

Dijital görüntü korelasyon yöntemi ile farklı mobilya birleştirmelerin mekanik davranışlarının belirlenmesi

Timuçin Bardak^{a,*}, Eser Sözen^b, Kadir Kayahan^a, Selahattin Bardak^c , Deniz Aydemir^b , Hüseyin Peker^d 

Özet: Küresel rekabetin yoğunlaşması ile bütün endüstrilerde araştırma ve geliştirme çalışmaları kritik bir konu haline dönüşmüştür. Mobilya endüstrisinde dayanıklı ve kaliteli üretim için birleştirmelerin deformasyon davranışlarını anlamak önemlidir. Mekanik biliminde optik yöntemler temasız olarak katı malzemeler hakkında hızlı ve doğru bilgi verir. Bu çalışmada, dijital görüntü korelasyon yöntemi (DIC) kullanılarak basma ve çekme yükleri altında farklı mobilya birleştirmelerinin mekanik özellikleri ve deformasyonu analiz edilmiştir. Analiz için kutu konstrüksiyonlu mobilyada yaygın olarak kullanılan kelebek, tırnaklı trapez, minifixli birleştirme metotları seçilmiştir. Mobilya Birleştirmelerinin oluşturulmasında orta yoğunluklu lif levha (MDF), yonga levha (YL) ve lamine kaplı yonga levha (LY) kullanılmıştır. Çalışma sonucunda birleştirme türünün ve malzeme tipinin gerilme ve yer değiştirme (deformasyon) miktarını etkilediği saptanmıştır. Deney sonuçlarına göre, malzeme türünde en yüksek basma ve çekme direncini Lif levha vermiştir. Birleştirme çeşidinde kelebek bağlantı en iyi sonucu vermiştir. DIC yönteminin mobilya tasarımında birleştirmelerin optimizasyonu için yararlı bir araç olarak kullanılabilceği bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: Görüntü analizi, Mobilya birleştirme elemanları, Deformasyon analizi, Diyagonal çekme ve basma direnci

Determination of mechanical behaviors of different furniture assemblies by digital image correlation method

Abstract: Research and development work has become a critical issue in all industries, with the intensification of global competition. It is important for the furniture industry to understand the deformation behavior of joints for durable and quality production. Optical methods in mechanical science provide quick and accurate information about solid materials without contact. In this study, the mechanical properties and deformation behaviors on different furniture joint were analyzed under bending and tensile loads using digital image correlation method (DIC). The commonly used butterfly, nailed trapeze and minifix joining methods have been chosen for analyses in the boxed construction furniture. Medium density fiberboard (MDF), particleboard (YL) and laminar coated particleboard (LY) were used to form the furniture joints. As a result of the study, it was determined that the joint and material types affected the amount of strain and displacement. According to the results of the experiment, the highest tensile and tensile strength of the material type is given by the Fibreboard. The butterfly joint in the joint type has the best result. It has been found that the DIC method can be used as a useful tool for the optimization of joints in the furniture design.

Keywords: Image analysis, Furniture joining elements, Deformation analysis, Diagonal tension and compression strength

1. Giriş

Mobilya imalatında tüketilen odun kökenli malzemeleri; masif ağaç malzeme ve levha ürünleri olarak iki sınıfta toplanabilir. Levha ürünleri; yonga levha, lif levha, kontrplak ve kontratabla olarak literatürde açıklanmaktadır. Bunun yanında, kaplama levhalarının üst yüzeylerinde de tüketildiği bildirilmektedir. Mobilya imalatı için levha ürünleri son derece önemlidir (Kurtoğlu vd., 1990). Ülkemiz yonga levha üretiminin takribi %75'nin mobilya endüstrisinde tüketildiği açıklanmaktadır (Gümüşkaya, 1982). Lif levhalar ise ikinci sırada bulunmaktadır.

Mutfak masa ve sandalyelerinde, kalite olarak daha düşük olduğu için suntalam tercih edilmemektedir (İçel vd., 2017).

Mobilya ürünleri kullanım yerine göre direk ya da dolaylı olarak farklı zorlamaların etkisi altında kalmaktadır. Bu zorlamalar, mobilyayı meydana getiren elemanlar üzerinde çeşitli deformasyonlar oluşturabilmektedir (Güray vd., 2002). Yükün etkisine bağlı olarak mobilya köşe birleştirme yerlerinde veya elemanlarında açılma, eğilme ya da kırılma gibi deformasyonlar meydana gelebilmektedir (Efe ve Kasal, 2000; Taştekin ve Özyurt, 2001). Mobilya ürününde oluşan bu deformasyonların minimuma indirebilmek için, dizayn ve imalat işlemlerinde farklı konstrüksiyonlar kullanılmaktadır (Efe ve Kasal, 2000).

Mekanik bağlantılar, demonte dolaplarda, ünitelerini birbirine tutturmakta ve aynı zamanda ayak-kayıt birleştirmelerde kullanılmaktadır. Bu bağlantılar mobilyada kullanıldıkları yere, konuma veya şekillerine göre farklılık gösterir (Efe, 1994).

✉ ^a Mobilya ve Dekorasyon Programı, Bartın Meslek Yüksekokulu, Bartın, Türkiye

^b Orman Endüstri Mühendisliği, Orman Fakültesi, Bartın, Türkiye

^c Endüstri Mühendisliği, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Sinop, Türkiye

^d Orman Endüstri Mühendisliği, Orman Fakültesi, Artvin, Türkiye

@ * **Corresponding author** (İletişim yazarı): timucinb@bartin.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 22.05.2018, **Accepted** (Kabul tarihi): 12.11.2018



Citation (Atıf): Bardak, T., Sözen, E., Kayahan, K., Bardak, S., Aydemir, D., Peker, H., 2018. Dijital görüntü korelasyon yöntemi ile farklı mobilya birleştirmelerin mekanik davranışlarının belirlenmesi. Turkish Journal of Forestry, 19(4): 419-427.
DOI: [10.18182/tjf.426005](https://doi.org/10.18182/tjf.426005)

Dijital Görüntü Korelasyonu, bir nesnenin yüzeyinin dijital görüntülerini yakalayabilen ve daha sonra tam alan deformasyonu ve ölçümleri elde etmek için görüntü analizi gerçekleştiren temassız, optik bir yöntemdir (Pan vd., 2009). Literatürde görüntülerin elde edilmesinde ve analizinde çeşitli yazılımların ve kameraların kullanıldığı bildirilmektedir (Güller ve Fakir, 2009). Dijital görüntü korelasyonu yöntemi, deneysel dünyanın önemli bir parçası olmuştur ve birçok dijital görüntü korelasyonu yöntemi geliştirilmiştir (Matsumoto vd., 2013; Tasdemir, 2015). Dijital görüntü korelasyonu analizini, deformasyonu ölçen diğer yöntemlerden ayıran özellik kameranın kullanılmasıdır (Berfield vd., 2007; McCormick ve Lord, 2010). Dijital görüntü korelasyonu deforme olmuş yüzeylerin görüntülerini kaydetme yeteneğine sahip olmasının yanında yük altında gerilen malzemenin doğru analizini yapabilir. Elde edilen sonuçların kalitesi esas olarak iki faktöre bağlıdır: kameranın çözünürlüğü ve numunedeki leke deseninin kalitesidir (Pan vd., 2009; Berfield vd., 2007; McCormick ve Lord, 2010). Çalışmada Dijital görüntü korelasyon yönteminden faydalanarak en yaygın olarak kullanılan farklı birleştirmeler (minifix, trapez, kelebek) ve malzemelerden (orta yoğunlukta lif levha, yonga levha, kaplamalı yonga levha) oluşturulmuş mobilya birleştirmelerinin deformasyon davranışları analiz edilmiştir. Aynı zamandan birleştirmelerin mekanik özellikleri belirlenmiştir.

2. Materyal ve yöntem

2.1. Materyal

Çalışma kapsamında ham yonga levha (sunta) kaplamalı yonga levha ve ham MDF (medium density fiberboard) ahşap kompozit levhalar kullanılmıştır. Ahşap kompozitler plakalar halinde (183x366x1,8 cm boyutlarında) temin edilmiş ve köşe birleştirmelerinin ölçüleri olan 270x150 mm ve 270x132 mm boyutlarına getirilmiştir. Üç farklı köşe birleştirme elemanı kullanılarak köşe birleştirmeler gerçekleştirilmiştir. Şekil 1'de çalışmada kullanılan köşe birleştirme elemanları gösterilmiştir.

Çalışmada üç farklı malzeme (ham yonga levha, kaplamalı yonga levha ve MDF) ve üç farklı birleştirme türü (kelebek, tırnaklı trapez ve minifix) kullanılarak iki farklı test (diyagonal çekme ve diyagonal basma) için on adet örnek üretilmiş ve toplamda (3x3x2x10=180) 180 adet birleştirme yapılmıştır.

2.2. Metod

2.2.1. Diyagonal basma direnci testi

Diyagonal basma testlerinde uygulanan kuvvet malzemeleri sıkıştırmaya yöneliktir. Bu yüzden çekme testinden farklı olarak bu testte tabanda bulunan mesnet sabittir. Çekme direnci testinde olduğu gibi Universal test makinesinde 2 mm/dak hızla gerçekleştirilen testler basma direnci testlerine de uygulanmıştır. Kırılma anındaki maksimum kuvvet (Fmax) ve mesnetler arası mesafe, diğer bir deyişle kuvvet kolu (db=106) dotaları kullanılarak dış moment taşıma kapasiteleri (Mb) aşağıdaki eşitlikten faydalanılarak hesaplanmıştır (Denklem 1). Şekil 2'de

çalışmalarda kullanılan diyagonal basma direnci test konfigürasyonu gösterilmiştir.

$$M_b = (F_{max}) \times db \quad (N.m) \quad (1)$$

Çekme direnci testlerinde mesnetlerin ikisi de hareketli olup, deney sırasında bir birinden uzaklaşmaktadırlar. Testler, Universal test makinesinde 2 mm/dak hızla gerçekleştirilmiştir. Yüklemeler zamana bağlı olarak kaydedilmiş ve kırılma anındaki maksimum kuvvet (Fmax) ve mesnetler arasındaki mesafe (dç) kullanılarak dış moment taşıma kapasiteleri (Mç) aşağıdaki eşitlikten yararlanılarak hesaplanmıştır (Denklem 2).

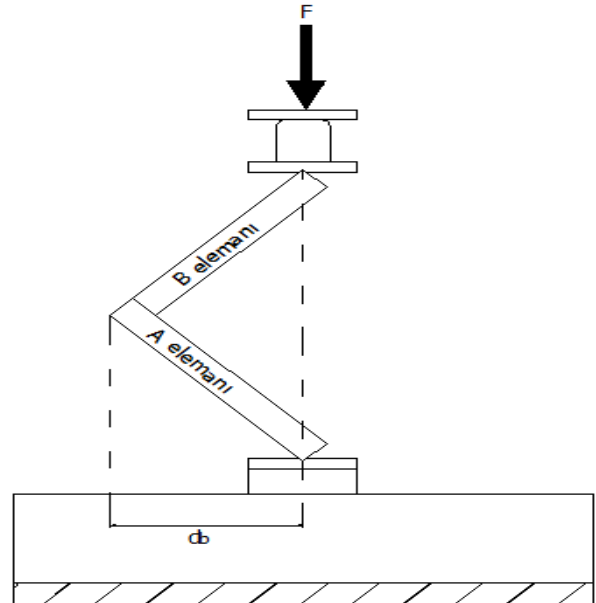
$$M_{\check{c}} = (F_{max}/2) \times (d_{\check{c}}) \quad (N.m) \quad (2)$$

2.2.2. Diyagonal çekme direnci testi

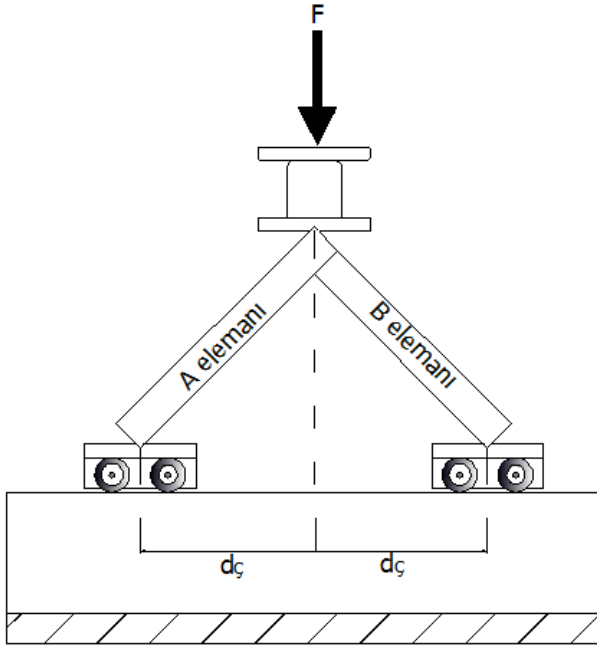
Diyagonal çekme direnci testi, adını test esnasında malzemede oluşan çekme kuvvetinden almaktadır. Diyagonal (diagonal=köşegen) kelimesi ise uygulanan kuvvetin köşelerden olmasından dolayıdır. Şekil 3'te çalışmalarda kullanılan diyagonal çekme direnci test konfigürasyonu gösterilmiştir.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan köşe birleştirme elemanları; (a) kelebek, (b) tırnaklı trapez (çektirmeli), (c) minifix (çektirmeli)



Şekil 2. Diyagonal basma direnci test konfigürasyonu

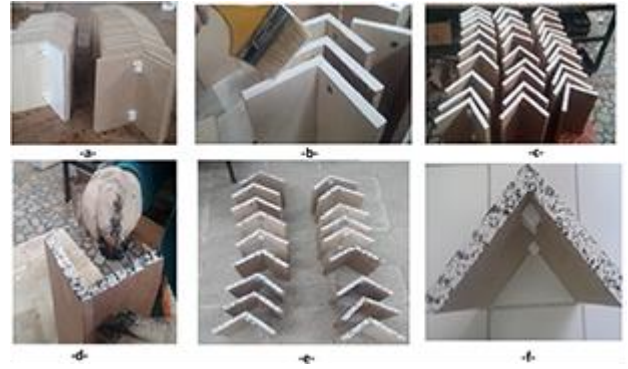


Şekil 3. Diyagonal çekme direnci test konfigurasyonu

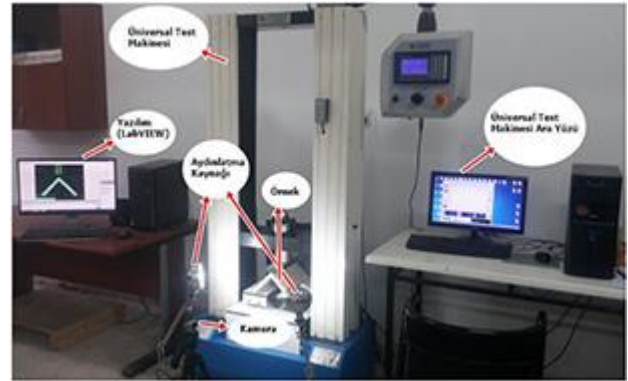
2.2.3. Görüntü analizi örneklerinin hazırlanması

Diyagonal çekme ve basma testlerinde örneklerde meydana gelen deformasyonlar dijital kamera (Basler ace camera, renkli, 1624 x 1234 mega piksel, 20 fps) ile kaydedilmiş ve Labview yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir (Bardak vd., 2017). Görüntü analizi uygulanacak örneklerin (Şekil 4-a) üzerinde ilk olarak deformasyonun belirleneceği yüzey beyaz bir alçı, macun veya boya ile kaplanır. Bu çalışmada lake macunu tercih edilmiş ve fırça yardımıyla (Şekil 4-b) deformasyonun belirleneceği yüzeylere uygulanmıştır. Lake macunları sürülen örnekler kuruması için oda sıcaklığında 2 saat bekletilmiştir (Şekil 4-c). Daha sonra boyalı alanlar yumuşak tel kullanılarak siyah yağlı boyaya bastırılarak boyalı alan üzerinde rast gele desenler oluşturulmuştur (Şekil 4-d). Görüntü analizi kamerası, zıt renkler üzerine (siyah-beyaz) yapılan bu desenleri algılayarak test esnasında yer değiştirme mesafelerini ölçerek deformasyonun belirlenmesini sağlamaktadır. Siyah yağlı boya ile oluşturulan desenler tekrar oda sıcaklığı ortamında 2 saat kurumaya bırakılmış (Şekil 4-e) ve görüntü analizinde kullanılacak örnekler elde edilmiştir (Şekil 4-f). Görüntü analizi için örnek hazırlama aşamaları Şekil 4'de gösterilmiştir.

Görüntü analizi sistemi Üniversal test makinesine entegre olarak çalışmaktadır. Test sırasında meydana gelen değişimler kamera ile takip edilerek anlık kareler olarak kaydedilir. Şekil 5'de görüldüğü gibi analizin gerçekleştirilmesi için birçok ana ve yardımcı eleman bulunmaktadır. Üniversal test makinesi; direnç dayanımını sayısal olarak ölçmeye yarar. Aydınlatma kaynağı olarak kullanılan ışıklar ise zıt renkler üzerinde daha net görüntü almasını sağlar.



Şekil 4. Görüntü analizi için örnek hazırlama aşamaları



Şekil 5. Görüntü analizi sistemi ve elemanları

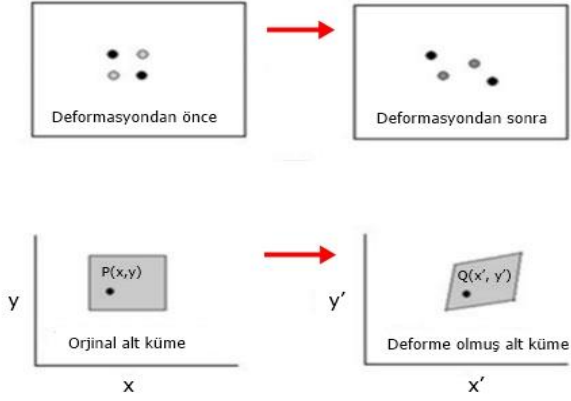
LabVIEW Vision Builder yazılımı ile elde edilen görüntüler Matlab tabanlı Ncorr yazılımı kullanılarak yer değiştirme ve gerilme alanları belirlenmiştir. Ncorr yazılımı yüzeyinde rastgele desen bulunan herhangi bir malzemede kullanılabilir (Blaber vd., 2015; Ghani vd., 2016). DIC yöntemi malzeme üzerinde oluşturulan rastgele desenlerin takibine dayanmaktadır. Deney başlangıcındaki desenin konumu ile deney sonucu desenin konumunun karşılaştırılması ile malzemelerin deformasyon davranışları belirlenir.

DIC yönteminde bir yük uygulanmadan önce takip edilecek koordinatlar (x_p , y_p) ve yüklenmeden sonra yeni pozisyonlar (x_p' , y_p') olarak gösterilebilir (Ab Ghani vd., 2016). Şekil 6'da deformasyon oluşmadan önce referans alt küme ve yüklenmeden sonra hedef alt kümesini gösterilmiştir.

Deformasyondan önceki koordinatlarla ilişkili yer değiştirme pozisyonlarını hesaplamak için korelasyon algoritmalarının arkasındaki denklemler aşağıda gösterilmiştir:

$$\begin{aligned} x_q' &= x_q + u_p = \frac{\partial u_p}{\partial x} \Delta x_q + \frac{\partial u_p}{\partial y} \Delta y_q \\ y_q' &= y_q + v_p = \frac{\partial v_p}{\partial y} \Delta y_q + \frac{\partial v_p}{\partial x} \Delta x_q \end{aligned} \quad (3)$$

Denklemden u_p ve v_p , yer değiştirme vektör noktası P'nin x ve y bileşenleridir. Bu duruma göre, x_q ve y_q , yüklenmeden önce Q'nün koordinatlarıdır (Berfield vd., 2007).



Şekil 6. Dijital görüntü korelasyonu deformasyon çalışma prensibi (Pan vd., 2009).

3. Bulgular ve tartışma

3.1. Basınç ve çekme testi

Yonga levha, lamine kaplı yonga levha ve orta yoğunlukta lif levhadan hazırlanmış 18 mm kalınlığındaki L-tipi birleştirmelere uygulanan diyagonal çekme ve basınç

deneyleri sonucunda elde edilen ortalama moment taşıma değerleri Çizelge 1’de gösterilmiştir.

Malzeme tipinin ve birleştirme türünün mobilya birleştirmelerin basınç direnci üzerine etkilerini belirlemek için çoklu varyans analizi yapılmış ve sonuçları Çizelge 2’de verilmiştir.

Çoklu varyans analizleri sonuçlarına göre malzeme tipinin ve birleştirme türünün mobilya birleştirmelerin basınç direnci üzerindeki etkisi 0,05 hata payı ile istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Gruplar arasındaki farklılıkları belirlemek için elde edilen verilere Duncan Testi uygulanmıştır. Birleştirme türü faktörünün basınç direnci üzerindeki etkilerine ait Duncan testi sonuçları Çizelge 3’de gösterilmiştir.

Basınç testinde birleştirme türü açısından sonuçlar değerlendirildiğinde gruplar arasında fark anlamlı çıkmıştır. Malzeme tipinin basınç direnci üzerindeki etkilere ait Duncan testi sonuçları Çizelge 4’te gösterilmiştir.

Basınç testinde malzeme tipi açısından sonuçlar değerlendirildiğinde gruplar arasında fark anlamlı çıkmıştır. Malzeme tipinin ve birleştirme türünün mobilya birleştirmelerin çekme direnci üzerine etkilerini belirlemek için çoklu varyans analizi yapılmış ve sonuçları Çizelge 5’te verilmiştir.

Çizelge 1. Diyagonal çekme ve basınç deneyleri sonucunda elde edilen ortalama moment taşıma değerleri

Köşe birleştirme elemanları	Örnek kodları	Yoğunluk (gr/cm ³)	Çekme direnci		Basınç direnci	
			(N.m)	S (±)	(N.m)	S (±)
Melamin kaplı yonga levha(Lamine)-Trapez birleştirme	LT	0,61	46,53	7,93	18,63	1,49
Melamin kaplı yonga levha(Lamine)-Minifix birleştirme	LM		15,26	1,85	12,92	1,06
Melamin kaplı yonga levha(Lamine)-Kelebek birleştirme	LK		49,34	4,42	19,19	2,59
MDF- Trapez birleştirme	MT	0,72	57,99	9,54	27,46	1,63
MDF- Minifix birleştirme	MM		23,17	2,60	17,36	1,48
MDF- Kelebek birleştirme	MK		83,68	12,58	28,17	2,53
Yonga levha - Trapez birleştirme	YT	0,59	52,67	7,93	16,59	1,30
Yonga levha - Minifix birleştirme	YM		15,26	1,84	9,58	1,25
Yonga levha - Kelebek birleştirme	YK		49,34	4,42	20,83	2,85

Çizelge 2. Malzeme tipinin ve birleştirme türünün mobilya birleştirmelerin basınç direnci üzerine etkilerine ait çoklu varyans analizi sonuçları.

Varyans kaynakları	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F değeri	Önem düzeyi
Corrected model	2934,946 ^a	8	366,868	101,073	,000
Intercept	32393,172	1	32393,172	8,924E3	,000
Birleştirme türü	1503,662	2	751,831	207,131	,000
Malzeme tipi	1317,605	2	658,802	181,501	,000
Birleştirme * malzeme	113,680	4	28,420	7,830	,000
Error	294,009	81	3,630		
Total	35622,127	90			
Corrected Total	3228,955	89			

a. R Squared = ,909 (Adjusted R Squared = ,900)

Çizelge 3. Basınç direncinde birleştirme türüne ait Duncan sonuçları.

Birleştirme türü	Ortalama basınç direnci (N.m)	Duncan testi
Minifix	13,25	A
Tırnaklı trapez	20,90	B
Kelebek	22,73	C

Çizelge 4. Basınç testinde malzeme tipine ait Duncan sonuçları.

Malzeme tipi	Ortalama basınç direnci (N.m)	Duncan testi
Yonga Levha	15,67	A
Kaplamalı Yonga Levha	16,91	B
Orta Yoğunluklu Lif Levha	24,33	C

Çizelge 5. Malzeme tipinin ve birleştirme türünün mobilya birleştirmelerin çekme direnci üzerine etkilerine ait çoklu varyans analizi sonuçları.

Varyans kaynakları	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F değeri	Önem düzeyi
Corrected Model	41468,050 ^a	8	5183,506	112,154	,000
Intercept	173738,761	1	173738,761	3,759E3	,000
Birleştirme türü	33205,048	2	16602,524	359,223	,000
Malzeme tipi	5571,794	2	2785,897	60,277	,000
Birleştirme * Malzeme	2691,207	4	672,802	14,557	,000
Error	3743,648	81	46,218		
Total	218950,458	90			
Corrected Total	45211,697	89			

a. R Squared = ,917 (Adjusted R Squared = ,909)

Çoklu varyans analizi sonuçlarına göre malzeme tipinin ve birleştirme türünün mobilya birleştirmelerin çekme direnci üzerindeki etkisi 0,05 hata payı ile istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. İkili etkileşimlerden malzeme tipi ve birleştirme türü etkileşimi çekme direnci üzerine istatistikî olarak anlamlı bulunmuştur. Gruplar arasındaki farklılıkları belirlemek için elde edilen verilere Duncan Testi uygulanmıştır. Birleştirme türü faktörünün çekme direnci üzerindeki etkileri ait Duncan testi sonuçları Çizelge 6'da gösterilmiştir.

Basınç testinde malzeme tipi açısından sonuçlar değerlendirildiğinde gruplar arasında fark anlamlı çıkmıştır. Malzeme tipinin çekme direnci üzerindeki etkileri ait Duncan testi sonuçları Çizelge 7'de gösterilmiştir.

Çekme testinde malzeme tipi açısından sonuçlar değerlendirildiğinde gruplar arasında fark anlamlı çıkmıştır. Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde en yüksek basınç ve çekme direnci değerleri Kelebek birleştirmelerde, en düşük ise minifix birleştirmelerde görülmüştür. Bu durum minifixli birleştirmede kuvvete direnç gösteren alanın soket-vida dış yüzeyi ile sınırlı olmasının bu sonuçlar üzerinde etkili olduğu düşünülebilir (Efe vd., 2012). Yapılan bir çalışmada basınç ve çekme testinde trapez+kavala ile üretilen birleştirmelerin kavala+minifiks ile üretilenlere göre daha dayanıklı olduğu vurgulanmıştır (Demirci vd., 2011). Gerçekleştirilen çalışmada orta yoğunlukta lif levha ile üretilen birleştirmelerin çekme ve basınç direnci değerleri yonga levha ve lamine kaplı yonga levhalardan üretilenlere göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durum lif levha yoğunluğunun yonga levha yoğunluğuna göre fazla olmasından kaynaklandığı belirtilmiştir (Efe ve İmirzi, 2008).

Çizelge 6. Çekme direncinde birleştirme türüne ait Duncan sonuçları.

Birleştirme türü	Ortalama basınç direnci (N.m)	Duncan testi
Minifix	17,35	A
Tırnaklı trapez	52,39	B
Kelebek	62,06	C

Çizelge 7. Çekme testinde malzeme tipine ait Duncan sonuçları.

Malzeme tipi	Ortalama basınç direnci (N.m)	Duncan testi
Yonga levha	37,0	A
Kaplamalı yonga levha	39,82	A
Orta yoğunlukta lif levha	54,95	B

Literatürde birleştirmelerde orta yoğunlukta lif levhadan elde edilen çekme ve basınç direnci değerleri, yonga levhaya göre daha yüksek olduğu açıklanmıştır (Malkoçoğlu ve Yerlikaya, 2014). Buna göre; çalışma literatür sonuçları ile uyumaktadır.

3.2. DIC (Digital Image Correlation) yöntemine dayalı yer değiştirme ve gerinim alanları

Bu bölümde, farklı bağlantı elemanı ve malzeme konfigürasyonlarından oluşan mobilya birleştirmelerinin çekme ve basınç testlerinden elde edilen DIC yöntemine dayalı yer değiştirme ve gerinim alanları sunulmaktadır.

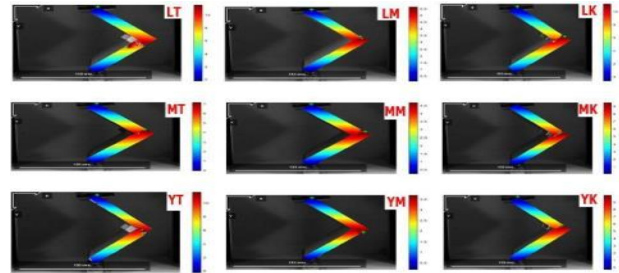
Şekil 7'de, basınç testinde maksimum yük (N) altındaki örnekler için elde edilen x yönü [mm] boyunca yer değiştirmeler gösterilmiştir.

Şekil 8'de, basınç testinde maksimum yük (N) altındaki örnekler için elde edilen x yönü [mm] boyunca yer değiştirmeler gösterilmiştir.

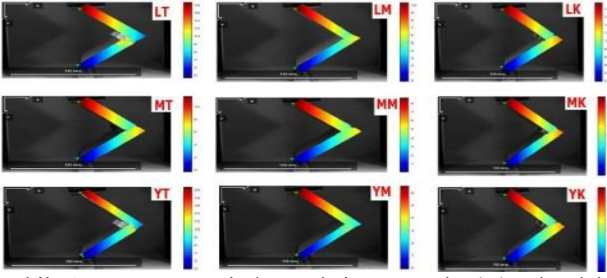
Şekil 9'da, basınç testinde maksimum yük (N) altındaki örnekler için elde edilen E_{xx} (x yönünde) gerilim dağılımı gösterilmiştir.

Şekil 10'da, basınç testinde maksimum yük (N) altındaki örnekler için elde edilen E_{xy} (kesme) gerilim dağılımı gösterilmiştir.

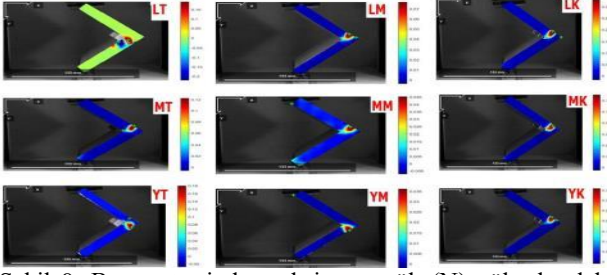
Şekil 11'de, basınç testinde maksimum yük (N) altındaki örnekler için elde edilen E_{yy} (y yönünde) gerilim dağılımı gösterilmiştir.



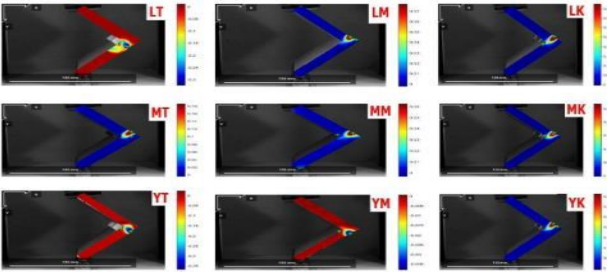
Şekil 7. Basınç testinde maksimum yük (N) altındaki örnekler için elde edilen x yönü [mm] boyunca yer değiştirmeler.



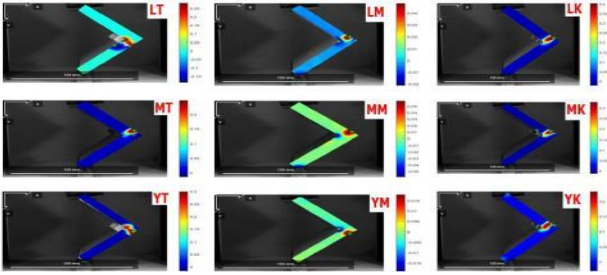
Şekil 8. Basınç testinde maksimum yük (N) altındaki örnekler için elde edilen y yönü [mm] boyunca yer değiştirmeler.



Şekil 9. Basınç testinde maksimum yük (N) yük altındaki örnekler için elde edilen ϵ_{xx} (x yönünde) gerilim dağılımı.



Şekil 10. Basınç testinde maksimum yük (N) yük altındaki örnekler için elde edilen ϵ_{xy} (kesme) gerilim dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 11. Basınç testinde maksimum yük (N) yük altındaki örnekler için elde edilen ϵ_{yy} (y yönünde) gerilim dağılımı gösterilmiştir.

Çizelge 8'de, basınç testinde maksimum yük (N) altındaki örnekler için elde edilen y ve x yönü boyunca yer değiştirme değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 9'da, basınç testinde maksimum yük (N) altındaki örnekler için elde edilen ϵ_{xx} (x yönünde), ϵ_{xy} (kesme) ve ϵ_{yy} (y yönünde) gerilim değerleri gösterilmiştir.

Şekil 12'de çekme testinde maksimum yük (N) altındaki örnekler için elde edilen x yönü [mm] boyunca yer değiştirmeler gösterilmiştir.

Şekil 13'de çekme testinde maksimum yük (N) altındaki örnekler için elde edilen x yönü [mm] boyunca yer değiştirmeler gösterilmiştir.

Şekil 14'te çekme testinde maksimum yük (N) altındaki örnekler için elde edilen ϵ_{xx} (x yönünde) gerilim dağılımı gösterilmiştir.

Çizelge 8. Basınç testinde maksimum yük (N) altındaki örnekler için elde edilen y ve x yönü boyunca yer değiştirme değerleri

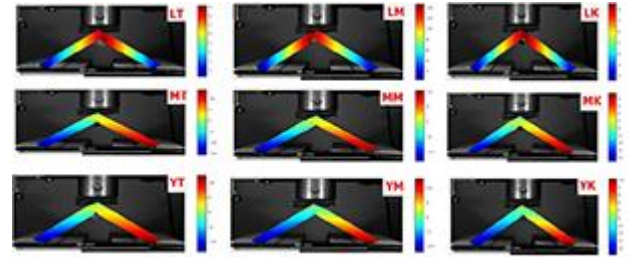
Örnek Kodu	Yer Değiştirme (mm)			
	x yönü		y yönü	
	Mak	Min	Mak	Min
LT	10,00	0,00	18,00	0,00
LM	5,50	0,50	10,00	0,00
LK	10,00	0,00	18,00	0,00
MT	7,00	0,00	10,00	0,00
MM	4,50	0,50	8,00	1,00
MK	9,00	1,00	16,00	0,00
YT	10,00	0,00	20,00	0,00
YM	3,50	0,50	6,00	0,00
YK	9,00	0,00	16,00	0,00

Mak=Maksimum Min=Minimum

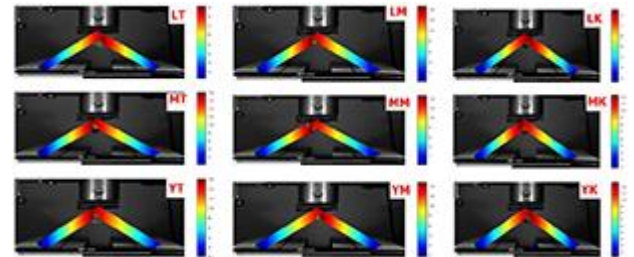
Çizelge 9. Basınç testinde maksimum yük (N) altındaki örnekler için elde edilen ϵ_{xx} (x yönünde), ϵ_{xy} (kesme) ve ϵ_{yy} (y yönünde) gerilim değerleri

Örnek kodu	Gerilim dağılımı					
	ϵ_{xx}		ϵ_{xy}		ϵ_{yy}	
	Mak	Min	Mak	Min	Mak	Min
LT	0,15	-0,20	0,00	-0,30	0,25	-0,15
LM	0,07	0,00	0,07	0,00	0,04	-0,02
LK	0,30	0,00	0,40	0,00	0,40	0,00
MT	0,12	0,00	0,18	0,00	0,20	0,00
MM	0,05	-0,01	0,06	0,00	0,05	-0,05
MK	0,12	0,00	0,25	0,00	0,30	0,00
YT	0,18	-0,02	0,00	-0,35	0,30	0,00
YM	0,04	0,00	0,00	-0,04	0,02	-0,02
YK	0,35	0,00	0,35	0,00	0,20	0,00

Mak=Maksimum Min=Minimum



Şekil 12. Çekme testinde maksimum yük (N) altındaki örnekler için elde edilen x yönü [mm] boyunca yer değiştirmeler.



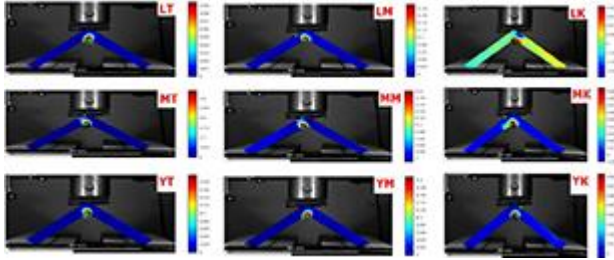
Şekil 13. Çekme testinde maksimum yük (N) altındaki örnekler için elde edilen y yönü [mm] boyunca yer değiştirmeler.

Şekil 15'de çekme testinde maksimum yük (N) altındaki örnekler için elde edilen ϵ_{xy} (kesme) gerilim dağılımı gösterilmiştir.

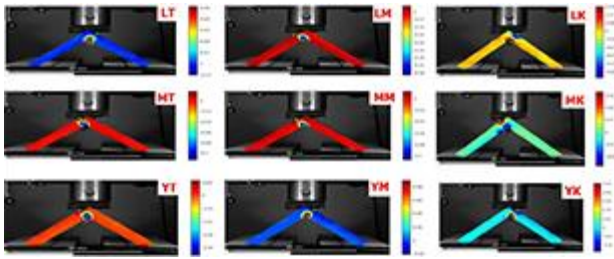
Şekil 16'da çekme testinde maksimum yük (N) altındaki örnekler için elde edilen ϵ_{yy} (y yönünde) gerilim dağılımı gösterilmiştir.

Çizelge 10'da, çekme testinde maksimum yük (N) altındaki örnekler için elde edilen y ve x yönü boyunca yer değiştirme değerleri gösterilmiştir.

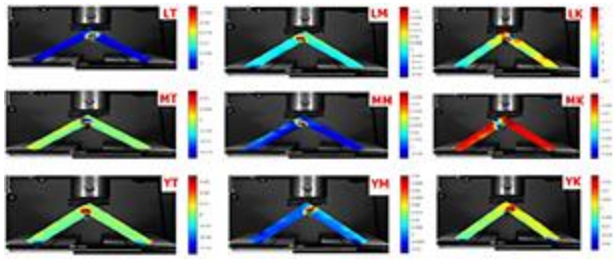
Çizelge 11'de, çekme testinde maksimum yük (N) altındaki örnekler için elde edilen ϵ_{xx} (x yönünde), ϵ_{xy} (kesme) ve ϵ_{yy} (y yönünde) gerilim değerleri gösterilmiştir.



Şekil 14. Çekme testinde maksimum yük (N) yük altındaki örnekler için elde edilen ϵ_{xx} (x yönünde) gerilim dağılımı.



Şekil 15. Çekme testinde maksimum yük (N) yük altındaki örnekler için elde edilen ϵ_{xy} (kesme) gerilim dağılımı.



Şekil 16. Çekme testinde maksimum yük (N) yük altındaki örnekler için elde edilen ϵ_{yy} (y yönünde) gerilim dağılımı.

Çizelge 10. Çekme testinde maksimum yük (N) altındaki örnekler için elde edilen y ve x yönü boyunca yer değiştirme değerleri

Örnek kodu	Yer değiştirme (mm)			
	x yönü		y yönü	
	Mak	Min	Mak	Min
LT	9,00	2,00	9,00	2,00
LM	14,00	2,00	14,00	2,00
LK	8,00	2,00	8,00	2,00
MT	10,00	-15,00	18,00	2,00
MM	10,00	-10,00	14,00	2,00
MK	8,00	-8,00	12,00	2,00
YT	10,00	-10,00	16,00	0,00
YM	10,00	-10,00	14,00	0,00
YK	10,00	-8,00	12,00	2,00

Mak=Maksimum Min=Minimum

Çizelge 11. Çekme testinde maksimum yük (N) altındaki örnekler için elde edilen ϵ_{xx} (x yönünde), ϵ_{xy} (kesme) ve ϵ_{yy} (y yönünde) gerilim değerleri

Örnek kodu	Gerilim dağılımı					
	ϵ_{xx}		ϵ_{xy}		ϵ_{yy}	
	Mak	Min	Mak	Min	Mak	Min
LT	0,09	0,00	0,05	-0,01	0,03	0,00
LM	0,18	0,00	0,00	-0,08	0,03	-0,02
LK	0,02	-0,02	0,02	-0,03	0,01	-0,01
MT	0,30	0,00	0,00	-0,10	0,01	-0,02
MM	0,20	0,00	0,00	-0,10	0,04	-0,01
MK	0,09	-0,01	0,03	-0,02	0,00	-0,04
YT	0,18	0,00	0,02	-0,08	0,03	-0,03
YM	0,20	0,00	0,08	-0,02	0,04	-0,01
YK	0,08	0,00	0,05	-0,02	0,02	-0,02

DIC yöntemi ile elde edilen deformasyon ve gerilim haritaları incelendiğinde aşağıdaki sonuçlara varılmaktadır.

1. Basınç testinde maksimum yük (N) altında x yönü [mm] boyunca yer değiştirme haritaları tüm birleştirmelerde benzerlik göstermektedir. Minifixli birleştirmelerde diğer birleştirme türlerine göre yer değiştirme değeri daha az olmuştur. Malzemeler açısından bakıldığında maksimum yük (N) altında orta yoğunluklu lif levhada yer değiştirme en az miktarda gözlemlenmiştir.
2. Basınç testinde maksimum yük (N) altında y yönü [mm] boyunca yer değiştirme haritaları tüm birleştirmelerde benzerlik göstermektedir. Kelebek birleştirmelerde en yüksek yer değiştirme değerleri görülmüştür.
3. Basınç testinde maksimum yük (N) altındaki örnekler için elde edilen ϵ_{xx} (x yönünde) gerilim dağılımı incelendiğinde tüm birleştirmelerde en yüksek gerilim değerleri iki parçanın birleşim yerlerinde görülmektedir.
4. Basınç testinde maksimum yük (N) altındaki örnekler için elde edilen ϵ_{xy} (kesme) gerilim dağılımı incelendiğinde minifix ve orta yoğunluklu lif levhadan oluşturulan birleştirmelerde diğer birleştirmelere göre daha homojendir.
5. Basınç testinde maksimum yük (N) altındaki örnekler için elde edilen ϵ_{yy} (y yönünde) gerilim dağılımları incelendiğinde minifixli birleştirmeler diğer birleştirmelerden farklı olarak birleşme yerinde iki ayrı noktada en yüksek gerilim oluştuğu görülmüştür.
6. Çekme testinde maksimum yük (N) altında x yönü [mm] boyunca yer değiştirme haritaları tüm birleştirmelerde benzerlik göstermektedir. minifix ve lamine kaplı yonga levha ile üretilen birleştirmelerde diğer birleştirme türlerine göre yer değiştirme değeri daha yüksek bulunmuştur.
7. Çekme testinde maksimum yük (N) altında y yönü [mm] boyunca yer değiştirme haritaları tüm birleştirmelerde benzerlik göstermektedir. kelebek birleştirmelerde en düşük yer değiştirme değerleri görülmüştür.
8. Çekme testinde maksimum yük (N) altındaki örnekler için elde edilen ϵ_{xx} (x yönünde) gerilim dağılımı incelendiğinde tüm birleştirmelerde en yüksek gerilim değerleri iki parçanın birleşim yerlerinde görülmektedir. Malzemeler açısından maksimum (N) yük altında bakıldığında lamine kaplı yonga levhalarda gerilim en az miktarda olmuştur.
9. Çekme testinde maksimum yük (N) altındaki örnekler için elde edilen ϵ_{xy} (kesme) gerilim dağılımı

incelendiğinde tüm birleştirmelerde iki parçasının birleşim yerlerinde en yüksek olduğu görülmüştür.

10. Çekme testinde maksimum yük (N) altındaki örnekler için elde edilen ϵ_{yy} (y yönünde) gerilim dağılımları incelendiğinde genel olarak orta yoğunluklu lif levhadan oluşturulan birleştirmelerde diğer birleştirmelere göre daha az gerinim oluştuğu görülmektedir.

4. Sonuç ve öneriler

Mobilya kullanım yerinde sıklıkla basınç ve çekme kuvvetlerine maruz kalmaktadır. DIC yöntemi çeşitli kuvvetler ile malzemelerde meydana gelen yer değiştirme ve gerilimleri belirlemede oldukça etkili bir araçtır. Bu çalışmada DIC yöntemine dayalı olarak farklı malzeme ve bağlantılardan üretilen mobilya birleştirmelerinin çekme ve basınç testlerinde deformasyon ve gerinim davranışları incelenmiştir. Bununla birlikte çekme ve basınç direnci değerleri tespit edilmiştir. Bu sayede farklı yükler altında birleştirmelerin ve malzemelerin performansları anlaşılmıştır. Çalışmada malzeme türünün ve bağlantı tipinin farklı eksenlerde yer değiştirme ve gerinim miktarını önemli ölçüde etkilediği saptanmıştır. Birleştirmelerde deformasyon ve gerinim miktarı basınç ve çekme testlerinde farklılık göstermektedir. Aynı zamanda kırılma anında birleştirmelerin gerinim alanları belirlenmiştir. Genel olarak kırılma anında farklı birleştirmelerin gerinim ve yer değiştirme dağılımlarının benzer olduğu bulunmuştur. Tüm birleştirmelerde gerinim ve yer değiştirme dağılımları iki parçanın birleşim yerlerinde yoğunlaşmıştır. Daha yüksek kalitede mobilya üretimi için gerinim ve yer değiştirme dağılımlarının yoğunlaştığı bölümlere destekleyici bağlantılar (Kavela vb.) eklenerek önlemler alınabilir. DIC yöntemi kullanılarak mobilya birleştirmelerde istenilen performans elde etmek için en iyi bağlantı malzeme konfigürasyonunu bulunabilir ve mobilya tasarım aşamasında elde edilen verilerinden faydalanarak daha az malzeme kullanarak daha yüksek kalitede mobilya üretimi mümkün olabilir. Bu bağlamda DIC yönteminin mobilya tasarımında ve üretiminde kullanılması önerilmektedir.

Açıklama

Bu çalışma, Bartın Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından 2017-FEN-A-010 numaralı proje ile desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Ab Ghani, A.F., Ali, M.B., DharMalingam, S., Mahmud, J., 2016. Digital image correlation (DIC) technique in measuring strain using opensource platform *Ncorr*. *Journal of Advanced Research in Applied Mechanics*, 26(1): 10-21.
- Bardak, T., Bardak, S., Sözen, E., 2017. Masif odun ve kontrplakların eğilme testinde gerinim dağılımlarının dijital görüntü korelasyonu ile belirlenmesi. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 17:354–361.

- Berfield, T.A., Patel, J.K., Shimmin, R.G., Braun, P.V., Lambros, J., Sottos, N.R., 2007. Micro-and nanoscale deformation measurement of surface and internal planes via digital image correlation. *Experimental Mechanics*, 47(1): 51-62.
- Blaber, J., Adair, B., Antoniou, A., 2015. Antoniou, Ncorr: Open-source 2D Digital image correlation Matlab software. *Experimental Mechanics*, 55: 1105-1122.
- Demirci, S., Efe, H., Kasal, A., Imirzi, H.Ö., Özen, E., 2011. The moment capacity of disassembled "L" type furniture corner joints produced with various connection elements. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 11(2): 138-145.
- Efe, H., 1994. Modern mobilya çerçeve konstrüksiyon tasarımında geleneksel ve alternatif bağlantı tekniklerinin mekanik davranış özellikleri. *Doktora Tezi*, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Efe, H., Kasal, A., 2000. Kutu konstrüksiyonlu sabit ve demonte mobilya köşe birleştirmelerde çekme direnci. *G.Ü. Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Dergisi*, 8(8): 61-74.
- Efe, H., Imirzi, H.Ö., 2008. Farklı birleştirme teknikleri ve değişik kalınlıklardaki levhalarla üretilmiş kutu-tipi mobilya köşe birleştirmelerinin moment taşıma kapasitesi. *Politeknik Dergisi*, 11(1): 65-75.
- Efe, H., Kasal, A., Çağatay, K., Kuşkun, T., 2012. T-Tipi mobilya birleştirmelerinde çeşitli birleştirme yöntemlerinin çekme mukavemetine etkileri. *Journal of Forestry Faculty of Kastamonu University*, 12(2): 251-260.
- Ghani, A.F., A.B., Ali, M.B., DharMalingam, S., Mahmud, J., 2016. Digital image correlation (DIC) technique in measuring strain using open source platform *ncorr*. *Journal of Advanced Research in Applied Mechanics*, 26(1): 10-21.
- Güller, B., Fakir, H., 2009. Geniş yapraklı ağaçlarda görüntü analizi yöntemi ile trahe çapı ve birim alandaki trahe sayısının belirlenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, A (1):83–94.
- Gümüşkaya, İ., 1982. Dünya'da ve Türkiye'de yonga levha tüketim yerleri. *K.T.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, 5(2): 257-268.
- Güray, A., Kılıç, M., Özyurt, A., 2002. Mobilya köşe birleştirmelerinde kullanılan farklı birleştirme elemanlarının diyagonal çekme direnci üzerine etkilerinin araştırılması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(1): 131-137.
- İçel, B., Kayahan, K., Avcı, Ö., 2017. Yeni tasarlanacak mutfak masa ve sandalyelerinde kullanıcı beklentilerinin belirlenmesi: Bartın ili TOKİ konutlarına yönelik bir araştırma. *Journal of Bartın Faculty of Forestry*, 19(2): 144-152.
- Kurtoğlu, A., Kahveci, M., Dilik, T., 1990. Ahşap mobilya ve yapı elemanı üretiminde kullanılan birleştirme şekilleri. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 40(3):1-20.
- Malkoçoğlu, A., Yerlikaya, N.Ç., 2014. Kabin tipi demonte mobilyalarda kavelalı minifiks köşe birleştirmelerde eğilme momenti üzerine minifiksler ve parça kenarları arasındaki uzaklıklarının etkisi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 15(1): 9-19.

- Matsumoto, R., Kubota, M., Miyazaki, N., 2013. Development of deformation measurement system consisting of highspeed camera and digital image correlation, and its application to the measurement of large inhomogeneous deformations around the crack tip experimental techniques. *Experimental Techniques*, 1-10.
- McCormick, N., Lord, J., 2010. Digital image correlation. *Materials Today*, 13(12): 52-54.
- Pan, B., Kemaq Q., Huimin X., Anand A., 2009. Two-dimensional digital image correlation for in-plane displacement and strain measurement: a review. *Measurement science and technology*, 20(6):1-18.
- Tasdemir, B., 2015. Determination of stress intensity factor using digital image correlation method. *Matter*, 2(1): 20-24.
- Taştekin, A., Özyurt, A., 2001. Minifixlik köşe birleştirmelerin dayanım özelliklerinin araştırılması ve alternatif birleştirmelerle karşılaştırılması. H.Ü.M., T.Y.O., AEM Bölümü, Lisans Bitirme Tezi, Ankara.