

T.C.
MUĞLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AĞAÇIŞLERİ ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

PANEL MOBİLYALAR İÇİN 3B YAZICI TEKNOLOJİSİ
İLE ÜRETİLEBİLEN AUKSETİK BAĞLANTI
ELEMANLARININ MEKANİK PERFORMANSLARININ
DENEYSEL VE NÜMERİK OLARAK ARAŞTIRILMASI

AYYÜCE EKİCİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZİRAN-2025

MUĞLA

MUGLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEZ ONAYI

Ayyüce EKİCİ tarafından hazırlanan **PANEL MOBİLYALAR İÇİN 3B YAZICI TEKNOLOJİSİ İLE ÜRETİLEBİLEN AUKSETİK BAĞLANTI ELEMANLARININ MEKANİK PERFORMANSLARININ DENEYSEL VE NÜMERİK OLARAK ARAŞTIRILMASI** başlıklı tezinin, 16.05.2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans derecesi için gerekli şartları sağladığı oybirliği ile kabul edilmiştir.

TEZ SINAV JURİSİ

Dr. Öğr. Üyesi Mesut UYSAL (**Jüri Başkanı**)

İmza:

Orman Endüstrisi Mühendisliği Anabilim Dalı,
Bursa Teknik Üniversitesi, Bursa

Prof. Dr. Ali KASAL (**Danışman**)

İmza:

Ağaç İşleri End. Müh. Anabilim Dalı,
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ACAR (**Üye**)

İmza:

Ağaç İşleri End. Müh. Anabilim Dalı,
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

ANA BİLİM DALI BAŞKANLIĞI ONAYI

Doç. Dr. Mehmet YENİOCAK

İmza:

Ağaç İşleri End. Müh. Ana Bilim Dalı Başkanı,
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

Prof. Dr. Ali KASAL

İmza:

Danışman, Ağaç İşleri End. Müh Anabilim Dalı,
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

Dr. Öğr. Üyesi Tolga KUŞKUN

İmza:

İkinci Danışman, Ağaç İşleri End. Müh Anabilim Dalı,
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

Savunma Tarihi: 16.05.2025

ETİK BEYAN METNİ

Kendi gerçekleştirdiğim araştırmanın bir sonucu olan ve Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzuna göre yazılan “Panel Mobilyalar İçin 3B Yazıcı Teknolojisi ile Üretilebilen Auksetik Bağlantı Elemanlarının Mekanik Performanslarının Deneysel ve Nümerik Olarak Araştırılması” başlıklı bu yüksek lisans/doktora tezinin planlanmasından yazımına kadar tüm süreçlerde etik ilkelere bağlı kaldığımı, tezime ilişkin bilgi ve belgeleri akademik ve bilimsel etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, tezimde kullandığım tüm görsel ve yazılı materyallerin kaynağını gösterdiğimi, yararlandığım eserlerin tümünün kaynaklar bölümünde yer aldığını ve tezde yapay zekâ (YZ) araçlarının kullanımına dair açıklamaların aşağıda belirttiğim şekilde olduğunu beyan ederim.

YAPAY ZEKÂ (YZ) KULLANIMINA DAİR BEYANNAME

Bu tez çalışması kapsamında herhangi bir YZ aracı kullanmadığımı beyan ederim.

01/07/ 2025

Ayyüce EKİCİ

BEYAN METNİ

(Toplumsal Katkı / Sürdürülebilir Kalkınma)

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Panel Mobilyalar İçin 3B Yazıcı Teknolojisi ile Üretilen Auksetik Bağlantı Elemanlarının Mekanik Performanslarının Deneysel ve Nümerik Olarak Araştırılması” başlıklı çalışmanın kapsamında yer alan Toplumsal Katkı ve Sürdürülebilir Kalkınma Temel Amaçları aşağıdaki tablolarda yer alan ilgili kısımlar işaretlenerek gösterilmiştir.

TOPLUMSAL KATKI	
Toplumun Öncelikli İhtiyaçlarının Belirlenmesi ve Analizi	
Topluma Katkı Sağlayan Bilimsel Araştırma ve Geliştirme Çalışmaları	✓
Toplum İçin Eğitim, Bilgilendirme ve Farkındalık Çalışmaları	
Toplumun Öncelikli Sorunlarına Yönelik Bilimsel ve Yenilikçi Çözümler	
Toplum İçin Kamu, Özel Sektör ve Sivil Toplum Kuruluşları Gibi Paydaşlarla İş Birliği	✓
Yerel, Ulusal ve Küresel Tarihi ve Kültürel Değerlere Katkı	
Toplum Yararına Yürütülen Sosyal Sorumluluk ve Kültürel Etkinlikler	

SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMA TEMEL AMAÇLARI	
Amaç 1: Yoksulluğa Son	
Amaç 2: Açlığa Son	
Amaç 3: Sağlık ve Kaliteli Yaşam	
Amaç 4: Nitelikli Eğitim	
Amaç 5: Toplumsal Cinsiyet Eşitliği	
Amaç 6: Temiz Su ve Sanitasyon	
Amaç 7: Erişilebilir ve Temiz Enerji	
Amaç 8: İnsana Yakışır İş ve Ekonomik Büyüme	✓
Amaç 9: Sanayi, Yenilikçilik ve altyapı	✓
Amaç 10: Eşitsizliklerin Azaltılması	
Amaç 11: Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar	
Amaç 12: Sorumlu Üretim ve Tüketim	✓
Amaç 13: İklim Eylemi	
Amaç 14: Sudaki Yaşam	
Amaç 15: Karasal Yaşam	
Amaç 16: Barış, Adalet ve Güçlü Kurumlar	
Amaç 17: Amaçlar İçin Ortaklıklar	✓

01/07/ 2025

Ayyüce EKİCİ

ÖZET
PANEL MOBİLYALAR İÇİN 3B YAZICI TEKNOLOJİSİ İLE
ÜRETİLEBİLEN AUKSETİK BAĞLANTI ELEMANLARININ MEKANİK
PERFORMANSLARININ DENEYSEL VE NÜMERİK OLARAK
ARAŞTIRILMASI

Ayyüce Ekici

Yüksek Lisans Tezi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ali KASAL

İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Tolga KUŞKUN

Haziran 2025, 51 sayfa

Bu çalışmada, panel mobilya birleştirmeleri için montajı kolay ve pratik auksetik özellikte bağlantı elemanları tasarlanmış ve üç boyutlu yazıcı teknolojisiyle üretilmiştir. Bu amaçla, 3 farklı malzeme kullanılarak, 2 farklı boyda ve 2 farklı auksetik desen olmak üzere 12 farklı kombinasyonda bağlantı elemanı tasarımları geliştirilmiştir. Üretilen bağlantı elemanlarıyla birleştirilen L-tipi deney örneklerinin üretiminde, 18 mm yonga levha kullanılmış olup bağlantı elemanlarının üretiminde ise Polilaktikasit (PLA), Akrilonitril Butadiyen Stiren (ABS) ve Akrilonitril Stiren Akriyat (ASA) filamentleri kullanılmıştır. Toplam olarak 2 farklı auksetik desende bağlantı elemanı (H tipi ve K tipi), 2 farklı bağlantı elemanı uzunluğu (40 ve 45 mm) ve 3 farklı filament (PLA, ABS ve ASA) ile her bir gruptan 20 yineleme (10 adet diyagonal basınç, 10 adet diyagonal çekme) olmak üzere 240 adet L-tipi köşe birleştirme deney örneği hazırlanmış ve statik yük altında test edilmiştir. Karşılaştırma yapmak amacıyla, kontrol grubu olarak 20 adet minifiks bağlantılı L-tipi köşe birleştirme deney örneği test edilmiştir. Deney sonuçlarına göre, ASA filamentten üretilen bağlantı elemanları en yüksek değerleri vermiş olup PLA filamentten üretilen bağlantı elemanları ile aralarındaki farklar istatistiksel olarak anlamsızdır.

Bağlantı elemanı tipine göre ise diyagonal basınç testlerinde H-tipi bağlantı elemanı, diyagonal çekme testlerinde ise K-tipi bağlantı elemanı daha yüksek sonuçlar vermiştir.

Üçlü etkileşimler incelendiğinde; diyagonal basınç testlerinde en yüksek değerler H-ASA-40 deney örneklerinde elde edilirken, en düşük değerleri K-ABS-40 bağlantı elemanından üretilen L-tipi köşe birleştirmeler vermiştir.

Diyagonal çekme testlerinde ise; en yüksek değerleri K-PLA-45 örneği verirken, en düşük değerler H-ASA-45 ve H-ABS-45 bağlantı elemanlarından üretilen L-tipi köşe birleştirmelerde elde edilmiştir. Çalışmanın sonucunda; basınç deneylerinde en iyi bağlantı elemanı minifiksli birleştirmenin yaklaşık %89'u, çekme deneylerinde ise en iyi bağlantı elemanı minifiksli birleştirmenin yaklaşık %97'si kadar mukavemet göstermiştir. Buna göre, çalışma kapsamında denenen bağlantı elemanları, piyasada kullanılan mevcut bağlantı elemanlarına alternatif olarak önerilebilir.

Anahtar Kelimeler: Mobilya Mühendisliği, Mühendislik Tasarımı, Mobilya Mukavemet Tasarımı, Panel Mobilya, Auksetik Malzemeler

ABSTRACT

**EXPERIMENTAL AND NUMERICAL INVESTIGATION OF THE
MECHANICAL PERFORMANCE OF AUXETIC FASTENERS FOR PANEL
FURNITURE MANUFACTURED USING 3D PRINTING TECHNOLOGY**

Ayyüce Ekici

Master of Science (M.Sc.)

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Woodworking Industrial Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ali KASAL

Co-Supervisor: Assist. Prof. Tolga KUŞKUN

June 2025, 51 pages

In this study, easy-to-assemble and practical auxetic fasteners were designed for panel furniture joints and produced using three-dimensional printing technology. For this purpose, fastener designs were developed in 12 different combinations using 3 different materials, 2 different sizes, and 2 different auxetic patterns. In the production of the experimental samples, 18 mm particleboard was used, while Polylactic Acid (PLA), Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS), and Acrylonitrile Styrene Acrylate (ASA) filaments were used in the production of the fasteners. In total, 240 L-type corner joint test samples were prepared and tested under static load, using 2 different auxetic patterns of connection elements (Type H and Type K), 2 different fastener lengths (40 mm and 45 mm), and 3 different filaments (PLA, ABS, and ASA), with 20 replications from each group (10 diagonal compression, 10 diagonal tension). According to the experimental results, the fasteners produced from ASA filament provided the highest values, and the differences between them and the fasteners produced from PLA filament are statistically insignificant. According to the fastener type, yielded higher results were obtained from H-type fastener in diagonal compression tests, while the K-type fastener performed better in diagonal tensile tests.

When examining the three-way interactions, the highest values in the diagonal compression tests were obtained from H-ASA-40 samples, while the lowest values were obtained from the K-ABS-40 samples. In the diagonal tensile tests, the highest values were obtained from the K-PLA-45 sample, while the lowest values were obtained from H-ASA-45 and H-ABS-45 samples.

As a result of the study, the best fastener in compression tests showed a strength of approximately 89% of the samples produced with minifix, while in tensile tests, the best fastener showed a strength of approximately 97% of the samples produced with minifix. Accordingly, the connection elements tested within the scope of the study can be proposed as alternatives to the existing fasteners used in the market.

Keywords: Furniture Engineering, Engineering Design, Furniture Strength Design, Panel Furniture, Auxetic Materials

ÖNSÖZ

Çalışmanın planlanması, ön hazırlıkları ve işleyişinde bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım tez danışmanım Prof. Dr. Ali KASAL'A ve ikinci danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Tolga KUŞKUN'A, deney örneklerinin hazırlanması ve testlere tabi tutulması hususunda yardımcı olan lisans öğrencisi Okan EMENCE'ye ve bana her zaman maddi ve manevi destek olan canım aileme teşekkür ederim.

Bu tez çalışması; mobilya sektöründeki önemli firmalardan biri olan Bellona Mobilya A.Ş.'nin proje ortağı olarak destek verdiği, TÜBİTAK 1005-Ulusal Yeni Fikirler ve Ürünler Araştırma Destek Programı kapsamında 122O887 proje numarası ile desteklenen projenin bir parçasıdır. Yüksek lisans öğrencisi projede yüksek lisans bursiyeri olarak görev yapmış ve tez çalışmasını tamamlamıştır. Bu yüksek lisans tez çalışması; TÜBİTAK 1005 projesi kapsamında proje yürütücüsü, araştırmacı ve yurt dışı danışman tarafından tasarlanan, geliştirilen ve optimize edilen bağlantı elemanlarının üç boyutlu yazıcı teknolojisiyle üretilmesini, L-tipi köşe birleştirme deney örneklerinin hazırlanmasını, yine proje ekibince geliştirilen deney düzenekleriyle test edilmesini ve nümerik analizlerini içermektedir.

Proje kapsamında tasarlanan ve tez çalışmasında testleri yapılan H-tipi bağlantı elemanı için "Panel Mobilyalar için H-tipi Auksetik Gizli Bağlantı Elemanı (2024/3 BBF)" başlığıyla, geliştirilen deney düzeneği için ise "Arkalıklı L-tipi Köşe Birleştirme Deney Düzeneği (2024/4 BBF)" başlığıyla, 20.09.2024 tarihinde Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Teknoloji Transfer Ofisi Koordinatörlüğünce Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi hak sahipliğinde ulusal patent başvurusu yapılmasına karar verilmiş olup süreç devam etmektedir.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Problem ve Özgün Değer	5
1.2. Hipotez	6
1.3. Amaç	6
1.4. Kapsam ve Yöntem	6
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	8
2.1. Auksetik Yapılar ve Malzemeler	8
2.2. Panel Mobilyalar	11
2.3. Mobilyalarda Performans Testleri.....	12
3. MALZEME VE YÖNTEM	14
3.1. Deney Örneklerinin Hazırlanmasında Kullanılan Malzemeler.....	14
3.2. Bağlantı Elemanı Malzemeleri ve Özellikleri.....	14
3.3. Bağlantı Elemanlarının Tasarımı ve Üç Boyutlu Yazıcı ile Üretilmesi.....	16
3.4. L-tipi Köşe Birleştirme Deney örneklerinin Hazırlanması	20
3.5. L-Tipi Köşe Birleştirme Elemanlarının Statik Çekme ve Basınç Yüğü Altındaki Performansları	23
3.6. L-Tipi Köşe Birleştirme Nümerik Analizleri	27
3.7. Verilerin Değerlendirilmesi	30
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	31
4.1. Ahşap Esaslı Levha ve Filamentlerin Bazı Fiziksel ve Mekanik Özellikleri 31	
4.2. L-Tipi Köşe Birleştirme Elemanlarının Çekme ve Basınç Yüğü Altındaki Performans Verileri	31
4.3. L-Tipi Birleştirmelerde Deformasyon Karakteristikleri	38
4.4. L-Tipi Köşe Birleştirmelerin Nümerik Analiz Sonuçları.....	40
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	44
6. KAYNAKLAR	47
7. ÖZGEÇMİŞ	51

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Bağlantı elemanlarına ait deneysel ve nümerik poisson oranları.....	16
Çizelge 3.2. Bağlantı elemanlarının 3B yazıcıyla üretiminde kullanılan döküm değerleri.....	18
Çizelge 3.3. Çalışma kapsamında hazırlanan deney örneklerine ilişkin deneme deseni	30
Çizelge 4.1. Ahşap esaslı levha ve filamentlerin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri	31
Çizelge 4.2. L-tipi deney örnekleri için yapılan çoklu varyans analizi sonuçları	32
Çizelge 4.3. Malzeme ana faktörüne göre bağlantı elemanlarının elastikiyet ve moment kapasiteleri	33
Çizelge 4.4. Auksetik desen ana faktörüne göre bağlantı elemanlarının kuvvet taşıma kapasiteleri.....	34
Çizelge 4.5. Bağlantı uzunluğu ana faktörüne göre bağlantı elemanlarının kuvvet taşıma kapasiteleri	35
Çizelge 4.6. Malzeme-Auksetik Desen - Bağlantı Uzunluğu üçlü etkileşimine göre karşılaştırma sonuçları.....	36
Çizelge 4.7. Diyagonal basınç ve çekme testleri için gerçekleştirilen gerilme analizleri	42

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. K tipi bağlantı elemanının ¼ kesiti ölçüleri ve 3 boyutlu görüntüsü.....	17
Şekil 3.2. H tipi bağlantı elemanının ¼ kesiti ölçüleri ve 3 boyutlu görüntüsü.....	17
Şekil 3.3. Bağlantı elemanlarının üç boyutlu yazıcı ile üretimi.....	19
Şekil 3.4. Üç boyutlu yazıcı ile üretilen bağlantı elemanları	19
Şekil 3.5. Bağlantı elemanının montajı için kenar ve yüzey elemanına açılacak kanalların görünüşü	20
Şekil 3.6. Bağlantı elemanı ile bir panel mobilyanın köşe birleştirmesinin montaj aşamaları.....	21
Şekil 3.7. L-tipi köşe birleştirmelerinin bağlantı elemanları ile montajı	22
Şekil 3.8. Hazırlanan deney örneklerinin son hali	22
Şekil 3.9. Montajı tamamlanan ve test için hazır olan L-tipi köşe birleştirmeler	23
Şekil 3.10. L-tipi diyagonal çekme ve diyagonal basınç testleri	24
Şekil 3.11. Diyagonal Basınç Deneyi Düzeneği (ölçüler mm) ve Yük Altındaki Yer Değiştirme Biçimi (rotasyon).....	25
Şekil 3.12. Diyagonal Çekme Deneyi Düzeneği ve Yük Altındaki Yer Değiştirme Biçimi (rotasyon).....	26
Şekil 3.13. (a) Diyagonal basınç testi nümerik analizleri için hazırlanan sınır koşulları, (b) L-tipi köşe birleştirmeler için mesh işlemi.....	28
Şekil 3.14. (a) Diyagonal çekme testi nümerik analizleri için hazırlanan sınır koşulları, (b) L-tipi köşe birleştirmeler için mesh işlemi.....	29
Şekil 4.1. Filamentlerin tipine göre (a) moment ve (b) elastikiyet değerleri	34
Şekil 4.2. Bağlantı elemanı tipi için (a) moment ve (b)elastikiyet değerleri	35
Şekil 4.3. Bağlantı elemanı uzunlupu için (a) moment ve (b)elastikiyet değerleri....	36
Şekil 4.4. Moment taşıma kapasiteleri için en yüksek mukavemetli bağlantı elemanları ve minifiks karşılaştırmalı sonuçları	38
Şekil 4.5. Diyagonal basınç testlerinde H tipi, K tipi bağlantı elemanları ve minifiks bağlantı için deformasyon karakteristikler	39
Şekil 4.6. Diyagonal çekme testlerinde H tipi, K tipi bağlantı elemanları ve minifiks bağlantı için deformasyon karakteristikler	39
Şekil 4.7. H-ABS-40 kodlu deney örneği basınç analizi	40
Şekil 4.8. H-ABS-40 kodlu deney örneği bağlantı elemanı basınç analizi.....	41

Şekil 4.9. H-ABS-40 kodlu deney örneği çekme analizi	41
Şekil 4.10. H-ABS-40 kodlu deney örneği bağlantı elemanı çekme analizi.....	42



SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ABS	: Akrilonitril Butadiyen Stiren
ASA	: Akrilonitril Stiren Akrlat
φ	: Deformasyonun açı değeri
F	: Kuvvet
D_F	: Deformasyonun mm olarak değeri
HDF	: High Desity Fiberboard
F_{Bmax}	: Göçme anındaki maksimum kuvvet
$F_{Çmax}$: Göçme anındaki maksimum kuvvet
K_c	: Basınç kuvveti
K_T	: Çekme kuvveti
L_t	: Moment kolu
L_c	: Moment kolu
MDF	: Medium Density Fiberboard
M_B	: Basınç yükü altında taşınan moment
$M_ç$: Çekme yükü altında taşınan moment
mm	: Milimetre
PLA	: Polilaktik Asit
YYLAM	: Yonga Levha
ϑ	: Poisson oranı
ϵ_t	: Malzemenin dik yöndeki (enine) deformasyonu
ϵ_l	: Malzemenin yükleme yönündeki (boyuna) deformasyonu

1. GİRİŞ

Mobilya tarihi, insanlık tarihi kadar eski bir geçmişe sahiptir. Kültürel, sosyal ve ekonomik faktörlerden etkilenecek şekilde gelişmiş ve insanlık tarihinin birçok evresinde önemli bir rol oynamıştır. Antik dönemlerde Mısır Yunan ve Roma tarihine bakıldığında mobilya, genellikle ahşap ve taş gibi malzemelerden yapılmış ve antik dönemlerde genellikle işlevsellik kadar estetiğe de büyük önem verilirdi. Orta çağda ise mobilyalar genellikle ağır ve dayanıklı olarak tasarlanmıştır. Bu dönemde daha çok işlevselliğe odaklanılmış, büyük ve ağır tasarımlar genellikle zenginlik ve güç simgesi olarak kullanılmıştır. Rönesans dönemi ile 15. ve 16. yüzyıllarda sanat ve estetiğe olan ilgi artmıştır. 17. yüzyıla bakıldığında Barok döneminde mobilyalar abartılı süslü ve ağır tasarımlara sahiptir, Rokoko dönemi ile mobilyalarda Barok dönemine göre nispeten daha hafif, zarif ve kıvrımlı tasarımlar ortaya çıkmıştır. 19. yüzyıla bakıldığında sanayi devrimi ile mobilya tasarımlarında ve üretimlerinde büyük değişiklikler meydana gelmiştir. Seri üretim sayesinde mobilyalar daha erişilebilir hale gelmiş, fakat bu sanayileşmeyi reddeden bir grup tarafından Arts and Crafts hareketi ile el işçiliğine dönüş savunulmuştur. 20. yüzyıla bakıldığında Modernizm ile işlevsel ve minimalist tasarımlar ortaya çıkmıştır. Özellikle Bauhaus okulu form ve işlevin birleşimini vurgulamıştır. Mid-century modern tasarımlarına bakıldığında modern sade çizgiler ve doğal malzemeler öne çıkmıştır. Günümüzde ise mobilya tasarımı sürdürülebilir ve teknolojinin entegrasyonu ile şekillenmektedir. Akıllı ve özelleştirilmiş mobilyalar öne çıkmaktadır.

Mobilya mühendisliği kavramı ise nispeten yeni bir kavram olup Türkiye dâhil birçok ülkede sistematik olarak uygulanmamaktadır. Mobilya mühendisliği konusu günümüzde halen çocukluk dönemini yaşamaktadır ve tasarımcılar tasarım yaparken mühendislik işlemlerini metodolojik olarak uygulamamakta ve tecrübeye dayalı üretim yapmaktadırlar. Ayrıca bu konuda geniş kapsamlı ve yeterli bir sayısal veri tabanı tam olarak oluşturulamamıştır ve çözüme kavuşmayı bekleyen birçok problem mevcuttur.

1950'lerin ortalarına kadar, mobilya; yapısal bir konstrüksiyon sistemi olarak tanımlanmasına rağmen yapısal anlamda analiz edilmemiştir. Mobilya elemanlarının, birleştirmelerinin ve bağlantı elemanlarının tasarımı neredeyse hiçbir zaman matematiksel teorilerin konusu olmamıştır.

Bunun yerine, eleman ölçülerinin ve birleştirme konstrüksiyonlarının belirlenmesinde geçmiş tecrübeler ve estetik faktörler etkili olmuştur (Kasal, 2004). Bu bağlamda bu tez çalışmasında, mobilya mühendisliği uygulamalarını içeren ve mühendislik tasarımının en önemli aşamalarından biri olan birleştirme tasarımında matematiksel teorilerin ve deneysel yöntemler kullanılmıştır.

Mühendislik tasarımı, genel olarak mobilyada ergonomik kriterlerin, kullanılan malzemelerin, konstrüksiyonların (yapım teknikleri, bağlantı elemanları) ve üretim teknolojilerinin optimum şekilde belirlenmesi işlemlerini kapsamaktadır. Mobilya tasarımı estetik, ekonomik ve tekniğin en ideal şekilde birleştiği ürün tasarımlarının üretilebilmesi için önemlidir. Mobilya mühendislik tasarımı sürecindeki en önemli konulardan birisi de mukavemet tasarımıdır. Mukavemet tasarımı alanı, mobilyanın üretimde kullanılan malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi, daha sonra mobilya elemanlarının birbirlerine bağlanmasında uygulanan birleştirmelerin ve bu noktalarda kullanılan bağlantı elemanlarının özelliklerinin belirlenmesi ve son olarak da mobilyanın performans testlerinin gerçekleştirilmesi olarak özetlenebilir (Eckelman, 2003; Efe, 1994; Kasal, 2004). Bu tez çalışmasında mobilya mühendislik tasarımı sürecindeki mukavemet tasarımı, birleştirme ve bağlantı elemanlarının tasarımı ve 3 boyutlu yazıcıda üretimi gerçekleştirilmiştir. Panel mobilyaların birleştirmeleri için auksetik özellikte yenilikçi, montajı kolay, dışarıdan görülmeyen alternatif bir bağlantı elemanı tasarlanıp üretilip mekanik performansları değerlendirilerek bu bağlantı elemanlarının mevcut geleneksel bağlantı elemanları ile karşılaştırılmıştır.

Günümüzde mobilya sektöründe genelde depolama, nakliye ve montaj kolaylığı gibi nedenlerden dolayı tutkal kullanımı gerektirmeyen ve demonte montaj imkânı sağlayan mekanik bağlantı elemanları olan minifiks multifiks vida çektirme vb. kullanılmaktadır. Fakat bu bağlantı elemanlarının hem maliyetleri hem de montaj süreçlerinde yaşanan ekonomik ve teknik sorunları, yeni alternatif bağlantı elemanlarının tasarlanmasını, üretilmesini ve kullanılmasını teşvik etmektedir.

Mevcut mobilya imalat sektöründe ve mühendislikte mekanik bağlantı elemanlarının üretiminde geleneksel malzemeler kullanılmaktadır. Fakat gelişen teknoloji ile akıllı malzemelere olan ilgi her geçen gün artmaktadır. Bu durum yeni alternatif malzemelerin tasarlanması üretilmesi ve kullanılmasını teşvik etmektedir.

Akıllı malzemeler, çevresel değişimlere tepki verebilen ve belirli işlevleri otomatik olarak yerine getirebilen malzemelerdir. Akıllı malzeme tasarımları ve üretimleri, yeni bir ürün geliştirilerek veya mevcut olan geleneksel bir ürüne ek özellikler kazandırılması sonucu elde edilir. Bu bağlamda tez çalışması kapsamında mutfak dolabı, elbise dolabı, kitaplık vb. gibi panel tipi mobilyaların köşe birleştirmelerinde kullanılmak üzere, dışarıdan görünmeyen, montajı kolay, inovatif bağlantı elemanları tasarlanarak, 3 boyutlu yazıcı teknolojisi ile üretilmiş, performans testleri ve Sonlu Elemanlar Metodu (FEM) ile analizleri yapılmıştır. Üretilen bu yeni bağlantı elemanları auksetik özelliktedir. Bu sebeple geleneksel bağlantı elemanları ile karşılaştırıldığında mekanik özellikler açısından daha avantajlıdır. Üretilen yeni bağlantı elemanının montajı oldukça kolaydır ve herhangi bir araç gerece ihtiyaç duyulmadan düşük kuvvetlerle ya da el yordamıyla montajı yapılabilmektedir.

Auksetik malzeme tasarımlarında en önemli faktör olan Poisson oranı, ilk olarak Fransız bilim insanı Simeon Denis Poisson tarafından ortaya atılmıştır. Poisson oranı günümüzde çoğu mühendislik alanında malzemenin yapısını belirlemeye yarayan önemli özelliklerden biridir. Birçok farklı tanımlamanın yapıldığı Poisson oranı kısaca, bir malzemede kuvvet uygulanan yöndeki kısalma miktarı ile diğer yöndeki uzama miktarı arasındaki bağıntıdır (Uzun, 2010). Yani bir cisimin bir kuvvet altında enine kısalmasının boyuna uzamasına oranıdır. Bu oran birçok malzemede pozitif değerde olup, 0 ile 0,5 arasındadır fakat az sayıdaki malzemede bu oran negatiftir ve bu malzemeler auksetik malzeme olarak adlandırılır. Negatif Poisson oranı bazı malzemelerin kendi özelliği olabileceği gibi, pozitif Poisson oranına sahip malzemelere de auksetik desen ve geometrilerin malzeme kesitine aktarılmasıyla da elde edilebilmektedir. Auksetik desen ve geometrilerin malzemelere uygulanması sonucu elde edilen Poisson oranı negatif malzemelerde üstün bir auksetik davranış gözlenebilmektedir. Auksetik malzemeler geleneksel pozitif poisson oranına sahip malzemelerin zıttı bir hareket sergiler. Geleneksel bir malzemeye çekme yükü uygulandığında malzeme boyuna uzar, enine kısalır.

Auksetik malzeme ise bunun tam zıttı hareket göstererek bir çekme yüküne maruz kaldığında boyuna kısalırken eninde uzama görülür. Aynı şekilde pozitif poisson oranına sahip bir malzemeye bir basma yükü uyguladığımızda malzeme enine kısalırken boyuna uzar. Negatif poisson oranına sahip olan auksetik malzemeye bir basma yükü uyguladığımızda ise malzeme enine uzarken boyuna kısalır.

Poisson oranının negatif değerlerde olması, mobilya birleştirmeleri açısından önemli olup çekme kuvvetine maruz kalan bir birleştirmedeki bağlantı elemanı genişleyerek birleştirmenin daha sağlam olmasına; montaj aşamasında ise basınç kuvvetine maruz kalacak olan bağlantı elemanı daralarak montaj kuvvetlerinin daha az olmasına imkân vermektedir.

Auksetik malzemelere olan ilgi giderek artmakta, dolayısıyla da bu malzemelere yönelik deneysel ve modellemeye dayalı nümerik çalışmalar yaygınlaşmaktadır. Bu malzemeler, özellikle geleneksel malzemelere alternatif olarak dikkat çekmekte, özellikle mekanik davranışlar üzerinde çok temel bir etkiye sahip olan Poisson oranının, geleneksel malzemelerin aksine auksetik malzemelerde negatif değerde olmasının bu malzemelere sağladığı üstün özellik, bu malzemelerin mühendislik uygulamalarında kullanılmasına yönelik araştırmaları teşvik etmektedir.

Auksetik malzemeler, geleneksel malzemelere göre ekstra sürtünme dayanımı, yüksek kayma modülü, üstün enerji emiciliği, akustik davranış, yüksek çekme direnci, tutunma direnci (ara yüzey/matris), termal şok dayanımı, ısı darbe dayanımı vb. daha üstün özelliklere sahiptirler (Evans vd., 2000; Greaves vd., 2011). Auksetik malzemelerle ilgili çalışmaların başında tekstil uygulamaları gelmektedir. Bunlara örnek olarak, auksetik özelliğe sahip endüstriyel halatlar, kurşun geçirmez yelekler, patlamaya dayanıklı perdeler, gözenek yapısından dolayı spor giysileri, hassas filtreler, ekstra darbe ve kıvrılma özelliğine sahip teknik kompozitler, tıbbi tekstil uygulamaları (bandaj, ameliyat ipliği, yapay kas vb.), erozyon ve yol kaymalarını engelleyici geotekstiller, emniyet kemerleri, sürtünme özelliğinin önemli olduğu özel giysiler verilebilir (Uzun, 2010). Buna göre, "auksetik özellik", katma değeri yüksek malzeme üretiminde yeni bir adım olarak görülebilir ve bu yeni özellik farklı malzemelerde uygulanarak mevcut malzemelerden daha üstün özellikte ve davranışta yeni malzemelerin tasarlanmasına ve üretilmesine imkân verebilir.

Auksetik malzemelerin mobilya sektöründe uygulanmasına yönelik çalışmalara ulusal anlamda hiç rastlanılmamakta, uluslararası anlamda ise bu malzemelerin mobilya mühendislik tasarımında kullanılmasına yönelik çok sınırlı sayıda bazı çalışmalara rastlanmaktadır. Bu tez kapsamında yapılan çalışmalar auksetik malzemelerin mobilya endüstrisinde kullanımı için önemli bir yere sahiptir.

1.1. Problem ve Özgün Değer

Mobilya mühendisliği, henüz gelişmekte olan bir alandır ve şu an için sistematik bir şekilde uygulanmamaktadır. Bu alanda ilerleme kaydedilmemiş ve tasarımcılar, tasarımlarını oluştururken genellikle kişisel kararlarına ve deneyimlerine dayanmaktadır. Bu yüzden mühendislik disiplinine uygun, metodolojik bir yaklaşım eksiktir. Ayrıca, bu alanda geniş çaplı bir sayısal veri tabanı henüz oluşturulamamış ve çözülmesi gereken pek çok sorun bulunmaktadır. Bu bağlamda, bu tez çalışması mobilya mühendisliği uygulamalarıyla ilgili olarak, mühendislik tasarımının kritik aşamalarından biri olan birleştirme tasarımı üzerine odaklanmaktadır. Çalışmada, mobilya mühendisliği tasarım sürecinde yer alan mukavemet tasarımı adımlarından birleştirme ve bağlantı elemanlarının tasarımına dair bir inceleme yapılacak ve özellikle panel mobilyalar için yenilikçi, görünmeyen, kolay montaj sağlayan auksetik bağlantı elemanlarının mekanik performansları mevcut bağlantı elemanlarıyla kıyaslanarak değerlendirilmiştir.

Günümüzde, mobilya üretiminde genellikle depolama, taşınabilirlik ve montaj kolaylığı gibi sebeplerle tutkal gerektirmeyen ve sökülüp takılabilen mekanik bağlantı elemanları (minifiks, multifiks, vida, çektirme vb.) kullanılmaktadır. Ancak, bu elemanların maliyetleri ve montajdaki teknik zorluklar, yeni alternatif bağlantı elemanlarının tasarımını ve üretimini teşvik etmektedir. Geleneksel malzemeler genellikle mekanik bağlantı elemanlarının üretiminde tercih edilse de akıllı malzemelere olan ilgi her geçen gün artmaktadır. Bu durum, yenilikçi alternatif malzemelerin tasarım ve üretimini teşvik etmektedir. Akıllı malzeme tasarımları ya tamamen yeni ürünlerin geliştirilmesi ya da geleneksel malzemelere ek özellikler kazandırılması yoluyla yapılmaktadır. Bu bağlamda, çalışma çerçevesinde, panel mobilyaların köşe birleştirmelerinde kullanılmak üzere, görünmeyen, inovatif bağlantı elemanları tasarlanmış ve üç boyutlu yazıcı teknolojisiyle üretilmiştir.

Yeni tasarlanan bağlantı elemanlarının auksetik özellikleri sayesinde, geleneksel bağlantı elemanlarına göre çok daha üstün mekanik özelliklere sahip olmaları beklenmektedir. Ayrıca, bu elemanlar kolay montaj imkânı sağlayacak ve herhangi bir araç gereç kullanılmadan düşük montaj kuvvetleriyle elle takılabilmektedir.

1.2. Hipotez

Bu tez çalışmasının hipotezi; “üç boyutlu yazıcı teknolojisiyle üretilmiş auksetik bağlantı elemanlarının panel mobilyalarda geleneksel bağlantı elemanlarına alternatif olarak kullanılabilir” şeklinde belirlenmiştir.

1.3. Amaç

Bu tez çalışmasını temel amacı; panel mobilyalarda mevcut montaj yöntemlerine alternatif olmak üzere, yeterli sağlamlıkta, düşük maliyetli, montaj süresinin kısa olduğu ve montaj kolaylığı olan, dışarıdan görünmeyen yeni özgün inovatif auksetik bağlantı elemanları tasarlamak, üç boyutlu yazıcıda üretmek ve bu bağlantı elemanlarının performansını piyasada mevcut olan ve yaygın olarak kullanılan minifiksli birleştirme tekniği ile kıyaslamaktır.

1.4. Kapsam ve Yöntem

Tez çalışması kapsamında auksetik desenler temel alınarak H tipi ve K-tipi olmak üzere 2 adet bağlantı elemanı tasarlanmış ve üç boyutlu yazıcı teknolojisi ile üretilmiştir. Bağlantı elemanı üretimleri için, ABS, PLA ve ASA olmak üzere 3 farklı filament kullanılmıştır.

Proje kapsamında, 240 adet L-tipi köşe birleştirme deney örneği hazırlanmış ve test edilmiştir. Her bir deney örneği iki bağlantı elemanından oluştuğu için toplam 480 adet bağlantı elemanı üç boyutlu yazıcıda üretilmiştir.

Deney örneklerinin gövdelerinde 18 mm kalınlığında yonga levha kullanılmıştır. L-tipi köşe birleştirme elemanlarının deneylerinde diyagonal çekme ve basınç olmak üzere 2 yöntem uygulanmıştır. Bunlara ek olarak yeni tasarlanan bağlantı elemanları ile karşılaştırma yapılabilmesi adına 10 adet çekme 10 adet basınç deneyi uygulanması amacıyla 20 adet minifiks bağlantı elemanlı L-tipi köşe birleştirme deney örneği hazırlanmış ve test edilmiştir.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Auksetik Yapılar ve Malzemeler

Auksetik malzeme terimi ilk olarak Evans ve arkadaşları tarafından 1991 yılında ortaya atılmıştır. Auksetik kelimesi auxetikos kelimesinden türetilmiştir. Bu kelime artma eğiliminde olan (increase) anlamına gelir (Evans, K.E., 1991). Auksetik malzeme geleneksel olarak bildiğimiz malzemelerin aksine negatif poisson oranına sahiptir. Geleneksel bir malzeme pozitif poisson oranına sahip olup çekme yükü uygulandığında malzeme boyuna uzar, enine kısalır. Auksetik malzeme ise bunun tam zıttı hareket göstererek bir çekme yüküne maruz kaldığında boyuna kısalırken eninde uzama görülür. Aynı şekilde pozitif poisson oranına sahip bir malzemeye bir basma yükü uyguladığımızda malzeme enine kısalırken boyuna uzar. Negatif poisson oranına sahip olan auksetik malzemeye bir basma yükü uyguladığımızda ise malzeme enine uzarken boyuna kısalır.

Poisson oranı matematiksel olarak şu şekilde ifade edilir:

$$\vartheta = -\frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_l} \quad (1)$$

ϑ = Poisson oranı

ε_t = Malzemenin dik yöndeki (enine) deformasyonu

ε_l = Malzemenin yükleme yönündeki (boyuna) deformasyonu

Yükleme koşullarına göre çekme yükü altındaki deformasyonlar ve çekme gerilmeleri pozitif (+), basınç yükü altındaki deformasyonlar ve basınç gerilmeleri negatif (-) değerler almaktadır. ε_t ve ε_l zıt işaretlere sahip olacağından oranları da negatif (-) olmaktadır. Bu sebeple geleneksel malzemelerde olan bu davranışı tanımlayabilmek için denklemin başına negatif (-) işaret tanımlanmıştır. Bu durumda geleneksel malzemelerdeki deformasyonlar sonucu hesaplanan poisson oranı pozitif, auksetik malzemelerdeki deformasyonlar sonucu hesaplanan poisson oranı negatif sonuç vermektedir. Poisson oranı genellikle 0 ile 0,5 arasında bir değer alır. 0,5'e yakın değerler, malzemenin oldukça elastik olduğunu gösterirken, 0'a yakın değerler malzemenin daha az elastik olduğunu gösterir.

Auksetik malzeme olarak adlandırılan bu malzemelerde Poisson oranı teorik olarak en düşük “-1” değerini alır (Lim, 2015).

Günümüzde çok sayıda doğal auksetik malzeme keşfedilmiştir. Moleküler seviyedeki ilk doğal auksetik madde demir piritlerinde bulunan demir sülfittir (Love, 1927).

Auksetik özellik tek kristal yapılara örnek olan arsenik kristallerinde, kadmiyumda, α -kristobalitte ve birçok kübik element metalinde gözlemlenmiştir (Gunton ve Saunders, 1972; Li, 1976; Yeganeh-Haeri, Weidner, ve Parise, 1992; Baughman, Shacklette, Zakhidov ve Stafstrom, 1998). Auksetik özellik kedi derisi, semender derisi ve inek meme ucu derisi gibi bazı canlıların deri formlarında gözlemlenmiştir (Veronda vd., 1970; Frohlich vd., 1994; Lees vd., 1991). Auksetik özellik insanlarda yük taşıyan süngerimsi kaval kemiğinde de gözlemlenmiştir (Williams vd., 1982).

Malzemeye auksetik özellik kazandıran negatif poisson oranı değeri malzemelerin kendi doğal yapısında olabileceği gibi, malzemeye sonradan da kazandırılabilir. Boughman tarafından ilk kez eğrilmiş zincir yapıdaki auksetik moleküler ağ fikri ortaya atılmıştır. Bu fikir elektriksel özellikler ve optik özelliklerde önemli bir gelişme olmuştur (Baughman vd., 1993). Yapay auksetik malzemelere bir diğer örnek de Griffin tarafından ortaya atılmıştır. Griffin kristalin polimerlerdeki asıl zincir likitlerinin auksetik olduğunu vurgulamıştır. (Griffin, 1998). Nükleer reaktörler için birbirine geçen tuğla şeklindeki grafit çekirdek yapıları tasarlanmıştır. Bu yapılar makro boyuttaki auksetik yapılardır ve bu tür malzemeler deprem anında oluşan yatay yöndeki hareketlerin vereceği zararları minimum seviyelere düşürmek için tasarlanmıştır (Muto vd., 1963). 1982’ de yapılarda ilk kez hücresel auksetik yapı 2-D silikon kauçuk petek tasarlanmıştır (Gibson vd., 1982). Yapay auksetik malzemelerin en önemlilerinden biri de kompozitlerdir. Kompozitin darbe dayanımını artırmak için lif takviyeli laminelerde auksetik özelliği oluşturulmuştur. Yapılan bu çalışma sonucu elde edilen kompozitler araba ve uçak parçası yapımında kullanıldığında avantajlı sonuçlar elde edilmiştir (Evans, 1991). Ayrıca, auksetik malzemeler ile ilgili yapılan çoğu çalışma düzlem içi özelliklere odaklanırken, auksetik malzemeler pratik uygulamalarda düzlem dışı kuvvetlerden etkilenir (Pan vd., 2023).

Bilinen geliştirilmiş olan ilk auksetik polimer, teflon olarak bildiğimiz mikro gözenekli PTFE’ dir. (Evans vd., 1989).

Auksetik malzemeler, geleneksel malzemelere kıyasla daha yüksek sürtünme dayanımı, üstün enerji emme kapasitesi, gelişmiş akustik özellikler, yüksek çekme direnci, daha iyi tutunma performansı (ara yüzey/matris), termal şok ve ısı darbe dayanıklılığı gibi birçok avantaja sahiptir (Greaves vd., 2011; Evans vd., 2000).

Auksetik malzemelere duyulan ilgi ve çalışmalar gelişen teknoloji ile birlikte her geçen gün artmaktadır. Auksetik malzeme geleneksel malzemeye iyi bir alternatif olarak dikkat çekmektedir. Poisson oranı malzemede mekanik davranış üzerinde çok temel bir etkiye sahiptir. Auksetik malzemelerin negatif poisson oranına sahip olması bu malzemelere geleneksel malzemelere göre bir üstünlük sağlar. Bu sebeple araştırmalarda ve çalışmalarda, başta mühendislik uygulamaları olmak üzere birçok alanda kullanılmasına teşvik edilmektedir.

Auksetik malzemelerle ilgili çalışmalar tekstil alanında da oldukça yaygındır. Bu çalışmalara örnek olarak kurşun geçirmez yelek ve patlama etkilerine dayanıklı perde üretimi gibi koruyucu tekstil ürünleri, endüstriyel dayanıma sahip auksetik halat ve iplik üretimi, spor giysilerinde konfor açısından üstün normale kıyasla daha çok hava alabilen kumaşlar, auksetik köpük ve petek yapıları, dayanımı yüksek tekstil takviyeli kompozit üretimi, gözenek yapısı üstün medikal uygulamalarda kullanılan yapay kas, bandaj ve ameliyat ipliği gösterilebilir (Uzun, 2010).

Günümüz teknolojisinde üç boyutlu yazıcı sayesinde istediğimiz malzeme ve özellikte tasarlanan ve modellenen her türlü ürün kolayca üretilmektedir. Bize sınırsız olanaklar sağlayan bu teknoloji sayesinde mobilya sektörünün de dahil olduğu mimari, inşaat, otomotiv, sağlık vb. gibi birçok sektörde daha da gelişme ve çalışma olacaktır.

Bu tez çalışması mobilya tasarımı ve mühendisliğinde üç boyutlu yazıcının sektörde kullanılmasının inovatif ve özgün sonuçlar doğuracağını göstermekte ve bunun önemine vurgu yapmaktadır.

2.2. Panel Mobilyalar

Üretiminde tablaların kullanıldığı mobilyalar kutu (panel) tipi, masif çerçevelerin yer aldığı mobilyalar çerçeve (iskelet) tipi, her iki eleman tipinin de kullanıldığı mobilyalar ise kombine konstrüksiyonlu mobilyalar olarak isimlendirilmektedir (Örs ve Efe, 1998).

Panel mobilyalar, modern mobilya üretiminde birçok alanda yaygın olarak kullanılan bir tür mobilya türüdür. Bu mobilyalar, genellikle ahşap bazlı kompozit malzemelerden üretilir ve tasarımında, işlevselliği, dayanıklılığı ve estetiği birleştirir. Panel mobilyalar, genellikle düz yüzeyli kullanıldığı mobilyalardır. Panel mobilyalarda kullanılan paneller; MDF (Medium Density Fiberboard) yani orta yoğunluklu lif levha, HDF (High Density Fiberboard) yani yüksek yoğunluklu lif levha, lamine ahşap levha ve sunta olmak üzere bu dört malzemelerden üretilmektedir.

MDF ağaç liflerinin, talaşların ve reçine gibi bağlayıcı malzemelerin yüksek sıcaklık ve basınç altında preslenmesiyle üretilen bir tür yapay ahşap malzemedir. Bu malzeme, pürüzsüz yüzeyi, kolay işlenebilirliği ve dayanıklılığı ile bilinir. MDF, özellikle modern mobilya, dolaplar, raflar, kapı panelleri, iç mekân panelleri ve dekoratif öğelerde kullanılır. HDF, MDF'ye benzer ancak daha yoğun ve sağlamdır. HDF, özellikle laminant parke, kapı panelleri, mobilya yüzeyleri, paneller ve yer döşemeleri gibi dayanıklı ve estetik malzemeler için kullanılır.

Lamine ahşap levha, ince ahşap katmanlarının (lameller) özel bir yapıştırıcı ile üst üste yerleştirilip preslenerek oluşturulan bir malzemedir. Lamine ahşap levhalar hem estetik hem de yapı olarak güçlü ve stabil bir malzeme sunar. Lamine ahşap levhalar, mobilya üretimi, inşaat sektörü, iç mekân tasarımı gibi birçok alanda kullanılır.

Yonga levha ise genellikle odun liflerinin, talaşların veya başka ahşap atıklarının yüksek ısı işlem ve yapıştırıcılarla birleştirilerek preslenmesiyle üretilen, düz ve sert bir malzemedir. Sunta, genellikle daha ekonomik ve hafif olması nedeniyle mobilya, iç mekân dekorasyonu ve inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılır. Ancak, nem ve suya karşı duyarlı olduğu için dış mekân kullanımı için uygun değildir.

Panel mobilyalar belirli ölçülerde ve formlarda üretilerek hızla montajlanabilir. Bu, üretim maliyetlerini düşürür ve fabrikasyon süreçlerinde hız sağlar böylece seri üretim kolaylığı sağlar. Panel mobilyalar çeşitli kaplama malzemeleri ile kaplanabildiği için tasarımda çeşitlilik sağlar ve iç mekân estetiğine katkıda bulunur. Ayrıca panel mobilyalar geleneksel masif mobilyalara göre daha düşük maliyetlidir ve geri dönüştürülmüş malzemeler kullanılarak da yapılabildiği için çevre dostu ve sürdürülebilirdir.

Panel mobilyalar, modern iç mekân tasarımlarında hem estetik hem de fonksiyonel açıdan önemli bir rol oynamaktadır. Hem ticari hem de bireysel kullanımda geniş bir uygulama alanına sahip olmaları, bu tür mobilyaların popülerliğini artıran faktörlerden biridir. Ayrıca çevre dostu ve geri dönüştürülebilir malzemeler kullanımı, sektörde daha sürdürülebilir üretim süreçlerine doğru bir eğilimi teşvik etmektedir. Teknolojik gelişmelerle birlikte, daha dayanıklı, çevre dostu ve yenilikçi panel mobilya ürünleri piyasaya sürülmektedir. Panel mobilyalar üretim kolaylığı, düşük maliyet ve estetik çeşitlilik gibi avantajları nedeniyle gelecekte de yaygın olarak kullanılmaya devam edecektir.

2.3. Mobilyalarda Performans Testleri

Mukavemet tasarımı alanı, mobilyanın üretimde kullanılan malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi, daha sonra mobilya elemanlarının birbirlerine bağlanmasında uygulanan birleştirmelerin ve bu noktalarda kullanılan bağlantı elemanlarının özelliklerinin belirlenmesi ve son olarak da mobilyanın performans testlerinin gerçekleştirilmesi olarak özetlenebilir (Eckelman, 2003; Efe 1994; Kasal, 2004).

Mobilya tasarlanırken tasarımcılar, yapısal tasarım gerçekleştirilirken mühendislik adımlarını metodolojik olarak uygulamamakta ve geçmiş tecrübeler ile kendi kararlarına güvenmektedirler. Mobilya; yapısal bir sistem olarak tanımlanmasına rağmen, yapısal olarak mühendislik analizleri sistematik bir şekilde uygulanmamış olup mobilya elemanlarının, birleştirmelerinin ve bağlantı elemanlarının tasarımı sayısal analizlerin konusu olmamıştır.

Bunun yerine, eleman ölçülerinin, konstrüksiyonların ve birleştirme tekniklerinin belirlenmesinde geçmiş tecrübeler ve estetik faktörler etkili olmuştur (Eckelman, 2003; Kasal, 2004).

Tez çalışması kapsamında kutu tipi köşe birleştirme deneylerinde arkalık etkisini de görebilmek amacıyla arkalık elemanın da olduğu L-tipi deney örnekleri yapılmış olup mühendislik tasarım süreçleri tam anlamıyla gerçekleştirilmiştir. L-tipi köşe birleştirme deneyi için diyagonal çekme ve basınç testleri olmak üzere 2 test yöntemi uygulanmıştır.



3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. Deney Örneklerinin Hazırlanmasında Kullanılan Malzemeler

Deney örneklerin hazırlanmasında melamin kaplı Yonga Levha (YLLAM) ve arkalık olarak melamin kaplı orta yoğunlukta lif levha (MDFLAM) kullanılmıştır. Tez çalışması kapsamında L-tipi köşe birleştirmelerinin üretiminde 18 mm YLLAM, arkalık kısımlarda ise 4 mm MDFLAM kullanılmıştır. 18 mm yonga levhanın yoğunluğu (TS EN 322), rutubeti (TS EN 323), eğilme direnci ve elastikiyet modülü (TS EN 310) değerleri ilgili standartlara uygun olarak testlerle belirlenmiştir.

YLLAM ahşap yongaların tutkalla sıkıştırılması ile oluşturulan, damar yönü olmayan, homojen ve farklı yönlerde aynı dayanıklılık derecesine sahip ahşap esaslı bir malzemedir. Aynı şekilde MDFLAM ısıya ve neme karşı dayanıklı, kolay şekil alabilen, yüzeyi düz ve pürüzsüz ahşap esaslı malzemedir. Yonga levha, ağaç liflerinin veya yonga şeklindeki küçük parçaların, reçine ve diğer bağlayıcılarla bir araya getirilip preslenmesiyle üretilen bir yapı malzemesidir. Yonga levhalar ağaçların kesilmesi ile elde edilen yongaların belirli bir boyutta kesilip, kimyasal bağlayıcılarla karıştırılıp yüksek sıcaklık ve basınç altında preslenmesi ile üretilir. Yonga levhalar genellikle masif ahşap malzemeye göre daha ucuzdur. Kesim delme ve zımparalama gibi işlemlere kolayca tabi tutulabilir ve yüzeyleri genellikle pürüzsüzdür, bu da boyama ve kaplama işlemlerini kolaylaştırır. Yonga levhalar mobilya yapımında, iç mekân kaplamalarında, yapı inşaatında duvar paneli ve döşemelerde kullanılır. Yonga levhalar geri dönüştürülmüş malzemelerden üretilir bu da ağaç kesiminin azaltmaya yani sürdürülebilirliğe imkân sağlamasına rağmen içerdiği bağlayıcıların kimyasal bileşenleri çevre üzerinde olumsuz etkilere de yol açabilir (Örs vd., 2001; Çağlayan, 2023).

3.2. Bağlantı Elemanı Malzemeleri ve Özellikleri

Çalışmada, auksetik özellikli bağlantı elemanları üç boyutlu yazıcı teknolojisi ile Polilaktik Asit (PLA), Akrilonitril Butadiyen Stiren (ABS) ve Akrilonitril Stiren Akriolat (ASA) filamentlerden üretilmiştir.

Yapılan ön araştırmada, kullanılması planlanan filamentlerin biyo-bazlı/biyo-bozunur olması, çevresel etkileri, insan sağlığına etkileri, mukavemeti, maliyeti ve 3B yazıcıda üretilebilmesi gibi hususlar göz önünde bulundurulmuştur. Belirlenen malzemelerden PLA biyo-bazlı ve biyo-bozunur bir malzemedir.

ABS ve ASA ise petrol bazlı ve biyo-bozunmaz olmasına rağmen üretim sonrasında çevreye ve insan sağlığına zararlı etkileri yoktur. Belirlenen malzemelerin çevre ve insan sağlığı açısından zararlı değildir ve tamamı otomotiv, beyaz eşya, elektronik eşya, mobilya/kapı/pencere, oyuncak, tekstil, kozmetik vb. birçok sektörde ve günlük hayatta kullanılmaktadır. Ayrıca, çalışma kapsamında üretilecek auksetik bağlantı elemanları dışarıdan görünmeyecek şekilde monte edilmiş olacağından çevresel etkilerinin çok sınırlı olacağı öngörülmektedir. Sonuç olarak, auksetik kavelaların üretimi için biyo bazlı ve biyo-bozunur olması nedeniyle PLA, petrol bazlı ve biyo-bozunmaz olmasına karşın mukavemetinin yüksek olması ve üretim sonrasında çevre ya da insan sağlığına zararlı etkilerinin olmaması nedeniyle de ABS ve ASA filamentleri tercih edilmiştir.

PLA filamentler “nozzle” sıcaklığı 200-230 °C de, özel “Hot-end” (3 boyutlu yazıcı filamentinin ekstrüderden sonra iletildiği yerdir) gerektirmeyen, 60°C tabla sıcaklığı, 0,1 mm detaylı baskı yapılabilen, masa tipi 3 boyutlu yazıcılara uygun malzemelerdir. ABS filamentler “nozzle” sıcaklığı 220-260 °C de, özel “Hot-end” gerektirmeyen, 80-110°C tabla sıcaklığı, 0,1 mm detaylı baskı yapılabilen, masa tipi 3B’lu yazıcılara uygun malzemelerdir. ASA filamentler “nozzle” sıcaklığı 250-280 °C de, özel “Hot-end” gerektirmeyen, 100-110°C tabla sıcaklığı, 0,1 mm detaylı baskı yapılabilen, masa tipi 3 boyutlu yazıcılara uygun malzemelerdir (Porima, 2025).

Çalışma kapsamında PLA, ABS ve ASA filamentlerinin yoğunlukları ve ASTM D3039/D3039M-17 standardında belirtilen prensiplere göre çekme dirençleri ile çekmede elastikiyet modülü değerleri belirlenmiştir. Bu testlerde kullanılan deney örnekleri üç boyutlu yazıcı ile üretilmiştir.

3.3. Bağlantı Elemanlarının Tasarımı ve Üç Boyutlu Yazıcı ile Üretilmesi

Tez çalışması kapsamında panel mobilyaların üretiminde, köşe birleştirmelerde kullanılan minifiks bağlantı elemanına alternatif, H tipi ve kırılma tipi olmak üzere auksetik desenler baz alınarak tasarlanan 2 adet bağlantı elemanı üretilmiştir. Auksetik bağlantı elemanları üç boyutlu yazıcıyla üretilmek üzere, bunların tasarımında aynı zamanda seri üretime uygun olan enjeksiyon kalıplama yöntemiyle de üretilebilecek özelliklere sahip olmasına dikkat edilmiştir.

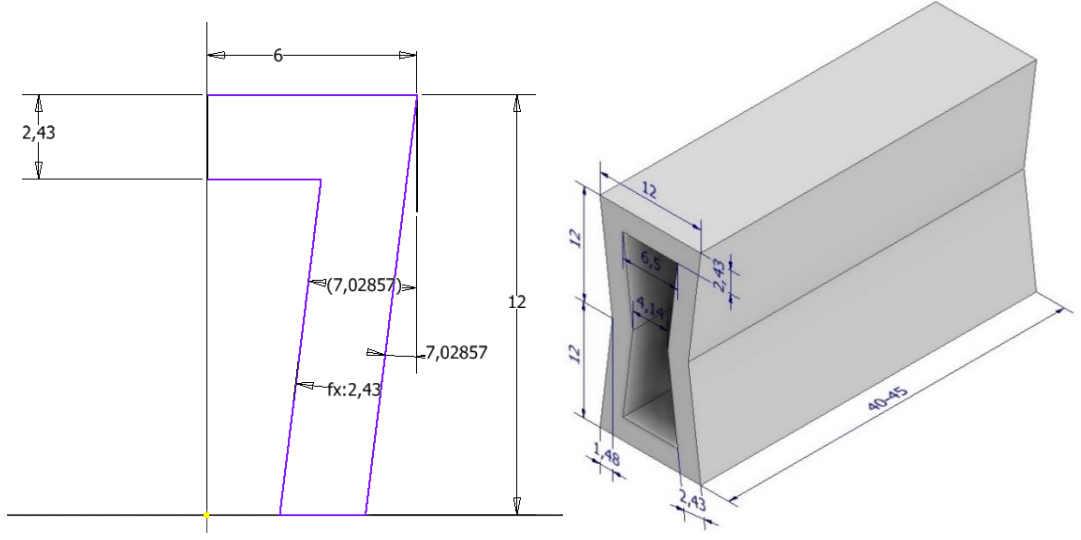
Tasarlanan bu bağlantı elemanları; pratik bir şekilde yatay ve dikey panel elemanları hiçbir araç-gereç gerektirmeden düşük montaj kuvveti ile kolayca birleştirilmekte ve dışarıdan görünmemektedir.

Tasarlanan K-tipi ve H-tipi deney örneklerinin enine kesitlerine ilişkin ölçü parametreleri tez çalışmasının üretilmiş olduğu proje kapsamında en yüksek elastikiyet modülü ve en düşük Poisson oranı amaç fonksiyonuna göre optimize edilmiştir. Ayrıca, yine proje kapsamında tasarlanan ve optimize edilen bağlantı elemanlarının Poisson oranlarının hem nümerik analizler hem de deneylerle negatif olduğu belirlenmiştir (Kuşkun vd., 2024).

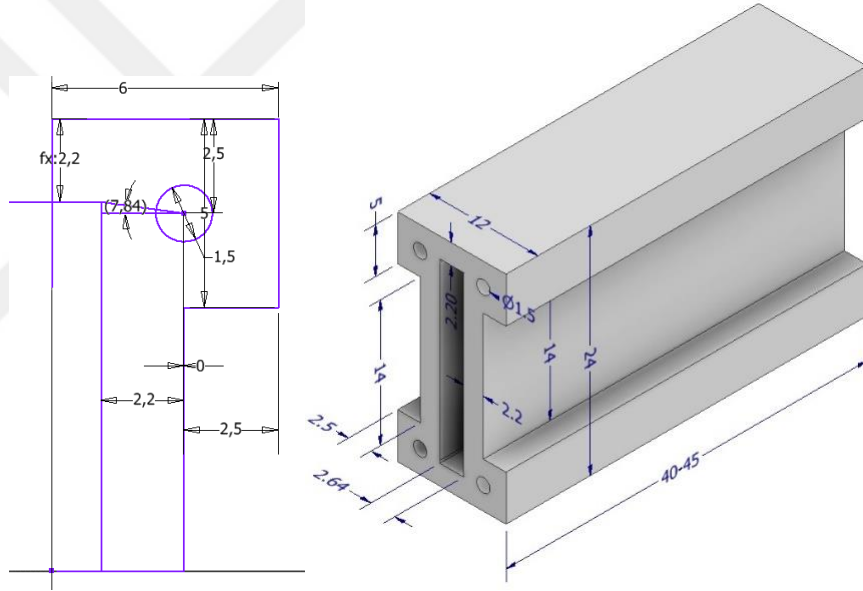
Çizelge 3.1. Bağlantı elemanlarına ait deneysel ve nümerik poisson oranları

Bağlantı Tipi	Deney Poisson Oranı	Nümerik Poisson Oranı
K tipi	-6,25	-9,45
H tipi	-2,22	-4,75

Tasarlanan auksetik özellik kazandırılmış bağlantı elemanları 3 boyutlu yazıcı ile üretilmek adına Autocad Inventor programında 3 boyutlu olarak modellenmiştir (Şekil 3.1. ve Şekil 3.2.).



Şekil 3.1. K tipi bağlantı elemanının ¼ kesiti ölçüleri ve 3 boyutlu görüntüsü



Şekil 3.2. H tipi bağlantı elemanının ¼ kesiti ölçüleri ve 3 boyutlu görüntüsü

Auksetik bağlantı elemanlarının üretimindeki en önemli parametreler; filament baskı açısı, katman kalınlığı, doluluk oranı, tabla sıcaklığı ve nozzle sıcaklığıdır. Bu parametreler için verilen firma önerilerindeki aralıkların orta noktalarında yapılan ilk denemelerde; bağlantı elemanının döküm esnasında tablaya iyi yapışmaması veya tabladan ayrılıp dökülememesi, bağlantı elemanının tablaya çok kuvvetli yapışıp döküm bitiminde tabladan sökülememesi ya da sökülürken kırılması, dökümün ileri aşamalarında bağlantı elemanlarında deformasyonlar oluşması gibi problemlerle karşılaşmıştır.

Bu nedenle, her bir parametre için firma önerilerinde verilen aralıklar dikkate alınmış, ancak bu aralıklardaki en başarılı sonuçların hangi noktalarda alınacağını belirlemek için ön denemeler gerçekleştirilmiştir.

Buna göre, PLA, ABS ve ASA filamentleri ile kavala üretimi için optimum değerler belirlenmiştir (Çizelge 3.2.).

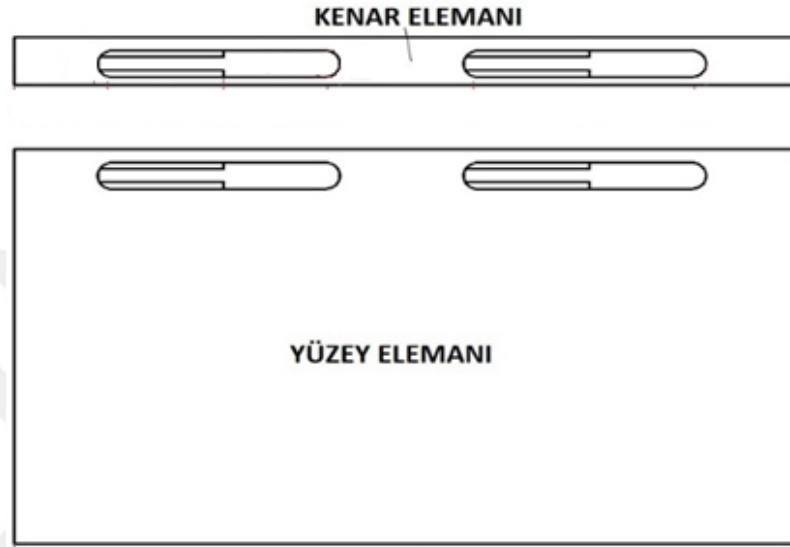
Çizelge 3.2. Bağlantı elemanlarının 3B yazıcıyla üretiminde kullanılan döküm değerleri

Filament	Nozzle Sıcaklığı (°C)	Tabla Sıcaklığı (°C)	Doluluk Oranı (%)	Katman Kalınlığı
PLA	220	70	90	0.1
ABS	240	90	90	0.1
ASA	260	90	90	0.1

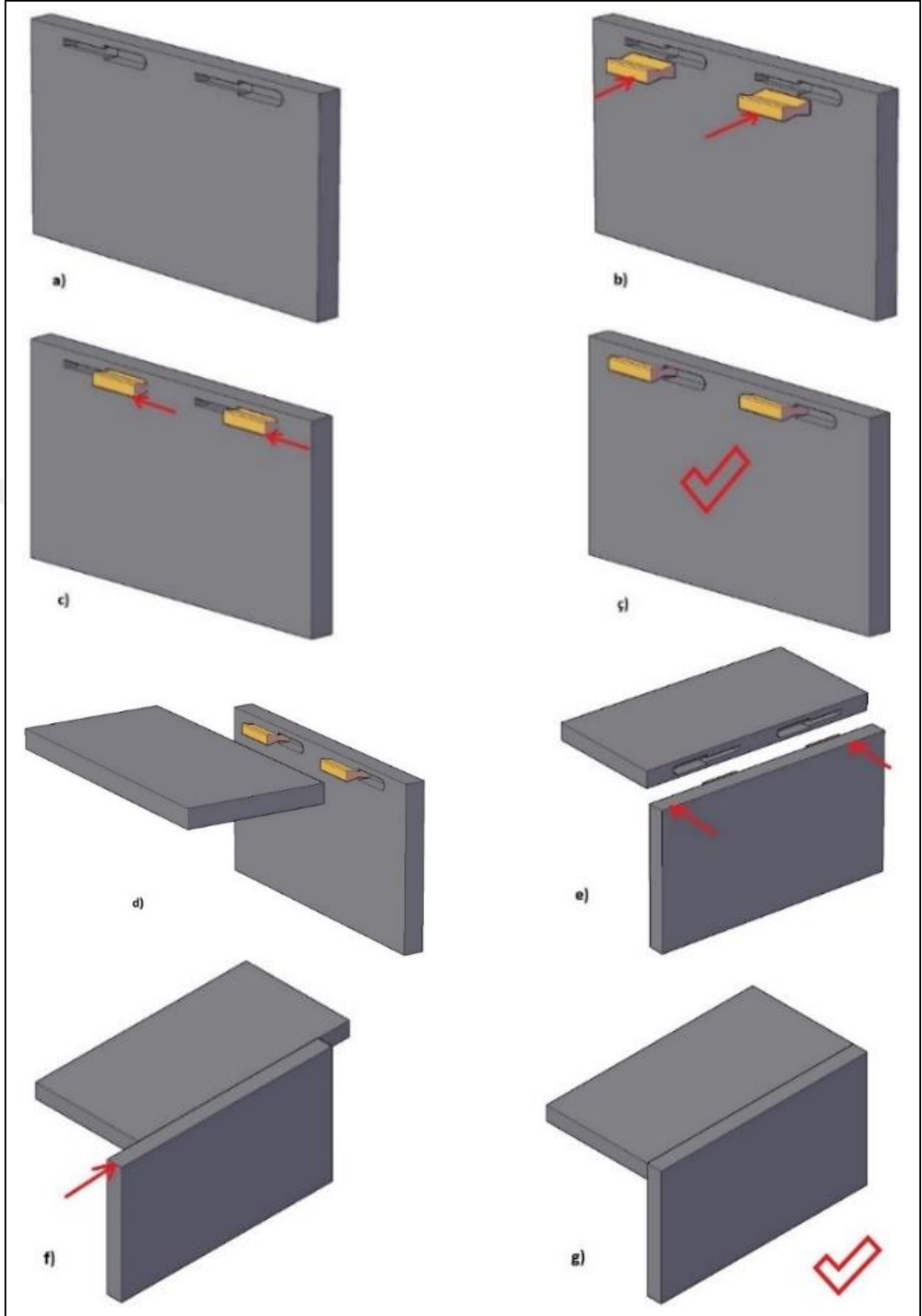
Bağlantı elemanları, katmanlar bağlantı elemanının boyuna eksenine dik yönde olacak şekilde dökülmüştür. Bir başka ifadeyle, üretim sonucunda bağlantı elemanları yazıcı tablasının yüzeyine dik pozisyonda durmaktadır. Çalışma kapsamında L-tipi deney örneklerinin birleştirmelerinde kullanılan bağlantı elemanları 21'li gruplar halinde 3 boyutlu yazıcıda üretilmiştir (Şekil 3.3. ve Şekil 3.4.).

3.4. L-tipi Köşe Birleştirme Deney örneklerinin Hazırlanması

Birleştirmelerde iki eleman birbirlerine 2 adet bağlantı elemanı ile bağlanmıştır. Bağlantı elemanlarının yerleştirileceği yerlere gerekli ölçülerde bir tarafı düz, bir tarafı bağlantı elemanın geometrisi ile uygun kanallar açılmıştır (Şekil 3.5. ve Şekil 3.6.)



Şekil 3.5. Bağlantı elemanının montajı için kenar ve yüzey elemanına açılacak kanalların görünüşü



Şekil 3.6. Bağlantı elemanı ile bir panel mobilyanın köşe birleştirmesinin montaj aşamaları

Çalışma kapsamında, L-Tipi köşe birleştirmeler kenar elemanında ve yüzey elemanında 40-45 mm uzunluğundaki bağlantı elemanlarının yerleştirilebileceği şekilde kanallar açılarak hazırlanmıştır (Şekil 3.7.).



Şekil 3.7. L-tipi köşe birleştirmelerinin bağlantı elemanları ile montajı

Kenar ve yüzey elemanları birleştirildikten sonra 5 elemanlı kutu mobilyayı temsil edebilmek için arkalık elemanı L-tipi köşe birleştirmeye monte edilmiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Hazırlanan deney örneklerinin son hali

L-tipi köşe birleştirme deneylerinde; 3 malzeme çeşidi (PLA, ASA, ABS), 2 auksetik desen (H-tipi ve kırılmaç kuyruğu tipi), 2 uzunluk ($b=40 - 45$ mm), 2 test yöntemi (diyagonal çekme ve basınç testleri) ve her bir deney örneğinden 10 yineleme olmak üzere toplam 240 L-tipi deney örneği hazırlanmıştır. Her bir deney örneği iki bağlantı elemanı ile birleştirileceğinden diyagonal çekme ve basınç testleri için toplam 480 adet bağlantı elemanı üretilmiştir. Deney örnekleri 18 mm kalınlığındaki yonga levhalardan hazırlanmış ve her bir deney örneği kenar ve yüzey olmak üzere iki ayrı elemandan oluşmaktadır. Kenar elemanı 300 x 132 mm, yüzey elemanı ise 300 x 150 mm ölçülerindedir.

Buna ilave olarak, yeni tasarlanan bağlantı elemanlarıyla birleştirilen L-tipi köşe birleştirmelerinden elde edilen deney sonuçlarının, firmada mevcut olarak uygulanan minifiks bağlantı elemanı ile karşılaştırılabilmesi için, 20 adet (10 çekme deneyi, 10 basınç deneyi için) minifiks bağlantılı L-tipi köşe birleştirme deney örneği de hazırlanarak ve test edilmiştir. Tüm deney örnekleri, deneylere alınmadan önce 20 ± 2 °C ve $\%65 \pm 5$ bağıl nem koşullarındaki iklimlendirme odasında denge rutubetine ulaşıncaya kadar bekletilmiştir.

Deney sonuçlarının analizi aşamasında; istatistiksel analizler basınç deneyi sonuçları için ayrı, çekme deneyi sonuçları için ayrı olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, her bir deneyden moment ve elastikiyet olmak üzere 2 farklı veri elde edilmiş olup, toplamda 4 farklı bağımlı değişken (çekmede taşınan moment, çekmedeki elastikiyet, basınçta taşınan moment, basınçtaki elastikiyet) kullanılmıştır.

3.5. L-Tipi Köşe Birleştirme Elemanlarının Statik Çekme ve Basınç Yükü Altındaki Performansları

L-tipi köşe birleştirme elemanları, çalışmaya destek veren firma tarafından kanalları açılarak test edilmek üzere Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Bölümü mekanik test laboratuvarına gönderilmiştir. Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesinde üç boyutlu yazıcı teknolojisi ile üretilen bağlantı elemanları kullanılarak montajları yapılan L-tipi köşe birleştirmeler kondisyonlama işleminden sonra statik diyagonal çekme ve basınç testlerine alınmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Montajı tamamlanan ve test için hazır olan L-tipi köşe birleştirmeler

Montajı tamamlanan L-tipi köşe birleştirmeler, tez çalışması kapsamında tasarımı yapılan test aparatı ile testlere tabi tutulmuştur. Bu test aparatı L-tipi köşe birleştirmelerde aralık olarak kullanılacak elemanı birleştirmeye sabitleyerek, köşe birleştirmenin arkalıklı bir dolap gibi test edilmesine imkân vermiştir. Dolaplarda bulunan arkalık elemanı dolap rijitliğini sağlamakta ve dayanımı artırmaktadır.

Arkalık elemanı olmadan yapılan L-tipi köşe birleştirme testleri tam olarak gerçeği yansıtılmamakta ve arkalık etkisi bu testlerde göz ardı edilmektedir. Tezin üretildiği proje kapsamında geliştirilen test aparatı sayesinde daha gerçekçi test sonuçları elde edilmiştir. Diyagonal ekme ve basınç testlerine ait görseller şekil 3.11’de verilmiştir.



şekil 3.10. L-tipi diyagonal çekme ve diyagonal basınç testleri

şekil 3.10’da görölen test sisteminde, L-tipi köşe birleştirme tez çalışması kapsamında tasarlanan test aparatına yerleştirilerek aparat alt tarafı hareketli olan tezgâha yerleştirilmiştir. Yükün eşit bir şekilde dağılması için L-tipi köşe birleştirmenin üst tarafına metal bir köşe elemanı yerleştirilmiştir. L-tipi köşe birleştirmeler için H-tipi bağlantı elemanı, K-tipi bağlantı elemanı ve kontrol grubu olarak minifiksli bağlantıların testleri yapılmıştır.

Birleştirmelerin performansı, deney yükleri ve koşulları altında taşınan momentler ve elastikiyetler hesaplanarak belirlenmiştir. Elastikiyetler, deney yükleri altında meydana gelen açısal deformasyonlar (rotasyonlar) hesaplanarak belirlenmiştir.

Diyagonal basınç deneylerinde ise moment (M_B), Eşitlik 13'e göre hesaplanmıştır.

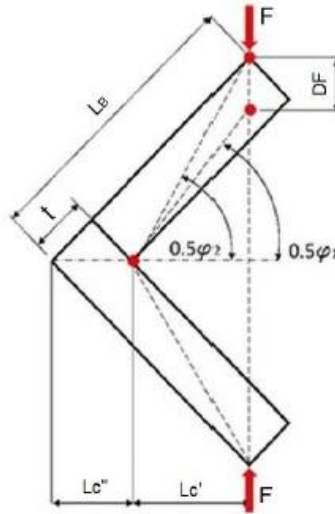
$$M_B = F_{B_{max}} * L_c' (Nm) \quad (13)$$

Burada;

M_B = Basınç yükü altında taşınan moment (Nm)

$F_{B_{max}}$ = Göçme anındaki maksimum kuvvet (N)

L_c' = Moment kolu (mm) (Şekil 3.16)



Şekil 3.11. Diyagonal Basınç Deneyi Düzenegi (ölçüler mm) ve Yük Altındaki Yer Değiştirme Biçimi (rotasyon)

Diyagonal basınç deneyi için hazırlanan deney numunelerinin yük altına girmesinden kırılma anına kadar, birleştirmede meydana gelen düşey yöndeki yer değiştirme miktarları ölçülmüş olup, birleştirmelerin diyagonal basınç yükü altındaki elastikiyet değerleri için, Eş. 14, Eş. 15, Eş.16, Eş.17, Eş. 18 ve Eş. 19'ten yararlanılmıştır.

$$K_C = \frac{FL_C'}{\varphi} \quad (14)$$

$$\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 \quad (15)$$

$$L_C' = \frac{\sqrt{2}}{2} L_B - L_C'' \quad (16)$$

$$L_C'' = t\sqrt{2} \quad (17)$$

$$\varphi_1 = 2atg\left(\frac{\sqrt{2}L_B}{2L_C'}\right) \quad (18)$$

$$\varphi_2 = 2asin\left(\frac{\frac{\sqrt{2}}{2}L_B - DF}{\sqrt{t^2 + (L_B - t)^2}}\right) \quad (19)$$

Burada; K_c , basınç kuvveti altında oluşan moment/rotasyon değeri olan stiffness katsayısını; φ , deformasyonun açı olarak değerini; F , uygulanan kuvveti; D_F , deformasyonun mm olarak değerini; L_c' , moment kolunu ifade etmektedir.

Diyagonal çekme deneylerinde moment (M_ζ), Eşitlik 20'ye göre hesaplanmıştır.

$$M_\zeta = 0,5 * F_{\zeta max} * 0,5 * L_\zeta \text{ (Nm)}$$

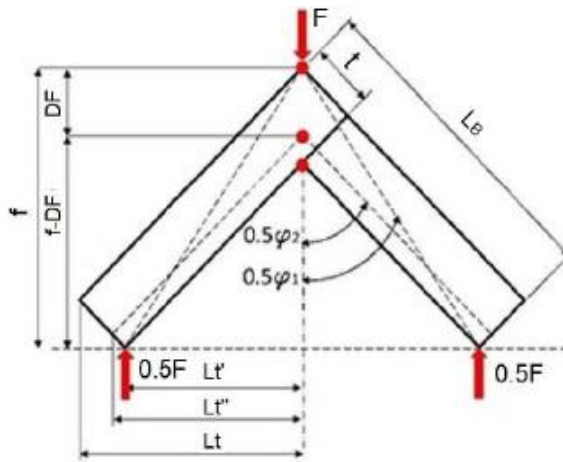
$$M_\zeta = 0,5 * F_{\zeta max} * 0,5 * L_\zeta \text{ (Nm)} \quad (20)$$

Burada;

M_ζ = Çekme yükü altında taşınan moment (Nm)

$F_{\zeta max}$ = Göçme anındaki maksimum kuvvet (N)

L_t' = Moment kolu (mm) (Şekil 3.17)



Şekil 3.12. Diyagonal Çekme Deneyi Düzenegi ve Yük Altındaki Yer Değiştirme Biçimi (rotasyon)

Diyagonal çekme deneyi için hazırlanan deney numunelerinin yük altına girmesinden kırılma anına kadar, birleştirmede meydana gelen düşey yöndeki yer değiştirme miktarları ölçülmüş olup, birleştirmelerin diyagonal çekme yükü altındaki elastikiyet değerleri için Eşitlik 21, 22, 23, 24, 25, 26 ve 27'den yararlanılmıştır.

$$K_T = \frac{FL_t'}{2\varphi} \quad (21)$$

$$\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 \quad (22)$$

$$L_t' = \frac{\sqrt{2}}{2}(L_B - t) \quad (23)$$

$$0.5\varphi_1 = \text{atg}\left(\frac{L_t'}{f}\right) \quad (24)$$

$$0.5\varphi_2 = \text{atg}\left(\frac{L_t''}{f - D_F}\right) \quad (25)$$

$$f = L_t' + \frac{\sqrt{2}}{2}t \quad (26)$$

$$L_t'' = \sqrt{L_t'^2 + f^2 - (f - D_F)^2} \quad (27)$$

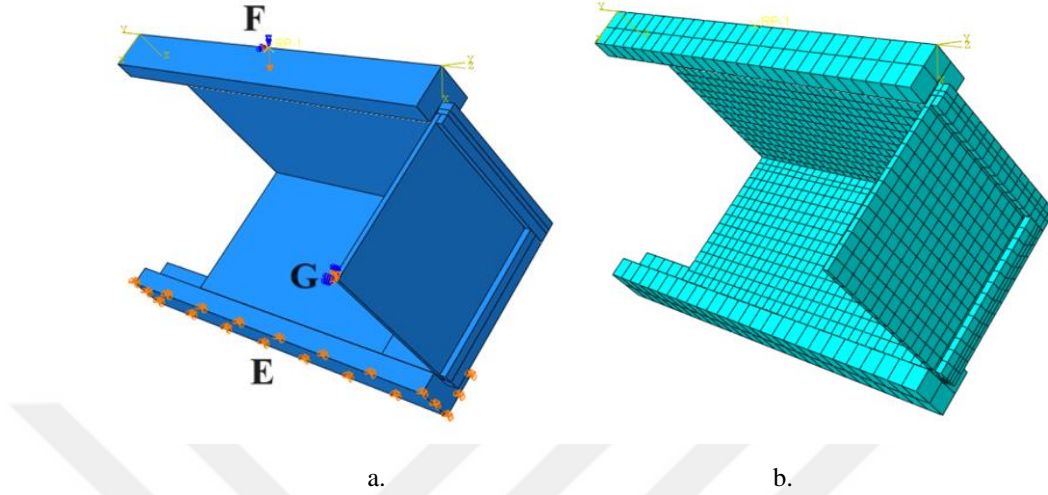
Burada; K_T çekme kuvveti altında oluşan moment/rotasyon değeri olan elastikiyet katsayısını; φ , deformasyonun açı olarak değerini; F , uygulanan kuvveti; D_F , deformasyonun mm olarak değerini; L_t' , moment kolunu ifade etmektedir.

Bunlara ilave olarak, yeni tasarlanan bağlantı elemanlarıyla birleştirilen L-tipi köşe birleştirmelerinden elde edilen deney sonuçlarının, firmada mevcut olarak uygulanan minifiks bağlantı elemanı ile karşılaştırılabilmesi için, 20 adet (10 çekme deneyi, 10 basınç deneyi için) minifiks bağlantılı L-tipi köşe birleştirme deney örneği de hazırlanarak test edilmiştir. Tüm deney örnekleri, deneylere alınmadan önce 20 ± 2 °C ve $\%65 \pm 5$ bağıl nem koşullarındaki iklimlendirme odasında denge rutubetine ulaşmaya kadar bekletilmiş ve deney örneklerinin rutubet kontrolü için TS 2471' de belirtilen esaslara uyulmuştur.

3.6. L-Tipi Köşe Birleştirme Nümerik Analizleri

L-tipi köşe birleştirmeler için diyagonal çekme ve basınç testlerinin nümerik analizleri gerçekleştirilmiştir. Nümerik analizlerde gerçeğe yakın sonuçlar alabilmek bazı kabuller yapılarak 12 diyagonal basınç ve 12 diyagonal çekme olmak üzere toplam 24 analiz gerçekleştirilmiştir.

Diyagonal basınç testleri için L-tipi birleştirmenin üst ve alt kısımlarında elemanlar tanımlanmıştır. Bu elemanlara metal malzeme özellikleri tanımlanarak referans noktasından yüklemeler yapılmıştır (Şekil 3.13).



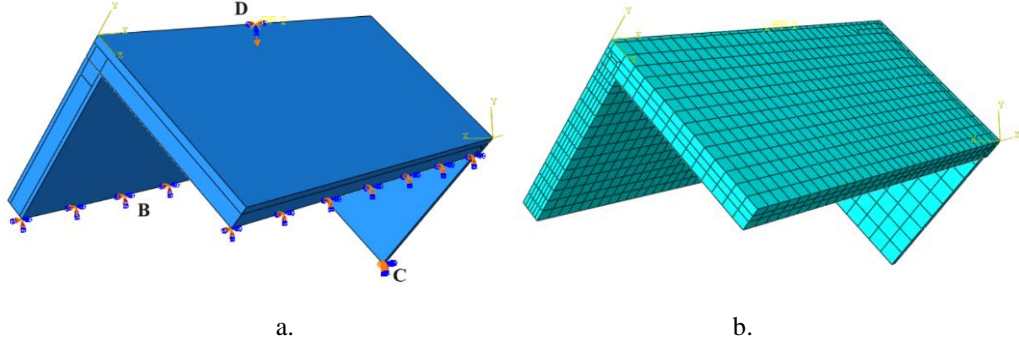
Şekil 3.13. (a) Diyagonal basınç testi nümerik analizleri için hazırlanan sınır koşulları, (b) L-tipi köşe birleştirmeler için mesh işlemi

Şekil 3.18a'da görüldüğü üzere diyagonal basınç testi nümerik analizleri sınır koşulları deneylerde olduğu gibi tanımlanmıştır. Başka bir ifade ile E kenarları şekil üzerindeki koordinat sistemine göre tüm yönlerdeki hareketleri kısıtlanmıştır.

G kenarından arkalık elemanı hareketi de geliştirilen test aparatı mantığıyla kısıtlanarak; F kenarından şekil üzerindeki koordinat sistemine göre x yönünde, 10 mm yer değiştirme uygulanarak oluşan gerilmeler incelenmiştir.

Çözümler sırasında kullanılan ağ (mesh) işleminde ortalama 9000 node ve 14000 eleman kullanılmıştır (Şekil 3.13b).

Diyagonal çekme testleri için belirlenen sınır koşulları ve ağ işlemi Şekil 3.14'te gösterilmiştir.



Şekil 3.14. (a) Diyagonal çekme testi nümerik analizleri için hazırlanan sınır koşulları, (b) L-tipi köşe birleştirmeler için mesh işlemi

Şekil 3.14 a'da görüldüğü üzere diyagonal çekme testi nümerik analizleri sınır koşulları deneylerde olduğu gibi tanımlanmıştır. Başka bir ifade ile A ve B kenarları şekil üzerindeki koordinat sistemine göre x yönünde serbest bırakılarak diğer yönlerdeki hareketler kısıtlanmıştır. C kenarından aralık elemanı hareketi de geliştirilen test aparatı mantığıyla kısıtlanarak, D kenarından 20 mm yer değiştirme uygulanarak analizler yapılmıştır. Çözümler sırasında kullanılan ağ (mesh) işleminde ortalama 7000 node ve 10000 eleman kullanılmıştır (Şekil 3.14 b).

3.7. Verilerin Değerlendirilmesi

Deney sonuçlarının istatistiksel analizi aşamasında; istatistiksel analizler basınç deneyi sonuçları için ayrı, çekme deneyi sonuçları için ayrı olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Her bir deneyden elastikiyet ve moment kapasitesi değerleri hesaplanarak istatistikleri gerçekleştirilmiştir.

Çalışma kapsamında hazırlanan deney örneği L-tipi birleştirmelerin testlerine ilişkin deneme deseni Çizelge 3.1’ de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Çalışma kapsamında hazırlanan deney örneklerine ilişkin deneme deseni

No	Malzeme	Axetic desen	Bağlantı elemanı uzunluğu (mm)	Çekme Deneyi	Basınç Deneyi
1	PLA	H-tipi	40	10	10
2			45	10	10
3	ABS	K-tipi	40	10	10
4			45	10	10
5		H-tipi	40	10	10
6			45	10	10
7	ASA	K-tipi	40	10	10
8			45	10	10
9		H-tipi	40	10	10
10			45	10	10
11		K-tipi	40	10	10
12			45	10	10
13	Minifiks Bağlantı Elemanı (Kontrol Grubu)			10	10
	Toplam Deney Örneği			130	130

260 Adet

Burada, bağlantı elemanı uzunluk ölçüsü, bağlantı elemanı tipi (K-tipi, H-tipi), bağlantı elemanı malzemesi faktörlerinin (bağımsız değişkenler), deney örneklerinin diyagonal basınç ve çekme yükleri için çoklu varyans analizi (MANOVA) ile belirlenmiştir. Varyans analizleri sonucunda farklılıkların $p < 0,05$ ’ e göre istatistiksel anlamda farklı çıkması halinde bu farklılıkların gruplar arasındaki önemi için en küçük önemli fark (LSD) karşılaştırma testi kullanılmıştır. Böylece, denemeye alınan faktörlerden bağlantı elemanı tiplerinin başarı sıralamaları homojenlik gruplarına ayrılmak suretiyle belirlenmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Ahşap Esaslı Levha ve Filamentlerin Bazı Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Deney örneklerinin hazırlanmasında ahşap esaslı levha olarak 18 mm kalınlığında yonga levha kullanılmıştır. L-tipi köşe birleştirmelerde bağlantı elemanlarının üretiminde ise PLA, ABS ve ASA filamentler kullanılmıştır. Tez kapsamında kullanılan ahşap esaslı levha ve filamentlerin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Ahşap esaslı levha ve filamentlerin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri

Ahşap Malzeme	Test Rutubeti (%)	Yoğunluk (g/cm ³)	Eğilme Direnci (N/mm ²)	Eğilmede Elastikiyet Modülü (N/mm ²)
YLLAM Filament	6,98	0,65	16	3268
	-	Yoğunluk (g/cm ³)	Çekme Direnci (N/mm ²)	Çekmede Elastikiyet Modülü (N/mm ²)
PLA	-	1,24	50	937
ABS	-	1,04	35	1385
ASA	-	1,05	36	1250

4.2. L-Tipi Köşe Birleştirme Elemanlarının Çekme ve Basınç Yükü Altındaki Performans Verileri

Bağlantı elemanı uzunluk ölçüsü, bağlantı elemanı tipi (K-tipi, H-tipi), bağlantı elemanı malzemesi faktörlerinin (bağımsız değişkenler), etkileri diyagonal basınç ve çekmede elastikiyet ve moment kapasitesi değerleri için çoklu varyans analizi (MANOVA) ile belirlenmiştir. L-tipi deney örnekleri için yapılan çoklu varyans analizi sonuçları Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. L-tipi deney örnekleri için yapılan çoklu varyans analizi sonuçları

	Varyans Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	Hata İhtimali (p < 0,05)	
Diyagonal Basınç	Elastikiyet	Malzeme (Ma)	2	286232	143116	7,54	0,001
		Auxetic Desen (AD)	1	7996545	7996545	421,46	0,000
		Bağlantı Uzunluğu (BU)	1	9245	9245	0,49	0,487
		Ma*AD	2	1339339	669670	35,30	0,000
		Ma*BU	2	78837	39418	2,08	0,130
		AD*BU	1	24126	24126	1,27	0,262
		Ma*AD*BU	2	375664	187832	9,90	0,000
		Hata	108	2049133	18973		
		Toplam	119	12159122			
		Diyagonal Çekme	Elastikiyet	Malzeme (Ma)	2	541703	270851
Auksetik Desen (AD)	1			9681736	9681736	272,52	0,000
Bağlantı Uzunluğu (BU)	1			56446	56446	1,59	0,210
Ma*AD	2			2269749	1134874	31,94	0,000
Ma*BU	2			223406	111703	3,14	0,047
AD*BU	1			96673	96673	2,72	0,102
Ma*AD*BU	2			277365	138682	3,90	0,023
Hata	108			3836829	35526		
Toplam	119			16983907			
Diyagonal Çekme	Moment			Malzeme (Ma)	2	80101481	40050741
		Auxetic Desen (AD)	1	505617864	505617864	29,59	0,000
		Bağlantı Uzunluğu (BU)	1	727442365	727442365	42,57	0,000
		Ma*AD	2	148647890	74323945	4,35	0,015
		Ma*BU	2	11849426	5924713	0,35	0,708
		AD*BU	1	516172081	516172081	30,21	0,000
		Ma*AD*BU	2	341364499	170682249	9,99	0,000
		Hata	108	1845309582	17086200		
		Toplam	119	4176505187			
		Diyagonal Çekme	Elastikiyet	Malzeme (Ma)	2	257759	128879
Auxetic Desen (AD)	1			2767833	2767833	93,80	0,000
Bağlantı Uzunluğu (BU)	1			5685	5685	0,19	0,662
Ma*AD	2			105535	52768	1,79	0,172
Ma*BU	2			698479	349240	11,84	0,000
AD*BU	1			1577268	1577268	53,45	0,000
Ma*AD*BU	2			103491	51745	1,75	0,017
Hata	108			3186751	29507		
Toplam	119			8702801			

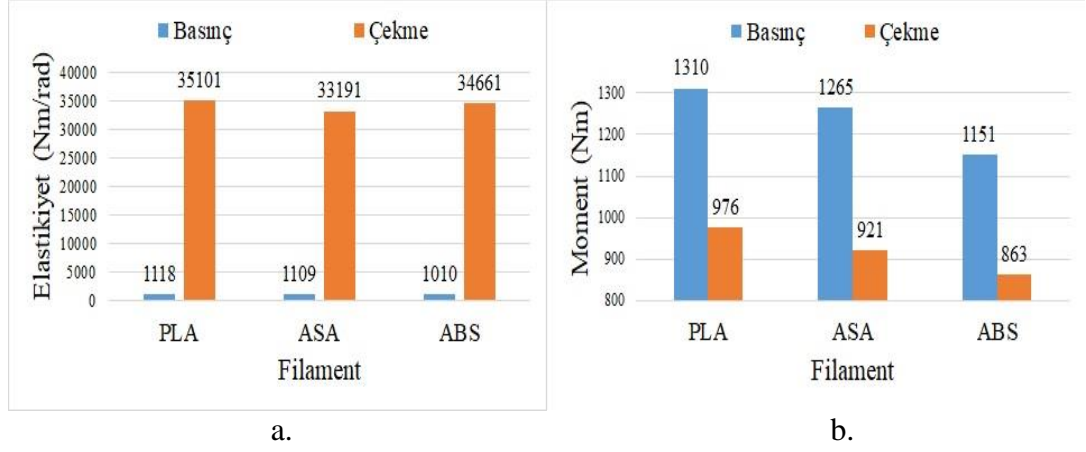
Diyagonal basınç testlerinde Elastikiyet için Malzeme ve Auksetik Desen ana faktörleri anlamlı çıkarken, ikili etkileşimlerden Malzeme*Auksetik Desen etkileşimi ve üçlü etkileşim anlamlı çıkmıştır. Diyagonal basınç testlerinde Moment Kapasitesi için Malzeme ve Auksetik Desen ana faktörleri anlamlı çıkarken, ikili etkileşimlerden Malzeme*Auksetik Desen, Malzeme*Bağlantı Uzunluğu etkileşimleri ve üçlü etkileşim anlamlı çıkmıştır.

Diyagonal çekme testlerinde Elastikiyet için Auksetik Desen ve Bağlantı Uzunluğu ana faktörleri anlamlı çıkarken, ikili etkileşimlerden Malzeme*Auksetik Desen, Aukseyik Desen*Bağlantı Uzunluğu etkileşimleri ve üçlü etkileşim anlamlı çıkmıştır. Diyagonal çekme testlerinde Moment Kapasitesi için Malzeme ve Auksetik Desen ana faktörleri anlamlı çıkarken, ikili etkileşimlerden Malzeme*Bağlantı Uzunluğu ve Auksetik Desen*Bağlantı Uzunluğu etkileşimleri ile üçlü etkileşim anlamlı çıkmıştır. Diyagonal çekme ve basınç testlerinde malzeme ana faktörü için gerçekleştirilen LSD testi ve homojenlik grupları Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Malzeme ana faktörüne göre bağlantı elemanlarının elastikiyet ve moment kapasiteleri

Malzeme	Diyagonal Basınç				Diyagonal Çekme			
	Elastikiyet (Nm/Rad)		Moment (Nm)		Elastikiyet (Nm/Rad)		Moment (Nm)	
	X	(HG)	X	(HG)	X	(HG)	X	(HG)
PLA	1117,62	A	1310,48	A	35101,20	NS	976,23	A
ASA	1109,34	A	1265,35	A	33190,5	NS	921,45	AB
ABS	1010,13	B	1150,86	B	34661,4	NS	862,73	B

Malzeme ana faktörüne göre yapılan karşılaştırmalar sonucunda, PLA ve ASA ile üretilen bağlantı elemanlarının en yüksek değerleri verdiği görülmüştür. PLA ve ASA malzemelerden üretilen bağlantı elemanlarında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmamaktadır. ABS malzemedan üretilen bağlantı elemanlarının yük taşıma kapasitelerinin ise daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bu bağlamda PLA malzeme hem doğa dostu ve biyo-bozunur hem de ASA filamente göre ucuz olduğu için önerilmektedir. Filament tipine göre moment ve elastikiyet karşılaştırma sonuçları Şekil 4.1 a ve 4.1 b'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Filamentlerin tipine göre (a) moment ve (b) elastikiyet değerleri

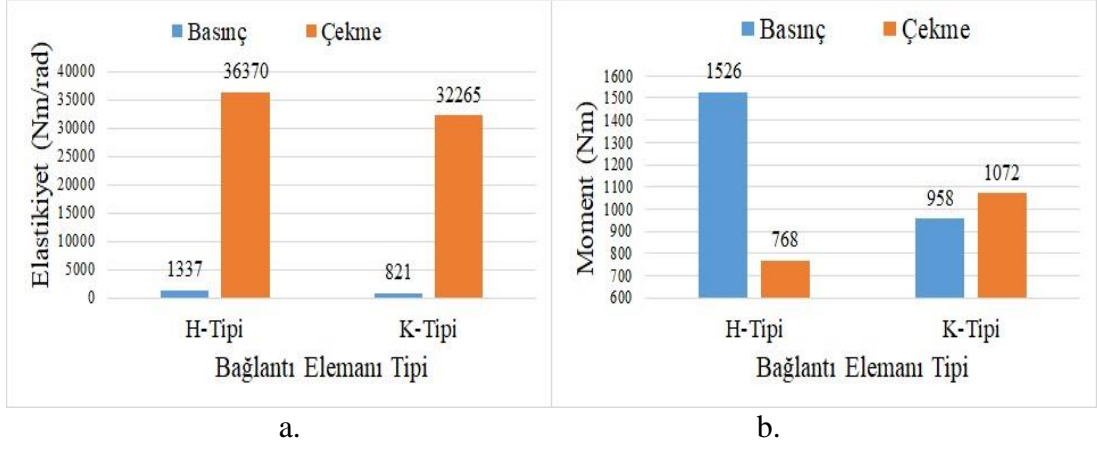
Diyagonal çekme ve basınç testlerinde auksetik desen ana faktörü için gerçekleştirilen LSD testi ve homojenlik grupları Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Auksetik desen ana faktörüne göre bağlantı elemanlarının kuvvet taşıma kapasiteleri

Auksetik Desen	Diyagonal Basınç				Diyagonal Çekme			
	Elastikiyet (Nm/Rad)		Moment (Nm)		Elastikiyet (Nm/Rad)		Moment (Nm)	
	X	(HG)	X	(HG)	X	(HG)	X	(HG)
H-Tipi	1337,17	A	1526,27	A	36370,40	A	768,27	B
K-Tipi	820,89	B	958,19	B	32265,00	B	1072,01	A

Auksetik desen ana faktörüne göre yapılan karşılaştırmalar sonucunda; diyagonal basınç testlerinde elastikiyet ve moment değerleri için H-tipi bağlantı elemanları yüksek değerler verirken, diyagonal çekme testlerinde ise elastikiyet değerinde H-tipi bağlantılar yüksek çıkarken moment değerinde K-tipi bağlantı elemanları yüksek değerler vermiştir.

Bağlantı elemanı tipi için moment ve elastikiyet karşılaştırma sonuçları Şekil 4.2a ve 4.2b'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Bağlantı elemanı tipi için (a) moment ve (b) elastikiyet değerleri

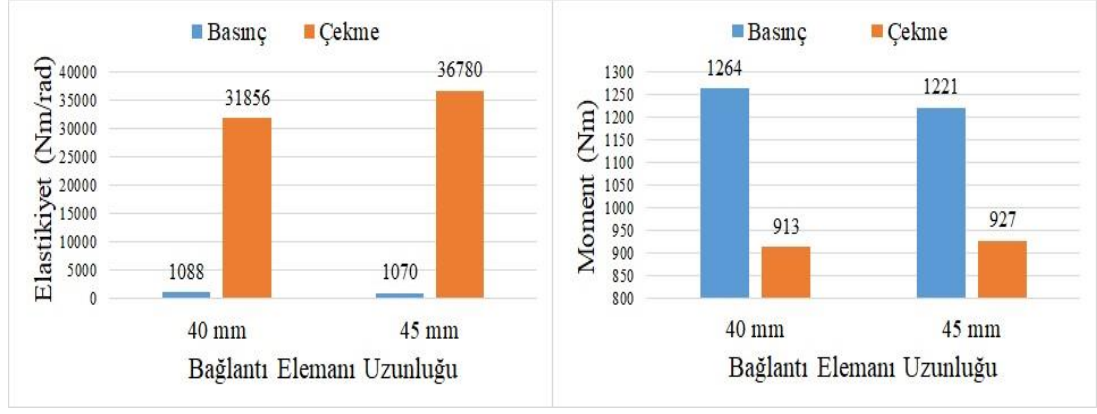
Diyagonal çekme ve basınç testlerinde bağlantı uzunluğu ana faktörü için gerçekleştirilen LSD testi ve homojenlik grupları Çizelge 4.4’te verilmiştir.

Çizelge 4.5. Bağlantı uzunluğu ana faktörüne göre bağlantı elemanlarının kuvvet taşıma kapasiteleri

Bağlantı Uzunluğu	Diyagonal Basınç				Diyagonal Çekme			
	Elastikiyet (Nm/Rad)		Moment (Nm)		Elastikiyet (Nm/Rad)		Moment (Nm)	
	X	(HG)	X	(HG)	X	(HG)	X	(HG)
40 mm	1087,81	NS	1263,92	NS	31855,6	B	913,26	NS
45 mm	1070,25	NS	1220,54	NS	36779,8	A	927,02	NS

Bağlantı uzunluğu ana faktörüne göre, diyagonal çekme testlerinde elastikiyet değeri anlamlı çıkmıştır. Yapılan LSD karşılaştırması sonucunda çekmede elastikiyet 45 mm uzunlukta üretilen bağlantı elemanlarında yüksek değerler verirken, 40 mm uzunlukta üretilen bağlantı elemanları daha düşük değerler vermiştir. Çekmede moment, basınçta elastikiye ve moment değerleri varyans analizi sonuçlarında anlamlı değerler vermediği için LSD karşılaştırma analizlerine alınmamıştır.

Bağlantı elemanı uzunluğu için moment ve elastikiyet karşılaştırma sonuçları Şekil 4.3a ve 4.3b’de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Bağlantı elemanı uzunluğu için (a) moment ve (b) elastikiyet değerleri

Diyagonal basınç ve çekme testlerinde üçlü etkileşim için yapılan istatistiksel analiz sonuçları Tablo 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.6. Malzeme-Auksetik Desen - Bağlantı Uzunluğu üçlü etkileşimine göre karşılaştırma sonuçları

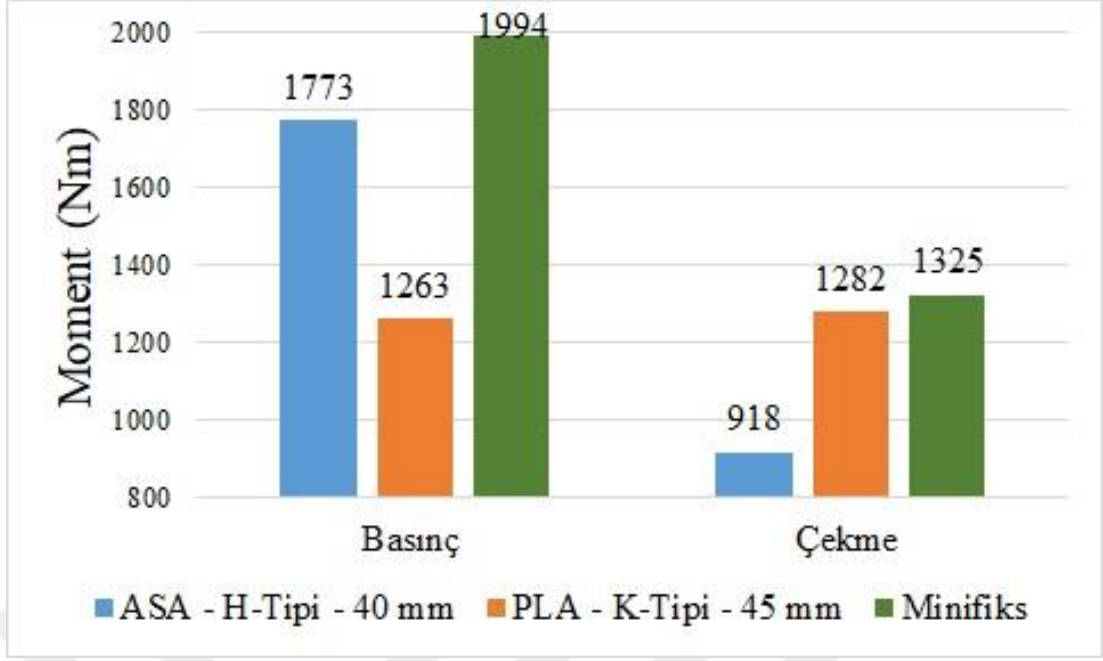
Malzeme	Auksetik Desen	Bağlantı Uzunluğu	Diyagonal Basınç				Diyagonal Çekme			
			Elastikiyet (Nm/Rad)		Moment (Nm)		Elastikiyet (Nm/Rad)		Moment (Nm)	
			X	(HG)	X	(HG)	X	(HG)	X	(HG)
PLA	H Tipi	40 mm	1131,57	C	1292,78	C	31969,30	DE	850,69	C
		45 mm	1321,80	B	1508,07	B	45462,30	A	861,48	C
	K Tipi	40 mm	1034,55	CD	1178,02	C	33626,80	D	910,31	C
		45 mm	982,58	D	1263,07	C	29346,50	E	1282,46	A
ASA	H Tipi	40 mm	1550,78	A	1772,67	A	30741,50	DE	918,15	C
		45 mm	1350,29	B	1541,58	B	37845,90	BC	541,77	D
	K Tipi	40 mm	720,25	EF	819,20	DE	29837,60	E	1105,86	B
		45 mm	816,03	E	927,95	D	34337,20	CD	1178,14	AB
ABS	H Tipi	40 mm	1345,38	B	1533,46	B	32792,10	DE	859,25	C
		45 mm	1323,22	B	1509,09	B	39411,30	B	578,26	D
	K Tipi	40 mm	638,98	F	727,12	E	32166,30	DE	835,28	C
		45 mm	732,92	EF	833,75	DE	34275,80	CD	1120,03	B

Malzeme - Auksetik Desen - Uzunluk üçlü etkileşimine göre yapılan karşılaştırmalar sonucunda; diyagonal basınç testlerinde elastikiyet ve moment taşıma kapasitesi için en yüksek değer ASA malzemedan üretilen H tipi 40 mm uzunluğundaki bağlantı elemanından elde edilmiştir. En düşük değer ise ABS malzemedan üretilen K tipi 40 mm uzunluğundaki bağlantı elemanından elde edilmiştir. Diyagonal çekme testlerinde ise elastikiyet için en yüksek değer PLA malzemedan üretilen H tipi 45 mm uzunluğundaki bağlantı elemanından elde edilmiştir. En düşük değer ise PLA malzemelerden üretilen K tipi 45 mm uzunluğundaki bağlantı elemanlarından elde edilmiştir.

Diyagonal çekme testlerinde moment kapasitesi için yapılan karşılaştırma sonuçlarına göre ASA malzemedan üretilen H tipi 45 mm uzunluğundaki bağlantıdan elde edilirken, en yüksek değer ise PLA malzemedan üretilen K tipi 45 mm uzunluğundaki bağlantı elemanından elde edilmiştir.

Minifiks ile üretilen L-tipi birleştirmelerin performans testleri incelendiğinde, diyagonal basınç testlerinde minifiksli bağlantıların elastikiyet değerleri ortalaması 1743,61 Nm/Rad, moment değerleri ortalaması ise 1993,83 Nm olarak belirlenmiştir. Diyagonal çekme testlerinde ise minifiks bağlantılarının elastikiyet değeri 31550,37 Nm/Rad, moment değeri ise 1325,29 Nm olarak belirlenmiştir.

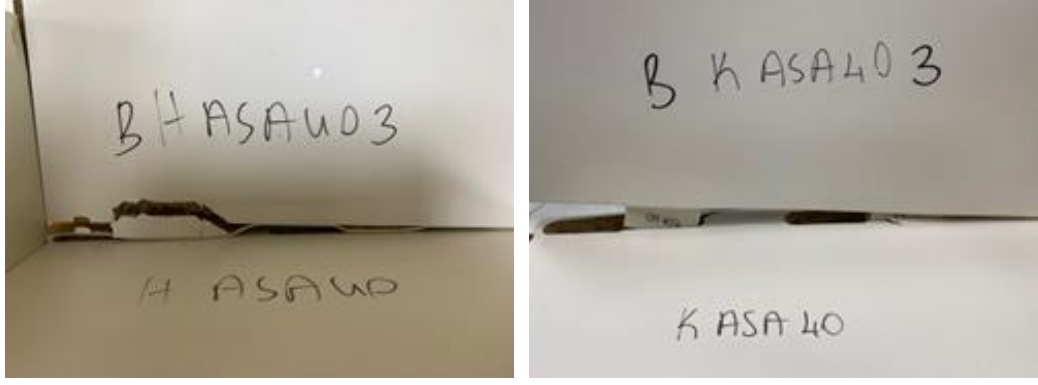
Buna göre, diyagonal basınç testinde en yüksek değeri veren ASA H tipi 40 mm'lik bağlantı elemanı minifiks bağlantı elemanı kullanılan birleştirmelerin %86'sı kadar mukavemet göstermiştir. Diyagonal çekme testlerinde en yüksek değeri veren PLA K tipi 45 mm'lik bağlantı elemanı minifiks bağlantı elemanı kullanılan L-tipi birleştirmelerin %97'si kadar mukavemet göstermiştir. En mukavemetli bağlantı elemanları ile minifiks karşılaştırma sonuçları Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



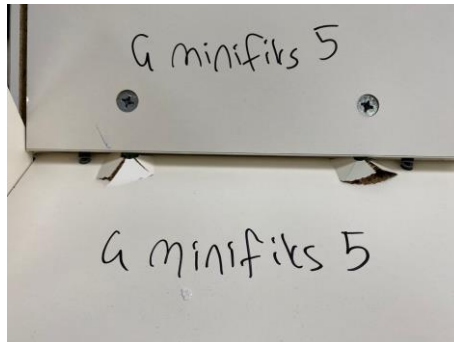
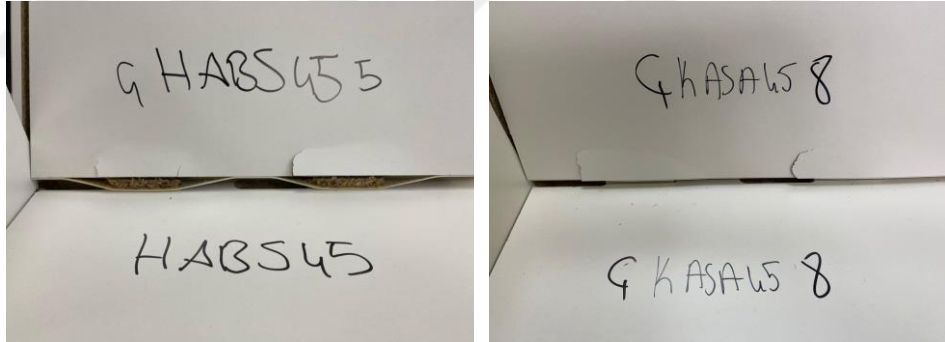
Şekil 4.4. Moment taşıma kapasiteleri için en yüksek mukavemetli bağlantı elemanları ve minifiks karşılaştırmalı sonuçları

4.3. L-Tipi Birleştirmelerde Deformasyon Karakteristikleri

Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen diyagonal basınç testlerine ait deformasyon karakteristikleri Şekil 4.5'te, diyagonal çekme testlerine ait deformasyon karakteristikleri Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.5. Diyagonal basınç testlerinde H tipi, K tipi bağlantı elemanları ve minifiks bağlantı için deformasyon karakteristikler



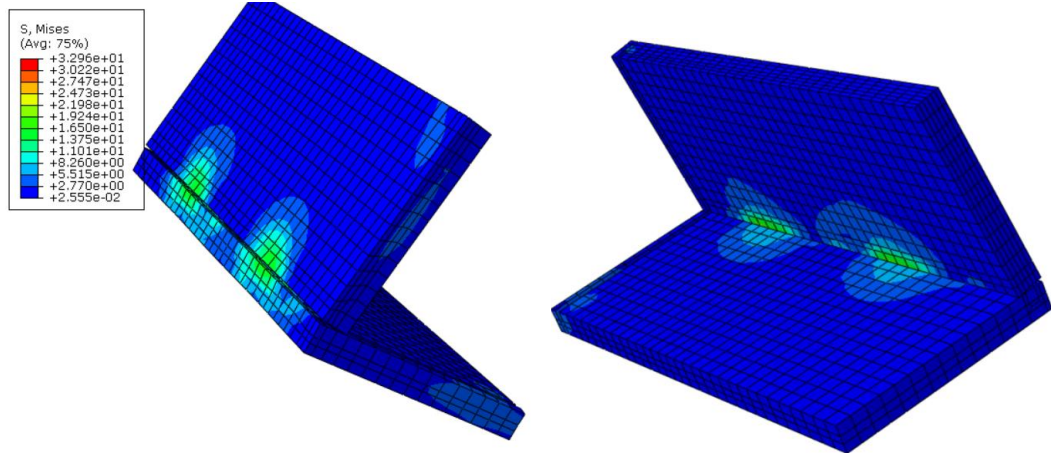
Şekil 4.6. Diyagonal çekme testlerinde H tipi, K tipi bağlantı elemanları ve minifiks bağlantı için deformasyon karakteristikler

Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’da görüldüğü üzere H tipi, K tipi bağlantı elemanları ve minifiks bağlantılar için diyagonal çekme ve diyagonal basınç testlerine ait deformasyon karakteristikleri verilmiştir. H ve K tipi bağlantı elemanları ile birleştirilen deney örneklerinin kenarında kanal olan eleman (kenar elemanı) deforme olurken, minifiks birleştirmelerin yüzeyinde delikler olan eleman (yüzey elemanı) deforme olmuştur.

4.4. L-Tipi Köşe Birleştirmelerin Nümerik Analiz Sonuçları

Nümerik analizler için çekme ve basınç testleri ABAQUS programında hazırlanmış olup 3 farklı malzeme ve 2 farklı auksetik desen tipi ve 2 farklı bağlantı elemanı boyu faktörleri için 12 çekme analiz ve 12 basınç analizi gerçekleştirilmiştir.

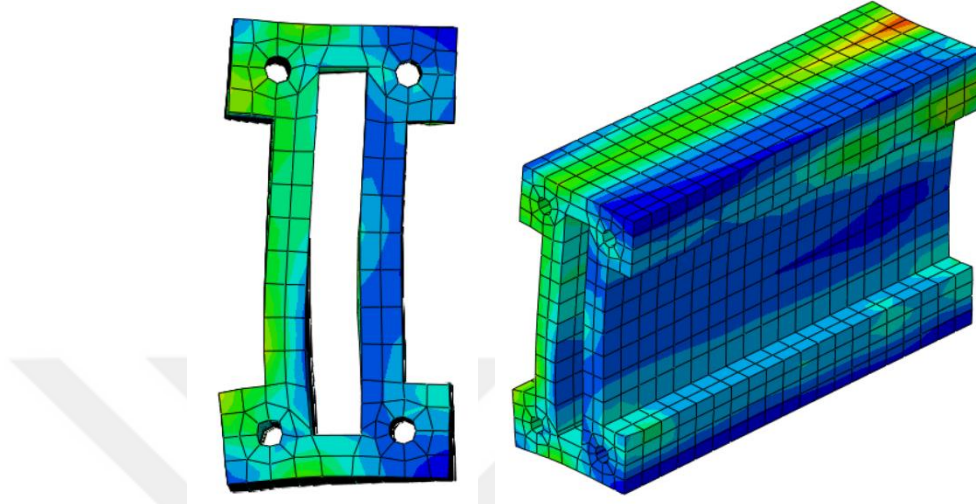
Diyagonal basınç testleri nümerik analizlerinde yonga levha malzemelerde ve bağlantı elemanlarında oluşan gerilmeler incelenmiştir. Performans testlerinde deformasyonlar yonga levha malzemelerde olduğu için bu yükleme koşullarındaki gerilme analizleri de birleştirmelerin davranışları hakkında önemli bilgiler vermiştir. Basınç analizlerinde yonga levhaya ait gerilme görselleri Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.7. H-ABS-40 kodlu deney örneği basınç analizi

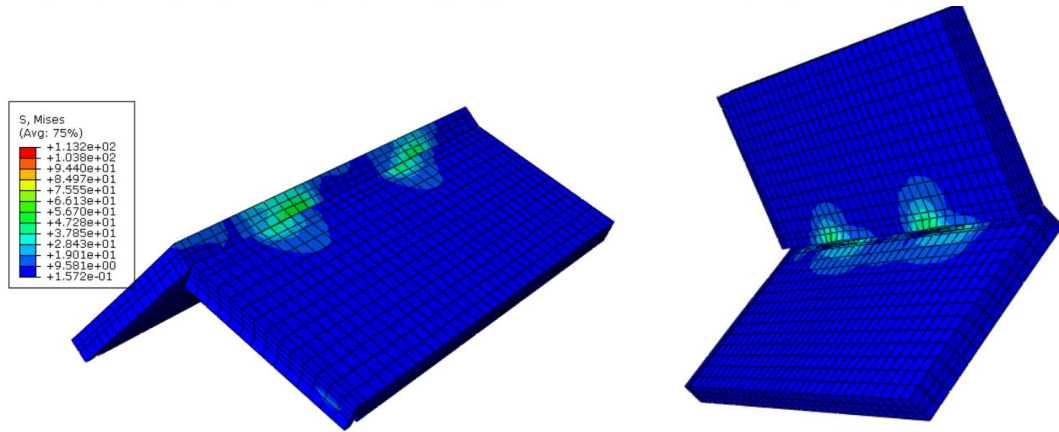
Şekil 4.7’de gösterilen deformasyonlar gerçek testlerle benzerlik gösterirken yonga levha için elde edilen 29,67 MPa’lık gerilme değeri ise yüzeye dik çekme dirençlerinden yüksek olduğu için sistemin bu bölgelerden deforme olduğu belirlenmiştir. Şekil 4.7’teki deformasyon şekli performans testlerinde elde edilen deformasyon karakteristikleri ile tutarlıdır.

Aynı birleştirme için bağlantı elemanları gerilmeleri incelendiğinde, bağlantı elemanında oluşan gerilme 67,73 MPa olarak belirlenmiştir. Bağlantı elemanlarına ait analiz görselleri Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.8. H-ABS-40 kodlu deney örneği bağlantı elemanı basınç analizi

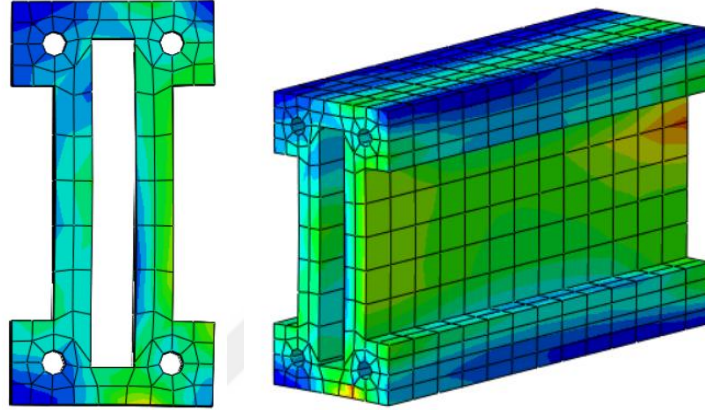
Diyagonal çekme analizlerine ait gerilme görselleri Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.9. H-ABS-40 kodlu deney örneği çekme analizi

Şekil 4.9’da gösterilen deformasyonlar gerçek testlerle benzerlik gösterirken yonga levha için elde edilen 25,34 MPa’lık gerilme değeri ise yüzeye dik çekme dirençlerinden yüksek olduğu için sistemin bu bölgelerden deforme olduğu belirlenmiştir. Şekil 4.5’teki deformasyon şekli performans testlerinde elde edilen deformasyon karakteristikleri ile tutarlıdır.

Aynı birleştirme için bağlantı elemanları gerilmeleri incelendiğinde, bağlantı elemanında oluşan gerilme 12,07 MPa olarak belirlenmiştir. Bağlantı elemanlarına ait analiz görselleri Şekil 4.10’da verilmiştir.



Şekil 4.10. H-ABS-40 kodlu deney örneği bağlantı elemanı çekme analizi

Diyagonal basınç ve çekme analizleri sonucunda elde edilen gerilme değerleri Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Diyagonal basınç ve çekme testleri için gerçekleştirilen gerilme analizleri

Malzeme	Auksetik Desen	Uzunluk	Gerilme (MPa)			
			Diyagonal Basınç		Diyagonal Çekme	
			Yonga	Bağlantı	Yonga	Bağlantı
			Levha	Elemanı	Levha	Elemanı
PLA	H Tipi	40 mm	21,27	59,30	25,57	8,17
		45 mm	30,95	59,48	23,23	6,65
	K Tipi	40 mm	69,80	28,11	32,70	6,26
		45 mm	63,67	25,33	45,49	8,78
ASA	H Tipi	40 mm	34,54	74,41	27,15	13,99
		45 mm	35,13	58,95	14,68	4,46
		40 mm	9,77	10,85	42,77	5,27
ABS	H Tipi	45 mm	13,05	12,23	43,18	5,36
		40 mm	29,67	67,73	25,34	12,07
		45 mm	13,87	24,91	17,69	5,40
	K Tipi	40 mm	5,62	6,44	34,10	3,80
45 mm		7,80	9,41	44,84	6,10	

Çizelge 4.7’de görüldüğü üzere, Diyagonal çekme analizlerinden elde edilen veriler diyagonal basınç analizlerinden elde edilen gerilmelerden daha yüksek çıkmıştır.

Ayrıca H-tipi bağlantı elemanların ile üretilen L-tipi birleştirmelerdeki gerilmeler K-tipi bağlantı elemanı ile üretilen birleştirmelere göre daha yüksek gerilme değerleri vermiştir.

Her iki grup için de gerilme değerlerinin, yonga levha malzemenin yüzeye paralel çekme direncinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durumda, Şekil 4.7 ve Şekil 4.9’da yeşil renk ile gösterilen bölgelerden deformasyonlar gerçekleşmesi analiz sonuçların göz önüne alınarak beklemektedir.

Analiz sonucunda oluşan deformasyon görseli, performans testleri sonucundaki deformasyon karakteristikleri ile örtüşmektedir.

PLA, ASA, ve ABS malzemelerin mekanik özellikleri incelendiğinde çekme dayanımları sırası ile 42 MPa, 65 MPa ve 65 MPa’dır. Nümerik analiz sonuçlarına göre bazı gerilme değerlerinin hem bağlantı elemanında hem de yonga levha malzemede yüksek çıktığı görülmektedir. Bu durumda her iki malzemenin de deforme olacağı düşünülebilir ancak analiz süreci incelendiğinde yonga levha malzemelerin maksimum gerilmeye ulaşma durumları bağlantı elemanından daha önce gerçekleşmektedir. Bir başka ifade ile bağlantı elemanları deforme olmadan yonga levha malzemeler deforme olmaktadır. Ayrıca özellikle diyagonal çekme analizlerinde bağlantı elemanlarının gerilme değerleri maksimum gerilme değerlerinden çok küçüktür. Bu durumda bağlantı elemanları için diyagonal basınç testleri daha kritik gözükmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamında iki farklı auksetik desen ile bağlantı elemanları tasarlanmış ve 3 boyutlu modeller hazırlanmıştır.

3 boyutlu modelleri hazırlanan bağlantı elemanları, tez çalışması kapsamında temin edilen 3 boyutlu yazıcı ile üretilerek önce Poisson oranları incelenmiştir. Poisson oranlarının negatif olduğu belirlendikten sonra L-tipi köşe birleştirme testleri için bağlantı elemanları üretilmiştir. L-tipi köşe birleştirmeler için diyagonal basınç ve çekme testleri gerçekleştirilmiştir.

Proje kapsamında H-tipi bağlantı elemanı ve L-tipi arkalıklı köşe birleştirme test aparatı için patent başvuru süreçleri başlatılmış olup gerekli yazışmalar tamamlanmaktadır.

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen L-tipi diyagonal çekme ve basınç testlerinden elde edilen verilere göre ASA malzemedan üretilen bağlantı elemanları en yüksek değeri verirken, PLA malzemedan üretilen bağlantı elemanları ile aralarında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmamaktadır. ABS malzemedan üretilen bağlantı elemanları ise en düşük değerleri vermiştir. Auksetik desen faktörüne göre ise diyagonal basınç testlerinde H-tipi bağlantı elemanı, K-tipi bağlantı elemanına göre yüksek sonuçlar verirken; diyagonal çekme testlerinde ise K-tipi bağlantı elemanı, H-tipi bağlantı elemanına göre yüksek sonuçlar vermiştir. Üçlü etkileşimler incelendiğinde diyagonal basınç testlerinde en yüksek değeri H-ASA-40 örneği verirken, en düşük değeri K-ABS-40 kodlu bağlantı elemanından üretilen L-tipi köşe birleştirme vermiştir. Diyagonal çekme testlerinde en yüksek değeri K-PLA-45 örneği verirken, en düşük değeri H-ASA-45 ve H-ABS-45 kodlu bağlantı elemanlarından üretilen L-tipi köşe birleştirmeler vermiştir.

Genel olarak gerilme analizi sonuçları incelendiğinde; H-tipi bağlantı elemanlı birleştirmelerde bağlantı elemanı gerilmeleri yüksek, yonga levha gerilmeleri düşük çıkmıştır. K-tipi bağlantı elemanlarında ise bağlantı elemanı gerilmeleri nispeten düşük, yonga levha gerilmeleri yüksek çıkmıştır. Bu durum; K-tipi bağlantı elemanının yerleştiği kanallarda bulunan, dar açılı köşelerde gerilmelerin yoğunlaşması sonucu açığa çıkmıştır.

Çalışmanın sonucunda; basınç deneylerinde en iyi bağlantı elemanı minifiksli birleştirmenin yaklaşık %89'u, çekme deneylerinde ise en iyi bağlantı elemanı minifiksli birleştirmenin yaklaşık %97'si kadar mukavemet göstermiştir. Buna göre, çalışma kapsamında denenen bağlantı elemanları, piyasada kullanılan mevcut bağlantı elemanlarına alternatif olarak önerilebilir. Ayrıca, bu tip bağlantı elemanlarının üç boyutu yazıcı teknolojisi yerine enjeksiyon kalıplama yöntemi ile üretilmesi hem mukavemet hem ekonomi hem de seri üretime uygunluk anlamında çok daha yararlı olacaktır. Gelecekte yapılacak çalışmalarda; benzer bağlantı elemanları geliştirilerek, farklı auksetik desenler sayesinde çeşitli bağlantı elemanları tasarlanıp hem panel tipi mobilya hem de çerçeve konstrüksiyonlu mobilyalardaki performansları araştırılmalıdır.

Piyasada mevcut olarak kullanılan mekanik bağlantı elemanlarına alternatif olarak auksetik bağlantı elemanlarının tercih edilmesi hem üretici hem tüketici hem de satıcılara estetik, teknik ve ekonomik anlamda aşağıda belirtilen avantajları sağlayacaktır:

- İşlem sayısında azalma (kanal açma)
- Montaj kolaylığı (yardımcı araç-gereç ihtiyacı olmaması)
- Yerinde montaj avantajı
- Montaj süresinde azalma (işlem sayısı)
- Demonte ürünler
- Yeterli mukavemet
- Dışardan görünmeme
- Auksetik bağlantı elemanı üretim maliyetinin düşük olması
- Tutkal maliyeti olmaması

Yukarıda belirtilen avantajlar sayesinde ürünün toplam maliyeti önemli oranda düşecektir.

Mobilya sektörü hem ekonomik büyüklüğü hem de istihdam kapasitesi açısından Türkiye ekonomisinde önemli bir yere sahiptir. Bu sektörün sürdürülebilir rekabet gücünü artırabilmesi, yalnızca geleneksel üretim yöntemlerinin ötesine geçilerek, bilimsel ve teknolojik temellere dayalı bir dönüşüm sürecinin benimsenmesine bağlıdır. Bu bağlamda, sektörde inovasyona dayalı bilimsel çalışmaların sayısının artırılması, mobilya mühendisliği disiplininin kurumsallaştırılması ve tasarım süreçlerinde bilimsel ve sistematik yaklaşımların yaygınlaştırılması stratejik bir gereklilik haline gelmiştir.

Günümüzde gelişmiş ülkelerde mobilya üretimi; sadece estetik ve işlevsel beklentileri karşılamakla kalmayıp, aynı zamanda mühendislik hesapları, malzeme performans analizleri ve dijital simülasyonlar gibi çok disiplinli süreçlerle desteklenmektedir. Türkiye mobilya sanayisinin de bu yönde bir dönüşüm geçirmesi, uluslararası standartlara uygunluğun ötesine geçerek, Avrupa standartlarının da üzerinde kalite düzeyinde üretim yapabilmesini mümkün kılacaktır.

Bu dönüşümün temelinde, bilgisayar destekli mühendislik uygulamalarının, performans testlerinin, yapısal analizlerin ve optimizasyon tekniklerinin sektöre entegre edilmesi yer almaktadır. Bu tür mühendislik temelli uygulamalar, ürün kalitesinin artırılmasının yanı sıra, kaynak kullanımında verimliliğin sağlanması, üretim maliyetlerinin düşürülmesi ve çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması gibi birçok açıdan da sektöre katkı sunmaktadır.

Nitekim, dış ticarete halihazırda güçlü bir konumda bulunan Türkiye mobilya sektörü, bu tür bilimsel ve teknolojik uygulamaların yaygınlaştırılmasıyla birlikte uluslararası pazarlarda çok daha rekabetçi bir konuma ulaşabilir. Bu durum, yalnızca sektörün ekonomik hacmini artırmakla kalmayacak, aynı zamanda Türkiye ekonomisine de önemli ölçüde katma değer sağlayacaktır. Dolayısıyla, mobilya sektörünün mühendislik temelli bir yaklaşımla yeniden yapılandırılması, hem sektörel kalkınma hem de ulusal ekonomik hedefler açısından stratejik bir öncelik olarak değerlendirilmelidir.

6. KAYNAKLAR

- Alderson, A., Alderson, K.L., Chirima, G., Ravirala, N., ve Zied, K.M., (2010) The In-Plane Linear Elastic Constants and out-of-Plane Bending of 3-Coordinated Ligament and Cylinder-Ligament Honeycombs *Compos. Sci. Technol.* doi:10.1016/J.COMPSCITECH.
- Baughman, R.H., Shacklette, J.M., Zakhidov, A.A., ve Stafstrom, S., (1998) Negative Poisson's Ratio as a Common Feature of Cubic Metals Nature, 362-365.
- Caddock, B.D., ve Evans, K.E., (1995) Negative Poisson Ratios and Strain Dependent Mechanical-Properties in Arterial Prostheses *Biomaterials*,16: 1109-1115.
- Çağlayan, G., (2023) Kutu Konstrüksiyonlu Mobilya Birleştirmeleri için Auksetik (Genişleme Eğilimli) Kavela Tasarımı ve Performans Özelliklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, M.S.K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla, 89s.
- Daudeville, L., Davenne, L., ve Yasumura, M., (1999) Prediction of the Load Carrying Capacity of Bolted Timber Joint, *Wood Science and Technology*, 33, 15-29.
- Eckelman, C.A. (1966), A Look at... The Strength Design of Furniture, *FPJ*, 16, 3: 21-24.
- Eckelman, C.A. (1979), Withdrawal Strength of Dowel Joints: Effect of Shear Strength, *FPJ*, 29, 1, 48-52.
- Eckelman, C.A. (1991) *Textbook of Product Engineering and Strength Design Of Furniture*, Text Book, Purdue University, West Lafayette, Indiana, USA, 54-59.

- Eckelman, C.A. (1999) Performance Testing of Side Chair, *Holz als Roh-und Werkstoff*, 57, 227-234.
- Eckelman, C.A. ve Erdil, Y.Z. (2001) *General Services Administration (GSA) Upholstered Furniture Test Method*, FNAE 80–214: A Description Of the Method with Drawings, Purdue University, Department of Forestry and Natural Resources, Extension Publication Fnr - 176, 1159 Forestry Bldg., West Lafayette, 47907, Indiana, USA.
- 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,398s.
- Erdil, Y.Z. ve Eckelman, C.A. (2001) Withdrawal Strength of Dowels In Plywood and Oriented Strand Board, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 25, 319-327.
- Evans, K.E. (1991) *Auxetic Polymers: A New Range of Materials Endeavour*, doi:10.1016/0160-9327(91)90123-S.
- Evans, K.E., Alderson, A., (2000) *Auxetic Materials: Functional Materials and Structures from Lateral Thinking!*, *Advanced Materials*. 12 617–628
- Gibson, L.J., Ashby, M.F., Schajer, G.S., ve Robertson, C.I., (1982) The Mechanics of two Dimensional Cellular Solids, *CI proceedings Of Royal Society London*, 382(A): 25-42
- Greaves, G. N., Greer, A. L., Lakes, R. S., ve Rouxel, T., (2011) Poisson's Ratio and Modern Materials. *Nature Materials* 10, 823-837.
- Gunton, D.J. ve Saunders, G.A. (1972) The Young's Modulus and Poisson's Ratio in Arsenic, Antimony and Bismuth, *Journal of Materials Science*,7: 1061-1068.
- He, C., Liu, P., ve Griffin, A.C., (1998) Toward Auxetic Materials Through

Molecular Design, Macromolecules, 31: 3145-3147.

Kasal, A. (2004) Masif ve Kompozit Ağaç Malzemelerden Üretilmiş Çerçeve Konstrüksiyonlu Koltukların Performansı, Doktora Tezi, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara,218s.

Kasal, A., Kuşkun, T., ve Smardzewski, J., (2020) Experimental and Numerical Study on Withdrawal Strength of Different Types of Auxetic Dowels for Furniture Joints. Mater., Vol. 3. doi:10.3390/MA13194252.

Kuşkun, T., Kasal, A., Smardzewski, J., Çetin, G., Güray, E., Yüksel, M., (2024) Panel Mobilyalar İçin 3B Yazıcı Teknolojisiyle Üretilen Auksetik Bağlantı Elemanlarının Optimizasyonu Ve Mekanik Performanslarının Deneysel ve Nümerik Olarak Araştırılması, TÜBİTAK 1005 – Ulusal Yeni Fikirler ve Ürünler, 122O887 numaralı proje sonuç raporu.

Lakes, R. (1987) Foam Structures with a Negative Poisson's Ratio. Science 235, 1038–1040, doi:10.1126/science.235.4792.1038.

Li, Y., (1976) The Anisotropic Behaviour of Poisson's Ratio, Young's Modulus and Shear Modulus in Hexagonal Materials, *Physica Status Solidi Series A*,38:171–175.

Lorato, A., Innocenti, P., Scarpa, F., Alderson, A., Alderson, K.L., Zied, K.M., Ravirala, N., Miller, W., Smith, C.W., ve Evans, K.E. (2010) The Transverse Elastic Properties of Chiral Honeycombs. *Compos. Sci. Technol.*, 70, 1057–1063, doi:10.1016/j.compscitech.2009.07.008.

Love, A.E.H. (1944) A Treatise on the Mathematical Theory of Elasticity. Dover, NewYork, Fourth Edition.

Mir, M., Ali, M.N., Sami, J., ve Ansari, U., (2014) Review of Mechanics and Applications of Auxetic Structures. *Adv. Mater. Sci. Eng.* doi:10.1155/2014/753496

- Muto, K., Bailey, R.W., ve Mitchell, K.L., (1963) Special Requirements for the Design of Nuclear Power Stations to Withst and Earthquakes, Proc. Inst. Mech. Eng., 177:155–203.
- Örs, Y. ve Keskin, H. (2001) *Ağaç Malzeme Bilgisi*, Kosgeb Yayınları, Ankara.
- Pan, Y., Zhang, X. G., Han D., Li, W., Xu, L. F., Zhang, Y., Jiang, W., Bao, S., Teng, X. C., Lai, T., ve Ren, Xin., (2023) The out-of-plane compressive behavior of auxetic chiral lattice with circular nodes. *Thin-Walled Structures*, Vol. 182, 110152.
- Porima Polimer Teknolojileri A.Ş., <https://porima3d.com/>, Erişim Tarihi: 04.06.2025
- Uzun, M. (2010) Negatif poisson oranına sahip (auxetic) malzemeler ve uygulama alanları. *The Journal Of Textiles And Engineers*, (77), 14-18.
- Veronda, R. ve Westmann, R.A. (1970) Mechanical Characterisation of Skin Finite Deformations, *Journal of Biomechanics*,13:111–124.
- Willard, R., (1966) Compressed Tenons-I., *Furniture Design and Manufacturing Magazine*, 38, 11: 3-12.
- Willard, R., (1967) Compressed Tenons-III., *Furniture Design and Manufacturing Magazine*, 39, 1: 10-12.
- Williams J.L. ve Lewis J.L. (1982) Properties of an Anisotropic Model of Cancellous Bone from the Proximal Tibial epiphysis, *Journal of Biomechanical Engineering*, 104:50-56.
- Zhang, X. G., Jiang, W., Zhang, Y., Luo, C., Zhang, X. Y., Han, D., Hao, J., Teng, X. C., Xie, Y. M., Ren, X. (2022) Energy absorption properties of composite tubes with hexagonal and re-entrant honeycomb fillers. *Construction and Building Materials*, 356, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129298>

7. ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Ad Soyad :Ayyüce Ekici
Uyruk : ***
Doğum Yeri ve Tarihi: **/**/**
Medeni Hali :***
Telefon : 0 *****
E-posta : a*****@****

Eğitim

Alınan Derece	Aldığı Kurum/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lise	M**** *****	****
Lisans	Ç**** *****	****
Yüksek Lisans	M**** *****	****

Yabancı Dil(ler)

Dil (İngilizce, vs)	Başlangıç	Orta	İleri
Yazma		X	
Konuşma		X	
Anlama		X	
Okuma		X	