Anahtar kelimeler: Huş, MDF, Fiziksel özellikler, Mekanik özellikler, Üre formaldehit

Production of medium density fiberboard (MDF) from birch (*Betula pendula* L.) wood biomass

Abstract: This study used the wood of birch (*Betula pendula*) supplies were brought from western regions of Ukraine to Turkey Kastamonu İnebolu port by special a company. From there, it was brought to a special factory, which produces medium-density fiberboard (MDF) manufacturing in Kastamonu Organized Industrial Zone. In the study, MDF was produced from the fibers of 100% birch wood. In MDF production, boards were produced using 0.96 mol E1 urea-formaldehyde glue in different percentage proportions. For the test performances of these boards, the test samples were produced in a continuous press line. In test production, glue in four different percentages (10.05%, 12.96%, 13.46% and 13.94%) was used. According to the glue consumption percentage ratios, physical (density, thickness, swelling, water absorption) and mechanical (bending strength, bending elasticity modulus, internal bond strength, board screw holding strength) test performances were measured. As a result, as the percentage of urea-formaldehyde consumption increases in MDF production, it was determined that the performance values of the boards decrease. When producing MDF from birch wood, the board should be produced according to the glue consumption, which gives the optimum test results.

Keywords: Silver Birch, MDF, Physical properties, Mechanical properties, Urea formaldehyde

1. Giriş

Son yıllarda orman kaynaklarının kullanım talebinin artmasından dolayı yurt içi odun biokütlesi odun bazlı levha ürünlerinin hammadde talebini karşılayamamaktadır.

Dolayısıyla yurt içi kaynaklardan karşılanamayan odun materyali yurt dışından getirilmektedir. Özellikler orman kaynağı olarak zengin ülkelerden ithal edilmektedir.

Huş odunu bu amaç için Ukrayna'dan getirilmiştir. Bu araştırmanın sonucunda MDF üretim süreci optimizasyonu ve ürün kalitesine etkisi araştırılmıştır. Akgül ve Çamlıbel (2008), orman gülü biokütlesinden MDF üretimi üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında farklı ağaç türlerini belli karışım oranlarında karıştırarak MDF levhaları üretmişlerdir. Bu levhaların fiziksel ve mekanik test performanslarını incelemişlerdir. Cai vd. (2006), çalışmalarında lif rutubetinin sıcak presleme sırasında ısı

transferi ve reçine kürlenme Candan vd. (2012), çalışmasında, kayın ve huş ağacı kullanarak bazı üretim parametrelerinin orta yoğunlukta lif levhaların (MDF) katman kalınlığı şişme özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Beck vd. (2010), çalışmalarında, Titrek kavak odunu ve huş odunundan üç farklı tutkal seviyeleri kullanılarak OSB (oriented strand board) üretmişler ve bu levhaların mekanik değerleri tutkal tüketimlerine göre test performanslarını araştırmışlardır.

Benthien vd. (2015), çam, kayın, huş ağacı ve kavak ağaç türlerini MDF üretiminde kullanarak; defibratör diskler arası mesafe ve odun türlerinin lif uzunluğu özellikleri üzerinde en etkili parametreler olduğu, yapraklı ağaç ve iğne yapraklı ağaç arasındaki odun anatomik farklılıkları, lif uzunluğunun farklılıkları levha özelliklerinden etkileyen parametrelerden biri olduğu bulunmuştur. Pedieu vd. (2009), çalışmalarında beyaz huş ağacı (*Betula papyrifera*)

✉ ^a Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale Meslek Yüksekokulu, İç Mekan Tasarım, Kırıkkale, Türkiye

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

✓ **Received** (Geliş tarihi): 04.05.2020, **Accepted** (Kabul tarihi): 05.06.2020



Citation (Atf): Çamlıbel, O., 2020. Huş (*Betula pendula* L.) odunu biokütlesinden orta yoğunlukta lif levha (MDF) üretimi. Turkish Journal of Forestry, 21(2): 174-178. DOI: [10.18182/tjf.731926](https://doi.org/10.18182/tjf.731926)

iç kabuk parçacıklarını kazanlarda yakıt olarak kullanmanın yerine hammadde olarak hem yonga levhada hem de MDF üretiminde kullanılabilirliği üzerine çalışmışlardır. Widsten vd. (2003), çalışmalarında titrek kavak ve huş ağaçlarının yüksek sıcaklıkta defibrasyonu ile liflerinin reaktivitesini arttırdığını, 12 mm kalınlığında (MDF) levhalar üretmişler ve levhaların çekme mukavemeti ve kalınlık şişme özellikleri, defibrasyon sıcaklığındaki bir artışla iyileştiğini göstermişlerdir.

Zawawi vd. (2014), araştırmalarında MDF üretiminde Oil Palm ağaç gövdesi biokütlesinden MDF üretimi üzerine araştırma yapmışlardır. Araştırmalarında paraşima içeriği ve üre formaldehit kullanım oranının yüzdesi artıkça MDF levhalarının test performansını arttırdığını göstermişlerdir. Şahin vd. (2018), çalışmalarında atık pamuk ve Kızılçam odunu karışımlarından kompozit levhalar üretmişlerdir. Çalışmalarında %10 üre formaldehit tutkal kullanımına bağlı olarak, farklı karışım oranlarında üretilen levhaların test performansları en iyi sonuç %100 Kızılçam biokütlesinden üretilen levhalar göstermişlerdir. Akgül vd. (2010), araştırmalarında mısır sapı ve meşe odun lifi kullanarak %11 üre formaldehit tutkalı kullanarak farklı karışımlarda MDF levhaları üretmişlerdir. Ürettikleri levhaların fiziksel ve mekanik test en iyi performans sonuçları %100 meşe lifi kullanılan MDF levhalarında ölçmüştür.

Son yıllarda Türkiye'de MDF üretimi Avrupa'da ikinci sırada yer almaktadır. 2018 yılında MDF üretimi yaklaşık 4.910 milyon m³/yıl olmuştur. Ancak bu rakam dünyada yaklaşık 99.443 milyon metreküp / yıl idi (Faostat, 2020). Bu çalışmada huş ağacı (*Betula pendula*) odunu MDF üretiminde hammadde olarak kullanırken üre formaldehit bağlayıcı tüketim miktarına bağlı olarak levhanın fiziksel ve mekanik özellikleri değişim performansı araştırılmıştır.

2. Materyal ve yöntem

2.1. Hammadde

Bu çalışmada kullanılan huş odunu Ukrayna'nın Batı Karpat ya bölgesinden özel bir firma tarafından Türkiye'ye ithal edilmiştir. Huş ağacının türü olarak tanımlanmıştır. Huş biokütlesi Kastamonu Entegre Ağaç Sanayi, Kastamonu MDF üretimi tesislerine getirilmiştir.

2.2. Tutkal

Üre formaldehit tutkalı 0.96 mol E1 formunda Kastomu Entegre Tutkal Tesislerinde üretilmiştir. Çalışmada kullanılan tutkalın teknik özelliklere aşağıda gösterildi. Tutkal tipi: 0.96 mol üre formaldehit, pH (20 °C): 8, Yoğunluk (20 °C): 1.245 g/cm³, Viskozite (20 °C) 73 santipuz (CP), Tutkal katısı %60, Serbest formaldehit %0.060, Tutkal raf ömrü: 20-40 gündür.

2.3. Parafin

Sıvı parafin tipi; açık krem renginde sıvıdır. Yağ oranı en fazla %2'dir. Penetrasyonu 32'dir.

2.4. Sertleştirici

Sertleştirici tipi olarak amonyum sülfat kristal taneli kirlili beyaz türü kullanılmıştır.

Üretimde tutkal tüketimi kuru lif ağırlığına oranla %10.05, %12.96, %13.46 ve %13.94 oranında katı tutkal ilave edildi. MDF levhalarının üretim parametreleri Çizelge 1'de gösterilmiştir. T sembolü ile ifade edilmektedir.

Huş odunu fabrika sahasında üretim reçetesine uygun olarak 20x25x5 mm ölçülerinde yonga haline getirilmiştir. Huş yongaları %100 olarak yonga depolama alanında depolandı. Yongalara eleme işlemi yapılmıştır. Huş yongaları Andritz defibratör ünitesinde 180°C de 8.1 bar buhar basıncında 3.5 dakika süresinde işleme tabi tutulmuştur. Sıcaklık ve basınç altında yumuşayan yongalar defibratör ünitesi segmentlerde lif haline getirilmiştir. Liflere %0.5 oranında Amonyum sülfat (NH₄)₂SO₄ ve %1 sıvı parafin ve 0.96 mol E1 üre formaldehit (%10.05, %12.96, %13.46 ve %13.94) life katılmıştır. Tutkal değerleri, sertleştirici ve parafin değerleri Çizelge 1'de verilmiştir. Lifler %11 rutubete kadar kurutulmuştur. Lifler pasta haline getirilmiştir. Liflerden oluşan pasta sonsuz bantlı preste levha haline getirilmiştir. Levhalara 18x2100x2800 mm boyutlandırma işleminden sonra soğutma işlemi uygulanmıştır. Soğutulan levhalar 50, 80, 150 tane kum zımpara kağıtları kullanarak zımparalama işlemi yapılmıştır. Levhalar 20±2 ve %65±5 bağıl nem koşullarında %12 rutubete kadar kondisyonlanmıştır.

Deneylerde dört farklı (%10.05, %12.96, %13.46 ve %13.94) üre formaldehit tutkalı kullanılmıştır. Levhalar 0.725 g/cm³ hedef yoğunluğunda 18x2100x2800 mm. boyutlarında levhalar sonsuz bantlı pres MDF üretim hattında üretimi gerçekleştirilmiştir. MDF levhalarının üretim parametreleri Çizelge 1'de gösterilmektedir. Bu çalışmada toplam fiziksel ve mekanik testler dahil 140 tane ölçüm yapılmıştır.

Levhalar 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 eğilme dayanımı ve eğilme elastikiyet modülünün tayininde TS-EN 310 (1999), levha yüzeyine dik çekme dayanım tayini TS-EN 319 (1999), levhalara vida tutma mukavemet tayini TS EN 320 (2011), 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. Deney numunelerini ölçerken 0.01 mm duyarlı dijital mikrometre kullanılmıştır. 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. Bu testlerde 140 adet ölçüm yapılmıştır. Veriler ANOVA'nın yapılabilmesi için gerekli şartları sağlamıştır.

Çizelge 1. MDF levhalarının üretim parametreleri (kuru lif ağırlığına oranla)

Huş odunu (<i>Betula pendula</i>) lifi (%100)	ÜF Tutkal (%)	(NH ₄) ₂ SO ₄ (%)	wax (%)
T1	10.05	0.5	1
T2	12.96	0.5	1
T3	13.46	0.5	1
T4	13.94	0.5	1

T1, T2, T3: *Betula pendula* odun lifi, ÜF:Üre Formaldehit

3. Bulgular ve tartışma

3.1. Fiziksel test sonuçları

MDF levhalarının yoğunlukları TS-EN standardının belirlediği sınırlar içinde yer almıştır. Levhaların yoğunluk test sonuçları ortalama 0.726 g/cm³ olarak ölçülmüştür.

Tutkal tüketimi T1 en düşük tutkal tüketimi yüzdesine bağlı kalmıştır. Çünkü test sonuçları en yüksek T1 değerinde ölçülmüştür. Üretimde tutkal tüketimi T2 tutkal tüketim yüzdesi T1 tutkal tüketim yüzdesine göre %16.93 oranında artırılmıştır. T3 tutkal tüketim yüzdesi T1 tutkal tüketimine %44.39 oranı artmıştır. T4 tutkal tüketim yüzdesi T1 tutkal tüketim yüzdesine göre %66.74 oranında artırılmıştır.

Yoğunluk değerleri Çizelge 2'de gösterilmiştir. T1 levhasında yoğunluğu 0.722 g/cm³ ölçülmüştür. T2 levhasının yoğunluğu 0.723 g/cm³ ve T3 levhasının yoğunluğu 0.727 g/cm³ ve T4 levhasının yoğunluğu 0.718 g/cm³ ölçülmüştür. Testlerdeki levhaların yoğunlukları birbirine yakın ölçülmüştür. Çizelge 2'ye göre istatistiki ANOVA (Duncan) test hesaplama sonucunda T1, T2 ve T3 arasında anlamlı bir fark yok iken T4'de anlamlı farklılık bulunmuştur.

Fiziksel testlerde 24 saat suda şişme değeri Çizelge 2'ye göre; T1 levhasında suda şişme değeri %10.82 ölçülmüştür. T2 levhası suda şişme değeri %5.79, T3 levhasının suda şişme değeri %15.98 ve T4 levhasının suda şişme değeri %19.30 ölçülmüştür. Bu değerlere göre T2 tutkal tüketim yüzdesi %28.96 artarken suda şişme değeri %46.42 oranında suda şişmesi azalmıştır. T3 tutkal tüketim yüzdesi T1'e göre %33.93 artarken suda şişme değeri %47.65 oranında suda şişmesi artmıştır. T4 tutkal tüketim yüzdesi T1'e göre %38.71 artarken suda şişme değeri %78.36 oranında suda şişme değeri artmıştır. Tutkal tüketim yüzdesi artıkça T2 suda şişme değeri azalırken T3 ve T4'de suda şişme değeri artmıştır. Çizelge 2 istatistiki ANOVA (Duncan) test hesaplama sonucuna göre suda şişme değeri T1, T2, T3 ve T4 arasında anlamlı farklılık bulunmuştur.

24 saat su alma değeri Çizelge 2'de verilmiştir. T1 levhasında su alma değeri %48.12 ölçülmüştür. T2 levhası su alma değeri %53.87, T3 levhasının su alma değeri %37.94 ve T4 levhasının su alma değeri %47.70 ölçülmüştür. Bu değerlere göre T2 tutkal tüketim yüzdesi %28.96 artarken su alma değeri %35.86 oranında azalmıştır. T3 tutkal tüketim yüzdesi T1'e göre %33.93 artarken su alma değeri %21.15 azalmıştır. T4 tutkal tüketim yüzdesi T1'e göre %38.71 artarken su alma değeri %0.87 düşmüştür. Tutkal tüketim yüzdesi artıkça T2, T3 ve T4'de su alma değerleri azalmıştır. Çizelge 2 istatistiki ANOVA (Duncan) test hesaplama sonucunda su alma değeri T1 ve T4 arasında anlamlı farklılık yok iken, T2 ve T3 arasında anlamlı farklılık bulunmuştur. Candan vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada %70 kayın, %30 huş odunu karışımı ve tutkal kullanım yüzdesi %11.5, %12.5 oranında kullanılmışlardır. Bu çalışma sonucunda huş odunu karışım halinde kullanılırsa 2 ve 24 saat kalınlığına şişme çok daha iyi performans göstermiştir. Huş odunu diğer ağaç türleri ile karıştırılarak MDF üretimi yapılırsa çok daha iyi sonuç verdiğini göstermiştir. Benthien vd. (2015), lif uzunluğu ve kimyasal yapısı levhada fiziksel değerlerde etkili iken tutkal ise mekanik değerleri etkilediğini belirtmişlerdir.

Fakat bu çalışmada; huş biokütlesinden üretilen MDF levhalarında tutkal kullanım yüzdesi artıkça levhanın test özellikleri kötüleşmiştir. Candan vd. (2012), çalışmalarında huş odununu MDF üretiminde hammadde olarak kullanımın tercihi diğer odun türleri ile karışım yapılarak üretilen levhaların test performansları en iyi sonucu vermiştir.

3.2. Mekanik test sonuçları

Çekme mukavemeti test ölçümü Çizelge 3'e göre; T1 levhasında çekme mukavemeti 0.76 N/mm² ölçülmüştür. T2 levhası çekme mukavemeti 0.63 N/mm², T3 levhasının çekme mukavemeti 0.42 N/mm² ve T4 levhasının çekme mukavemeti 0.27 N/mm² ölçülmüştür. Bu değerlere göre T2 tutkal tüketim yüzdesi %28.96 artarken çekme mukavemeti %16.93 oranında değeri düşmüştür. T3 tutkal tüketim yüzdesi T1'e göre %33.93 artarken çekme mukavemeti %44.39 oranında mukavemeti azalmıştır. T4 tutkal tüketim yüzdesi T1'e göre %38.71 artarken çekme mukavemeti %66.74 oranında çekme mukavemet değeri düşmüştür. Levha üretiminde tutkal tüketim yüzdesi artıkça çekme mukavemeti azalmıştır. Çizelge 3'ye göre istatistiki ANOVA (Duncan) test hesaplama sonucunda çekme mukavemeti T1, T2, T3 ve T4 arasında anlamlı farklılık bulunmuştur.

Çizelge 2. MDF levhaların fiziksel testlerinin performans sonuçları

Deneyler	Test	Ortalama	Std. Sapma	Std. Hata	Ortalama için %95 güven düzeyi*		Minimum	Maximum
					Alt Sınır	Üst sınır		
Yoğunluk (g/cm ³)	T1	722.52 ^b	4.11	1.84	717.41	727.63	718.41	727.74
	T2	723.02 ^b	3.18	1.42	719.08	726.97	719.18	727.63
	T3	727.96 ^a	3.02	1.35	724.22	731.71	723.49	731.91
	T4	718.55 ^b	3.91	1.75	713.70	723.41	713.31	724.28
Suda şişme 24 saat (%)	T1	10.82 ^a	4.60	2.06	5.12	16.53	7.42	17.68
	T2	5.79 ^b	0.09	0.04	5.68	5.90	5.70	5.94
	T3	15.98 ^c	0.76	0.34	15.04	16.92	15.10	17.07
	T4	19.30 ^d	0.52	0.23	18.65	19.95	18.73	19.91
Su alma 24 saat (%)	T1	48.12 ^c	6.91	3.09	39.54	56.70	42.51	59.79
	T2	30.86 ^a	1.15	0.51	29.44	32.30	28.92	31.92
	T3	37.94 ^b	1.60	0.71	35.96	39.92	35.79	40.06
	T4	47.70 ^c	1.85	0.83	45.41	50.00	45.85	50.60

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

Eğilme mukavemeti Çizelge 3'ye göre; T1 levhasında eğilme mukavemeti 29.78 N/mm² ölçülmüştür. T2 levhası eğilme mukavemeti 34.20 N/mm², T3 levhasının eğilme mukavemeti 29.76 N/mm² ve T4 levhasının eğilme mukavemeti 20.89 N/mm² ölçülmüştür. Bu değerlere göre T2 tutkal tüketim yüzdesi %28.96 artarken eğilme mukavemeti %14.84 oranında değeri artmıştır. T3 tutkal tüketim yüzdesi T1'e göre %33.93 artarken eğilme mukavemeti %0.07 oranında mukavemeti düşmüştür. T4 tutkal tüketim yüzdesi T1'e göre %38.71 artarken eğilme mukavemeti %29.86 oranında eğilme mukavemeti performansı düşmüştür. Tutkal tüketim yüzdesi artıkça T2'de artarken T3 ve T4'de eğilme direnci azalmıştır. Çizelge 3'ye göre istatistiki ANOVA (Duncan) test hesaplama sonucunda eğilme mukavemeti T1 ve T3 arasında anlamlı bir farklılık yok iken T2 ve T4 arasında anlamlı farklılık bulunmuştur.

Eğilmede elastikiyet modülü Çizelge 3'e göre; T1 levhasında eğilmede elastikiyet modülü 3221.84 N/mm² ölçülmüştür. T2 levhası eğilmede elastikiyet modülü 3641.47 N/mm², T3 levhasının eğilmede elastikiyet modülü 3364.79 N/mm² ve T4 levhasının eğilmede elastikiyet modülü 2703.87 N/mm² ölçülmüştür. Bu değerlere göre T2 tutkal tüketim yüzdesi %28.96 artarken eğilmede elastikiyet modülü %13.02 oranında değeri artmıştır. T3 tutkal tüketim yüzdesi T1'e göre %33.93 artarken eğilmede elastikiyet modülü %4.44 oranında mukavemeti artmıştır. T4 tutkal tüketim yüzdesi T1'e göre %38.71 artarken eğilmede elastikiyet modülü %16.08 oranında performansı azalmıştır. Tutkal tüketim yüzdesi artıkça T2 ve T3'de artarken T4'de eğilmede elastikiyet modülü azalmıştır. Çizelge 3'ye göre istatistiki ANOVA (Duncan) test hesaplama sonucunda eğilmede elastikiyet modülü T1, T2, T3 ve T4 arasında anlamlı farklılık bulunmuştur.

Profil vida tutma mukavemeti Çizelge 3'de verilmiştir. T1 levhasında profil vida tutma mukavemeti 1128 N ölçülmüştür. T2 levhası profil vida tutma mukavemeti 1078.20 N ölçülmüştür. T3 levhasının profil vida tutma mukavemeti 1004.52 N ve T4 levhasının profil vida tutma mukavemeti 245.50 N ölçülmüştür. Bu değerlere göre T2 tutkal tüketim yüzdesi %28.96 artarken profil vida tutma

mukavemeti %4.41 oranında azalmıştır. T3 tutkal tüketim yüzdesi T1'e göre %33.93 artarken profil vida tutma mukavemeti %10.95 azalmıştır. T4 tutkal tüketim yüzdesi T1'e göre %38.71 artarken profil vida tutma mukavemeti %69.38 azalmıştır. Tutkal tüketim yüzdesi artıkça T2, T3 ve T4'de profil vida tutma mukavemeti düşmüştür. Çizelge 3 istatistiki ANOVA (Duncan) test hesaplama sonucunda profil vida tutma mukavemeti T1, T2 ve T3 arasında anlamlı farklılık yok iken, T4'de anlamlı farklılık bulunmuştur. Beck vd. (2010), yaptıkları çalışmada titrek kavak ve huş biokütlesi kullanarak OSB levhaları üretmişlerdir. OSB levhalarının mekanik test sonucu; Titrek Kavak'tan üretilen OSB, huş biokütlesinden üretilen OSB'den çok daha iyi performans göstermiştir. Huş biokütlesi OSB üretiminde tutkal %40 artırılmasına rağmen çekme mukavemeti %2.9 artmıştır. Fakat aynı tutkal tüketimlerinde titrek kavak %14.5 artış sağlamıştır. Huş odunu tutkal artmasına rağmen hissedilir bir mukavemet gösterememiştir. Huş odunundan üretilen hem MDF hemde OSB mukavemet performansları düşüktür. Bu araştırma test sonuçlarına göre bu çalışmayı desteklemektedir.

Bu çalışmada tutkal kullanımı artmasına rağmen test sonuçlarının olumsuz olması huş odununun hem anatomik hem de kimyasal yapısından kaynaklanmış olabileceği yönündedir. Başka tür biokütlelerden üretilen MDF levhalarında tutkal kullanımı artıkça levhaların test sonuçları olumlu yönde artmaktadır. Akgül ve Çamlıbel (2008), %100 orman gülü biokütlesinden üretilen MDF levhalarının mekanik testleri diğer testlerine göre yüksek performans göstermiştir. Orman gülü biokütlesi anatomik ve kimyasal yapısı %100 MDF üretimine uygun olduğu gösterirken %100 huş biokütlesinden üretilen MDF levhalarının tutkal tüketim yüzdesi artmasına rağmen test sonuçları olumsuz ölçülmüştür. Fakat Zawawi vd. (2014) çalışmalarında Oil Palm ağaç gövdesi biokütlesinden MDF üretiminde üretilen formaldehit tutkal kullanım yüzdesini (%8, %9, %10) artırarak üretilen levhaların test sonuçları tutkal kullanımı artıkça test sonuçları iyileştiğini göstermişlerdir. Benthien vd. (2015), araştırmalarında ağaçların anatomik ve kimyasal yapısı levhaların fiziksel ve mekanik özelliklerini etkilediğini göstermişlerdir.

Çizelge 3. MDF levhaların mekanik testlerinin performans sonuçları

Deneyler	Test	Ortalama	Std. sapma	Std. hata	Ortalama için %95 güven düzeyi *		Minimum	Maximum
					Alt sınır	Üst sınır		
Çekme mukavemeti (IB)(N/mm ²)	T1	0.76 ^a	0.05	0.025	0.692	0.832	0.700	0.850
	T2	0.63 ^b	0.06	0.027	0.558	0.710	0.550	0.690
	T3	0.42 ^c	0.01	0.007	0.402	0.442	0.410	0.450
	T4	0.27 ^d	0.10	0.049	0.135	0.405	0.160	0.410
Eğilme mukavemeti (MOR) (N/mm ²)	T1	29.78 ^b	2.36	1.05	26.85	32.71	26.70	33.30
	T2	34.20 ^c	1.89	0.84	31.86	36.54	31.86	36.61
	T3	29.76 ^b	0.83	0.37	28.72	30.80	28.79	30.72
	T4	20.88 ^a	0.87	0.39	19.81	21.96	19.65	22.07
Eğilmede elastikiyet modülü (MOE) (N/mm ²)	T1	3221.83 ^b	66.22	29.61	3139.62	3304.06	3168.02	3332.42
	T2	3641.46 ^d	34.06	15.23	3599.17	3683.76	3611.90	3699.72
	T3	3364.78 ^c	52.82	23.62	3299.21	3430.37	3277.53	3418.28
	T4	2703.87 ^a	105.60	47.23	2572.75	2834.99	2522.29	2786.79
Profil vida mukavemeti (N)	T1	1128.0 ^b	95.94	42.91	1008.87	1247.13	1042.00	1290.00
	T2	1078.2 ^b	106.11	47.45	946.45	1209.95	931.00	1218.00
	T3	1004.52 ^b	137.62	61.54	833.65	1175.39	766.10	1088.60
	T4	345.40 ^a	178.83	79.98	123.35	567.45	155.00	605.00

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

4. Sonuç ve öneriler

MDF üretiminde %100 huş (*Betula pendula*) biokütlesinden faydalanma araştırmasında levhaların yoğunluk değerleri hedeflenen standardın içinde olmasına rağmen tutkal tüketimi artıkaça hem fiziksel hem de mekanik mukavemet değerleri azalmıştır. Sadece mekanik testlerden eğilmede elastikiyet modül değerinde artış sağlanmıştır.

Bu çalışmada üretim prosesinin tüm parametreleri aynı olmasına rağmen MDF üretiminde tek değişken üre formaldehit tutkalında olmuştur. Bu çalışmadaki test sonuçlarına göre, artan tutkal kullanım yüzdesine rağmen levhaların fiziksel ve mekanik testleri olumsuz performans göstermiştir. Böylece tutkal miktarını artırmak (kuru life oranla tutkal kullanım yüzdesi) hem fiziksel hem de mekanik test performans değerini düşürmüştür. Huş odunu liflerinden MDF üretimi yaparken optimum test sonuçlarını sağlayan tutkal tüketimi üretim prosesinde testler yapılarak belirlenmelidir. Huş odunundan levha üretiminde iyi performans göstermesi için diğer yapraklı ağaç veya iğne yapraklı ağaç liflerine karıştırılması gerekmektedir. Test sonuçlarının düşük ölçülmesi huş biokütlesinin hem anatomik hem de kimyasal yapısından kaynaklanmaktadır. Huş odununun MDF üretimde performansının düşük olmasının sebepleri araştırılması gerekmektedir.

Açıklama

Kastamonu Entegre Ağaç Sanayi TİC A.Ş., Kastamonu-Samsun Fabrikalar Direktörü Enüs KOÇ ve Ar-Ge uzmanı Aziz BİÇER'e yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Kaynaklar

- Akgül, M., Çamlıbel, O., 2008. Manufacture of medium density fiberboard (MDF) panels from rhododendron (*R. ponticum* L.) biomass. *Building and Environment*, 43(4): 438-443.
- Akgül, M., Güler, C., Üner, B., 2010. Opportunities in utilization of agricultural residues in bio-composite production: Corn stalk (*Zea mays indurata* Sturt) and oak wood (*Quercus robur* L.) fiber in medium density fiberboard. *African Journal of Biotechnology*, 9(32): 5090-5098.
- Beck, K., Clouter, A., Salenikonich, A., Beauregard, R., 2010. Comparison of mechanical properties of oriented strand board made from trembling aspen and paper birch. *European Journal of Wood and Wood Products*. 68(1): 27-33.
- Benthien, J.T., Heldner, S., Ohlmeyer, M., 2015. Investigation of the interrelations between defibration conditions, fiber size and medium-density fiberboard (MDF) properties. *European Journal of Wood and Wood Products*, 75(2): 215-232.

- Cai, Z., Muehl, J.H., Winandy, J.E., 2006. Effects of panel density and mat moisture content on processing medium density fiberboard. *Forest Products Journal*, 56(10): 20-25.
- Candan, Z., Akbulut, T., Wang, S., Zang, X., Sisci, A.F., 2012. Layer thickness swell characteristics of medium density fibreboard (MDF) panels affected by some production parameters. *Wood Research*, 57(3): 441-452.
- 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.
- Pedieu, R., Riedl, B., Pichette, A., 2009. Properties of mixed particleboards based on white birch (*Betula papyrifera*) inner bark particles and reinforced with wood fibres. *European Journal of Wood and Wood Products*, 67(1): 95-101.
- Şahin, H.T., Yavilioglu, I., Yalcin, O.U., 2018. Properties of composite panels produced from cotton waste and red pine wood mixtures. *Journal of Applied Life Sciences International*, 17(4): 1-9.
- TS-EN 310, 1999. Ahşap esaslı levhalar-Eğilme dayanımı ve eğilme elastikiyet modülünün tayini. 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 319, 1999. Yonga levhalar ve lif levhalar-levha yüzeyine dik çekme dayanımının tayini. TSE, Ankara.
- TS EN 320, 2011. Yonga levhalar ve lif levhalar-vida tutma mukavemetinin 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.
- TS 642 ISO 554, 1997. Kondisyonlama ve/veya deney için standart atmosferler-Özellikler. TSE, Ankara.
- TS 64-1 EN 622-1, 2005. Lif levhalar özellikler-bölüm 1: genel özellikler. TSE, Ankara.
- Widsten, P., Laine, J.E., Tuominen, S., Qvintus-Leino, P., 2003. Effect of high defibration temperature on the properties of medium-density fiberboard (MDF) made from laccase-treated hardwood fibers, *Journal of Adhesion Science and Technology*, 17(1): 67-78.
- Zawawi, I., Astimar, A., Ridzuan, R., Anis, M., Rosmazi, O., Lee, S., 2014. Production of medium density fibreboard (MDF) from oil palm trunk (OPT). *Journal of Applied Sciences*, 14(11):1174-1179.