

Yonga levha üretim süreçlerinde pres süresinin enküçüklenmesi Minimization of pres time at particleboard production

Aslan Deniz KARAOĞLAN^{1*}, Mustafa Mert DEMİR², Mustafa Murat ÇARKACI³

^{1,2,3}Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, Türkiye.
deniz@balikesir.edu.tr, mmerdemir.33@gmail.com, mmcarkaci@gmail.com

Geliş Tarihi/Received: 24.05.2017, Kabul Tarihi/Accepted: 31.10.2017
* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2017.68889
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Dünyada yonga levha üretiminde yaşanan yoğun rekabet, maliyetler üzerinde etkili önemli parametrelerden biri olan işlem sürelerinin enküçüklenmesini zorunlu kılmaktadır. Bu çalışmada, deney tasarımı tekniklerinden yaygın olarak kullanılan yanıt yüzey yöntemi (YYY)'nin matematiksel alt yapısı kullanılarak, üretim hızını arttırmak amacıyla pres süresinin enküçüklenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla yonga levhanın pres süresi üzerinde etkili değişkenlerden; yonga levhanın rutubeti, banyo jeli süresi, yonga levhanın altı için gravür jeli süresi, yonga levhanın üstü için gravür jeli süresi, akış, final ağırlığı, kağıdın rutubeti, üreformatdehit (UF) miktarı, melamin formaldehit (MF) miktarı, pres yoğunluğu, pres basıncı ve pres sıcaklığı girdilerinin optimum değerleri araştırılmıştır. Bu sayede pres süresi azaltılırken, üretim miktarı ve hattın verimliliğinin artırılması amaçlanmıştır. Modelleme amacıyla, her biri 5 tekrarlı 56 tane gözlem değeri kullanılarak girdilerle pres süresi arasındaki matematiksel ilişki belirlenmiş ve ardından eniyileme yapılmıştır. Çalışmanın sonunda, hali hazırda seçilen ürün tipi için gözlenen en düşük pres süresi olan 13.57 sn. 11 sn. kadar düşürülmüştür.

Anahtar kelimeler: Yonga levha, Pres süresi, Eniyileme

Abstract

The intense competition in the production of particleboard in the world requires minimization of process times which is one of the important parameters effective on costs. In this study, it is aimed to minimize the press time in order to increase the production speed by using the mathematical sub-structure of the response surface method (RSM) which is one of the well-known design of experiments techniques. For this purpose, optimum levels of the factors those have effect on press time namely humidity of the particleboard, bath gel time, gravure gel time for the bottom of the particleboard, gravure gel time for the top of the particleboard, flow, final weight, humidity of the paper, amount of urea-formaldehyde (UF), amount of melamine formaldehyde (MF), press density, press pressure and press temperature were investigated. In this case, It is aimed to increase the production amount and productivity of the line while decreasing the press time. For the purpose of modeling, the mathematical relationship between the factors and the press time was determined by using 56 observation values of 5 repetitions each and then optimization was performed. At the end of the study, the press time is reduced to 11 seconds from 13.57 seconds-which is the lowest press time observed for the currently selected item type.

Keywords: Particleboard, Press time, Optimization

1 Giriş

Dünya'da yonga levhanın endüstriyel üretiminin başladığı ilk yıllarından itibaren, yonga levha endüstrisi hızlı bir gelişme göstermiştir. Dünya genelindeki gelişmelere paralel bir şekilde, Türkiye'de de yonga levha endüstrisinde hızlı gelişmeler yaşanmaktadır. Yonga levha özellikle mobilya sektörü olmak üzere, pek çok alanda kullanılan bir ürün olup, sektördeki rekabet oldukça yükündür. Bu yoğun rekabette uluslararası alanda pazar payını arttırabilmek için, sektördeki üreticilerin kabul edilebilir kalite sınırları içerisinde kalarak satış fiyatlarını ve dolayısıyla üretim maliyetlerini düşürmeleri gerekir. Bu amaçla ürün ve süreç geliştirmeye yönelik Ar-Ge çalışmaları sektörde rekabet gücünü korumak için önem arz etmektedir.

Literatürde yonga levha üretim süreçlerinin iyileştirilmesi ile ilgili yakın zamanda yapılmış önemli çalışmalar bulunmaktadır. Ashori ve Nourbakhsh [1] düşük kalite hammaddeden (eucalyptus camaldulensis, prosopis juliflora, tamarix stricta, palmiye (phoenix doctylifera) odunları) üretilen tek katmanlı yonga levhanın fiziksel (nem tutuculuğu, yoğunluğu, su emiciliği vb.) ve mekanik (kırılma katsayısı, elastisite katsayısı vb.) özellikleri üzerinde pres çevrim zamanının ve reçine içeriğinin etkisini incelemişlerdir.

Nemli ve Hızıroğlu [2] pres parametrelerinin (pres sıcaklığı ve pres süresi) melamin reçine ile emprenye edilmiş dekor kağıdı ile kaplı yonga levhanın çizilme ve aşınma direncine olan etkisi üzerine çalışmışlardır. Akyüz ve diğ. [3], farklı sertleştirici oranlarının üç katmanlı yonga levhanın fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine etkisini incelemişlerdir. Deneyler sırasında üreformatdehit (UF) miktarı, parafin miktarı, hedeflenen levha yoğunluğu, pres basıncı, pres sıcaklığı ve pres süresi vb. üretim parametrelerini sabit tutarak deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Tabarsa ve diğ. [4] buğday samanı ile yapılmış ve bir tanen bazlı yapıştırıcı ile bağlanmış üç katmanlı yonga levhaların fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemiş ve bu özelliklerin iyileştiğini gözlemlemişlerdir. Ek olarak, pres süresindeki artışında bu özelliklerin iyileşmesini pozitif yönde etki ettiğini belirlemişlerdir. Trianoski ve diğ. [5], farklı karışım oranlarında Acrocarpus fraxinifolius ağacı ile Pinus taeda (bir tür çam) kullanılarak; 0.75 g/cm³ yoğunluk, %8 üreformatdehit (UF), %1 balmumu, 160 °C pres sıcaklığı, 4 MPa pres basıncı ve 8 dk. pres süresi proses parametreleri ile üretilen yonga levhaların fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Iwakiri ve diğ. [6], tespih ağacı (melia azedarach) odunundan farklı reçine içerikleri, yoğunluk, pres basıncı, pres sıcaklığı ve pres süresi ile üretilen yonga levhaların fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemiştir.

Taghiyari ve Bibalan [7], farklı oranlarda nanobakır süspansiyonu kullanarak üretilen yonga levhaların, fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyileştiğini ve bunun yanında yonga levhanın geçirgenliğinin ve pres süresinin düştüğünü gözlemlemişlerdir. Sulaiman ve diğ. [8], epichlorohydrin ile modifiye edilen yağlı palmiye nişastası kullanılarak üretilen yonga levhanın farklı üretim parametrelerinin etkisi altında, fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemiş ve 0.60 g/cm³ ve 0.80 g/cm³ hedef yoğunluk değerlerini ve 15 saniye ile 20 sn. pres sürelerini üretim parametreleri olarak almışlardır. Kord ve diğ. [9], yonga levhanın fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla üretim parametreleri olan; pres süresi, pres sıcaklığı, pres basıncı, pres kapanış oranı, farklı malzeme karışımları, reçine içeriği, sertleştirici içeriği vb. faktörlerin farklı değerleri için deneyler gerçekleştirilmiştir. Bavaneghi ve Ghorbani [10], asetlendirmenin ve farklı pres sürelerinin yonga levhanın mekanik özellikleri üzerine etkisini incelemişlerdir.

Literatürde yonga levha üretim süreçlerinin iyileştirilmesi ile ilgili yakın zamanda yapılmış öne çıkan çalışmalar incelendiğinde; genellikle levhanın fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi için üretim parametrelerinin ne olması gerektiğinin araştırıldığı görülmüştür. Bu çalışmalarda üretim parametrelerinden biri olan pres süresi çoğunlukla girdi değişkeni olarak kullanılmıştır. Az sayıda çalışmada ise yeni ürün tasarımlarında, ürünün fiziksel ve mekanik özelliklerinin yanında, pres süresinin de azalıp azalmadığı incelenmiştir. Başka bir deyişle pres süresi genellikle girdi parametresi olarak ele alınırken, nadiren bazı çalışmalarda ise enküçüklenmesi gereken bir çıktı değişkeni olarak ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada, kaliteyi muhafaza ederken, pres süresini azaltacak şekilde üretim parametrelerinin optimum değerleri belirlenerek birim zamanda üretilen ürün sayısının artırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, pres süresi üzerinde etkili değişkenlerin geçmiş tecrübelerle belirlenen ve kabul edilebilir kalite düzeyinin korunduğu değer aralıklarında üretilmiş 56 farklı kombinasyondaki üretim örneği alınarak üretim parametreleri ile pres süresi arasındaki matematiksel ilişki bulunmuş, ardından Minitab paket programının "Response Optimizer" modülü yardımıyla en küçük pres süresini veren üretim parametrelerinin değerleri hesaplanmıştır. Literatürde, pres süresi ile bu çalışmada kullanılan üretim parametreleri arasındaki matematiksel ilişkiyi belirleyerek eniyileme yapan bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu çalışmada, yonga levha üreticisi bir işletmenin melamin pres üretim hattı incelenmiştir. İşletmede bulunan yonga levha hattında üretilen levhalar, melamin pres hattına gönderilmektedir. Aynı zamanda emprenye hattında laminasyon işlemi gerçekleştirilmektedir. Melamin pres üretim hattında ise, emprenye edilmiş dekor kağıtlarının yonga levha üzerine preslenmesi işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu işlem sırasında en önemli aşama pres basım sürecidir.

Pres basım süreci, melamin pres prosesi için kritik öneme sahip olup; bu hattaki olası herhangi bir aksaklık, yonga levha ve emprenye hatlarındaki üretimlerde bekleme, stok fazlası, darboğaz gibi durumlara yol açacaktır. Hattı önemli kılan bu sebeplerden dolayı, melamin pres hattındaki pres süresini enküçüklemek üzere; pres süresi üzerinde etkili tüm faktörler (girdi değişkenleri) belirlenmiştir. Ardından kontrol edilebilen ve edilemeyen faktörler olarak ayrı ayrı gruplandırılmıştır. Pres süresi ile faktörler arasındaki ilişki YYY'nin matematiksel alt yapısı kullanılarak hesaplanmıştır. YYY detayları ve

uygulamanın yapıldığı üretim sisteminin tanıtımı izleyen bölümde verilmiş olup; sırasıyla 3. Bölümde deneysel sonuçlara ve elde edilen matematiksel modele; 4. Bölümde ise eniyileme sonuçlarına yer verilmiştir. Son olarak 5. Bölümde çalışmaya ait genel sonuç verilmiştir.

2 Materyal ve metot

2.1 Yanıt Yüzey Yöntemi (YYY)

Yanıt Yüzey Yöntemi istatistiksel ve matematiksel yöntemlerin bir birleşimidir. Bu yöntem ile ortogonal (dik) dizilerden yararlanarak deney tasarlanır. Ardından tasarlanan deneyin ölçülen çıktılarına göre, girdilerle çıktılar arasındaki matematiksel ilişkiyi gösteren regresyon modeli kurularak eniyileme yapılabilir. YYY'nin matematiksel modelinin genel gösterimi Denklem (1)'de verildiği gibidir [11]-[14]:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i X_i + \sum_{i=1}^n \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i<j}^n \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon \quad (1)$$

Burada, Y çıktıyı, X_i girdiyi, X_iX_j çarpımları değişkenler arasındaki etkileşimleri; β_0 , β_i , β_{ii} ve β_{ij} model parametrelerini, ε ise hata terimini göstermektedir. Görüldüğü gibi YYY'nin matematiksel modelinde karesel ilişkiler ve ikili etkileşimler de yer almaktadır. Bu yöntem gereği, girdilerle çıktılar arasındaki ilişkiyi gösteren regresyon modelinin parametreleri Denklem (2)'de verildiği şekilde hesaplanmaktadır:

$$Y = \beta X + \varepsilon \quad (2)$$

Burada, Y çıktı matrisini, X girdi matrisini, β model parametrelerini gösteren matrisi, ε ise hata terimlerini gösteren matrisi temsil etmektedir. Buna göre model parametrelerini içeren β matrisi Denklem (3)'te verildiği şekilde hesaplanmaktadır (T transpoz alma işlemini ifade etmektedir):

$$\beta = (X^T X)^{-1} X^T Y^T \quad (3)$$

Bu aşamadan sonra elde edilen bu matematiksel ilişki kullanılarak denenmemiş girdi kombinasyonları için çıktıların değerleri ya da istenen çıktı değerlerine ulaşmak için girdilerin değerinin ne olması gerektiği hesaplanabilecektir. Bu çalışmada, pres sürelerinin tahmini ve enküçüklenmesi amacıyla, pres süresi (Y) ile pres süresi üzerinde etkili faktörler (X) arasındaki ilişki bulunacaktır. X matrisi yonga levhanın; rutubeti, banyo jeli süresi, alt gravür jeli süresi, üst gravür jeli süresi, akış, final ağırlığı, kağıdın rutubeti, UF miktarı, MF miktarı, pres yoğunluğu, basıncı ve sıcaklığı parametrelerinden oluşmaktadır. Ancak bu parametreler içerisinde kontrol edilemeyen değişkenlerde bulunmaktadır. Kontrol edilemeyen değişkenleri içerisinde barındıran matematiksel modellerle eniyileme yapmak mümkün değildir. Çünkü optimum seviyesi belirlenen girdi değişkeni bizim kontrolümüzde değildir. Bu sorunu çözmek amacıyla Karaoğlan ve Celik [13] tarafından 2016 yılında önerilen ARSM (adaptive RSM) kullanılmıştır. Bu yöntem gereği; kontrol edilebilen ve edilemeyen değişkenleri birlikte içerecek şekilde matematiksel model kurulduktan sonra, eniyileme yapılacak zaman kesitinde ölçülen kontrol edilemeyen değişken değerleri modelde yerine konarak, sadece kontrol edilebilen değişkenlerden oluşan model elde edilmekte ve eniyileme bu model üzerinden tamamlanmaktadır. Mevcut yöntemlerden farkı ise kontrol edilemeyen değişkenlerin

değerlerindeki anlık her değişim için optimum sonuç kendisini sürekli yenilemektedir. Dolayısıyla yöntem, kontrol edilemeyen değişkenlerin etkili olduğu üretim sistemlerinde, tek bir optimum yerine sürekli değişen vresel koşullar altında o anki ortam koşullarına uygun optimum sonuç bulmaya yaramaktadır.

2.2 Ele alınan üretim sistemi

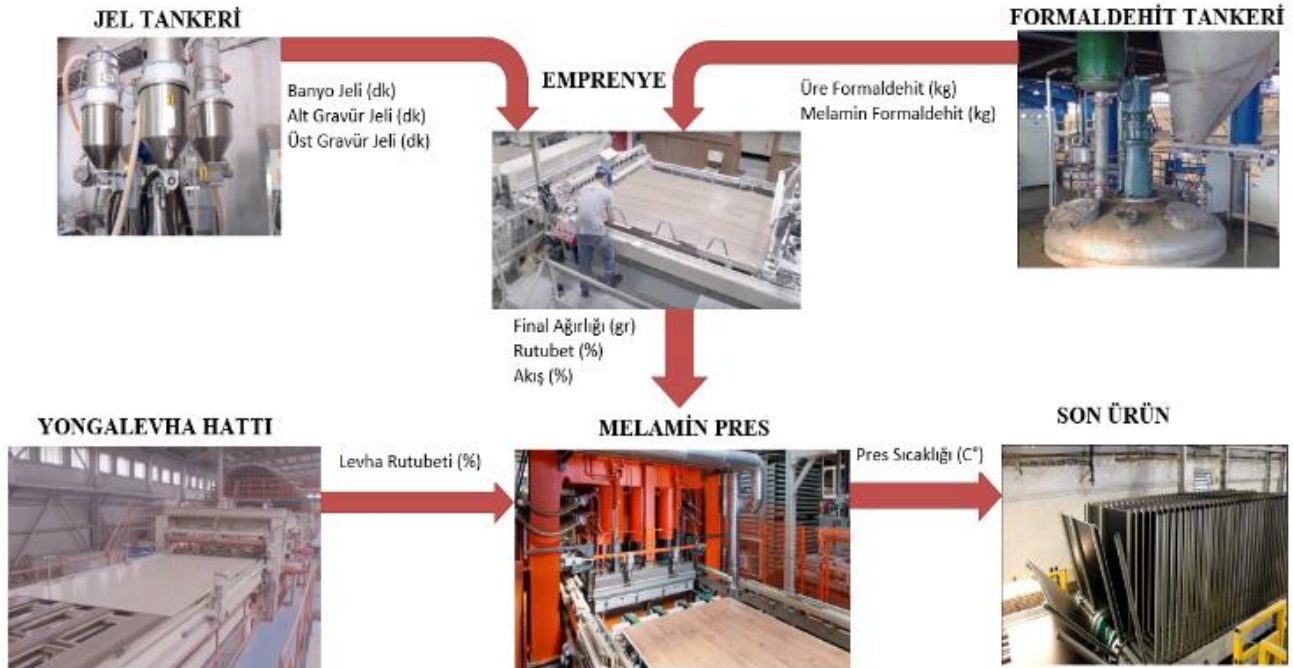
Bu çalışmada ele alınan üretim sistemi ağaç sanayinde faaliyet gösteren bir fabrika olup; ağaç bazlı panel üretimi gerçekleştirmektedir. İşletmenin ürettiği ürünler genel olarak;

- Yonga levha,
- Emprenye ve
- Melamin pres üretim hatlarından geçmektedir.

Yonga levha hattı genellikle odun hammaddesinden elde edilen yonga veya küçük parçacıkların sentetik bir reçine ya da uygun bir yapıştırıcı yardımı ile ısı ve basınç altında geniş ve büyük yüzeyli levhalar haline getirilmesi işlemidir. Bu işlem sonucunda sistemin ürettiği ürünler istiflenmekte ve melamin pres hattına gönderilmek üzere stokta bekletilmektedir. Emprenye hattında ise yonga levha ile genellikle aynı zamanda üretime başlanır. Emprenye, çeşitli yöntemlerle değişik kimyasal maddelerin ağabın bünyesine emdirilmesi işlemidir. Emprenye retim hattı işletmenin yurtdışından ham kğit olarak tedarik ettiği dekoratif kğitlerin üre formaldehit, melamin formaldehit ve kimyasal katkılar ile oluşturulan banyolarda emprenye edilmesi işlemini (emdirme işlemi) kapsamaktadır. Yonga levha ve emprenye hatlarından çıkan yarı mamuller melamin pres hattına gönderilmektedir. Melamin pres üretim hattında, emprenye edilmiş dekor kğitlerinin yonga levha yüzeylerine kaplanması işlemi gerçekleştirilir. Melamin pres işleminde ısıyla sertleşen tutkal olan üre, melamin ve UF-melamin tutkalları kullanılmaktadır. Preslenen rnler kalite kontrol aşamasından geçtikten sonra mamul hale gelmiş olup müşteriye gönderilmektedir. Ağaç bazlı panel üretim sistemi Şekil 1'de özetlenmiştir.

Bu alışma melamin pres üretim hattında gerçekleştirilmiştir. Dekor kğitlerinin yonga levha yüzeylerine kaplanması işleminin gerçekleştirildiği melamin pres işleminde, kaplamada kullanılan dekor kğitlerinin daha önceden emprenye edilmiş olması gereklidir. Dekor kğitlerinin yonga levhaya kaplanması sürecinde, presleme sıcaklığı, basını ve pres süresinin belirlenmesinde, üretilen lamine levhanın kalınlığı ve kullanılan reçinenin kimyasal yapısı etkili olmaktadır. Emprenye edilmiş dekor kğitlerinin levha yüzeyine preslenmesinde, gözlenen işlem süreleri için geniş bir güven aralığı gözlenmektedir. Bunun başlıca sebeplerinden biri, farklı pek çok üretim parametresinin yanında kontrol edilemeyen rutubet faktörünün pres süresi üzerinde etkili olmasıdır. Pres süresi üzerinde etkili parametreler; sadece pres operasyonu ile ilgili parametreler olmayıp, pres öncesi emprenye ve yonga levha üretim proseslerinde üretim parametrelerini de kapsamaktadır. Pres süresi üzerinde etkili üretim parametreleri; banyo jeli süresi (dk.), alt gravür jeli süresi (dk.), st gravür jeli süresi (dk.), akış (%) (tutkalın emprenye hattındaki pres altında, sıcaklık ve basınç ile yüzde hacim olarak hareketi), final ağırlığı (g), rutubet (%), UF Miktarı (kg), melamin formaldehit (MF) miktarı (kg) parametreleridir. Levhanın rutubetinin çok düşük veya yüksek olması yapışmayı ve kaliteyi olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle, yonga levha üretim sürecinden kaynaklanan levha rutubetinin de llmesi gerekir. Melamin pres üretim sürecinde; kullanılmış olan tutkalın istenilen Şekilde sertleşmesini sağlayan pres sıcaklığı (°C) ve basını (bar) ise pres süresini etkileyen diğer faktörlerdir.

Pres süresinin olması gerekenden az olması emprenyeli kğidin yonga levhaya tam olarak tutunamamasına veya yüzeyde çatlakların oluşmasına sebep olurken; srenin uzun olması ise bu kalite sorunlarını zerken birim zamanda üretilen ürün miktarını azaltmaktadır. Dolayısıyla en kısa presleme süresini elde etmek için üretim parametrelerinin değerlerinin ne olması gerektiğinin araştırılması gerekir.



Şekil 1: Ele alınan üretim sisteminin zet gösterimi.

Şekil 2, en genel haliyle melamin pres hattı iŐ akıŐını göstermektedir. Şekil 2(a)'da levha taŐıma sistemi ile melamin pres hattına levhaların geliŐi, (b)'de iki yüzüne de emprenyeli kağıt yerleŐtirilmiŐ yonga levhanın melamin pres işlemi ve (c)'de ise dekor kağıdıyla kaplanmış levha örneklere görülmektedir.

Bu alıŐma kapsamında, melamin pres hattındaki pres basım süresine etki eden girdilere karŐılık melamin preste ürünün basılma süresi arasındaki ilişki regresyon modeli olarak belirlenmiştir. Amaç, preste basılma süresini enkklerken girdi parametrelerinin değerlerinin ne olması gerektiğinin araŐtırılmasıdır. Deneylerde 18*1830*3660 ölçülerinde detay özellikleri ticari gizlilik nedeniyle verilmeyen emprenye edilmiş dekor kağıtları kullanılmıştır. Yonga levha üretim hattı aşamasında kullanılan örneklere aynı boyutlarda (18*1830*3660) levhalar olarak üretilmiŐtir.

3 Deneysel sonuçlar

Bu çalışmada amaç, kaliteyi kabul edilebilir sınırlarda tutarken, melamin preste geçen pres süresini azaltarak üretim hızını arttırmaktır. Bu amaçla pres süresi üzerinde etkili olan faktörler için alt ve üst sınırlar belirlenmiştir. Bu sınırlar, ürün kalitesinin kabul edilebilir sınırlar içinde kaldığı ve geçmiş tecrübelere dayalı değerlerdir. Matematiksel modellemeye amaç, verilen bu sınırlar içerisindeki sayısız kombinasyon içinden en kısa pres süresini veren girdi değerlerini bulabilmektedir. Ticari gizlilikten dolayı her deđerŐkene ait değerler, ilgili deđerŐkenin maksimum değerine bölünerek kodlanmıŐtır ve Tablo 1'de verilmiştir. Bu verilerin farklı kombinasyonları için gözlenen değerler Tablo 2'de verildiği gibidir. Üretim devam ederken bu çalışma gerçekleŐtirildiđi

için, üretim akıŐını bozmamak amacıyla bu çalışmada veri toplamak için ortogonal dizilere dayalı deney tasarımı kullanılmamış, onun yerine mevcut üretim gözlenerek veriler elde edilmiştir. Bu kapsamda 56 adet farklı üretime ait veri alınmıştır. Deneylerin her biri için ölçülen pres süreleri (PS), 5 tekrar değerinin ortalamasıdır. Ticari gizlilik nedeniyle her bir sütundaki değerler, ilgili sütunun maksimum değerli elemanına bölünerek [0-1] aralığında girdi matrisi oluŐturulmuŐtur. Gözlenen ıktı değerleri ise "Gözlenen PS (saniye)" stnunda verilmiştir. X_1 - X_{10} arasındaki girdilere karŐılık, gözlenen PS arasındaki ilişki, Denklem (4)'te verildiği Şekilde hesaplanmıştır. Denklem (4) kullanılarak tahmin edilen pres süreleri ise "Beklenen PS (saniye)" stnunda verilmiştir. Gzlenenle beklenen değerler arasındaki yüzdesel farklar, "Hata(%)" stnunda gösterilmiŐtir.

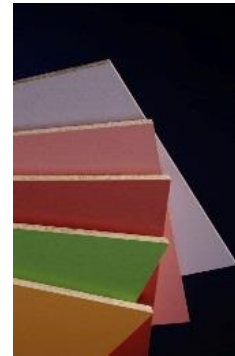
Tablo 2'deki sonuçlar incelendiğinde, tahmin hatasının olduğua düşük olduğu gözlenmiştir. Denklem (4) oluŐturulurken kullanılan veriler tekrar aynı denklemde yerine konduğunda %0.05-%3.83 arasında deđerŐen hata oranları gözlenmiştir. Minitab analizlerine göre R^2 değer i %96.79 olarak hesaplanmıştır. Buna göre modelde yer alan X_1 - X_{10} deđerŐkenleri PS'deki deđerŐimin %96.79'unu karŐılamaktadır. Kalan %3.21'lik deđerŐim modelde yer almayan başka deđerŐkenlerden etkilenmektedir. Ayrıca modelde t-testine göre anlamsız parametrelerin ayıklanmasıyla elde edilecek indirgenmiŐ modelin R^2 değer i ise ($R^2(\text{adj})$) %94.96 olarak hesaplanmıştır. R^2 ile $R^2(\text{adj})$ birbirine olduğua yakın olduğundan dolayı modelin indirgenmesine gerek duyulmamıŐtır. Tüm bu analizlerin sonunda, X_1 - X_{10} arasında isimleri kodlanan deđerŐkenlerin, PS'yi modellemek için yeterli olduğu sonucuna varılmıŐtır.



(a)



(b)



(c)

Şekil 2: Melamin pres hattı iŐ akıŐı.

Tablo 1: Pres süresi üzerinde etkili faktörler.

Faktör Adı	Kısaltma	Birimi	Min	Max	Faktör Tipi
Banyo Jeli Süresi	X_1	dk	0.97	1	Kontrol Edilebilir DeđerŐken
Alt Gravür Jeli Süresi	X_2	dk	0.97	1	Kontrol Edilebilir DeđerŐken
Üst Gravür Jeli Süresi	X_3	dk	0.96	1	Kontrol Edilebilir DeđerŐken
Akış	X_4	%	0.40	1	Kontrol Edilebilir DeđerŐken
Final Ağırlık	X_5	g	0.95	1	Kontrol Edilebilir DeđerŐken
Dekor Kağıdının Rutubeti	X_6	%	0.85	1	Kontrol Edilemeyen DeđerŐken
UF Miktarı	X_7	kg	0.77	1	Kontrol Edilebilir DeđerŐken
MF Miktarı	X_8	kg	0.81	1	Kontrol Edilebilir DeđerŐken
Levha Rutubeti	X_9	%	0.93	1	Kontrol Edilemeyen DeđerŐken
Pres Sıcaklığı	X_{10}	C	0.93	1	Kontrol Edilebilir DeđerŐken

Tablo 2: Gözlem değerleri.

Deney No	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	Gözlenen PS (sn.)	Beklenen PS (sn.)	Hata (%)
1	0.97	0.97	1.00	0.60	0.98	0.94	0.83	0.85	0.97	0.99	15.50	15.23	1.75
2	0.98	0.97	0.96	0.47	0.99	0.99	0.78	0.86	0.94	0.99	15	15.05	0.32
3	1	0.97	0.97	0.67	0.98	0.95	0.94	0.97	0.96	1	15	15.11	0.7
5	0.98	0.97	0.97	0.53	0.98	0.9	0.78	0.91	0.94	0.97	17.33	17.24	0.53
6	0.98	0.98	0.98	0.6	1	0.92	0.8	0.91	0.97	0.97	17	16.68	1.93
7	0.98	0.98	0.96	0.53	0.96	0.85	0.78	0.88	0.97	0.99	15.25	15.59	2.17
8	0.99	0.97	0.97	0.53	0.97	0.93	0.8	0.91	0.98	0.97	17	16.92	0.46
9	0.98	0.97	0.97	0.6	0.97	0.88	0.91	0.82	0.95	0.99	16	15.83	1.06
10	0.97	0.97	0.97	0.57	0.97	0.93	0.85	0.92	0.93	0.97	17	17.58	3.27
11	0.97	0.97	0.97	0.53	0.98	1	0.96	0.82	0.94	0.93	18	18.01	0.05
12	0.99	0.98	0.96	0.67	0.98	0.89	0.97	0.92	0.95	0.97	17	16.72	1.69
13	0.97	0.98	0.98	0.63	0.95	0.89	0.94	0.98	0.94	0.96	17.75	17.57	1.02
14	1	0.97	0.97	0.57	0.97	0.89	0.98	0.95	1	0.95	18	17.55	2.59
15	0.97	0.96	0.98	0.53	0.98	0.93	0.96	1	0.97	0.95	18	18.3	1.64
16	0.98	0.96	0.97	0.57	0.97	0.96	0.89	0.99	0.94	0.97	18	17.88	0.69
17	0.98	0.97	0.98	0.67	0.97	0.93	0.9	0.81	0.94	0.99	15	15.16	1.03
18	0.98	0.97	0.96	0.77	0.97	0.94	0.9	0.81	0.94	1	16	15.5	3.21
19	0.97	0.97	0.97	0.67	0.98	0.91	0.99	0.9	1	0.98	16	15.92	0.51
20	0.98	0.97	0.97	0.8	0.96	0.89	0.94	0.98	0.98	0.93	20	20.04	0.21
21	0.98	0.96	0.97	0.8	1	0.95	0.94	0.98	0.93	0.93	20	19.8	1.02
22	0.98	0.97	0.97	0.73	0.96	0.88	0.94	0.92	0.95	0.97	18	17.66	1.92
23	1	0.98	0.97	0.6	0.98	0.92	0.96	0.97	0.94	0.95	18	17.71	1.66
24	0.98	0.96	0.97	0.7	0.96	0.9	0.93	1	0.98	0.95	19	19.1	0.54
25	0.97	0.97	0.97	1	0.95	1	0.87	0.81	0.97	0.93	20	20.02	0.12
26	0.97	0.97	0.96	0.73	0.98	1	0.94	0.92	0.98	0.97	17	17.01	0.08
27	0.98	0.97	0.97	0.87	0.99	0.96	0.9	0.92	0.97	0.97	18	17.92	0.43
28	0.98	0.97	0.97	0.53	0.98	0.94	0.89	0.81	0.98	1	15	14.77	1.53
29	0.99	0.96	0.97	0.4	0.97	0.88	0.96	0.81	0.94	0.98	16	15.92	0.51
30	0.99	0.96	0.97	0.67	0.97	0.94	0.9	0.81	0.94	1	15	15.21	1.35
31	0.97	0.98	0.98	0.6	0.97	0.88	0.94	0.97	0.94	0.96	18	17.7	1.7
32	0.98	0.96	0.97	0.45	0.98	0.93	0.96	0.9	0.94	0.99	15	15.45	2.89
33	0.98	0.96	0.96	0.53	0.97	0.93	1	0.93	0.97	0.94	18	18.09	0.51
34	1	0.99	0.96	0.67	0.96	0.88	0.98	0.92	0.94	0.98	15	15.44	2.86
35	0.98	0.98	0.97	0.67	0.97	0.93	0.94	1	0.96	1	15	15.3	1.98
36	0.97	0.98	0.98	0.47	0.98	0.93	0.93	0.89	0.97	0.98	16	15.71	1.85
37	0.98	0.98	0.97	0.8	0.97	0.93	1	0.81	0.95	0.96	16	16.26	1.62
38	0.99	0.99	0.98	0.73	0.99	0.93	0.85	0.82	1	0.96	16	16.28	1.74
39	0.99	1	0.97	0.8	0.97	0.96	0.94	0.97	0.96	0.99	15	14.74	1.74
40	0.98	0.98	0.99	0.8	0.99	0.91	0.95	0.99	0.99	0.99	15	15.34	2.24
41	0.97	0.99	0.98	0.8	0.97	0.95	0.97	0.92	0.94	0.98	16	15.68	2.02
42	0.98	0.97	0.99	0.53	0.99	0.95	0.85	0.94	0.97	1	15	15.1	0.65
43	0.98	0.99	0.97	0.53	0.96	0.93	0.86	0.86	0.97	0.94	18	18.3	1.65
44	0.98	0.97	0.97	0.6	0.98	0.95	0.98	0.92	0.94	0.99	15	15.34	2.2
45	0.98	0.99	0.97	0.8	0.98	0.96	0.98	0.9	0.95	0.99	15	14.85	1.03
46	1	0.97	0.97	0.67	0.97	0.95	0.98	0.88	0.93	0.98	15	15.4	2.62
47	0.99	0.97	0.98	0.87	0.98	0.96	0.98	0.92	0.94	0.96	17	16.89	0.67
48	0.97	0.98	0.98	0.57	0.98	0.95	0.98	0.9	0.95	0.99	15	14.8	1.33
49	0.99	0.98	0.98	0.47	0.97	0.89	0.96	0.95	0.94	0.99	15	14.67	2.24
50	0.99	0.98	0.98	0.53	0.97	0.88	0.92	0.85	1	0.97	16	15.92	0.52
51	0.97	0.98	0.99	0.53	0.98	0.89	0.94	0.9	0.97	0.94	18	18.19	1.07
52	0.99	0.99	0.99	0.93	0.98	0.89	0.99	0.91	0.94	0.97	16	16.31	1.88
53	0.98	0.98	0.98	0.47	0.99	0.86	0.94	0.96	0.96	0.98	16	16.32	1.97
54	0.98	0.98	0.99	0.43	0.98	0.86	0.94	0.97	0.98	1	14	13.82	1.28
55	0.97	1	0.99	0.47	0.97	0.89	0.99	0.9	0.94	0.99	14	13.57	3.17
56	0.98	1.00	0.99	0.53	0.97	0.91	0.95	0.91	0.96	0.99	14.00	14.56	3.83

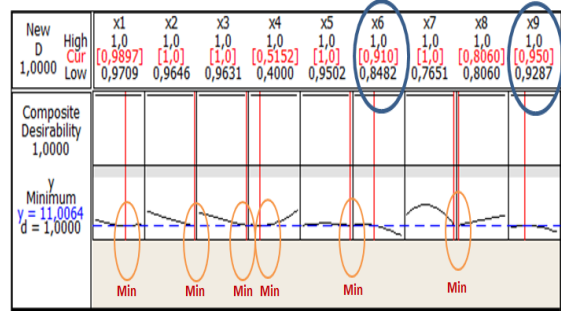
$$\begin{aligned}
 PS = & 906.98 - 2765.15X_1 - 724.25X_2 - 196.64X_3 \\
 & - 5.62X_4 + 474.82X_5 + 78.22X_6 \\
 & + 143.94X_7 + 20.24X_8 + 525.07X_9 \\
 & + 843.32X_{10} + 1396.80X_1^2 + 351.67X_2^2 \\
 & + 85.59X_3^2 + 5.48X_4^2 - 243.92X_5^2 \\
 & - 45.88X_6^2 - 83.84X_7^2 - 8.95X_8^2 \\
 & - 275.49X_9^2 - 470.58X_{10}^2
 \end{aligned} \quad (4)$$

Denklem (4)'te verilen modelin eniyileme amacıyla kullanılabilir olup olmadığının anlaşılabilmesi için, model kurulurken daha önce kullanılmamış deneyler ile doğrulanması gerekir. Bu amaçla Tablo 3'te verilen doğrulama deneyleri yapılmıştır. Tablo 3'te hesaplanan tahmin hataları incelendiğinde değerlerin %0.11-%1.70 arasında değiştiği görülmüştür. Minitab analizlerinde, Denklem (4) için R²(Pred) değeri %91.19 olarak hesaplanmıştır. Yani matematiksel model kurulurken kullanılmayan ve modelin ilk defa gördüğü örneklem için tahmin performansı oldukça yüksektir. Seçilen doğrulama deneyleri için hesaplanan hata değerleri beklenenden de düşüktür. Denklem (4)'te verilen modelin doğruluğu test edildikten sonra izleyen bölümde eniyileme aşamasına geçilmiştir.

4 Eniyileme ve tartışma

PS üzerinde etkili faktörlerden dekor kâğıdının rutubeti (X₆) ve levha rutubeti (X₉) kontrol edilemeyen değişkenlerdir. Final ağırlığı (X₅) ise üretim tamamlandıktan sonra ek işlemlerle istenilen ağırlığa ulaşılabilmesi için kontrol edilebilen değişken olarak kabul edilmektedir. Bu 3 faktörün dışında kalan diğer 7 faktörün seviyeleri ise kontrol edilebilmektedir. Eniyileme aşamasında Minitab istatistiksel analiz programının "Response Optimizer" modülünden yararlanılmıştır. Ancak eniyileme yapabilmeniz için tüm faktörlerin kontrol altında olması gerekir. Çünkü optimum girdi değerleri olarak bulunan sonucun, seviyelerini bizim ayarlayabildiğimiz faktörlerden oluşması gerekir. Bu sorunu çözebilme amacıyla Karaoğlan ve Çelik [13] tarafından önerilen ARSM ile kontrol edilemeyen ve kontrol edilebilen değişkenleri birlikte içeren sistemlerde eniyileme yapmayı sağlayan yöntemden esinlenilmiştir. Bu çalışmadan farklı olarak, deney tasarımı yapılmamış, ancak eniyileme yaparken kontrol edilemeyen değişkenlerin anlamlı değerleri de işlemlere dahil edilmiştir. ARSM yönteminde, eniyileme amacıyla kullanılacak matematiksel model kurulurken, deney tasarımı kontrol edilebilen değişkenler için yapılır. Deney sonuçları gözlenirken, kontrol edilebilen değişkenlerin yanında, çıktı üzerinde etkisi olan kontrol edilemeyen değişkenlerin değerleri de ölçülür ve kaydedilir. Ardından matematiksel model kontrol edilebilen ve

edilemeyen değişkenleri içerecek şekilde kurulur. Eniyileme aşamasında, o an için sistemde gözlenen kontrol edilemeyen değişkenlerin değerleri, elde edilen matematiksel denklemde yerine yazılır ve bu yolla denklem sadece kontrol edilebilen değişkenleri içerecek şekilde indirgenir. Elde edilen yeni denklem kullanılarak eniyileme yapılır ve mevcut şartlar altında kontrol edilebilen değişkenlerin değerinin ne olması gerektiği bulunur. Şartlar değiştiğinde, kontrol edilemeyen değişkenlerin yeni değerleri için yeniden eniyileme yapılarak kontrol edilebilen değişkenlerin yeni değerlerinin ve eniyilenmiş çıktı değerinin güncellenmesi gerekir [13]. Bu çalışmada eniyileme yapılacak parti için ön üretimde kontrol edilemeyen değişkenler olan dekor kâğıdının rutubeti (X₆) ve levha rutubeti (X₉) için değerler sırasıyla 0.91 ve 0.95 olarak ölçülmüştür. Bu durumda Minitab Response Optimizer modülüne X₆ ve X₉ değerleri manuel olarak girildikten sonra, diğer kontrol edilebilen 8 değişkenin değerleri manuel olarak PS enküçüklenmiş olacak şekilde ayarlanmıştır. Elde edilen eniyileme grafiği, Şekil 3'te verilmiştir:



Şekil 3: Eniyileme grafiği.

Şekil 3'te elde edilen sonuçlar incelendiğinde kontrol edilemeyen rutubet değerlerinin modele manuel girilmesinin ardından elde edilen eniyileme grafiğine göre; X₁:0.9897; X₂:1; X₃:1; X₄:0.5152; X₅:1; X₇:1; X₈:0.8060 değerleri için pres süresi (grafikte mavi renk ile işaretli "Y" değeri) 11.0064 saniye olarak bulunmuştur. Ticari gizlilik nedeniyle X₁₀'a ait eniyileme değerine grafikte ve makalede yer verilmemiştir. Elde edilen bu kodlu değerlerin, kodlama yapılırken her sütunu bölmek için kullanılan maksimum değerlerle çarpılmasıyla orijinal üretim parametreleri elde edilmektedir. Bu çalışma ile literatürde ARSM ile yonga levha üretim süreçlerinin eniyilenmesi ilk defa gerçekleştirilmiş ve kabul edilebilir başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca, literatürdeki yaygın kullanımının aksine; yonga levha üretimde pres süresinin girdi yerine çıktı değişkeni olarak kullanılmasının, yonga levha üretim süreçlerinin eniyilenmesinde uygun bir yaklaşım olduğu gözlenmiştir.

Tablo 3: Doğrulama deneyleri.

Deney No	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	Gözlenen PS	Beklenen PS	Hata
											(sn.)	(sn.)	(%)
1	0.98	0.97	0.97	0.53	0.99	0.9	0.79	0.91	0.94	0.97	17.33	17.19	0.83
2	0.97	0.97	0.97	0.53	0.98	1	0.96	0.82	0.94	0.93	18	18.02	0.11
3	0.99	0.97	0.97	0.53	0.97	0.93	0.8	0.91	0.98	0.97	17	16.86	0.85
4	0.97	0.98	0.98	0.57	0.98	0.95	0.98	0.9	0.95	0.99	15	14.75	1.7
5	0.98	0.97	0.97	0.8	0.96	0.89	0.94	0.98	0.98	0.93	20	20.07	0.34

5 Sonuç

Literatürdeki alışmalar genellikle üretim parametrelerinin farklı kombinasyonları için yonga levhanın fiziksel ve mekanik özelliklerini iyileştirmeyi hedeflemişlerdir. Pres süresi çoğunlukla girdi değişkeni olarak kullanılmaktadır. Nadiren süreç parametrelerinin farklı kombinasyonları için levhanın fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimin yanında pres süresi ve üretim hızına etkisi de göz önüne alınmıştır. Ancak bu çalışmalarda da genel olarak pres süresi ikincil bir öneme sahiptir.

Bu çalışmada melamin pres üretim hattında kaliteyi korurken, pres süresini azaltmak ve üretim hızını arttırmak amacıyla ARSM yöntemi kullanılarak, 2 tanesi kontrol edilemeyen olmak üzere toplamda 10 faktörün farklı seviyeleri için gerçekleştirilen 56 deneyin sonucundan yola çıkarak eniyileme gerçekleştirilmiş ve denemelerde en düşük 14 sn. olarak bulunan pres süresi 11 sn. kadar mevcut kalite korunarak düşürülmüştür. Bu alışma ile önerilen yöntem ve elde edilen sonuçlar, üretim süreçlerini geliştirmek isteyen yonga levha üreticileri için kullanılabilir niteliktedir. Gelecek alışma olarak, üretim akışından gözlenen veriler yerine, Karaoğlan ve elik [13] çalışmasında önerilen şekliyle deney tasarlanacak, tasarlanan deneylerden elde edilen sonuçlar için matematiksel model kurma ve eniyileme aşamaları aynı üretim süreci içerisinde tekrar edilecektir.

6 Kaynaklar

- [1] Ashori A, Nourbakhsh A. "Effect of press cycle time and resin content on physical and mechanical properties of particleboard panels made from the underutilized low-quality raw materials". *Industrial Crops and Products*, 28(2), 225-230, 2008.
- [2] Nemli G, Hiziroğlu S. "Effect of press parameters on scratch and abrasion resistance of overlaid particleboard panels". *Journal of Composite Materials*, 43(13), 1413-1420, 2009.
- [3] Akyuz KC, Nemli G, Baharoğlu M, Zekovic E. "Effects of acidity of the particles and amount of hardener on the physical and mechanical properties of particleboard composite bonded with urea formaldehyde". *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 30(3), 166-169, 2010.
- [4] Tabarsa T, Jahanshahi S, Ashori A. "Mechanical and physical properties of wheat straw boards bonded with a tannin modified phenol-formaldehyde adhesive". *Composites Part B-Engineering*, 42(2), 176-180, 2011.
- [5] Trianoski R, Iwakiri S, deMatos JLM, Prata JG. "Feasibility of using of *Acrocarpus fraxinifolius* in different proportion with *Pinus taeda* for production of particleboard". *Scientia Forestalis*, 39(91), 343-350, 2011.
- [6] Iwakiri S, deMatos JLM, Trianoski R, Prata JG. "Production of homogeneous and multilayer particleboard from melia azedarach (cinamomo) and pinta taeda with different resin contents". *Cerne*, 18(3), 465-470, 2012.
- [7] Taghiyari HR, Bibalan OF. "Effect of copper nanoparticles on permeability, physical, and mechanical properties of particleboard". *European Journal of Wood and Wood Products*, 71(1), 69-77, 2013.
- [8] Sulaiman NS, Hashim R, Amini MHM, Sulaiman O, Hiziroğlu S. "Evaluation of the properties of particleboard made using oil palm starch modified with epichlorohydrin". *Bioresources*, 8(1), 283-301, 2013.
- [9] Kord B, Roohani M, Kord B. "Characterization and utilization of reed stem as a lignocellulosic resource for particleboard production". *Maderas-Ciencia Y Tecnologia*, 17(3), 517-524, 2015.
- [10] Bavaneghi F, Ghorbani M. "Mechanical behavior and springback of acetylated particleboard made in different press times". *Wood Material Science & Engineering*, 11(1), 57-61, 2016.
- [11] Box G, Wilson K. "On the experimental attainment of optimum conditions". *Journal of Royal Statistical Society Series B*, 1(13), 1-38, 1951.
- [12] Montgomery DC. *Design and Analysis of Experiments*. 5th ed. New York, USA, John Wiley & Sons Inc., 2001.
- [13] Karaoğlan AD, elik N. "A New Painting Process for Vessel Radiators of Transformer: Wet-on-Wet (WOW)". *Journal of Applied Statistics*, 43(2), 370-386, 2016.
- [14] Karaoğlan AD. "Residual based flow time estimation algorithm for labor intensive project type production systems". *Dokuz Eylöl Üniversitesi Mühendislik Faköltesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 18(54), 580-595, 2016.