

Fenol formaldehit reçinesinin farklı oranlarda kullanımının yonga levhaların bazı fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi

Mert Tuğberk Kavut^a, Mahmut Ali Ermeýdan^{a,b,*}, Eylem Dizman Tomak^{a,b}

Özet: Bu çalışmada, fenol formaldehit tutkal oranı farklılığının tek katlı yonga levhanın bazı fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Yonga levha üretiminde, odun hammaddesi olarak %40 ince- %60 kaba yonga, tutkal olarak da %45 katı madde oranına sahip fenol-formaldehit reçinesi kullanılmıştır. Yonga levha deney örnekleri hazırlanma aşamasında, üretim parametreleri olan pres basıncı, sıcaklık, zaman, yonga miktarı sabit tutulup, tutkal yüzdesi kuru yonga ağırlığına göre %8, 10 ve 12 olacak şekilde ayarlanmıştır. Üretilen yonga levhaların yoğunluk, su alma ve kalınlığına şişme gibi bazı fiziksel özellikleri ile, eğilme, elastikiyet modülü ve yüzeye dik çekme direnci (iç yapışma) gibi bazı mekanik özellikleri ilgili standartlarına göre gerçekleştirilmiştir. Fenol formaldehit ile üretilen yonga levhalar ayrıca, %10 üre formaldehit tutkalı kullanılarak hazırlanan levha ile aynı özellikler bakımından kıyaslanmış ve istatistiki olarak değerlendirilmiştir. Eğilme direnci, iç yapışma direnci ve kalınlık artışında en iyi sonuçlar fenol formaldehit tutkalının %10 ve 12 oranında kullanılmasında elde edilmiş, %8'lik fenol formaldehit ve %10'lük üre formaldehit tutkalı ile üretilen gruplar arasında istatistiksel açıdan bir farklılık bulunmamış ve bu gruplar diğer gruplardan daha düşük bir performans sergilemiştir. %10-12 fenol formaldehit tutkalıyla üretilen levhalar, %10 üre formaldehit tutkallarıyla üretilen levhalara göre 72 saatte %45 kadar daha az su almış ve %35 oranında daha az şişmiştir. Çalışmada ayrıca, farklı tutkal oranlarına sahip levhaların yüzey kimyası ATR-FTIR ile analiz edilerek karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Fenol formaldehit, Mekanik özellikler, Yonga levha, Su alma, Şişme

The effect of the use of phenol formaldehyde resin in different rates on some physical and mechanical properties of particle boards

Abstract: In this study, the effect of phenol formaldehyde resin ratio on some physical and mechanical properties of single-layer particle board was investigated. In particle board production, 40% fine - 60% coarse chipboard was used as wood raw material, and phenol-formaldehyde resin with 45% solids content was used as adhesive. During the preparation of particleboard test samples, the production parameters such as press pressure, temperature, time and chip amount were kept constant and the adhesive percentage was adjusted to 8, 10 and 12% according to the dry chip weight. Some physical properties of the produced particleboard, such as density, water absorption and swelling in thickness, and some mechanical properties, such as bending, modulus of bending and internal bonding strength (internal adhesion), were determined in accordance with TSE standards. Particleboard produced with phenol formaldehyde were also compared and statistically evaluated in terms of the same properties with the board prepared using 10% urea formaldehyde resin. The best results in bending strength, internal adhesion resistance and thickness increase were obtained when 10 and 12% phenol formaldehyde was used. There was no statistical difference between the groups produced with 8% phenol formaldehyde and 10% urea formaldehyde resins and these groups showed a lower performance than other groups. Boards produced with 10-12% phenol formaldehyde resin took in 45% less water and swelled 35% less in 72 hours than boards produced with 10% urea formaldehyde resin. In the study, the surface chemistry of boards with different glue ratios was analyzed and compared with ATR-FTIR.

Keywords: Phenol formaldehyde, Mechanical properties, Particle board, Water absorption, Swelling

1. Giriş

İnsanlık tarihinde bir mühendislik malzemesi olarak yoğun şekilde kullanılan odun ve odun esaslı malzemeler yenilenebilir ve sürdürülebilir bir kaynaktan elde edilmesi sebebiyle günümüzde de gelişmiş toplumlar için vazgeçilmez bir malzeme olarak kullanılmaya devam etmektedir (Milner ve Woodard, 2016). Ancak odun ve odun esaslı malzemelerin kullanım esnasında ahşabın özellikle hidrofilik ve higroskopik kimyasal yapısı sebebiyle su alarak şişmesi yani boyutsal kararsızlığı ve biyolojik degradasyona karşı duyarlı

olması gibi sorunları olduğu bilinmektedir (Fengel ve Wegener, 1983). Bu problemlerden dolayı geliştirilmiş özelliklere sahip odun ve odun esaslı malzemelerin ortaya çıkışı kaçınılmaz olmuştur. Ahşap sanayi, odun esaslı malzemeyi en verimli ve ekonomik şekilde kullanmayı istemektedir (Kelleci, 2013). Odun esaslı levhalar, masif ahşap panellere göre ucuz bir alternatif olarak yıllardır kullanılmaktadır. Bu kapsamda, ahşap bazlı malzemelere duyulan günlük ihtiyaçlar, mobilya vb. birçok sektörün ihtiyaçları ve gereksinimleri doğrultusunda (yapısal ve mühendislik malzemeleri), levha sektörünün ürettiği

✉ ^a Bursa Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye

^b Bursa Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyokompozit Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa, Türkiye

@ ^{*} **Corresponding author** (İletişim yazarı): mahmut.ermeydan@btu.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 30.03.2024, **Accepted** (Kabul tarihi): 04.07.2024



Citation (Atıf): Kavut, M.T., Ermeýdan, M.A., Dizman Tomak, E., 2024. Fenol formaldehit reçinesinin farklı oranlarda kullanımının yonga levhaların bazı fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi. Turkish Journal of Forestry, 25(3): 325-332.

DOI: [10.18182/tjf.1461901](https://doi.org/10.18182/tjf.1461901)

genellikle orta yoğunluklu lif levha (MDF) yonga levha ürünleriyle karşılanmaktadır (Şahin vd., 2022).

Yonga levha, sentetik bir reçine veya başka bir uygun bağlayıcı ile sıcaklık ve basınç altında bir araya getirilen genellikle odun esaslı selülozik malzemelerden üretilen bir levha olarak tanımlanmaktadır (Kevin vd., 2018). Yonga levhanın pek çok farklı kullanım yerleri bulunmaktadır. Her tür ev mobilyasında yapısal unsur olarak, özelde ise gardıroplar, depolama birimleri, ayakkabı rafları, bilgisayar masaları, kitap rafları, televizyon üniteleri vb. yapımında kullanılırlar. Bunlar dışında da diğer ticari kollara yardımcı malzeme olarak kullanılır. Örneğin televizyon kasalarında, hoparlör kutularında, dikiş makinelerinin üst kısımlarında, ekran panolarında, ticari araç parçalarında ve mobilyalı aksamında kullanılır (Akbulut, 2020). Ayrıca nem oranı yüksek veya suya maruz kalabilecek banyo ve mutfak gibi yerlerde de kullanımları mevcuttur. Nemli ve suya maruz kalan bu bölgelerde özel yonga levhalar üretilip, kullanılmaktadır (Yang vd., 2007). Üretilen bu levhalar, neme ve suya karşı oldukça iyi direnç gösteren levhalardır. Ülkemizde ticari üretimde genellikle MUF (Melamin Üre Formaldehit) veya fenolik reçineler kullanılmaktadır. İçerisindeki suya ve neme karşı dayanıklı olan reçineler sayesinde, mutfak ve banyo gibi yüksek rutubetli ve sulu ortamlarda kullanılmaya elverişlidir (Kaya, 2017; Kara, 2018) (Şekil 1).

Yonga levha iç mekanlarda kullanıldığı gibi dış mekanlarda da kullanıma uygundur. Fakat hangi ortamda kullanılacak ise levhadaki tutkal değişmektedir. İç ortamda kullanılacak olan yonga levhada genellikle üre formaldehit (UF) tutkalı tercih edilir. UF ucuz, prosesi ve presleme şartları kolay olduğu için tercih edilir. Ancak suya karşı göstermiş olduğu zayıflıktan dolayı rutubetli ve nemli ortam koşullarında kullanıma uygun bir tutkal değildir (Bozkurt ve Göker, 1985).



Şekil 1. Neme ve suya dayanıklı yonga levha (ORMA, 2017)

Fenol formaldehit (FF) tutkalı, malzemenin içerisine derinlemesine nüfuz edip, odunun çeper kısmını şişirmesi, sonrasında tutkalın sertleşmesi yonga levhaya oldukça iyi bir boyutsal kararlılık sağlamaktadır (Bozkurt ve Göker, 1985). Dolayısıyla, rutubetli ve sulu ortam koşullarında diğer tutkallara kıyasla, rutubete ve suya karşı daha iyi özellik gösteren (Şenel, 1996) ve termoset bir tutkal olan FF tutkalı tercih edilir. Bunun yanında yonga levhada su iticilik ve şişme özelliklerini iyileştirmek amacıyla birçok akademik çalışma da yapılmaktadır. Örneğin Lee ve Thole (2018) inorganik bir tutkal olarak silanlanmış cam suyu kullanarak yaptıkları çalışmada, 24 saat su alım oranının kontrole kıyasla %60'tan fazla iyileştğini raporlamıştır.

Her ne kadar fenol formaldehit tutkalının yonga levhanın ıslak özelliklerine etkisi bilinse de tutkal miktarının yonga levhanın özelliklerine etkisini gösteren az sayıda çalışma olduğu görülmektedir. Bu çalışma kapsamında fenol formaldehit kullanılarak farklı tutkal oranlarında yonga levha üretilmiştir. Üretilen levhaların tutkal oranları, kuru yonga ağırlığına oranla %8, 10 ve 12' dir. Bu tutkal oranlarına literatür bilgisi üzerinden karar verilmiştir. Levhaların bazı fiziksel ve mekanik özellikleri karşılaştırmalı olarak, aynı zamanda bir kontrol örneği olarak %10 oranında üre formaldehit tutkalıyla üretilen yonga levha ile kıyaslanmıştır.

2. Materyal ve yöntem

Araştırmada kullanılan yonga hammaddesi ve üre formaldehit tutkalı, Kastamonu Entegre firmasından, fenol formaldehit tutkalı ise Vezirköprü Orman Ürünleri firmasından temin edilmiştir. Kullanılan fenol formaldehit tutkalının özellikleri, katı madde: %45, mol oranı: 1.93 (Novalak tipi reçine), viskozite (4mm fordcup): 60-65 saniye ve yoğunluk: 1.185 g/cm³; üre formaldehit tutkalının özellikleri, katı madde: %46, pH: 5.6, jelleşme zamanı: 95 sn, yoğunluk: 1,2 g/cm³, viskozite: 367.1 cP. Odun yongaları çam, meşe ve kayın odunlarının yongalarından elde edilen ticari bir karışım olarak temin edilmiş ve kullanılmıştır.

2.1. Yonga levha üretim parametreleri

Yonga levha üretiminde uygulanan proses verileri Çizelge 1'de gösterilmiştir. Üretim parametreleri olarak presleme zamanı, presleme sıcaklığı, presleme basıncı ve levha boyutları verilmiştir (Chow, 1979; Dizman, 2005). Tüm levhalarda presleme zamanı, sıcaklığı ve basıncı aynı değerde olup, levhaların boyutları da aynı şekildedir. Üretilen levhalarda 50x50 cm levha taslağı ve 8 mm kalınlık çıtası kullanılmıştır.

Çizelge 1. Yonga levhaların üretim parametreleri

Test grupları	Presleme zamanı (sn)	Presleme sıcaklığı (°C)	Presleme basıncı (kg/cm ²)	Levha boyutları (cm ³)
Üre%10	420*	150	24- 26	50x50x8
Fenol%8				
Fenol%10				
Fenol%12				

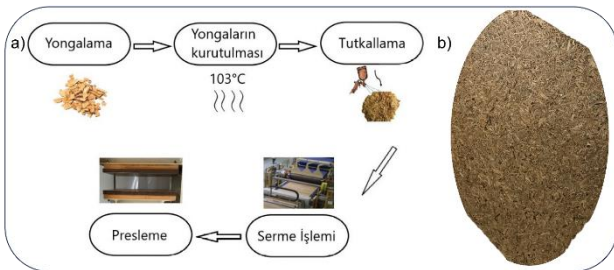
Üre%10: %10'luk ÜF tutkal oranı, Fenol%8: %8'lik FF tutkal oranı, Fenol%10: %10'luk FF tutkal oranı, Fenol%12: %12'lik FF tutkal oranı

2.2. Yongaların hazırlanması ve levha üretimi

Yonga levha üretiminin genel hatları, Şekil 2a' de gösterildiği gibidir. Başlangıç olarak yonga kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Yongalar istenen rutubete (%1-3) getirilmesi için 103 ± 2 °C'de kurutulup ağırlıkları ölçülmüştür. Ardından tutkalları serildikten sonra, sıcaklık ve basınç altında preslenip nihai ürün eldesi gerçekleştirilmiştir (Şekil 2b). Yongaların tutkallanmasında Hunag CM210 marka çimento karıştırma makinası ve basınçlı boya tabancası kullanılmıştır. Tutkal oranları literatür doğrultusunda kuru lif ağırlığına oranla FF için %8-10-12, UF için %10 olarak uygulanmıştır (Çizelge 1) (Prasetiyo vd., 2019). Levhalarda kullanılacak yonga ve tutkal miktarların hesapları 0.65 g/cm^3 levha üretimi hedefi doğrultusunda yapılmıştır.

Her grup için birer levha üretilmiştir. Levha taslağının hazırlanmasında 50×50 cm boyutlarında levha taslağı kullanılmıştır (Şekil 3). Üretilecek olan levha tek tabakalı olarak hazırlanmıştır. Çerçeve pres sacının üzerine yerleştirilip, el yardımı ile önceden tutkallanmış yongalar homojen bir şekilde serilmiştir. Bu serme işlemi sonrasında şekillendirme çerçevesi ölçülerinde bir tabla yardımıyla yongalar bastırılmak suretiyle sıkıştırılmıştır. Şekillendirme taslağı levhanın kenarlarına zarar vermeden çıkarılıp, preslenmeye hazır hale getirmek için levha taslağı üzerine üst pres sacı yerleştirilmiştir.

Levha taslağı ile ön şekillendirme yapılan yongaların preslenmesinde laboratuvar test presi olan Cemil Usta SSP-180T makinası kullanılmıştır. Her gruptan levhalar preslendikten sonra tutkalın sertleşmeye devam etmesini sağlamak için pres sacları arasında soğuyuncaya kadar bekletilmiştir. Bu şekilde soğuyan levhalar sıcaklığı 20 °C ve bağıl nemi %65 olan klima odasında 3 hafta süre ile bekletilmiş ve klimatize edilen levhalardan denemeler için gerekli örnekler kesilmiştir. Hazırlanan örnekler deneme anına kadar bekletilmek üzere tekrar klima odasına konulmuştur.



Şekil 2. a) Yonga levha üretim aşamaları b) Yonga levha yüzey gösterimi



Şekil 3. Levha taslağı

2.3. Yonga levhaların fiziksel özelliklerinin belirlenmesi

2.3.1. Yoğunluk

TS EN 323'e (1999) göre uygulanacak olan yoğunluk ölçümü, çalışmada yaygın olarak kullanılacak olan hava kurusu yoğunluk değerleri esas alınmıştır. Sıcaklığı 20°C ve bağıl nemi %65 olan iklimlendirme odasında değişmez ağırlığa ulaşuncaya kadar bekletilmiş olup, 50×50 mm boyutundaki örneklerin ağırlıkları $\pm 0,01$ gr duyarlıklı hassas terazi ile, genişlikleri kumpas, kalınlıkları ise komparatör saati ile $\pm 0,01$ duyarlılıkla ölçülmüştür. Eşitlik 1'e göre hesaplanmıştır.

$$\delta = \frac{m_r}{V} (\text{g/cm}^3)$$

m_r = Hava kurusu ağırlık (g), V = Örnek Hacmi (cm^3)

2.3.2. Rutubet

Rutubet miktarını belirlemek TS EN 322 (1999)' de belirtilen örneklerin ağırlıkları ± 0.01 gr duyarlıklı hassas terazi ile tartılmıştır. Daha sonra etüvde 103 ± 2 °C de değişmez ağırlığa ulaşuncaya kadar bekletilerek tam kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Bunlara göre örneklerin rutubeti miktarı (r) aşağıdaki Eşitlik 2'ye göre hesaplanmıştır;

$$r = \left(\frac{m - m_0}{m_0} \right) \times 100$$

m = Klimatize edilmiş örnek ağırlığı (g), m_0 = Tam kuru haldeki örnek ağırlığıdır (g).

2.3.3. Kalınlığına şişme ve su alma oranları

Kalınlığına şişme TS EN 317 (1999), su alma oranları da ASTM D1037 standartları esas alınarak yapılmıştır. 50×50 mm boyutundaki örneklerin kalınlıkları tam orta noktasından $\pm 0,01$ mm duyarlıklı komparatör saati ile ölçülmüş, ağırlıkları ise $\pm 0,01$ gr duyarlıklı terazide tartılmıştır. Örnekler 2, 24, 48 ve 72 saatlik (s) periyotlarda 20 ± 2 °C' lik suda bekletilmiştir. Su içerisinde bekletilen süreler sonunda sudan çıkarılan örneklerin fazla olan suları bir bezle silinip ve ağırlıkları hassas terazi ile tartıldıktan sonra aldıkları su miktarları (SAO, %) belirlenmiş, kalınlıkları ise ilk ölçülen noktadan tekrar ölçülerek kalınlık artışları (KA, %) belirlenmiştir. Su alma oranı ve kalınlık artımı değerleri aşağıda belirtilen Eşitlik 3 ve Eşitlik 4 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\text{SAO}\% = \frac{m - m_1}{m_1} \times 100$$

m_1 = Örneğin ilk ağırlığı (g), m = Örneğin suda bekletildikten sonraki ağırlığıdır (g)

$$\text{KA}\% = \frac{e_y - e_k}{e_k} \times 100$$

e_y = Suda bekletilen örneklerin kalınlığı (mm), e_k = Klimatize edilmiş durumdaki örnek kalınlığı (mm)

2.4. Yonga levhaların mekanik özelliklerinin belirlenmesi

2.4.1. Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü

Eğilme direnci ve elastikiyet modülü TS EN 310 (1993)'da belirtilen şekilde, Shimadzu AG-IC cihazıyla belirlenmiştir. Sıcaklığı 20 °C ve bağıl nemi %65 olan iklimlendirme odasında değişmez ağırlığa ulaşmaya kadar bekletilmiş olan örneklerin genişliği kumpas ile yükleme hattında bir, kalınlıklar ise yüklemenin yapıldığı hat üzerinde 2 noktanın ortalaması alınarak 0,01 mm duyarlılıklı komparatör saati ile ölçülmüştür. Deneme makinesinde yükleme mekanizması, kırılmanın yükleme anından itibaren 1-2 dakika içerisinde meydana gelmesini sağlayacak şekilde 6 mm/dk hızla çalışılmıştır.

2.4.2. Levha yüzeyine dik çekme direnci (iç yapışma)

Yüzeye dik çekme direnci, sıcaklığı 20°C ve bağıl nemi %65 olan iklimlendirme odasında değişmez ağırlığa ulaşmaya kadar bekletilmiş, boyutları 0.01mm duyarlılıklı kumpas ile ölçülmüş 50x50 mm boyutlarındaki örnekler, 2.5 mm/dk yükleme hızında Shimadzu AG-IC cihazıyla, TS EN 319 (1999) standardına uygun bir biçimde gerçekleştirilmiştir.

2.5. Yonga levhaların kimyasal karakterizasyonu

Levhaların kimyasal karakterizasyonu ATR-FTIR analiziyle belirlenmiştir. Levha yüzeyindeki kimyasal değişimler ATR detektörüne sahip Bruker marka FT-IR cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Ölçümler 4000-400 cm⁻¹ dalga boyları arasında 4 cm⁻¹ çözünürlükte yapılmıştır.

2.6. İstatistik analiz

Levhaların 2, 24, 48 ve 72 saat boyunca su alma oranı ve kalınlık artışı değerleri çoğul varyans analizinde tekrarlı ölçümler analizi ile, eğilme, elastikiyet modülü ve iç yapışma direnci ise basit varyans analizi ile istatistiksel açıdan analiz edilmiştir. Gruplar arasında anlamlı farklılıklar ($P<0.05$) Duncan homojenlik grupları ile irdelenmiştir.

3. Bulgular ve tartışma

Çizelge 2 ve Şekil 4'te üretilen yonga levhaların bazı fiziksel özelliklerine ilişkin veriler gösterilmiştir.

Çizelge 2'de gösterilen veriler çerçevesinde, yoğunluk değerlerinin kısmen benzerlik gösterdiği anlaşılmıştır. Farklı oranlardaki tutkal kullanımının, yoğunluk üzerine etkisi tespit edilmiş, fenol formaldehit kullanılan levhaların yoğunluğunun, üre formaldehit tutkalı kullanılarak üretilen levhalardan daha yoğun olduğu, aynı şekilde fenol formaldehit oranındaki artışında yoğunluğun artmasına sebep olduğu görülmüştür. Bunun sebebinin tutkal oranı arttıkça sıkışan liflerin birbirine daha iyi bir şekilde bağlanması olabileceği düşünülmektedir. Diğer yandan genel olarak tutkal miktarının artması ile levhanın tüm fiziksel ve mekanik özellikleri iyileşme göstermektedir (Akbulut ve Ayrılmış, 2024). Ancak bu çalışmada %10 fenol formaldehit kullanımındaki levha yoğunluğu ile %12 fenol formaldehit kullanılan levha yoğunluğu arasında önemli bir fark görülmemektedir. Bu durum yonga levha üretiminde kullanılan lignoselülozik hammadde cinsi ve özelliklerine,

sıkıştırılma oranına, yonga boyutları ve geometrisine, yapıştırıcı cinsine ve miktarına, pres şartları ve taslak rutubetine de bağlı olabilir.

Çizelge 2. Yonga levhaların yoğunluk ve rutubet değerleri

Levha Adları	Yoğunluk (g/cm ³)	Rutubet (%)
Üre10	0.63	7.46
Fenol8	0.71	7.88
Fenol10	0.77	8.23
Fenol12	0.76	8.26

Tüm bu faktörler levhanın fiziksel ve mekanik özelliklerini etkileyen önemli faktörlerdir (İstek vd., 2017). Yoğunluğu düşük olan ağaç türü odunları daha hafif olduklarından kolay sıkıştırılabilmekte, tutkal ile iyi bir bağ elde etmek için presleme sırasında yongalar arasında yeterli temas alanı sağlanabilmektedir (Nemli vd., 2006; Akbulut ve Ayrılmış, 2024). Yonga boyutları küçüldükçe yonga levha yüzey özellikleri iyileşmekte, boyutsal değişiklik artmakta ve direnç özelliklerinin azaldığını belirtmektedir (İstek vd., 2017). Levha yoğunluğunun artmasıyla direnç özelliklerinin arttığı, ancak su alma ve kalınlığına şişme özelliklerinin sadece yoğunluğa bağlı olmadığı da belirtilmiştir (Gündüz ve Masraf, 2005; İstek ve Sıradağ, 2013). Yonga levha üretiminde kullanılan yongalar küçüldükçe yüzey alanına bağlı olarak daha fazla yapışma ve daha yoğun yüzeyler oluşmaktadır. Eğilme ve elastikiyet dirençlerinin de yüzey yoğunluğu ile doğru orantılı değiştiği vurgulanmaktadır (Wong vd., 1999). Fenol formaldehit tutkalının yongalara üre formaldehit tutkalından daha fazla nüfus ettiği bilgisinden hareketle (Akbulut ve Ayrılmış, 2024), tutkal kullanımı arttıkça üretimde yongalardaki topaklaşma daha fazla gözlenmesi paralellik göstermektedir. Bu durumda homojen tutkallama olmadığından yoğunluk %10 ve %12'de benzer elde edilmiş olabileceği düşünülmüştür.

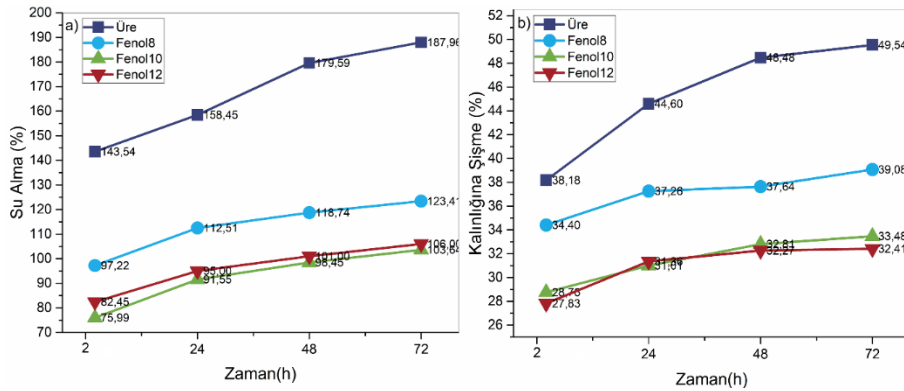
Şekil 4'te sunulan su alma ve kalınlığına şişme verileri incelendiğinde en yüksek sonuçların %10' luk üre formaldehit tutkalı ile üretilen levhada olduğu tespit edilmiştir. Üre formaldehit tutkalı ile üretilen levhanın 2 ile 24 saat aralığındaki kalınlık artışı (%), fenol formaldehit tutkalıyla üretilen levhalara kıyasla, daha fazla gözlemlenmiştir. 24 saat sonrasında ise örneklerin su alma ve kalınlığına şişmesi neredeyse stabil hale gelmeye başlamıştır. %10 ve %12'lik fenol formaldehit tutkalı kullanılarak üretilen levhaların test sonuçları birbirine oldukça yakındır. Genel olarak fenol formaldehit tutkal içeriğinin artmasına bağlı olarak levha gruplarındaki su alma ve kalınlığına şişme oranlarında azalma tespit edilmiştir. Gruplar arasındaki farklılığı istatistiki açıdan görebilmek için yapılan tekrarlı ölçümler analizinde anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir ($P<0.05$). Grupların su alma değerleri Duncan homojenlik gruplarında şöyle sıralanmıştır: Üre%10 > Fenol%8 > Fenol%10 = Fenol%12. Kalınlık artış değerlerindeki sıralama ise: Üre%10 > Fenol%8 > Fenol%10 = Fenol%12. Sonuçlar yoğunluk değerleri ile aynı paralellikte bulunmuştur.

Şekil 5'te %8, 10 ve 12 oranında fenol formaldehit tutkalı ve %10 üre formaldehit tutkalıyla üretilmiş levhaların FTIR spektrası gösterilmiştir ve odun yonga spektrumuyla kıyaslanmıştır. ÜF tutkalının FTIR spektrası incelendiğinde 3300 cm⁻¹ bölgesindeki pikin -NH titreşimine ait olduğu gruplarına ait pikler görülmekte, yine C-H/C-H₂ titreşimlerine ait pikler de 2920-2890 cm⁻¹ bölgesinde açıkça fark edilmektedir. Odun lifleriyle yapılan levhalarda da üre

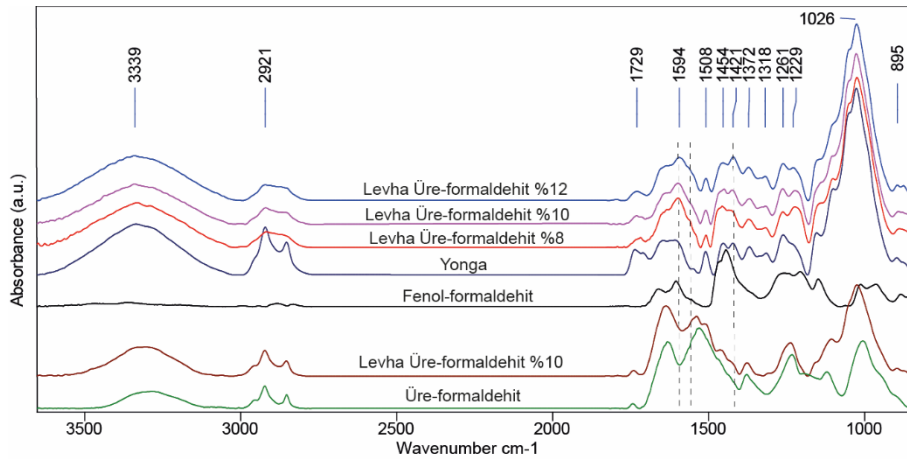
formaldehitin karbonil gruplarına ait kuvvetli Amit I bandı 1635 cm^{-1} ve C-N ve N-H deformasyonu kaynaklı Amit II bandı da 1530 cm^{-1} 'de açıkça görülmektedir (Aizat vd., 2019). Fenol formaldehit tutkalı incelendiğinde ise 1660 - 1606 ve 1445 cm^{-1} 'deki absorpsiyon bantları aromatik halkanın ve fenil-propan iskelet titreşimlerine ait olduğu bilinmektedir (Zhang vd., 2013). 1254 - 1209 cm^{-1} bandları da fenolhidroksi gruplarındaki C-O gerilme titreşiminin varlığına atfedilirken, 1012 - 966 cm^{-1} bandları da alifatik C-O (Ar), alifatik C-OH ve metilol C-OH gruplarındaki C-O gerilme titreşimi temsil edilir (Li vd., 2017). Fenol formaldehit ile oluşturulmuş levhaların FTIR spektrasi incelendiğinde ise fenollü tutkalın birçok pikinin odun pikleri altında kaldığı fark edilmektedir. Odun içindeki ligninin kimyasal yapısının da fenolik olması bunun sebebidir. Diğer yandan 1595 cm^{-1} ve 1422 cm^{-1} pik yoğunluklarının tutkal miktarı arttıkça arttığı görülmektedir. Bu piklerin zaten fenole ait pikler olduğu bilinmektedir.

Şekil 6' da %8, 10 ve 12'lik fenol formaldehit ve %10'luk üre formaldehit ile üretilen levhaların eğilme direnci, elastikiyet modülü ve iç yapışma direnci test sonuçları gösterilmektedir. Şekil 6a' da gösterilen eğilme direnci sonuçları incelendiğinde, FF kullanılan levhalarda fenol formaldehit tutkal oranı arttıkça eğilme direnci de artış göstermiştir. %8 ve 10'luk olan fenol örneklerinde %100 gibi yüksek bir fark oluşurken, %10 ve 12'lik arasında %30'luk bir fark vardır. Diğer taraftan üre formaldehit tutkalının

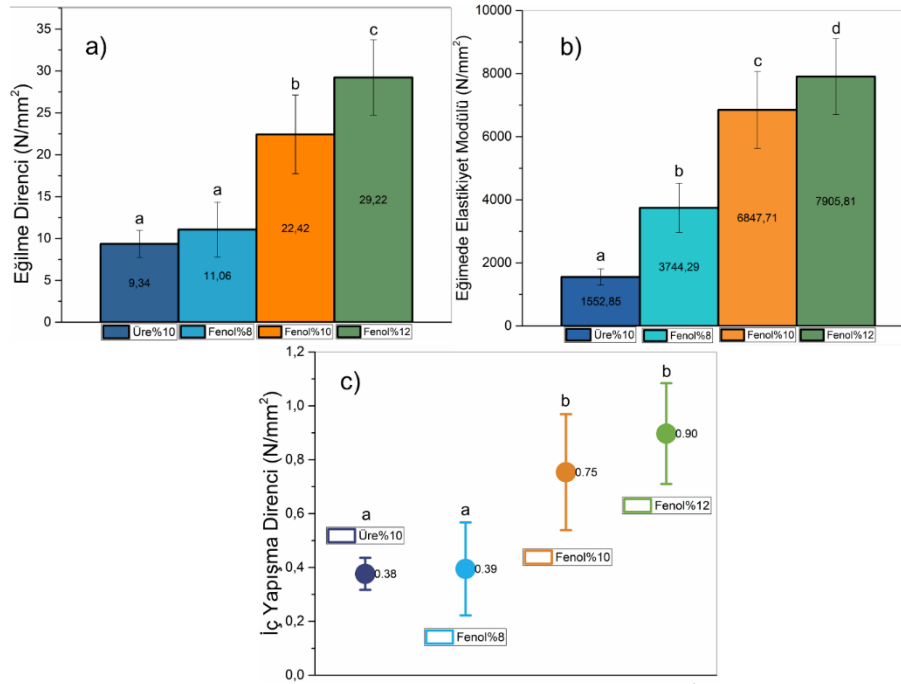
eğilme direnci verileri incelendiğinde, %8'lik fenol formaldehit tutkalı kullanılan yonga levhanın test sonuçları arasında benzerlik söz konusudur. Üre formaldehit tutkalı ile üretilen yonga levhaların eğilme direnci için literatürde, 20mm homojen tek katman olarak üretilen yonga levhanın eğilme direnci sonuçlarına kıyasla benzer bir sonuç bulunmuştur (Akbulut, 1995). Yonga levha üretiminde kullanılan tutkal miktarının artması sonucunda levhadaki direnç değerlerinin yükselmesi ve kalınlığına şişme oranında azalma olduğu bilinmektedir (Lehman, 1965; Maloney, 1970; Maloney, 1977; Au ve Gertjeansen, 1989; Göker vd., 1993). Gruplar arasındaki farklılığı istatistiki açıdan görebilmek için yapılan basit varyans analizinde anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir ($P < 0.05$). Şekil 6b' de gösterilen yonga levhaların elastikiyet modülü ise, tutkal kullanım oranı arttıkça artış göstermiştir. En düşük elastikiyet modülü %10'luk üre formaldehit kullanımında elde edilmiştir. Grupların eğilme direnci değerleri Duncan homojenlik gruplarında şöyle sıralanmıştır: Üre%10 = Fenol%8 < Fenol%10 < Fenol%12. Sonuçlar yoğunluk değerleri ile aynı trendde bulunmuştur. Grupların elastikiyet modülü değerleri ise istatistik açıdan Üre%10 < Fenol%8 < Fenol%10 < Fenol%12 şeklinde farklılık göstermiştir.



Şekil 4. Üre %10, fenol %8,10 ve12 tutkallarla üretilmiş levhaların, a) 2s, 24s, 48s, 72s'de su alma oranı (%), b) 2s, 24s, 48s, 72s'de kalınlığa şişme oranı (%)



Şekil 5. Üre%10, fenol %8, 10 ve 12 tutkallarla üretilmiş levhaların FTIR spektrasi



Şekil 6. Levhaların a) Eğilme direnci b) Eğilmede elastikiyet modülü c) İç yapışma direnci değerleri

%10 üre ve %8 fenol formaldehit tutkallı örneklerin iç yapışma dirençleri benzer sonuç göstermiş olup en düşük değerlerdedir (Şekil 6c). Fenol formaldehit içerikli örnekler kendi aralarında kıyaslandığında ise %8 ve %10'luk örneklerin iç yapışma direnci değerleri arasında %92'lik ciddi bir fark oluşurken, %10 ve %12'lik örneklerde ise %18'lik bir fark mevcuttur. Şekil 6c'de gösterilen iç yapışma direnç özelliklerinde, tutkal oranının artmasına doğrusal olarak artan iç yapışma özelliklerinin nedeni; tutkalın yonga ile arayüzündeki bağlanma mukavemetinin, yonga levhaların deformasyona direnme kabiliyetinde önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Fenol formaldehit reçinesi tarafından sergilenen güçlü bağlanma kuvveti, reçinenin üç boyutlu bağlanma etkisinin yanı sıra yonganın gözeneklerine ve çatlaklarına nüfuz etme eğiliminin yüksek olmasından kaynaklanabilir ve bu da daha iyi mekanik kenetlenmeye neden olabilir (Mamza vd., 2014). Bu bilgi ışığında, tutkal oranının direnç özellikleri ile doğru orantılı olduğu görülmektedir. İç yapışma direnci değerleri üzerine gruplar arasındaki farklılığı istatistiki açıdan görebilmek için

yapılan basit varyans analizinde anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir ($P < 0.05$). Grupların iç yapışma direnci değerleri Duncan homojenlik gruplarında şöyle sıralanmıştır: Üre%10 = Fenol%8 < Fenol%10 = Fenol%12. Sonuçlar eğilme direncinde de olduğu gibi, yoğunluk değerleri ile aynı trendde bulunmuştur.

Çizelge 3'de üretilen levhaların sonuçları BS EN 312'de (2010) belirtilen kullanım yerlerine göre sınıflandırılmıştır. Buna göre Fenol 10 ve 12 nolu gruplar eğilme ve çekme direnci bakımından, Fenol 8, 10 ve 12 nolu gruplar elastikiyet modülü bakımından tüm kullanım sınıflarını karşılarken, Üre 10 ve Fenol 8, sadece çekme direnci açısından Tip P1 sınıfının gerekliliğini karşılayabilmiştir. Üretilen tüm levha grupları 24 saatlik şişme değerleri açısından ilgili standartta belirtilen gereklilikleri sağlayamamıştır. Bunun muhtemel sebebi su iticiliği sağlayan parafin gibi hidrofobik maddelerin kullanılmaması olabilir. Bu sonuçlar levhaların suya karşı dayanımını artırıcı modifikasyon gibi işlemler ile hidrofobik kimyasalların kullanımının gerekliliğini ortaya çıkarmıştır.

Çizelge 3. Üretilen levhaların BS EN 312 (2003) standardına göre kullanım sınıfları

	Tip P1	Tip P2	Tip P3	Tip P4	Tip P5	Tip P6	Tip P7
Eğilme direnci	Fenol 10	Fenol 10	Fenol 10	Fenol 10	Fenol 10	Fenol 10	Fenol 10
	Fenol 12	Fenol 12	Fenol 12	Fenol 12	Fenol 12	Fenol 12	Fenol 12
Elastikiyet modülü		Fenol 8	Fenol 8	Fenol 8	Fenol 8	Fenol 8	Fenol 8
		Fenol 10	Fenol 10	Fenol 10	Fenol 10	Fenol 10	Fenol 10
		Fenol 12	Fenol 12	Fenol 12	Fenol 12	Fenol 12	Fenol 12
Çekme direnci	Üre 10	Fenol 10	Fenol 10	Fenol 10	Fenol 10	Fenol 10	Fenol 10
	Fenol 8	Fenol 12	Fenol 12	Fenol 12	Fenol 12	Fenol 12	Fenol 12
	Fenol 10						
24 saat şişme	Fenol 12						

Tip P1: Kuru ortam genel kullanım, Tip P2: Kuru ve iç ortam, P3: Yük taşımayan nemli ortam, Tip P4: Yük taşımaları kuru ortam, Tip P5: Yük taşımaları nemli ortam, Tip P6: Ağır yük taşımaları kuru ortam, Tip P7: Ağır yük taşımaları nemli ortam.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada farklı tutkal oranlarda kullanılan fenol formaldehit tutkalı ile üretilen yonga levhaların bazı fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen verilere dayanarak artan fenol formaldehit tutkal oranına bağlı olarak yonga levhanın fiziksel ve mekanik özelliklerinde iyileşme olduğu tespit edilmiştir. Fiziksel özellikler bakımından, su alma ve kalınlığına şişme değerlerinde üre formaldehit içerikli örneklerin en çok su aldığı ve şiştiği görülmüş, en iyi değerler ise %10 ve %12 fenol formaldehit içeren levhalarda ölçülmüştür. Mekanik özelliklerde %12'lik ve %10'luk örnekler birbirine yakın ve en iyi değerleri verirken, diğer örnekler birbirine benzer ancak en düşük değerlere sahip olduğu bulunmuştur. Farklı testlerin üretilen bütün varyasyonlardaki yonga levhalara uygulanmasında elde edilen değerler, gruplar arasında doğrusal ve benzer farklarda çıkmıştır. Kalınlık artışı, su alma oranı, eğilme direnci ile iç yapışma direnci deneme levhaların yoğunluk değerleri ile lineer bir ilişki göstermiştir.

Açıklama

Bu çalışma 2230282 nolu TÜBİTAK 1002 projesiyle desteklenmiştir. Yonga ve tutkal temin edilmesinde yardımcı olan Kastamonu Entegre ve Vezirköprü Orman Ürünleri firmalarına da teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Aizat, A.G., Paiman, B., Lee, S. H., Zaidon, A., 2019. Physico-mechanical properties and formaldehyde emission of rubberwood particleboard made with UF resin admixed with ammonium and aluminium-based hardeners. *Pertanika Journal of Science & Technology*, 27 (1): 473-488.
- Akbulut, Y., 2020. Sunta – Yonga Levha, <https://akbulut-yapi.com/2018/11/27/sunta-yonga-lehva/>, Erişim: 19.03.2024.
- Akbulut, T. ve Ayrılmış N., 2024. Yongalevha endüstrisi, İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa, Orman Endüstri Mühendisliği ders notu (<https://www.slideshare.net/slideshow/yongalevha-endustrisi-particleboard-industry/266354952>)
- Akbulut, T., 1995. Çeşitli faktörlerin yatay preslenmiş yonga levhaların özellikleri üzerine etkisi. Doktora tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- ASTM D1037, 2006. Standard test methods for evaluating properties of wood-based fiber and particle panel materials. ASTM International West Conshohocken, PA, USA.
- Au, K.C., Gertjeansen, R.O., 1989. Influence of wafer thickness and resin spread on the properties of paper birch waferboard. *Forest Products Journal*, 39(4): 47-50
- Bozkurt, A.Y., Göker, Y., 1985. Yonga levha endüstrisi. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Yayın No: 3311/372.
- BS EN 312, 2010. Particleboards – Specifications. British Standards Institution, London.
- Chow, P., 1979. Phenol adhesive bonded medium-density fibreboard from *Quercus rubra* L. bark and sawdust. *Wood and Fiber Science*, 11:92-98
- Dizman Tomak, E., 2005. Kimyasal modifikasyonun kızılğaç ve ladin yongalevhalarında fiziksel, mekanik ve biyolojik özelliklere etkisi, Yüksek lisans tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Fengel, D. ve Wegener, G., 1983. *Wood: Chemistry, ultrastructure, reactions*, Berlin, New York: De Gruyter.
- Göker, Y., Kalaycıoğlu, H., As, N., Akbulut, T., 1993. Ağaç türü, tutkal miktarı ve formaldehit/üre mol oranının yonga levhanın özellikleri üzerine etkisi. Orenko'93 2. Ulusal Orman Ürünleri Endüstrisi Kongresi, 6 - 09 Ekim 1993, Trabzon, s. 50-61.

- 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.
- İstek, A., Kurşun, C., Aydemir, D., Köksal, S. E., Kelleci, O., 2017. Yüzey tabaka yonga oranının yonga levha özelliklerine etkisi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 19(1): 182-186.
- İstek, A., Sıradağ, H., 2013. The effect of density on particleboard properties. *ICFS, International Caucasian Forestry Symposium*, 24-26 October, Artvin, pp. 932-938.
- Kara, M. E., 2018. Nanoteknolojik ürünlerle modifiye edilen FF ve MUF tutkallarının odun kompozit malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi. Doktora tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Kaya, N., 2017. Fındık ve çeltik kabukları ve odun talaşı ile takviye edilmiş termoset kompozitlerde reçine türünün fiziksel özelliklere etkisi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(3): 1076-1087.
- Kelleci, O., 2013. Silan ile modifiye edilen üre formaldehit kullanılarak üretilmiş yongalevhaların fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi. Yüksek lisans tezi, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın.
- Kevin, E.I., Ochanya, O.M., Olukemi, A.M., Bwanhot, S.T.N., Uche, I., 2018. Mechanical properties of urea formaldehyde particle board composite. *American Journal of Chemical and Biochemical Engineering*, 2(1):10-15.
- Lee, S. & Thole, V., 2018. Investigation of modified water glass as adhesive for wood and particleboard: mechanical, thermal and flame retardant properties. *European Journal of Wood and Wood Products*. 76: 1427-1434.
- Lehman, W.F., 1965. Improved particleboard through better resin efficiency. *Forest Products Journal*, 15:155-161.
- Li, J., Zhang, J., Zhang, S., Gao, Q., Li, J., Zhang, W., 2017. Fast curing bio-based phenolic resins via lignin demethylated under mild reaction condition. *Polymers*, 9: 428.
- Maloney, T. M., 1970. Resin distribution in layered particleboard. *Forest Products Journal*, 20(1):43-52.
- Maloney, T., 1977. *Modern Particle Board and Dry-Process Fiberboard Manufacturing*. Miller Freeman Publications, San Francisco/California.
- Mamza, A.P., Ezech, E.C., Gimba, E.C., Arthur, D.E., 2014. Comparative study of phenol formaldehyde and urea formaldehyde particleboards from wood waste for sustainable environment. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 3(9):53-61.
- Milner, H.R., Woodard, A.C., 2016. Sustainability of engineered wood products. In: *Sustainability of Construction Materials* (Ed: Khatib, J.), Woodhead Publishing, pp. 159-180.
- Nemli, G., Demirel, S., Zeković, E. 2011. The Influences Of Moisture Content of The Particle, Paraffin Usage and Wood Species on the Some Technological Properties of Particleboard. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 7 (2): 81-93.
- ORMA, 2017. Ahşap bazlı ürün tanıtım ve kullanma kılavuzu, https://www.orma.com.tr/wp-content/uploads/2019/10/DOKUMANLAR-Orma_Kalite_Kitap%C3%A7%C4%B1%C4%9F%C4%B1_M01.pdf, Erişim: 19.09.2024.
- Prasetyo, K.W., Astari, L., Syamani, F.A., Subyakto, S., 2019. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 374: 012050.
- Şahin, M. E., Kalaycıoğlu, H., Aras, U., 2022. Odun esaslı levha sektöründe yaşam döngüsü analizine bir bakış. *Ormanlık Araştırma Dergisi*, 9(Özel Sayı): 342-354.
- Şenel, A., 1996. mobilya endüstrisinde kullanılan lamine ve laminatlı malzemeler. *Gazi Üniversitesi, Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Dergisi*, 4: 187-199.
- TS EN 310, 1999. Odun esaslı levhalar-Eğilme dayanımı ve eğilme elastikiyet modülünün tayini. 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 322, 1999. Odun esaslı levhalar-Rutubet miktarının tayini. TSE, Ankara.
- TS EN 323, 1999. Odun esaslı levhalar-Birim hacim ağırlığının tayini. TSE, Ankara.
- Wong, E.D., Zhang, M., Wang, Q., Kawai, S., 1999. Formation of the density profile and its effects on the properties of particleboard. *Wood Science and Technology*, 33(4): 327-340.
- Yang, T.H., Lin, C.H., Wang, S.Y., Tsai, M.J., 2007. Characteristics of particleboard made from recycled wood-waste chips impregnated with phenol formaldehyde resin. *Building and Environment*, 42: 189-195.
- Zhang, W., Ma, Y., Wang, C., Li, S., Zhang, M., Chu, F., 2013. Preparation and Properties of Lignin-Phenol-Formaldehyde Resins Based on Different Biorefinery Residues of Agricultural Biomass. *Industrial Crops and Products*, 43:326-333.