



**UÇAK KABİN ÜNİTELERİ YAPISAL
ELEMANLARINDA KULLANILAN BAL PETEĞİ
KOMPOZİT PANELLERE AİT BİRLEŞTİRME
YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ**

Aslan Kahraman ERHAL

**2020
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Muhammet Hüseyin ÇETİN**

**UÇAK KABİN ÜNİTELERİ YAPISAL ELEMANLARINDA KULLANILAN
BAL PETEĞİ KOMPOZİT PANELLERE AİT BİRLEŞTİRME
YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ**

Aslan Kahraman ERHAL

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Muhammet Hüseyin ÇETİN**

**KARABÜK
Temmuz 2020**

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Aslan Kahraman ERHAL

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

UÇAK KABİN ÜNİTELERİ YAPISAL ELEMANLARINDA KULLANILAN BAL PETEĞİ KOMPOZİT PANELLERE AİT BİRLEŞTİRME YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ

Aslan Kahraman ERHAL

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Dr. Öğr. Üyesi Muhammet Hüseyin ÇETİN

Temmuz 2020, 107 sayfa

Yolcu uçaklarında yolcu hizmetleri için kullanılan üniteler farklı yapısal konstrüksiyonlarda geliştirilebilmektedir. Sahip oldukları mekanik özelliklerinden dolayı bal peteği kompozit panel yapısal elemanları ünitelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. İmalat ve montajı tamamlanan uçak mutfağı, bar ünitesi, uçak tuvaleti vb. ünitelerin uçağa takılabilmesi için, ünitelerin sağlamlığını onaylayan standart sertifikasyon sürecini geçmesi gerekmektedir. Üniteleri oluşturan yapısal elemanların birleştirme yöntemleri bu testlerin sonuçlarına doğrudan etki etmektedir.

Bu tezde uçak içi kabin üniteleri imalatında kullanılan yapısal bal peteği kompozit panellerin birleştirme yöntemleri deneysel olarak incelenmiştir. L bağlantı tipi için Tenon Mortise, braket ve ekstrüzyon birleştirme yöntemleri; T bağlantı tipi için ise Tenon Mortise, çift taraf braket ve tek taraf birleştirme yöntemleri araştırılmıştır.

Farklı kalınlıklardaki bal peteği kompozit panellerden belirtilen birleştirme yontemleri ile test kuponları hazırlanarak çekme testlerine tabi tutulmuş, birleştirme yontemlerinin dayanımları birbirlerine göre karşılaştırılmıştır. Test kuponlarının süreç analizi yapılarak birbirlerine göre zaman ve maliyet karşılaştırılması yapılmıştır. Bilgisayar destekli analiz programı FEMAP kullanarak L tipi bağlantı altındaki birleştirme yontemleri eşit kuvvet uygulayarak yer değiştirmeleri tespit edilmiş ve birbirlerine göre karşılaştırılmıştır. Ayrıca deney ve analizlere bağlı teknik değişkenler, maliyet ve ağırlık parametreleri çok kriterli karar verme metodu ve yanıt yüzey metodu ile analiz edilerek optimum parametreler belirlenmiştir. Çok kriterli karar verme yontemlerinden TOPSIS metodu tercih edilmiştir.

Yapılan testler sonucunda L tipi bağlantı için 10 mm kalınlığındaki kompozit panel test kuponlarında en yüksek çekme dayanımı braket birleştirme yonteminde elde edilmiş, 22 mm kalınlığındaki kompozit panel test kuponlarına en yüksek çekme dayanımı ekstrüzyon birleştirme yonteminde saptanmıştır. L tipi test kuponların imalat süreçlerinde harcanan adam-saat ve kullanılan malzeme maliyetlerini içeren süreç analizinde en düşük maliyet ekstrüzyon birleştirme yonteminde tespit edilmiştir. T tipi bağlantı ile 10 mm kalınlığındaki kompozit panel test kuponlarında uygulanan testine en yüksek çekme dayanımı çift taraflı braket birleştirme yontemi göstermiştir, 22 mm kalınlığındaki kompozit panel test kuponlarında en yüksek çekme dayanımı çift taraflı braket birleştirme olmuştur. T tipi test kuponların imalat süreçlerinde harcanan adam-saat ve malzeme süreç analizinde ise en düşük maliyet Tenon Mortise birleştirme yonteminde elde edilmiştir. Yapılan yer değiştirme analizleri neticesinde ise en az yer değiştirme reaksiyonu gösteren birleştirme yontemi Tenon Mortise olarak tespit edilmiştir. Gerçekleştirilen iki optimizasyon yontemi sonucunda da L tipi bağlantı için optimum birleştirme yontemi Tenon Mortise olarak bulunmuştur. T tipi bağlantı için yanıt yüzey metodu sonucunda optimum birleştirme yontemi Tenon Mortise iken, TOPSIS sonucunda en iyi birleştirme yontemi çift braket olarak bulunmuştur.

Anahtar Sözcükler : Birleştirme yontemleri, uçak kabin içi, Tenon Mortise, braket, ekstrüzyon, bal peteği kompozit panel.

Bilim Kodu : 91410

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF JOINING METHODS OF HONEYCOMB COMPOSITE PANELS USED IN STRUCTURAL ELEMENTS OF AIRCRAFT CABIN UNITS

Aslan Kahraman ERHAL

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Mechanical Engineering**

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. Muhammet Hüseyin ÇETİN

July 2020, 107 pages

The service units employed to meet passenger services in civilian aircrafts could be developed in various constructions. Honeycomb composite panels are widely used as structural elements in these cabin interior units due to their possessed mechanical properties. The manufactured and assembled units such as galleys, bar units, lavatories, etc. must be approved by standard certification process, which examines the durability of these units, in order to be mounted on the aircraft. Joining methods of structural elements which shape the units directly affect the results of these tests.

In this thesis, the joining methods of structural honeycomb composite panels which are used to manufacture aircraft interior units were investigated experimentally. The joining methods of Tenon Mortise, bracket and extrusion for L-type connection; the joining methods of Tenon Mortise, double-sided bracket and one-side for T-type

connection were examined. Test coupons prepared by honeycomb composite panels with different thicknesses and formed by aforementioned joining methods were subjected to tensile tests and their strength of joining methods were compared. The process analysis of the test coupons were conducted in terms of time and cost comparisons. The displacements were determined for the joining methods for L-type connection under equal force load by a computer-aided analysis program, FEMAP, and the results were compared. In addition, technical variables based on experiments and analyzes, cost and weight parameters were analyzed with multi-criteria decision making method and response surface method, and optimum parameters were determined. TOPSIS method was preferred among multi-criteria decision making methods.

As the results of the tests, the highest tensile resistances for the L-type connection were obtained at 10 mm thickness of composite panel test coupon with the bracket joining method and at 22 mm thickness composite panel test coupon with the extrusion joining method. The lowest cost of process analysis including man hours and materials used in the manufacturing processes was received at the extrusion joining method for L-type connection. The highest tensile resistances for the T-type connection were shown at 10 mm thickness composite panel test coupon with double-sided bracket joining method and also at 22 mm thickness composite panel test coupon with double-sided bracket joining method. The lowest cost of process analysis including man hours and materials used in the manufacturing processes was received at the Tenon Mortise joining method for T-type connection. As a result of the displacement analyses, Tenon Mortise joining method was determined as the joining method which showed the lowest displacement reaction. As a result of the two optimization methods, the optimum joining method for L type connection was found as Tenon Mortise. While the optimum joining method for the T-type connection was Tenon Mortise as a result of the response surface method, the best joining method was found as a double-sided bracket as a result of TOPSIS.

Keywords : Joining method, aircraft cabin interior, Tenon Mortise, bracket, extrusion, honeycomb composite panels.

Science Code : 91410

TEŞEKKÜR

Üzerimde emeği olan tüm hocalarıma, sevdiklerime, daima yanımda olan ve desteklerini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| KABUL..... | ii |
| ÖZET..... | iv |
| ABSTRACT..... | vi |
| TEŞEKKÜR..... | viii |
| İÇİNDEKİLER | ix |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | xii |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | xvi |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ | xvii |
| | |
| BÖLÜM 1 | 1 |
| GİRİŞ | 1 |
| | |
| BÖLÜM 2 | 3 |
| LİTERATÜR VE TERMİNOLOJİ..... | 3 |
| 2.1. TERMİNOLOJİ..... | 3 |
| 2.1.1. Kabin İçi Üniteleri Genel Bilgiler | 3 |
| 2.1.2. Yapısal Birleştirme Yöntemleri..... | 7 |
| 2.1.2.1. Tenon-Mortise Birleştirme..... | 7 |
| 2.1.2.2. Braket Birleştirme | 12 |
| 2.1.2.3. Ekstrüzyon Birleştirme | 15 |
| 2.1.3. Bal Peteği Sandviç Kompozit Yapıları Genel Bilgiler | 19 |
| 2.1.4. Adhasive (Yapıştırıcı) Genel Bilgiler | 22 |
| 2.1.4.1. Kompozit Yapıştırıcıların Sınıflandırılması | 22 |
| 2.1.4.2. Kompozit Yapıştırıcıların İçinde Bulunan Bileşenler..... | 23 |
| 2.1.4.3. 3M™ Scotch-Weld™ EC-9300 B/A FST | 24 |
| 2.2. LİTERATÜR TARAMASI..... | 25 |
| | |
| BÖLÜM 3 | 28 |
| MATERYAL VE METOT | 28 |

| | <u>Sayfa</u> |
|---|---------------------|
| 3.1. DENEY DÜZENEKLERİ..... | 29 |
| 3.1.1. L Tipi Bağlantı Deney Düzeneği..... | 31 |
| 3.1.2. T Tipi Bağlantı Deney Düzeneği..... | 33 |
| 3.2. BAĞLANTI TİPLERİ..... | 35 |
| 3.2.1. L Tipi Bağlantı..... | 36 |
| 3.2.2. T Tipi Bağlantı..... | 37 |
| 3.3. FARKLI KALINLIKLARDAKİ BAL PETEGİ KOMPOZİT PANELLERİN DENEYLERİ..... | 38 |
| 3.3.1. L Tipi Bağlantı Deneyleri..... | 38 |
| 3.3.1.1. Tennon-Mortise Birleştirme - L Tipi Bağlantılı Kompozit Paneller | 39 |
| 3.3.1.2. Braket Birleştirme - L Tipi Bağlantılı Kompozit Paneller..... | 41 |
| 3.3.1.3. Ekstrüzyon Birleştirme - L Tipi Bağlantılı Kompozit Paneller | 43 |
| 3.3.2. T Tipi Bağlantı Deneyleri..... | 45 |
| 3.3.2.1. Tennon-Mortise Birleştirme - T Tipi Bağlantılı Kompozit Paneller | 46 |
| 3.3.2.2. Çift Taraf Braket Birleştirme - T Tipi Bağlantılı Kompozit Paneller | 48 |
| 3.3.2.3. Tek Taraf Braket Birleştirme - T Tipi Bağlantılı Kompozit Paneller | 51 |
| 3.4. BİRLEŞTİRME YÖNTEMLERİNİN ANALİZİ | 54 |
| 3.5. BİRLEŞTİRME YÖNTEMLERİNİN OPTİMİZASYONU..... | 56 |
| BÖLÜM 4 | 57 |
| DENEY SONUÇLARI | 57 |
| 4.1. TENNON MORTİSE BİRLEŞTİRMELERİ L TİPİ BAĞLANTI..... | 57 |
| 4.2. BRAKET BİRLEŞTİRMELERİ L TİPİ BAĞLANTI..... | 59 |
| 4.3. EKSTRÜZYON BİRLEŞTİRMELERİ L TİPİ BAĞLANTI..... | 62 |
| 4.4. TENNON MORTİSE BİRLEŞTİRMELERİ T TİPİ BAĞLANTI..... | 64 |
| 4.5. ÇİFT TARAF BRAKET BİRLEŞTİRMELERİ T TİPİ BAĞLANTI..... | 66 |
| 4.6. TEK TARAF BRAKET BİRLEŞTİRMELERİ T TİPİ BAĞLANTI..... | 68 |
| BÖLÜM 5 | 71 |
| SÜREÇ ANALİZİ..... | 71 |

| | |
|--|-----|
| 5.1. TENNON MORTİSE BİRLEŞTİRME L TİPİ BAĞLANTI SÜREÇ ANALİZİ..... | 71 |
| 5.2. BRAKET BİRLEŞTİRME L TİPİ BAĞLANTI SÜREÇ ANALİZİ | 72 |
| 5.3. EKSTRÜZYON BİRLEŞTİRME L TİPİ BAĞLANTI SÜREÇ ANALİZİ.. | 72 |
| 5.4. TENNON MORTİSE BİRLEŞTİRME T TİPİ BAĞLANTI SÜREÇ ANALİZİ..... | 73 |
| 5.5. ÇİFT TARAF BRAKET BİRLEŞTİRME T TİPİ BAĞLANTI SÜREÇ ANALİZİ..... | 73 |
| 5.6. TEK TARAF BRAKET BİRLEŞTİRME T TİPİ BAĞLANTI SÜREÇ ANALİZİ..... | 74 |
| | |
| BÖLÜM 6 | 75 |
| BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER | 75 |
| 6.1. BİRLEŞTİRME BAĞLANTILARININ DAYANIM AÇISINDAN KARŞILAŞTIRILMASI | 75 |
| 6.2. BİRLEŞTİRME BAĞLANTILARININ SÜREÇ ANALİZİ AÇISINDAN KARŞILAŞTIRILMASI | 77 |
| 6.3. BİRLEŞTİRME YÖNTEMLERİNİN YÜK ALTINDAKİ YER DEĞİŞTİRME ANALİZLERİ..... | 81 |
| 6.3.1. Eşit Kuvvet Altında Birleştirme Yöntemlerinin Analizi | 81 |
| 6.4. KOPMA KUVVETİ ALTINDA BİRLEŞTİRME YÖNTEMLERİNİN ANALİZİ..... | 88 |
| 6.5. BİRLEŞTİRME YÖNTEMLERİNİN OPTİMİZASYONU..... | 95 |
| 6.5.1. Çok Kriterli Karar Verme Metodu | 95 |
| 6.5.2. Yanıt Yüzey Metodu..... | 98 |
| 6.6. BİRLEŞTİRME DAYANIMI, HASARLARI VE İYİLEŞTİRMELERİ İÇİN ÖNERİLER | 99 |
| 6.6.1. Tenon Mortise Birleştirme İyileştirmesi..... | 99 |
| 6.6.2. Braket Birleştirme İyileştirmesi..... | 99 |
| 6.6.3. Extrusion Birleştirme İyileştirmesi..... | 100 |
| | |
| BÖLÜM 7 | 101 |
| SONUÇLAR | 101 |
| | |
| KAYNAKLAR | 104 |
| ÖZGEÇMİŞ | 107 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| Şekil 2.1. Boeing 737-8 kabin içi yerleşimi | 4 |
| Şekil 2.2. Boeing 737 uçağı için imal edilmiş galley | 5 |
| Şekil 2.3. Uçak tuvaleti | 6 |
| Şekil 2.4. Uçak ön sıra yapıları | 6 |
| Şekil 2.5. T tipi bağlantı için kompozit panel üzerine yapılmış tenon ve mortise uygulamaları..... | 8 |
| Şekil 2.6. Test kuponları imalatı yapılırken kullanılan tenon ve mortise ölçüleri. | 9 |
| Şekil 2.7. Mortise lokasyonu tam kenarda olmayan birleşme. | 10 |
| Şekil 2.8. Konumları tam kenarda tenon ve mortise birleşme adımları..... | 11 |
| Şekil 2.9. Boeing 737 G7 galleyi tenon mortise birleştirme yöntemi uygulaması. ... | 11 |
| Şekil 2.10. Alüminyum braket. | 12 |
| Şekil 2.11. Kompozit panel insert delikleri ve insertler..... | 13 |
| Şekil 2.12. Braket birleştirme ve L tipi bağlantılı kupon..... | 13 |
| Şekil 2.13. Braket birleştirme kesit görüntüsü..... | 14 |
| Şekil 2.14. Boeing 737 G7 galleyi braket birleştirme yöntemi uygulaması | 14 |
| Şekil 2.15. 10 mm kompozit birleştirilmesinde kullanılan ekstrüzyon..... | 15 |
| Şekil 2.16. 22 mm kompozit birleştirilmesinde kullanılan ekstrüzyon..... | 16 |
| Şekil 2.17. Ekstrüzyon birleştirme öncesi..... | 17 |
| Şekil 2.18. Ekstrüzyon birleştirme ve L tipi bağlantılı kupon birleştirme sonrası..... | 17 |
| Şekil 2.19. Ekstrüzyon birleştirme ve L tipi bağlantılı kupon birleştirme sonrası..... | 18 |
| Şekil 2.20. Boeing 737 G2 galleyi ekstrüzyon birleştirme yöntemi uygulaması..... | 18 |
| Şekil 2.21. AL bal peteği ve Nomex bal peteği. | 20 |
| Şekil 2.22. Sandviç yapıları kompozitlerin sivil havacılık sektöründe kullanımı..... | 20 |
| Şekil 2.23. Bal Peteği sandviç panellerin hücre yapısı. | 21 |
| Şekil 2.24. Honeycomb yapısı ve çekirdek çeşitleri; a) Köpük, b) Honeycomb, c) Dalgalı | 21 |
| Şekil 2.25. Çift yönlü braket yöntemi ile tasarlanmış jet kanadı. | 26 |
| Şekil 3.1. Deney kurgu şeması..... | 29 |
| Şekil 3.2. Test kuponları test öncesi..... | 29 |
| Şekil 3.3. Test düzeneğinin gerçek görüntüsü. | 30 |

Sayfa

| | |
|--|----|
| Şekil 3.4. Test düzenek şematiği..... | 31 |
| Şekil 3.5. L tipi bağlantının sabitlenmesi ve uygulanacak yükleme..... | 32 |
| Şekil 3.6. L tipi bağlantı için deney düzeneği..... | 33 |
| Şekil 3.7. T tipi bağlantının sabitlenmesi ve uygulanacak yükleme..... | 34 |
| Şekil 3.8. T tipi bağlantı için deney düzeneği..... | 35 |
| Şekil 3.9. T tipi ve L Tipi bağlantıları barındıran galley konfigürasyonu..... | 36 |
| Şekil 3.10. Braket birleştirme L tipi bağlantı..... | 37 |
| Şekil 3.11. Braket birleştirme T tipi bağlantı..... | 37 |
| Şekil 3.12. L tipi bağlantı montajları hazırlanmış Tennon-Mortise birleştirmeler. ... | 38 |
| Şekil 3.13. Tenon Mortise birleştirme, L tipi bağlantılı 10mm kalınlığındaki test kuponu test sonrası..... | 40 |
| Şekil 3.14. Tenon Mortise birleştirme, L tipi bağlantılı 22 mm kalınlığındaki test kuponu test sonrası..... | 41 |
| Şekil 3.15. Braket birleştirme, L tipi bağlantılı 10mm kalınlığındaki test kuponu..... | 42 |
| Şekil 3.16. Braket birleştirme, L tipi bağlantılı 22mm kalınlığındaki test kuponu.... | 43 |
| Şekil 3.17. Ekstrüzyon birleştirme, L tipi bağlantılı 10 mm kalınlığındaki test kuponu..... | 44 |
| Şekil 3.18. Ekstrüzyon birleştirme, L tipi bağlantılı 22 mm kalınlığındaki test kuponu..... | 45 |
| Şekil 3.19. T tipi bağlantı montajları hazırlanmış Tennon-Mortise birleştirmeler. ... | 46 |
| Şekil 3.20. Tenon mortise birleştirme, T tipi bağlantılı 22 mm kalınlığındaki test kuponu..... | 47 |
| Şekil 3.21. Tenon mortise birleştirme, T tipi bağlantılı 10 mm kalınlığındaki test kuponu..... | 48 |
| Şekil 3.22. Çift taraf braket birleştirme, T tipi bağlantılı 22 mm kalınlığındaki test kuponu..... | 50 |
| Şekil 3.23. Çift taraf braket birleştirme, T tipi bağlantılı 10 mm kalınlığındaki test kuponu..... | 51 |
| Şekil 3.24. Tek taraf braket birleştirme, T tipi bağlantılı 22 mm kalınlığındaki test kuponu..... | 53 |
| Şekil 3.25. Tek taraf braket birleştirme, T tipi bağlantılı 10 mm kalınlığındaki test kuponu..... | 54 |
| Şekil 4.1. Test kuponları test sonrası..... | 57 |
| Şekil 4.2. Tenon mortise, L tipi bağlantılı 10 mm kalınlığındaki test sonrası..... | 58 |
| Şekil 4.3. Tenon mortise, L tipi bağlantılı 22 mm kalınlığındaki test sonrası..... | 59 |
| Şekil 4.4. Braket, L tipi bağlantılı 10 mm kalınlığındaki test esnasında..... | 60 |

| | |
|--|----|
| Şekil 4.5. Braket, L tipi bağlantılı 10 mm kalınlığındaki test sonrasında braketler sökülüş..... | 61 |
| Şekil 4.6. Braket, L tipi bağlantılı 22 mm kalınlığındaki test sonrasında braketler sökülmemiş..... | 62 |
| Şekil 4.7. Ekstrüzyon, L tipi bağlantılı 10 mm kalınlığındaki test sonrasında..... | 63 |
| Şekil 4.8. Ekstrüzyon, L tipi bağlantılı 22 mm kalınlığındaki test sonrasında..... | 63 |
| Şekil 4.9. Ekstrüzyon, L tipi bağlantılı 22 mm kalınlığındaki test sırasında..... | 64 |
| Şekil 4.10. Tenon mortise, T tipi bağlantılı 22 mm kalınlığındaki test sonrası..... | 65 |
| Şekil 4.11. Tenon mortise, T tipi bağlantılı 10 mm kalınlığındaki test sonrası..... | 66 |
| Şekil 4.12. Çift taraf braket, T tipi bağlantılı 22 mm kalınlığındaki test sonrası..... | 67 |
| Şekil 4.13. Çift taraf braket, T tipi bağlantılı 10 mm kalınlığındaki test sonrası..... | 68 |
| Şekil 4.14. Tek taraf braket, T tipi bağlantılı 22 mm kalınlığındaki test sonrası..... | 69 |
| Şekil 4.15. Tek taraf braket, T tipi bağlantılı 10 mm kalınlığındaki test sonrası..... | 70 |
| Şekil 6.1. L bağlantı 10 ve 22 mm kompozit kalınlığında birleştirme yöntemlerinin karşılaştırılması..... | 76 |
| Şekil 6.2. T bağlantı 10 ve 22 mm kompozit kalınlığında birleştirme yöntemlerinin karşılaştırılması..... | 77 |
| Şekil 6.3. Tenon mortise 10 mm kompozit panel, L tipi bağlantılı eşit kuvvet uygulanması sonucu yer değiştirme analizi..... | 82 |
| Şekil 6.4. Braket 10 mm kompozit panel, L tipi bağlantılı eşit kuvvet uygulanması sonucu yer değiştirme analizi..... | 82 |
| Şekil 6.5. Ekstrüzyon 10 mm kompozit, L tipi bağlantılı eşit kuvvet uygulanması sonucu yer değiştirme analizi..... | 83 |
| Şekil 6.6. Tenon mortise 22 mm kompozit panel, L tipi bağlantılı eşit kuvvet uygulanması sonucu yer değiştirme analizi..... | 83 |
| Şekil 6.7. Braket 22 mm kompozit panel, L tipi bağlantılı eşit kuvvet uygulanması sonucu yer değiştirme analizi..... | 84 |
| Şekil 6.8. Ekstrüzyon 22 mm kompozit, L tipi bağlantılı eşit kuvvet uygulanması sonucu yer değiştirme analizi..... | 84 |
| Şekil 6.9. L tipi altında birleştirme yöntemleri analiz sonucu yer değiştirmeleri..... | 85 |
| Şekil 6.10. Tenon mortise 10 mm kompozit panel, T tipi bağlantılı eşit kuvvet uygulanması sonucu yer değiştirme analizi..... | 85 |
| Şekil 6.11. Çift taraf braket 10 mm kompozit panel, T tipi bağlantılı eşit kuvvet uygulanması sonucu yer değiştirme analizi..... | 86 |
| Şekil 6.12. Tek taraf braket 10 mm kompozit, T tipi bağlantılı eşit kuvvet uygulanması sonucu yer değiştirme analizi..... | 86 |
| Şekil 6.13. Tenon mortise 22 mm kompozit panel, T tipi bağlantılı eşit kuvvet uygulanması sonucu yer değiştirme analizi..... | 87 |

| | |
|--|----|
| Şekil 6.14. Çift taraf braket 22 mm kompozit panel, T tipi bağlantılı eşit kuvvet uygulanması sonucu yer değiştirme analizi. | 87 |
| Şekil 6.15. Ek taraf braket 22 mm kompozit, T tipi bağlantılı eşit kuvvet uygulanması sonucu yer değiştirme analizi. | 88 |
| Şekil 6.16. T tipi altında birleştirme yöntemleri analiz sonucu yer değiştirmeleri. ... | 88 |
| Şekil 6.17. Tenon mortise 10 mm kompozit, L tipi bağlantılı kopma kuvveti uygulanması sonucu yer değiştirme analizi. | 89 |
| Şekil 6.18. Braket 10 mm kompozit, L tipi bağlantılı kopma kuvveti uygulanması sonucu yer değiştirme analizi. | 90 |
| Şekil 6.19. Ekstrüzyon 10 mm kompozit, L tipi bağlantılı kopma kuvveti uygulanması sonucu yer değiştirme analizi. | 90 |
| Şekil 6.20. Tenon mortise 22 mm kompozit, L tipi bağlantılı kopma kuvveti uygulanması sonucu yer değiştirme analizi. | 91 |
| Şekil 6.21. Braket 22 mm kompozit, L tipi bağlantılı kopma kuvveti uygulanması sonucu yer değiştirme analizi. | 91 |
| Şekil 6.22. Ekstrüzyon 22 mm kompozit, L tipi bağlantılı kopma kuvveti uygulanması sonucu yer değiştirme analizi. | 92 |
| Şekil 6.23. Tenon mortise 10 mm kompozit, T tipi bağlantılı kopma kuvveti uygulanması sonucu yer değiştirme analizi. | 92 |
| Şekil 6.24. Çift taraf braket 10 mm kompozit, T tipi bağlantılı kopma kuvveti uygulanması sonucu yer değiştirme analizi. | 93 |
| Şekil 6.25. Tek taraf braket 10 mm kompozit, T tipi bağlantılı kopma kuvveti uygulanması sonucu yer değiştirme analizi. | 93 |
| Şekil 6.26. Tenon mortise 22 mm kompozit, T tipi bağlantılı kopma kuvveti uygulanması sonucu yer değiştirme analizi. | 94 |
| Şekil 6.27. Çift taraf braket 22 mm kompozit, T tipi bağlantılı kopma kuvveti uygulanması sonucu yer değiştirme analizi. | 94 |
| Şekil 6.28. Tek taraf braket 22 mm kompozit, T tipi bağlantılı kopma kuvveti uygulanması sonucu yer değiştirme analizi. | 95 |
| Şekil 1.1. Yanıt Yüzey Metoduna göre optimizasyon sonuçları; a) L tipi bağlantı için sonuçlar, b) T tipi bağlantı için sonuçlar..... | 98 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| | <u>Sayfa</u> |
|--|---------------------|
| Çizelge 2.1. Tenon ve mortise ölçü parametreleri. | 10 |
| Çizelge 3.1. Giriş parametreleri. | 56 |
| Çizelge 6.1. L Bağlantı için kullanılan malzeme ve işlem maliyetleri. | 78 |
| Çizelge 6.2. T Bağlantı için kullanılan malzeme ve işlem maliyetleri. | 80 |
| Çizelge 6.3. Giriş ve çıkış parametreleri. | 96 |
| Çizelge 6.4. L tipi bağlantı TOPSIS sonuçları. | 97 |
| Çizelge 6.5. T tipi bağlantı TOPSIS sonuçları. | 97 |

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

- g : Yer çekimi
mm : Milimetre
kN : Kilo Newton
N : Newton

KISALTMALAR

KLM : Koninklijke Luchtvaart Maatschappij NV (Kraliyet Havacılık Şirketi)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Evliya Çelebi'ye göre 10. Yüzyıl Müslüman Türk Âlimlerinden İsmail Cevheri'den ilham alan Hezarfen Ahmet Çelebi 1600'li yıllarda uçan ilk insan olmuştur [1]. 1783 yılında Platre de Rozier'in ilk balon uçuşuna insanlar tanıklık etmiştir [2]. İnsanoğlunun hiç dinmeyen uçma tutkusunu, motorlu bir uçağın 1903 yılındaki uçuşu ile yeni bir çığır açmıştır. Bu uçuşun üstünden sadece bir yüz yıl geçmesine rağmen, günümüzde onlarca tonluk yolcu, yük ve posta yüzlerce km/sa.'lik hızlarda, binlerce metre yüksekten, binlerce kilometre uzağa, neredeyse pilot müdahalesi olmaksızın emniyetli bir şekilde taşınabilmektedir. Hava taşımacılığında yaşanan bu hızlı gelişme, onu artık dünyanın sosyo-kültürel ve ekonomik yapısına çok büyük faydaları olan en önemli ulaşım türlerinden birisi haline getirmiştir. Günümüzde yüzlerce havayolu işletmesi insanlığa son derece önemli faydalar sunmaya devam etmektedir [3].

Yolcu uçaklarının uçak mutfakları, uçak tuvaletleri, ön sıra yapıları gibi birçok kabin içi üniteler farklı yapısal konstrüksiyonlarda bulunmaktadır. Farklı yapısal konstrüksiyonların yanı sıra konstrüksiyonları oluşturan bal peteği sandviç kompozit yapı malzemelerinin birleştirme yöntemleri konstrüksiyonların sağlamlığı açısından önem arz etmektedir [4]. Bu yapı malzemelerinin tasarımı, birleştirme ve imalat yöntemleri çeşitli uluslararası regülasyonlar içermektedir. Ünitelerin imalat ve montaj süreci tamamlandıktan sonra uçağa takılabilmesi için gerekli sertifikasyon sürecini geçmesi gerekmektedir. Bu sertifikasyon süreci ünitelerinin sağlamlığını test eden test standartlarını da içermektedir. Mukavemet gereklilikleri, uçuşta beklenen maksimum yükler sınır yükler ve nihai yükler olarak belirtilir. Aksi belirtilmedikçe, öngörülen yükler sınır yüklerdir [5]. Sertifiye edilecek kabin içi üniteler sahip olmaları durumunda uçaklara montajlanmasını sağlayan alt bağlantılar ve üst bağlantıların test ünitesinde de oluşturulur ve üniteler bunlar ile bağlanırlar. Test

edilecek ünitelerde, gereksinimler doğrultusunda yüklerin düzgün dağıtılması için özel aparatlar kullanılır. Test için üniteye uygulanacak olan yüklerin lokasyonları belirlenir. Lokasyonların aracılığı sayesinde piston yardımı ile yük uygulanır. Bu yükler ileri yönde 9.0g, aşağı yönde 4,5g, yukarı yönde 2,0g, yan yönde 1,5g uçağın iniş anındaki maruz kalabileceği yükler olarak tanımlanmıştır [6]. Kullanılan özel aparatlar bu uygulanan yüklerin üniteye eşit dağılmasını sağlamaktadır. Yapısal testlerde uygulanacak olan yüklerin belirlenmesinde ünitenin ağırlığı önem arz etmektedir. Nihai olarak bu fiziksel testler sonucunda ünitelerin alt ve üst bağlantıları takılıken yer değiştirmesi tespit edilmiş olur. Uçak kabin içi ünitelerini oluşturan yapısal elemanların birleştirme yöntemleri bu testlerin sonuçlarını doğrudan etkilemesinden dolayı birleştirme yöntemleri üniteler için önemli yere sahiptir.

Bu tezde, farklı kalınlıklardaki bal peteği kompozit panelleri birleştirmek için kullanılacak olan birleştirme yöntemleri L ve T tipi bağlantı tiplerinde, ilgili yapısal elemanların maruz kalacağı işlevsel yüklerin kullanılan bal peteği kompozitlerinin birleştirme yöntemleri üzerinde dayanım karşılaştırması yapılmıştır. Ayrıca bu birleştirme yöntemleri için test edilecek kuponların imalat süreci dikkate alınarak zaman, ağırlık ve maliyet açısından süreç analizi karşılaştırması yapılmıştır. L tipi bağlantıda Tenon Mortise birleştirme yöntemi, braket birleştirme yöntemi ve ekstrüzyon birleştirme yöntemi ilgili testlere tabi tutulmuş ve zaman, ağırlık ve maliyet açısından karşılaştırılmıştır. T tipi bağlantıda ise Tenon Mortise birleştirme yöntemi, çift taraf braket birleştirme yöntemi ve tek taraf birleştirme yöntemi ilgili testlere tabi tutulmuş ve ayrıca zaman, ağırlık ve maliyet açısından karşılaştırılmıştır.

Hazırlanan bu tezin takip eden ikinci bölümde ihtiyaç duyulan ilgili konular hakkında bilgi verilmiş ve literatür taraması yapılmıştır. Üçüncü bölümde birleştirme yöntemleri üzerine uygulanan deneyler için kurulmuş L tipi bağlantı deney düzeneği ve L tipi bağlantı deney düzeneği tanımlanmış, bağlantı tipleri L tipi bağlantı ve T tipi bağlantı açıklanmıştır. Yapısal birleştirme yöntemleri olan tenon mortise birleştirme yöntemi, braket birleştirme yöntemi ve ekstrüzyon birleştirme yöntemi tanımlanmıştır. Üçüncü bölüm üçüncü alt başlıkta birleştirme yöntemleri üzerine uygulanan deneyler için kurulmuş L tipi bağlantı deney düzeneği ve L tipi bağlantı deney düzeneği tanımlanmıştır. Üçüncü bölüm dördüncü alt başlığın ilk kısmında L

tipi bağlantı altında yapılan tenon mortise birleştirme, braket birleştirme, ekstrüzyon birleştirme yöntemleri için 10mm ve 22 mm kompozit panel kalınlıkları varyasyonlarıyla yapılan testler tanımlanmıştır. İkinci kısmında ise T tipi bağlantı altında yapılan tenon mortise birleştirme, çift taraflı braket birleştirme, tek taraflı braket birleştirme yöntemleri için 10mm ve 22 mm kompozit panel kalınlıkları varyasyonlarıyla uygulanan mekanik testler ve testlerin uygulanış parametreleri tanıtılmıştır. Üçüncü bölüm beşinci alt başlığında ise birleştirme şekillerinin bilgisayar destekli analiz programı yardımıyla yapılan analizlerinin parametreleri verilmiştir. Tezin dördüncü bölümünde L tipi bağlantı altında tenon mortise birleştirme, braket birleştirme, ekstrüzyon birleştirme yöntemleri ve T tipi bağlantı altında tenon Mortise birleştirme, çift taraflı braket birleştirme, tek taraflı braket birleştirme yöntemleri için uygulanan testlerin sonuçları sayısal veri olarak verilmiştir. Beşinci bölümünde; ilgili birleştirme yöntemleri T ve L tipi bağlantılar için altı başlık altında her biri kendi içinde test edilecek test kuponlarının imalat süreci dikkate alınarak zaman, ağırlık ve maliyet açısından süreç analizi yapılmıştır. Tezin altıncı bölümünde bulgu ve değerlendirmeler dört alt başlıkta incelenmiştir. Birleştirme bağlantıları dayanım açısından karşılaştırılmış, birleştirme bağlantıları süreç analizi yapılmış, tenon mortise, braket ve ekstrüzyon birleştirme yöntemleri L bağlantı tipinde bilgisayar destekli analiz programı ile belli yükler altındaki yer değiştirme analizleri yapıp birbirine göre kıyaslanmış ve birleştirme dayanım hasarları ve iyileştirmeleri için önerilerde bulunulmuştur. Son bölümde, deneysel çalışmalar sonucu elde edilen bulgular paylaşılmış gelecekte yapılabilecek çalışmalar hakkında fikir beyan edilmiştir.

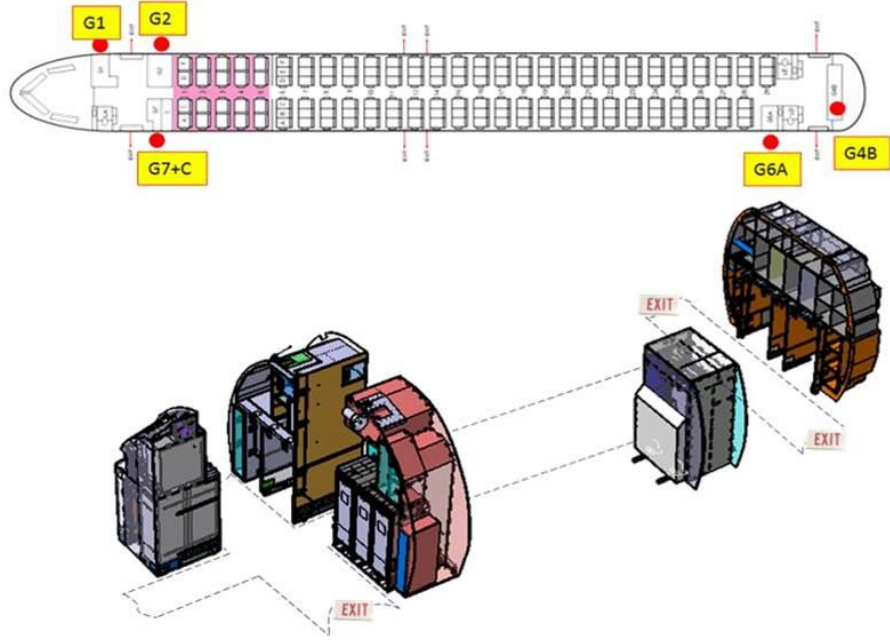
BÖLÜM 2

LİTERATÜR VE TERMİNOLOJİ

2.1. TERMİNOLOJİ

2.1.1. Kabin İçi Üniteleri Genel Bilgiler

Sivil hava taşımacılığı hızla insanlar tarafından tercih edilmesi neticesinde, yolculuk boyunca yolcuların ihtiyaçlarını karşılama gereksinimi ortaya çıkmıştır. Bunun sonucunda hava yolu şirketleri yolculara ikram hizmeti sağlamaya başlamıştır. Uçakta yemek servisi için kullanılan fırınlar, yemek tepsileri, kahve makineleri, servis öğeleri gibi çeşitli öğeleri barındıran ünite galley (uçak mutfağı) olarak adlandırılır [7]. KLM, 1921 yılında uçaklarına mutfak (galley) monte eden ilk havayolu şirketi olmuştur [8]. Uçağın ön ve arkasında yiyecek ve içeceklerin hazırlanması ve muhafaza edilmesi için ayrılmış bölüme galley adı verilir. Kısacası galley uçağın mutfağıdır. Uçaklarda ikisi ana ve ikisi yardımcı olmak üzere 4 galley bulunur. Ana galleylerden biri uçağın ön sağ tarafında, diğeri ise arka sağ kısmındadır. Yardımcı galleylerden biri uçağın ön ana mutfağın hizasında sol tarafta, diğeri yardımcı galley ise arka ana galley ile arka ikili kabin memuru koltukları arasındadır [9]. Boeing 737-800 model dar gövde uçağın oturma planı ve galley yerleşimi Şekil 2.1' de gösterilmiştir. Bu şekilde yeşil ile boyanmış ve G harfi ile kodlanmış bölümler Boeing 737-800 uçağında bulunan galleyleri temsil etmektedir.



Şekil 2.1. Boeing 737-8 kabin içi yerleşimi [10].

Galleylerin dış fiziki hatları uçakta buldukları konuma göre şekillenir. Genellikle galleyler servis araçlarının(trolley) girip hareket etmemesi için kilitlenebileceği, servis edilecek ürünleri ısıtmak için fırın buldurulan, sıcak içecek hazırlanmasına yardımcı ekipmanların bulunduğu, hazırlıklar için ihtiyaç duyulan tezgâhın bulunduğu ünitelerden oluşmaktadır (Şekil2.2).



Şekil 2.2. Boeing 737 uçağı için imal edilmiş galley [10].

Ayrıca yolcuların insani ihtiyaçlarını gidermeleri için uçak tuvaleti (lavatory) bulunmaktadır. Uçak markası, modeli ve gövde tipine göre çeşitlilik gösterebilmektedir. Esas olarak vakum ünitesi, lavabo, güç kaynağı ünitesi, yolcu hizmet ünitesi gibi kısımlardan oluşmaktadır.



Şekil 2.3. Uçak tuvaleti [11].

Ön sıra yapıları (front row monument), birinci sınıf yolcuların seyahat için tasarlanmış bölümde koltukların önünde bulunan yapılardır. Özel bölümleri sayesinde koltukla entegre şekilde kullanılarak yolcunun arzu ettiği takdirde ayaklarını uzatmasına imkan tanımaktadır. Ayrıca üzerlerinde yolcuların arzu ettikleri zaman bakabilecekleri ekranlar bulunmaktadır. Kişisel eşyaları koymaya olanak sağlayan özel bölmelerin mevcut olduğu gibi palto ya da ceket asmaya yarayan özel aparatlar mevcuttur.



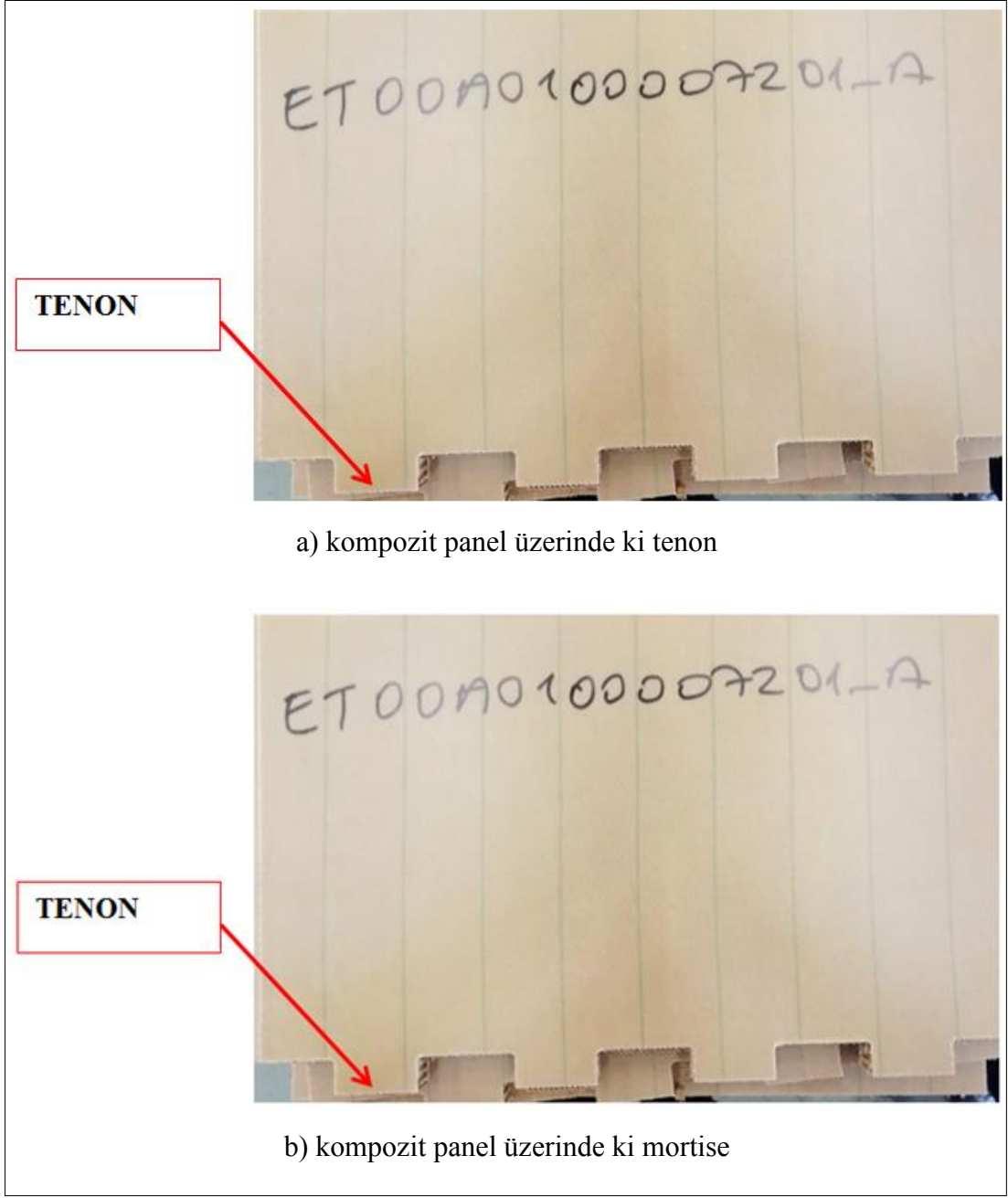
Şekil 2.4. Uçak ön sıra yapıları [12].

2.1.2. Yapısal Birleştirme Yöntemleri

Uçak içi kabinlerde bulunan ünitelerin yapısal iskeleti bal peteği kompozit panelden oluşmaktadır. Bu kompozit paneller birbirlerine alternatif birleştirme yöntemleriyle bağlanmakta olup bu bağlantı çeşidinden en yaygın olarak kullanılmakta olan tenon mortise birleştirme şeklidir. Bunun yanında braket birleştirme ve ekstrüzyon birleştirme şekilleride alternatif olarak kullanılmaktadır.

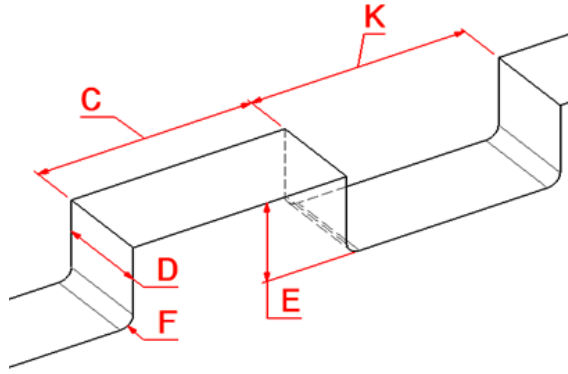
2.1.2.1. Tenon-Mortise Birleştirme

Tenon mortise birleştirme yöntemi özellikle Boeing ve Airbus uçak markalarının geniş ve dar gövdeli uçaklarında bulunan kabin içi ünitelerinde yapısal birleştirme yöntemi olarak geçmişten beri yaygın olarak kullanılmaktadır. Kullanım alanına ve kullanıldığı yere göre parametler değişiklik göstermektedir. İki kompozit panelin birleşmesi için tenon mortise birleştirme yönteminin kullanılması, bir kompozit panele mortise açılırken diğer kompozit panele ise tenon yapılması gerektirmektedir. Mobilya sektöründe de kullanılan bu yöntem de kompozit panele açılan belli derinlikteki dişi delik mortise olarak adlandırılmakla beraber diğer kompozit panele bu dişi panele girecek erkek yapı ise tenon olarak adlandırılmaktadır (Şekil 2.5).

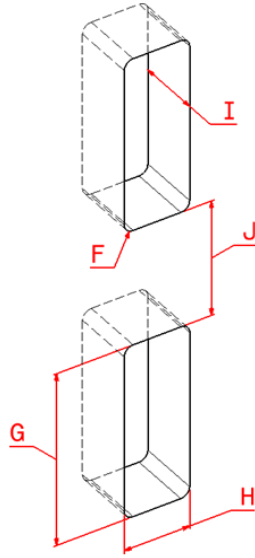


Şekil 2.5. T tipi bağlantı için kompozit panel üzerine yapılmış tenon ve mortise uygulamaları.

Bu açılan tenon ve mortiselerin ölçüleri belli parametrelere göre değişmektedir. Mortise açılacak kompozit panelin kalınlığı ve tenon uygulanacak kompozit panelin kalınlığı, tenon ve mortiselerin kalınlığını, derinliğini, genişliğini ve boyunu belirlemektedir. Tenon için uzunluğu C harfi ile genişliği D harfi ile yüksekliği E harfi ile ve iki tenon arasındaki mesafe K harfi ile Şekil 2.6'da gösterilmiş ve bahsedilen parametrelere göre değişen değerleri Çizelge 2.1'de belirtilmiştir.



a) tenon ölçüleri



b) mortise ölçüleri

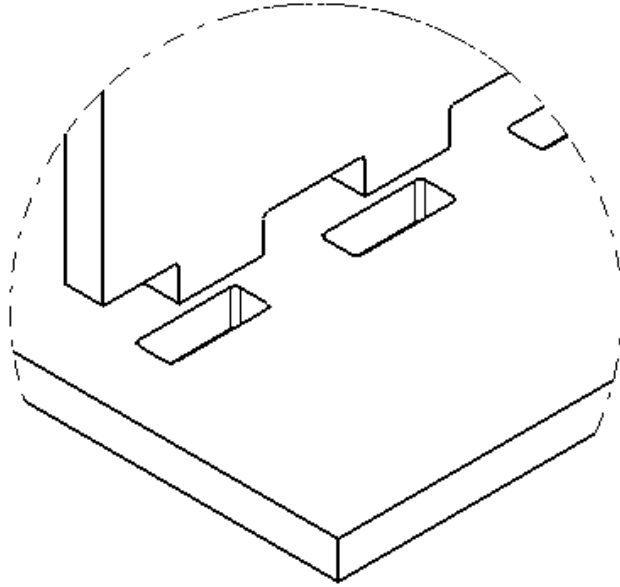
Şekil 2.6. Test kuponları imalatı yapılırken kullanılan tenon ve mortise ölçüleri.

Mortise için uzunluğu G harfi ile genişliği H harfi ile derinliği I harfi ile ve iki mortise arasındaki mesafe J harfi ile Şekil 2.6'da gösterilmiş ve bahsedilen parametrelere göre değişen değerleri Çizelge 2.1'de belirtilmiştir.

Çizelge 2.1. Tenon ve mortise ölçü parametreleri.

| A (mm) | B (mm) | C (mm) | D (mm) | E (mm) | F (mm) | G (mm) | H (mm) | I (mm) | J (mm) | K (mm) |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 10 | 10 | 50 | 9,3 | 9,3 | 3 | 60 | 10,2 | 9,5 | 40 | 50 |
| 22 | 22 | 50 | 21,3 | 21,3 | 3 | 60 | 22,2 | 21,5 | 40 | 50 |

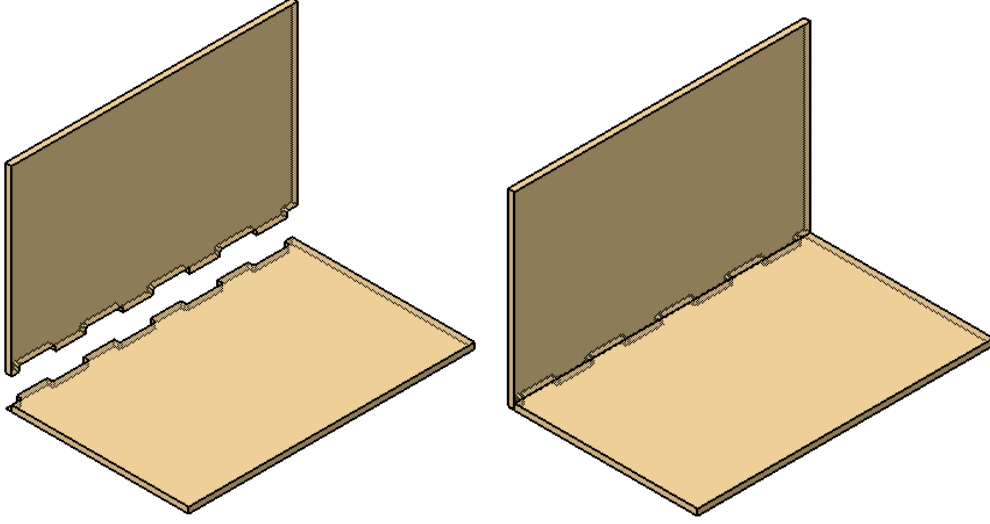
Birleştirme yapılacak iki kompozit panelden birine tenon diğer kompozit panele ise mortise açma işlemi gerçekleşir. Mortise açılması gereken kısım kompozitin kenarında değil ise Şekil 2.7’de, eğer tam kenarda ise Şekil 2.8’de tenon mortise uygulama örnekleri gösterilmiştir. Daha sonra iki panel birleştirilmesi için tenon ve mortise kısımlarına belli miktarlarda uçağın iç kısımlarındaki malzemelerin yapıştırılması için özel tasarlanmış, yanmazlık ve zehirli gaz salınım gereksinimini karşılayan ve oda sıcaklığında kürlenebilme özelliklerine sahip 3M SCOTCH-WELD 9300 B/A_FST adlı özel epoksi yapıştırıcı uygulanır.



Şekil 2.7. Mortise lokasyonu tam kenarda olmayan birleşme.

Daha sonra tenon ve mortiseler birbirlerine denk gelecek şekilde birleştirme sağlanır (Şekil 2.8). Tenon ve mortise yüzeylerinin birbirine teması sonrasında birleştirme pozisyonunu yardımcı elemanlar ile sabitlemek suretiyle korunmaktadır. Daha sonra kürlleşme süresi tamamlanınca kullanılan epoksi yapıştırıcı donması

neticesinde bu birleştirme yöntemi kullanılan yapısal bölge rijit hal kazanmış olmaktadır.



Şekil 2.8. Konumları tam kenarda tenon ve mortise birleşme adımları.

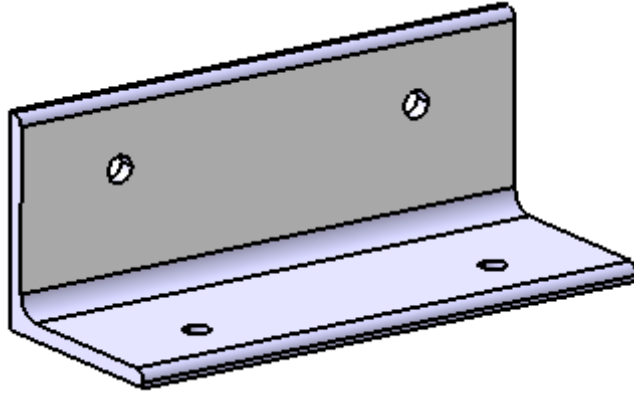
Uçak kabin içi ünitelerinden biri olan Boeing 737 dar gövde uçağı için imal edilmiş G7 galleyi üzerinde tenon mortise kullanım uygulaması Şekil 2.9’ da gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Boeing 737 G7 galleyi tenon mortise birleştirme yöntemi uygulaması.

2.1.2.2. Braket Birleştirme

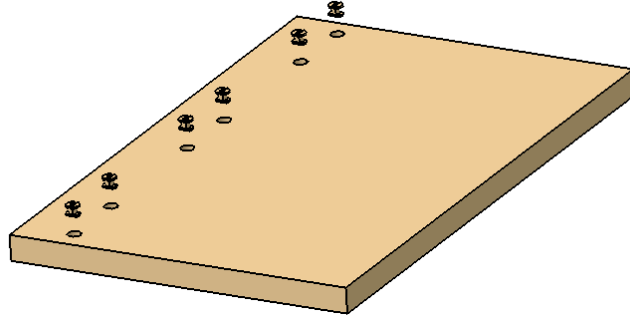
Braket birleştirme yöntemi sahip olduğu avantajlar sebebi ile tenon mortise yapısal birleştirme yöntemine alternatif olarak kullanılmaktadır. Bunun için kullanıldığı yer ve kullanım şekli önem arz etmektedir. Braket birleştirme yöntemi kullanılırken iki kompozit panel birleştirilirken kompozit paneller birbirlerine yapıştırma yöntemi ile değil mekanik bağlama yöntemi ile birleşmesine olanak sağlanmış olur. Braket birleştirme yönteminde iki kompozit panel birleştirmesini kullanılan özel braketler birleştirme elemanları aracılığı ile sağlanmaktadır. Bu alüminyum braketlerin üzerinde cıvataların geçeceği delikler mevcuttur (şekil 2.10). Ağırlık ve maliyet açısından avantaj sağlanmasından dolayı alüminyum malzemedendir. Bu braket bağlantı elemanları üzerinde bulunan deliklerin çapları birleştirme yapılacak iki kompozit panelin mekanik olarak birleştirilmesine olanak sağlayan cıvata seçimine göre değişmektedir. Ayrıca bu deliklerin konumları birleştirilecek kompozit panellerin istenilen birleştirme geometrilerine göre ayarlanmaktadır. Braketin kalınlığı ve boyutları tasarımın gereksinimlerine göre ayarlanmaktadır.



şekil 2.10. Alüminyum braket.

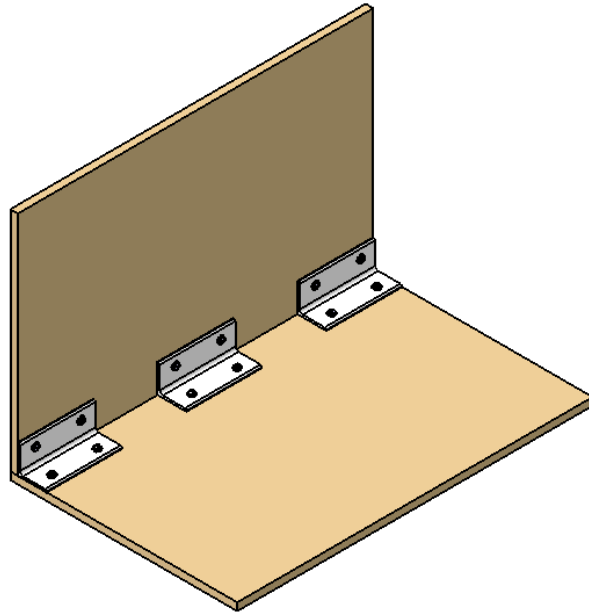
Braket birleştirme deliklerinden geçerek mekanik cıvataların kompozit panelde dişli olarak tutunacakları bir yüzey bulunmamaktadır. Kompozit panellerin i ara maddesi yapısal özelliği münasebeti ile diş amaya olanak vermediğinden dolayı bu kompozit panellere belli derinliklerde özel delikler açılıp bu deliklere yardımcı malzemeler yapıştırılmaktadır. Bu yardımcı malzemeler insert adı verilen geometrik olarak değişlik gösteren orta merkezlerindeki delikte diş yapısı bulunan aparatlardır.

İnsertler özel tasarlanmış, yanmazlık, zehirli gaz salınım gereksinimini karşılayan ve oda sıcaklığında kürlenebilme özelliklerine sahip 3M SCOTCH-WELD 9300 B/A_FST adlı özel epoksi yapıştırıcı ile yapıştırılmaktadır (Şekil 2.11). Böylece bu birleştirme şeklinde kullanılan cıvatalar kompozit panel bağlantısına olarak sağlanmış olur.



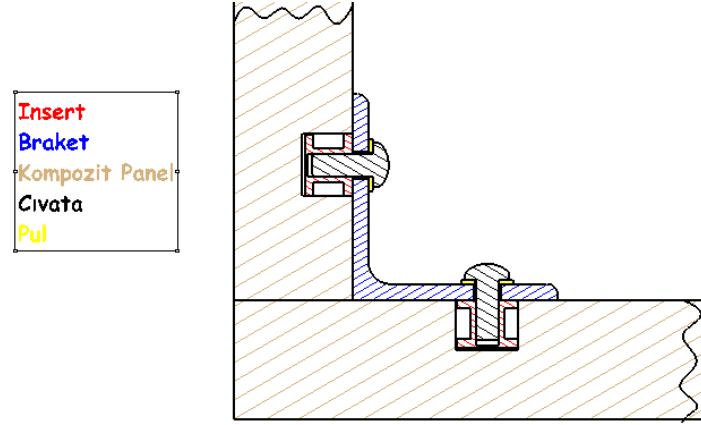
Şekil 2.11. Kompozit panel insert delikleri ve insertler.

Daha sonra iki kompozit panele uygulanan insert uygulaması yapıştırıcı kurluşme süreci tamamlandığında paneller bir araya getirilip braket bağlantı elemanları yerlerine konulup mekanik olarak cıvatalar ile bağlandığında bu bağlantı şekli tamamlanmış olmaktadır (Şekil 2.12).



Şekil 2.12. Braket birleştirme ve L tipi bağlantılı kupon.

Nihayetinde kompozit panellere insertler yapıştırılmış olup, ortalarındaki mevcut deliklerde bulunan diş sayesinde braketin üzerinden atılacak cıvata kompozit panel ile bağlantısına olanak sağlanmış olacaktır. Ayrıca cıvata ve alüminyum braket arasına pul konulmaktadır (Şekil 2.13).



Şekil 2.13. Braket birleştirme kesit görüntüsü.

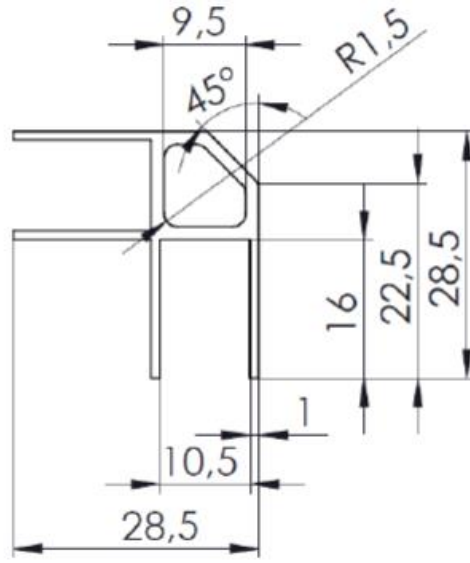
Uçak kabi içi ünitelerinden biri olan galleylerde, trolley kompartmanlarını birbirinden ayıran bölücü panel için braket birleştirme yöntemi uygulaması Şekil 2.14’de gösterilmiştir. Bu uygulama örneği Boeing 737 dar gövde uçağı için imal edilmiş G7 galleyi üzerinden alınmıştır.



Şekil 2.14. Boeing 737 G7 galleyi braket birleştirme yöntemi uygulaması.

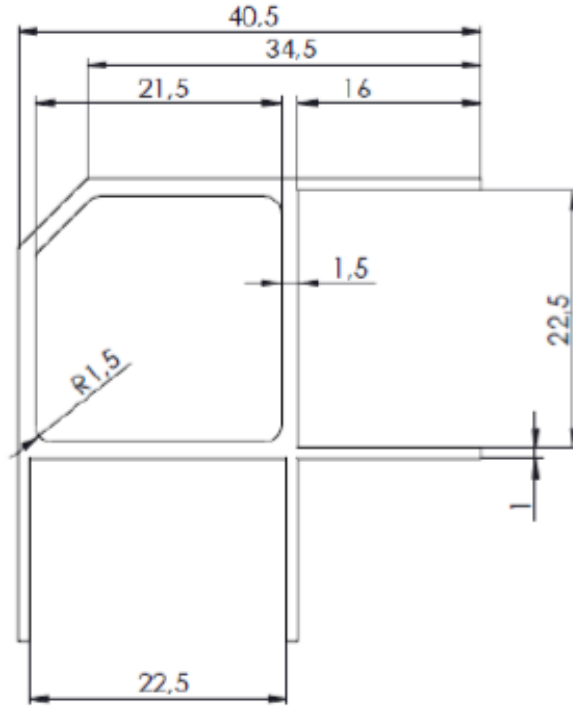
2.1.2.3. Ekstrüzyon Birleştirme

Ekstrüzyon birleştirme yöntemi uçak içi kabin sistemlerinde kullanılan yapısal birleştirmelerden biridir. Özellikle yapısal ürünlerin köşe birleştirmeleri ekstrüzyon birleştirme yöntemi kullanılarak birleştirme sağlanmaktadır. Ekstrüzyon birleştirme yönteminde iki kompozit panelin birleştirilmesi için ara bağlayıcı olarak alüminyumdan üretilmiş özel geometriye sahip ekstrüzyon kullanılmaktadır. Bu ekstrüzyonlar kompozit panelin kalınlığına göre değişiklik göstermektedir. Birleştirilen kompozit paneller 10 mm ise kullanılan ekstrüzyondaki panelin gireceği kanalın genişliği 10,5 mm ve derinliği 16 mm dir (Şekil 2.15). Panel yanlardan ve oturtulacağı zeminden 0,25mm uzaklıkta olacak şekilde konumlanabilmesi için bu ölçüler ayarlanmıştır.



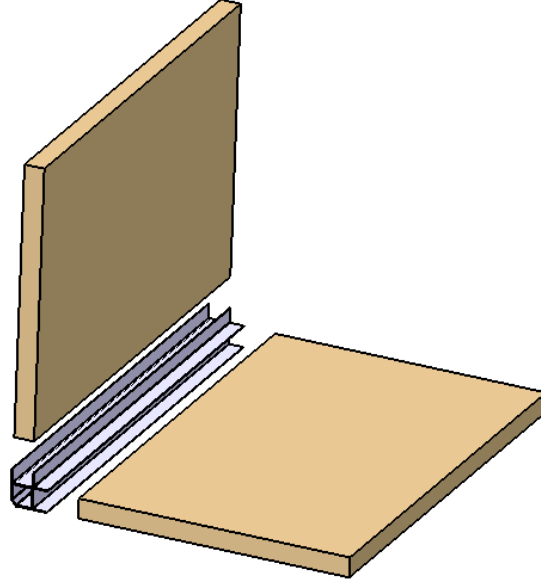
Şekil 2.15. 10 mm kompozit birleştirilmesinde kullanılan ekstrüzyon.

Birleştirilen kompozit paneller 22 mm ise kullanılan ekstrüzyon daki panelin gireceği kanalın genişliği 22,5m ve derinliği 16 mm dir (Şekil 2.16). Panel yanlardan ve oturtulacağı zeminden 0,25mm uzaklıkta olacak şekilde konumlanabilmesi için bu ölçüler ayarlanmıştır.



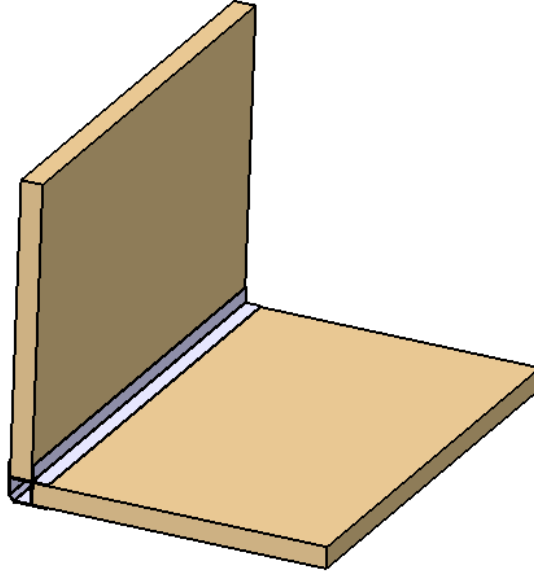
Şekil 2.16. 22 mm kompozit birleştirilmesinde kullanılan ekstrüzyon.

Paneller birleştirilmek için bu ekstrüzyonlardaki kanallara sokulmadan önce bu ekstrüzyon kanalları ve ekstrüzyon kanallarına temas edecek olan kompozit panel yüzeylerine yapıştırıcı uygulaması yapılmaktadır. Bu yapıştırıcı özel tasarlanmış, yanmazlık ve zehirli gaz salınım gereksinimini karşılayan ve oda sıcaklığında kürlenebilme özelliklerine sahip 3M SCOTCH-WELD 9300 B/A_FST adlı özel epoksi yapıştırıcıdır. Yapıştırıcı uygulanan kompozit paneller ve ekstrüzyonun birleştirme yapılmadan önceki halinin temsili Şekil 2.17’de gösterilmiştir.



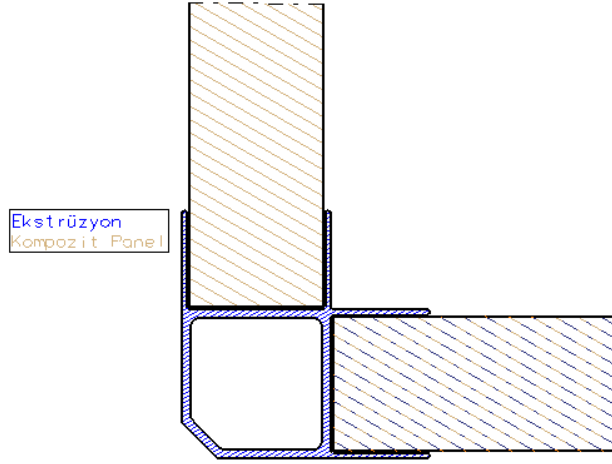
Şekil 2.17. Ekstrüzyon birleştirme öncesi.

İlgili yüzeylere yapıştırıcı uygulaması yapıldıktan sonra kompozit paneller ekstrüzyon kanallarına sokulur. Daha sonra kullanılan özel yapıştırıcının kurlenmesi beklenerek birleştirme şekli son halini almış olur (Şekil 2.18).



Şekil 2.18. Ekstrüzyon birleştirme ve L tipi bağlantılı kupon birleştirme sonrası.

Sonuç olarak kompozit panellere kompozit panellerin yapıştırıcı uygulanarak uygun ekstrüzyon kanallarına girmiş şekilde bağlantı yapılmış halin yandan bakılarak alınmış kesit görüntüsü Şekil 2.19’de gösterilmiştir.



Şekil 2.19. Ekstrüzyon birleştirme ve L tipi bağlantılı kupon birleştirme sonrası.

Uçak kabi içi ünitelerinden biri olan galleylerde, dış köşe birleşme için ekstrüzyon birleştirme yöntemi uygulaması Şekil 2.20’de gösterilmiştir. Bu uygulama örneği Boeing 737 dar gövde uçağı için imal edilmiş G2 galleyi üzerinden alınmıştır.



Şekil 2.20. Boeing 737 G2 galleyi ekstrüzyon birleştirme yöntemi uygulaması.

2.1.3. Bal Peteği Sandviç Kompozit Yapıları Genel Bilgiler

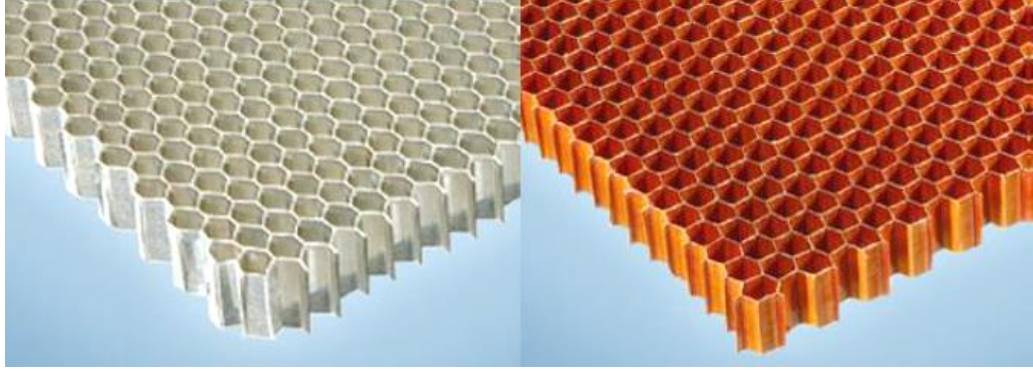
İki ya da daha fazla malzemenin, oluşturulacak yapının mekanik dayanım termal genişleme vb. özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla bir araya getirilmesiyle oluşan malzemeye genel anlamıyla kompozit malzeme denir [13].

Kompozit malzemeler mekanik özelliklerinden dolayı (düşük yoğunluk, yüksek dayanım) havacılık sektöründe en yaygın kullanılan malzemelerden biridir. Ayrıca kompozit malzemelerin korozyon direnci metallere göre oldukça yüksektir [14].

Bal peteği sandviç yapısı kompozit malzeme türleri arasındaki en değerli yapısal buluşlardan biridir. Endüstrinin; başta uzay ve havacılık olmak üzere birçok alanında, hafif ve yüksek dayanımlı olmalarından ötürü tercih edilmektedirler [15].

Balpeteği (honeycomb) sandviç yapı panelleri birçok yöntem ile üretilebilmektedir. En yaygın kullanılan üretim yöntemi ise sıcak preslemedir. Bu üretim yönteminde genellikle levha ve şekillendirme operasyonu önceden yapılmış paneller üretilmektedir [16].

Bu tür kompozit yapılar imal edilirken birçok malzeme kullanılabilir. Bal peteği panelleri özellikle havacılık sektörlerinde kullanıldığından, malzeme seçimi yapılırken dikkat edilmesi gereken temel unsurlardan biri de malzemenin dayanımının yüksek olmasının yanında hafif olmasıdır [17]. Bu sebepten dolayı panellerin malzeme seçiminde yoğunluğu düşük olan Alüminyum ya da metal dışı ürün seçildiğinde ise Polipropilen (PP), Nomex ve Kevlar kullanılmaktadır. PP düşük ergime sıcaklığından ötürü havacılık sektöründen ziyade deniz sektöründe tercih edilmektedir [18].

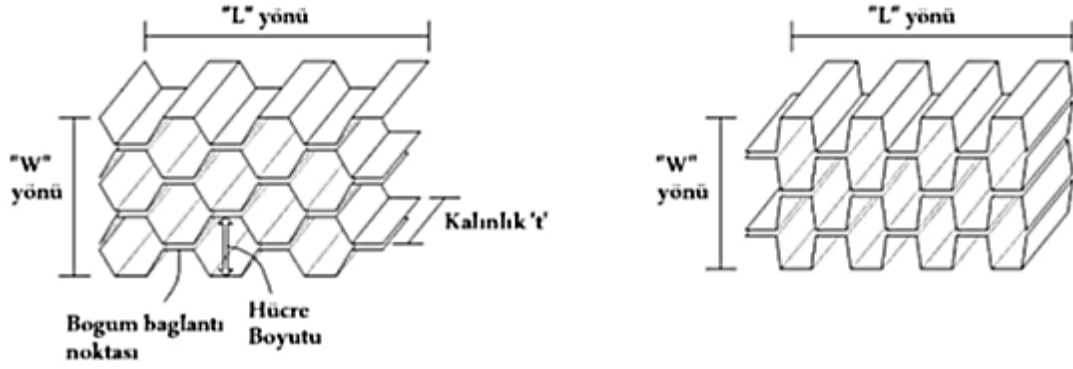


Şekil 2.21. AL bal peteği ve Nomex bal peteği.

Balpeteği sandviç kompozit panelleri oluşturan hücreler büyük ya da küçük yapılabılır. Yapıyı oluşturacak çekirdeğin büyük olması malzemenin fiyatını düşürür fakat diğer yönden büyük çekirdek malzemenin yüzeye bağlanmasını zorlaştırır. Küçük boyuttaki çekirdekler daha geniş bir yüzey alanına etki edecek ve malzemenin yüzeye bağlanmasını kolaylaştıracaktır. Fakat bu durum aynı zamanda maliyeti de arttıracaktır [19].

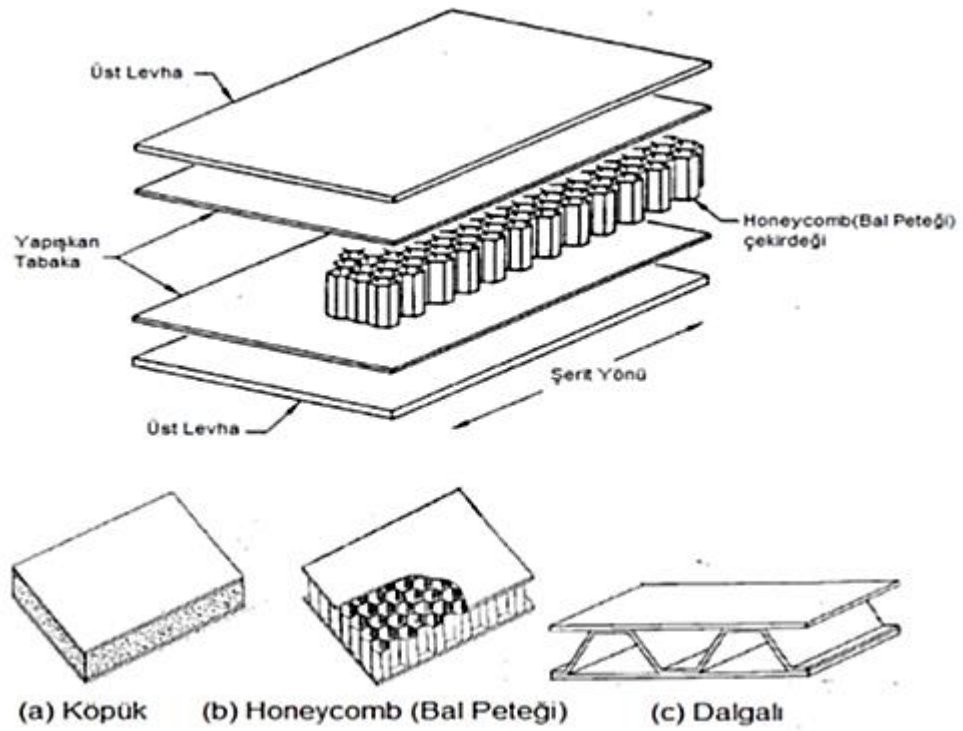


Şekil 2.22. Sandviç yapılı kompozitlerin sivil havacılık sektöründe kullanımı.



Şekil 2.23. Bal Peteği sandviç panellerin hücre yapısı.

Altıgen şeklinde olan yapısı oluşturduğu malzemeye düşük yoğunluk özelliği kazandırırken Dikdörtgen şeklinde olan hücrelerin ‘W’ doğrultusunda işlenmesi oldukça kolaydır [20].



Şekil 2.24. Honeycomb yapısı ve çekirdek çeşitleri; a) Köpük, b) Honeycomb, c) Dalgalı [21].

Bal peteği kompozit panellerin mekanik, sonik ve termal dirençleri çok yüksektir. Diğer yapılar ile karşılaştırıldığında darbeleri absorbe etme özellikleri oldukça gelişmiştir [21].

2.1.4. Adhasive (Yapıştırıcı) Genel Bilgiler

Adhesive (yapıştırıcı) ile birleştirme, yapışkan iki yüzey arasına yerleştirilen sıvının kürleşmesiyle elde edilir. Bu yöntem geleneksel olarak kullanılan mekanik birleştirme yöntemlerine alternatif olarak kullanılmakta ve bir çok özelliği sayesinde de geleneksel yöntemlere göre avantaj sağlamaktadır. Bu avantajların başında düşük özgül ağırlık, imalat olarak ucuzluğu ve gelişmiş hasar törelans aralığı bulunur [22].

2.1.4.1. Kompozit Yapıştırıcıların Sınıflandırılması

Kompozit malzemeleri yapıştırma da kullanılan yapıştırıcılar iki temel kategoride incelenir.

Yapısal yapıştırıcılar

Yapısal yapıştırıcılar arasında epoksi, poliüretan ve alkirik yapıştırıcılar bulunmaktadır. Herhangi bir epoksi reçine formülasyonu ile elde edilen yapıştırıcı metal, cam, seramik, kauçuklar ve plastikler, Kevlar, fiberglas, karbon / grafit, bor, poliimid, vb. dahil olmak üzere çok çeşitli yüzeylere yapışır. Ayrıca epoksi reçinelerin; yüksek ve düşük sıcaklıklardaki termal direnci, kimsayal aşınmalara karşı direnci ve elektrik yalıtım direnci oldukça yüksektir.

Yapısal yapıştırıcıların bileşen ağırlığını azalttığı, dayanıklılığı artırdığı, daha iyi tasarım enlemi sağladığı, yüksek düzeyde stresle başa çıktığı ve daha az işleme gerektirdiği bilinmektedir. Diğer sabitleme araçlarından daha ucuzdurlar. Ayrıca herhangi bir çıkıntılı çivi veya kaynak izi olmadan daha temiz yüzeyler gibi estetik avantajları için de tercih edilirler [23].

Sentetik Yapıştırıcılar

Sentetik yapıştırıcılar temel olarak termoplastikler, emülsiyonlar, elastomerler ve termosetlerden oluşmaktadır. Bunlar çeşitli yüzeylere iyi yapışır ve hızlı bir şekilde uygulanabilir. En çok tercih edilme sebebi uygun maliyetli olması ve hızlı

uygulanmasıdır. Bunlar arasında kontakt çimento, siyanoakrilat, sıcak eriyik, poliüretan, resorsinol, polivinil asetat (PVA), silikon, sprey ve üre formaldehit bulunur [24].

2.1.4.2. Kompozit Yapıştırıcıların İçinde Bulunan Bileşenler

Kompozitler için yapıştırıcılar birçok malzeme kullanılarak elde edilir. Çeşitli yapıştırıcılar arasında basınca duyarlı, ısıyla sertleşen, sıcakta eriyen, reaktif sıcakta eriyen malzemeler yer alır. Yapışmanın mükemmel bir şekilde gerçekleşmesi ve uzun süre dayanıklı olması için, yüzeylerin iyice temizlenmesi ve özel ön işlem yöntemlerinin uygulanması gerekir.

Yapıştırıcıların yapısında bulunan bazı özel bileşenler

Akrilik: Suya karşı gösterdiği direnç yüksektir. Uygulandığı yüzeyde leke oluşumunu ve kabarmaları engeller. Alkali temizleyicilere direnç göstermek için kullanılır.

Üretan: İçinde bulunduğu yapıştırıcının, yapışma gücünü artırır. Genleşme katsayısı yüksektir. Esneklik istenen durumlarda özellikle tercih edilir.

Epoksi: Epoksi reçineleri poliepoksitler olarak da bilinir. Reaktif polimer sınıfına aittir.

Bizmaleimid: Isıya karşı gösterdikleri direnç yüksektir. Bu yapıştırıcılar 315 ° C'ye kadar yüksek sıcaklıkta çalışmayabilir.

Siyanoakrilat: Bunlar piyasada Tutkal veya hızlı yapıştırıcı olarak adlandırılan güçlü ve hızlı etkili yapıştırıcılardır. Siyanoakrilat yapıştırıcının çalışması için su sertleştirici olarak çalışır.

Metil metakrilat (MMA): MMA yapıştırıcıları temel olarak karışım oranı ve karıştırma derecesi farklılıklarına karşı daha az duyarlıdır, böylece reçine:

sertleştirici oranının 100: 3 ila 1: 1 arasında değişmesine izin verir, bu nedenle yapışkan uygulama ve montaj için daha fazla zaman sağlar.

Silikon: Bu yapıştırıcı çok güçlü değildir; ancak çok iyi esneklik, dayanıklılık ve yüksek sıcaklık direncine sahiptir.

Polyester: Polyester yapıştırıcılar epoksiden daha ucuzdur ve deniz ve diğer endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılır; bununla birlikte polyester, epoksiye kıyasla kimyasal olarak zayıf bir yapıştırıcıdır ve ayrıca yüksek derecede büzölmeye sahiptir [25].

2.1.4.3. 3M™ Scotch-Weld™ EC-9300 B/A FST

Bu çalışmada 3M™ Scotch-Weld™ EC-9300 B/A FST (fire smoke toxicity) adhesive (yapıştırıcı) olarak kullanılmıştır. Bu yapıştırıcı iki parça yapısal, oda sıcaklığında kürleşen bir yapıştırıcıdır. Metaller ve sandviç paneller dahil olmak üzere uçak iç malzemelerinin yapıştırılması için tasarlanmıştır. Halojen ve antimon içermez.

3M™ Scotch-Weld™ EC-9300 B/A FST

3M™ Scotch-Weld™ EC-9300 B/A FST

- İki parçalı, düşük viskoziteli, sarkmayan epoksi yapıştırıcıdır.
- Kimyasal tepkimelere karşı dirençleri yüksektir.
- Oda sıcaklığında kürlenebilir, hafif ısı ile tepkimeye girebilir.
- FAR/JAR 25.853 ve ABD0031'e göre alev alabilirlik, duman yoğunluğu ve zehirli gaz ve ayrıca ısı yayılımını gereksinimlerini karşılamak için iç yapıların birleştirilmesi için kullanılır.
- Tipik uygulamalar arasında petek panel birleştirme, kanal açma ve yerleştirme (kesme ve katlama), ek yeri birleştirme veya metali peteğe birleştirme yer alır.

2.2. LİTERATÜR TARAMASI

Endüstride kullanılan mekanik yapıları birleştirmek T bağlantıları, L bağlantıları gibi yöntemler için tenon mortise, braket, alüminyum ekstrüzyon gibi birçok yöntem kullanılmaktadır. Kullanılan malzeme ve kullanım yerine göre birleştirme tipi seçilebilir. Birleştirme tiplerinin mekanik yapının dayanımına etkileri üzerine birçok akademik çalışma bulunmaktadır.

Diler E A, yüksek lisans tez çalışmasında, tekne imalatında T tip bağlantı içerikli yeterli çalışma yapılmadığı için çok kullanılmayan T tip bağlantı metodununun 6 farklı tipini (Düz sandviç T bağlantısı, İç içe geçmeli sandviç bağlantı, Üçgen sandviç bağlantı tipi, Dönümlü 25 sandviç bağlantı tipi, Dönümlü 70 sandviç bağlantı tipi, Yeni tip bağlantı tipi) deneysel ve nümerik olarak incelemiştir. Çalışma sonunda; imalatı kolay olması sebebiyle Düz sandviç T tip bağlantıların dayanımının az olduğuna fakat yüke maruz kalmayacak pozisyonlarda hafifliğinden dolayı tercih edilmesinin sorun yaratmayacağına vurgu yapmıştır. İç içe geçmeli sandviç bağlantı tipinin en düşük mekanik özelliklere, Dönümlü 70 sandviç bağlantı tipinin ise en yüksek mekanik özelliklere sahip olduğunu belirtmiştir [26].

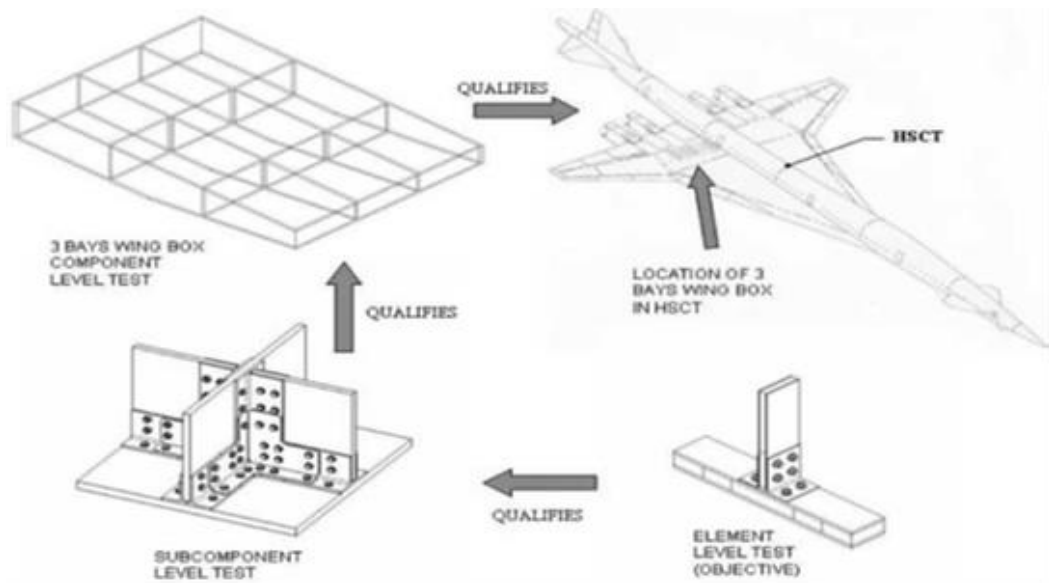
Doğan T, Kompozit yapılardaki bağlantı tiplerine yapıştırıcının etkisini incelemek amacıyla farklı yapıştırıcı kalınlıklarının kompozit bağlantılar üzerinde gösterdiği tepkiyi ölçmek amacıyla deneyler yapmıştır. Çalışmada ilk olarak yapıştırıcının mekanik özellikleri tespit edilmiş ardından bağlantı yapısına çekme testi, aksenal ve transvers darbe testleri, dört nokta eğme testi sırasıyla yapılmıştır. Çalışma sonunda Yapıştırıcı kalınlığın kompozit derzlerin mukavemet özellikleri üzerinde önemli bir etkisi olurken, yapışkan kalınlığı derzin mukavemetini azalttığı sonucuna varılmıştır [27].

Bianchi vd, yaptıkları çalışmada sandviç yapılı kompozit malzemeleri T bağlantı, köşe bağlantı ve uç uca bağlantı yöntemleri ile birbirine bağlamıştır. Deney esnasında yoğunlukları aynı olan $80 \times 80 \times 20$ mm. boyutlarında sandviç paneller kullanılmıştır. T bağlantı için braket birleştirme yöntemi kullanılmıştır. Hazırlanan numunelere çekme, basma, kayma ve burulma testleri yapılmıştır. Braket yöntemi ile yapılan T bağlantısının mekanik özelliklerinin diğer bağlantı tiplerine göre daha

mukavim olduğu belirlenmiştir. Deneyde kullanılan yapılar aynı zamanda bilgisayar destekli analiz programı aracılığıyla modellenmiş, çalışma sonunda analiz programının verileri ile deneyden alınan veriler karşılaştırılmıştır. Yapıların mekanik performanslarının analiz programından alınan verilerden daha düşük olduğu gözlemlenmiştir [28].

Heimbs ve Pein, Cam fiber takviyeli kompozit (GFRs) ve sandviç tip kompozit malzemeden imal edilen iki farklı yapıyı üç farklı bağlantı tipi ile birleştirmişlerdir. Köşe bağlantı tipi için tenon mortise birleştirme yöntemi seçilmiştir. Bağlantı tiplerinin mekanik özelliklerini belirlemek için her numuneye kesme ve eğilme testleri yapılmıştır. Testler sonucunda numunelerin hasar davranışları (failure behaviour) incelenmiştir. Yapılan tüm deneylerde yapı üzerinde kırılmaya yol açan en etkili unsurun yükleme hızı olduğu gözlemlenmiştir. Numuneler LS-DYNA bilgisayar destekli analiz programında modellenmiş ve yapılan testler ile benzer sonuçlar elde edilmiştir [29].

Nguyen ve Yeh yaptıkları çalışmada jet uçaklarının kanat yapımında kullanılan çift yönlü braket yöntemi ile imal edilmiş polimer matrisli kompozit (PMC) yapıları matrislere standart oluşturmak için farklı yüklerde farklı yönlerde basma testleri uygulamıştır [30].



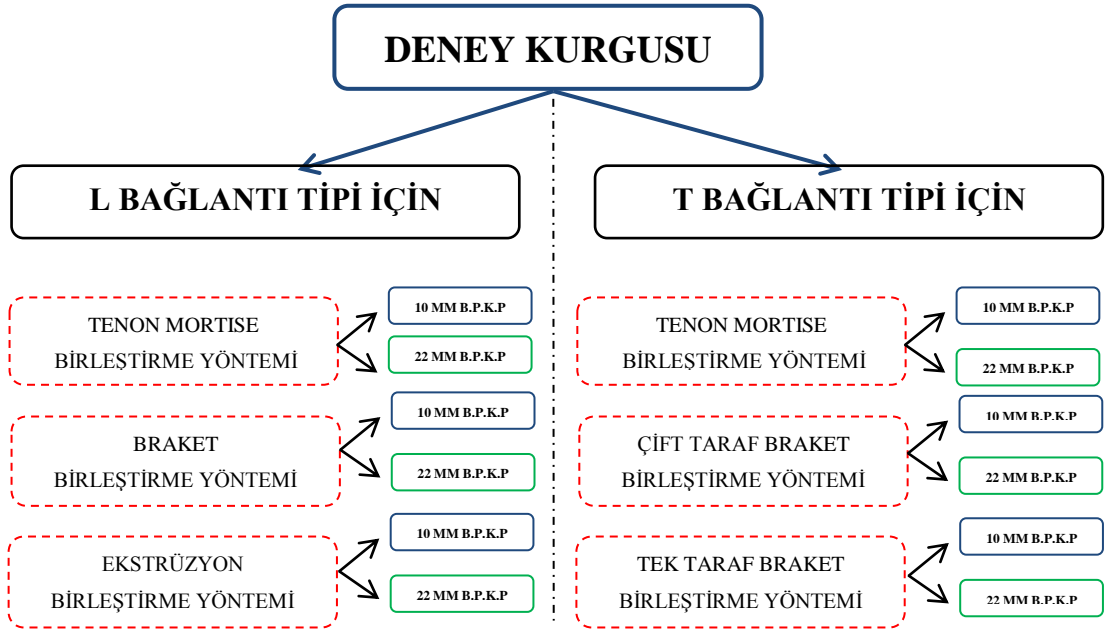
Şekil 2.25. Çift yönlü braket yöntemi ile tasarlanmış jet kanadı.

İmal edilen parça, bilgisayar destekli analiz programında modellenmiş ve deney sonuçları ile karşılaştırma yapılmıştır. Tasarlanan model analiz programında 220 kN'da hasar başlangıcı göstermiş fakat deney sonuçlarına göre 240 kN 'da hasar görmüştür. Deney sonuçları ve analiz programının sonuçları paralellik göstermektedir.

BÖLÜM 3

MATERYAL VE METOT

Yolcu uçaklarında verilen ikram hizmetinin artması sonucunda galleyler uçak tipleri ve hitap ettiği yolcu kesimleri paralelinde farklı kombinasyonlara sahip olmuştur. Şekilleri, fonksiyonel özellikleri ve uçaklarda buldukları konumların değişmesine rağmen galleyi oluşturan yapısal eleman olarak ağırlık ve dayanım açısından uluslararası belirlenmiş gereklilikleri sağlayabilmeleri için bal peteği kompozit panel kullanılmaktadır. Galleyi oluşturan yapısal eleman olan bal peteği kompozit panelin ise birbirine ile birleştirme yöntemi ise galley sertifikasyonu için ihtiyaç duyulan dayanım testi sonucunu doğrudan etkileyen faktörlerden biridir. Bu durumlara binaen birleştirme yöntemleri farklı bağlantı tiplerinde ve farklı bal peteği kompozit panel kalınlığı kullanılarak aynı standart şartlar altında çekme testi uygulanmıştır. . Birleştirme yöntemleri olarak L tipi bağlantı ve T tipi bağlantı kullanılmış, L tipi bağlantı için tenon mortise birleştirme yöntemi, braket birleştirme yöntemi ve ekstrüzyon birleştirme yöntemleri 10 mm ve 22 mm kompozit panel kalınlıkları varyasyonları ile test edilmiştir. T tipi bağlantı için ise tenon mortise birleştirme yöntemi, çift taraf braket birleştirme yöntemi ve tek taraf birleştirme yöntemleri 10 mm ve 22 mm kompozit panel kalınlıkları varyasyonları ile test edilmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Deney kurgu şeması.

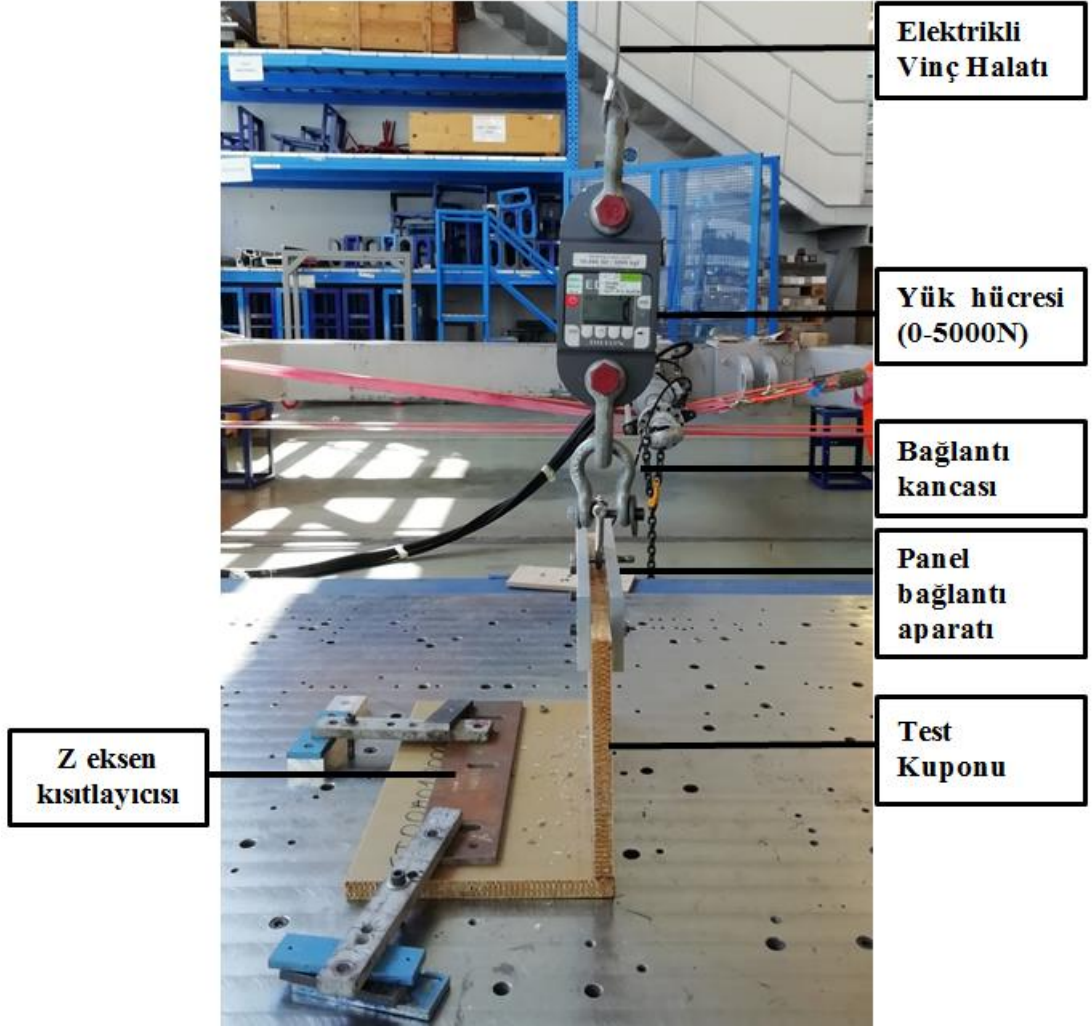
3.1. DENEY DÜZENEKLERİ

Yapısal eleman olarak kullanılan iki adet bal peteği kompozit panel tenon-mortise, ekstrüzyon ve braket birleştirme yöntemleri uygulanarak birleştirilmişlerdir. Bu birleştirme neticesinde çıkan nihai olarak teste tabi tutulacak numune test kuponu olarak adlandırılmıştır. Şekil 3.2 de test kuponlarının teste tabi tutulmadan önceki toplu halde paylaşılmasıdır.



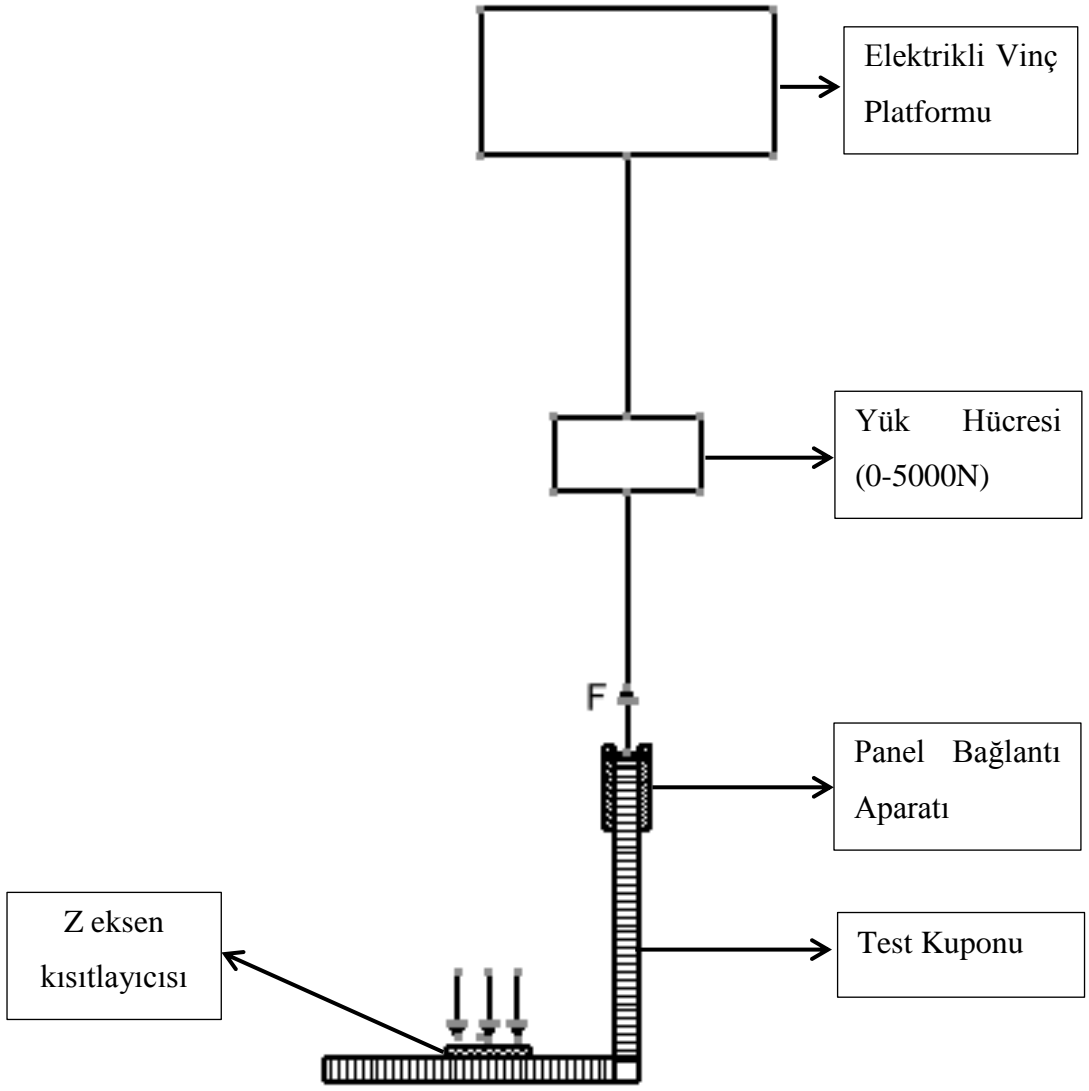
Şekil 3.2. Test kuponları test öncesi.

Test ünitesi elektrikli vinç, elektrikli vinç halatı, yük hücresi, bağlantı kancası, panel bağlantı aparatı ve z eksen kısıtlayıcısı içermektedir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Test düzeneğinin gerçek görüntüsü.

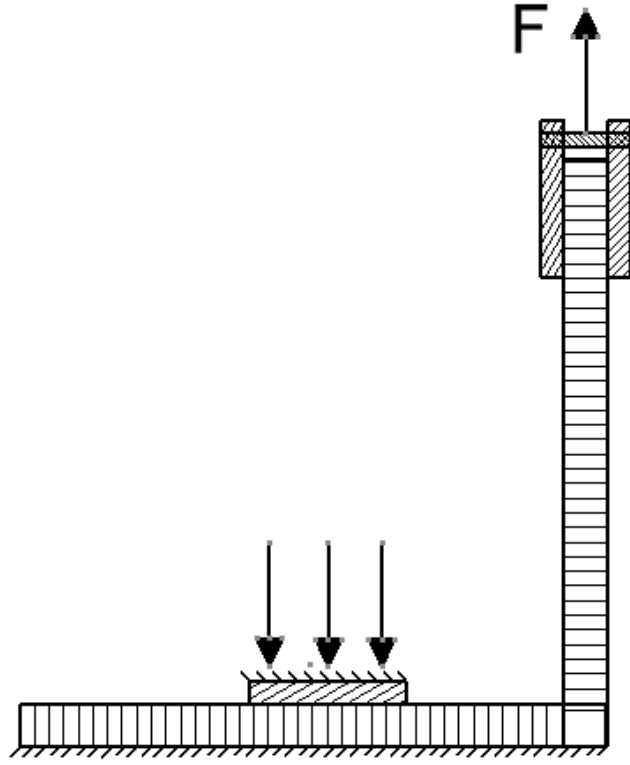
Test düzeneği L tipi ve T tipi bağlantılar için çalışma prensibi olarak farklılık göstermemektedir. Aralarındaki fark T tipi bağlantılarda z eksen sınırlayıcıların dik iki kenardan uygulanmış olmasıdır. Genel kabul olarak test düzeneği şematik olarak Şekil 3.4’de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Test düzenek şematığı.

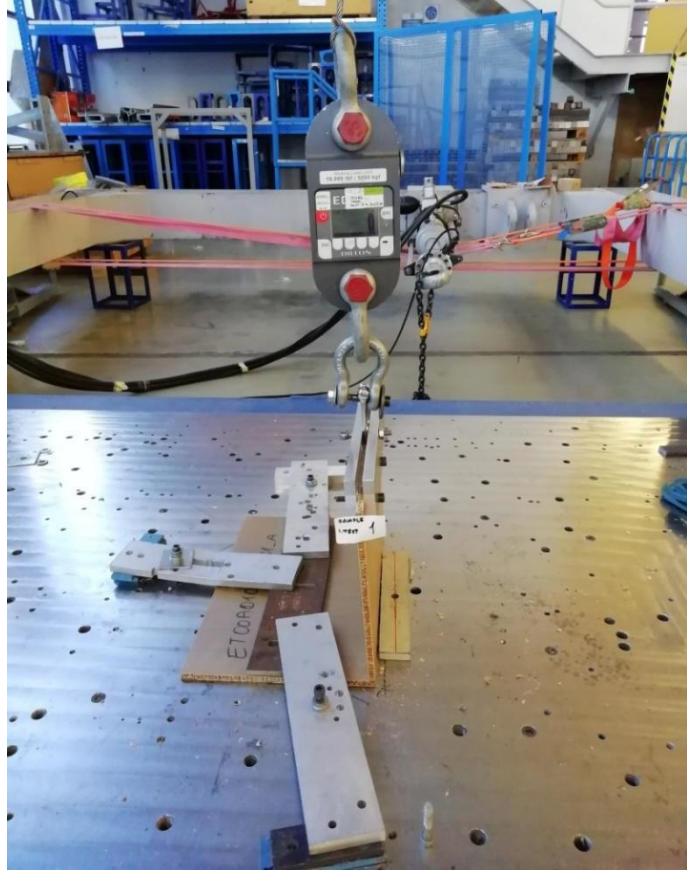
3.1.1. L Tipi Bağlantı Deney Düzeneği

Tenon-Mortise, ekstrüzyon ve braket birleştirme yöntemleri kullanılarak imal edilmiş test kuponları, L bağlantılı varyasyonları Şekil 3.5’de gösterilen test düzeneği aracılığı ile dayanım testine tabi tutulmuştur.



Şekil 3.5. L tipi bağlantının sabitlenmesi ve uygulanacak yükleme.

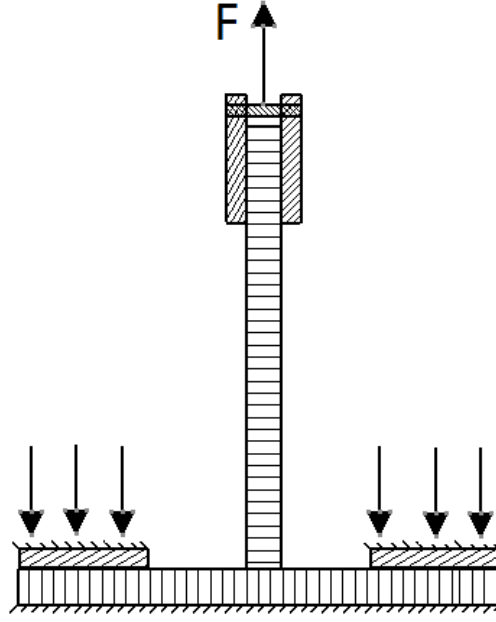
Hazırlanan test kuponları birbirine 90 derecelik iki adet kompozit panelin kenarlarından birleştirilerek konumlanmıştır. Kuponun alt paneli zemine aparatlar ile sabitlenmiş, üst paneli ise iki tarafından aparatlar ile sıkıştırılmıştır. Üst panelin sıkıştırılmasında kullanılan iki aparatın arasında bağlantı pimi yerleştirilmiştir. İlgili yüklemenin yapılabilmesi için iş güvenliği emniyetini dikkate alarak test alanında tavanda mevcut bulunan elektrikli uzaktan kumandalı vinç kullanılmıştır. Vincin mevcut çelik halatının ucuna daha önce kalibrasyonu yapılmış 0-500 kN aralığında ölçüm yapan bir yük hücresi bağlanmış, yük hücresinin ucuna ise kanca monte edilmiştir. Üst panelde bulunan iki aparatın arasında ki bağlantı pimi ve yük hücresi ucuna monte edilen kanca sayesinde vinç ile test kuponu arasındaki gerekli bağlantı tamamlanmıştır. Emniyetli bir şekilde uzaktan kumanda aracılığı ile vinç çalıştırılarak çekme yönünde test kuponuna kuvvet uygulanarak test kuponu çekme testine tabi tutulmuştur (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. L tipi bağlantı için deney düzeneği.

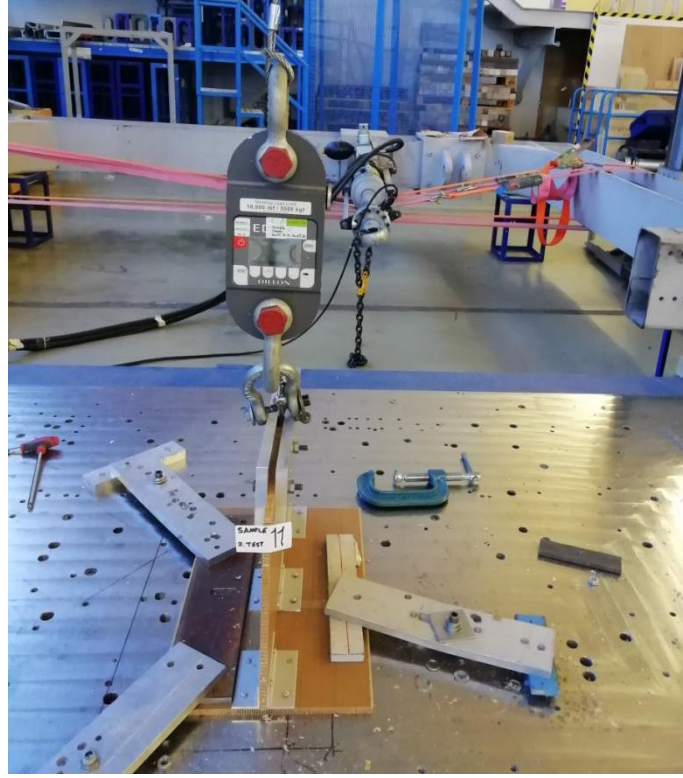
3.1.2. T Tipi Bağlantı Deney Düzeneği

Tenon-Mortise, çift taraf braket ve tek taraf braket birleştirme yöntemleri kullanılarak imal edilmiş test kuponları, T bağlantılı varyasyonları Şekil 3.7’da gösterilen test düzeneği aracılığı ile dayanım testine tabi tutulmuştur.



Şekil 3.7. T tipi bağlantının sabitlenmesi ve uygulanacak yükleme.

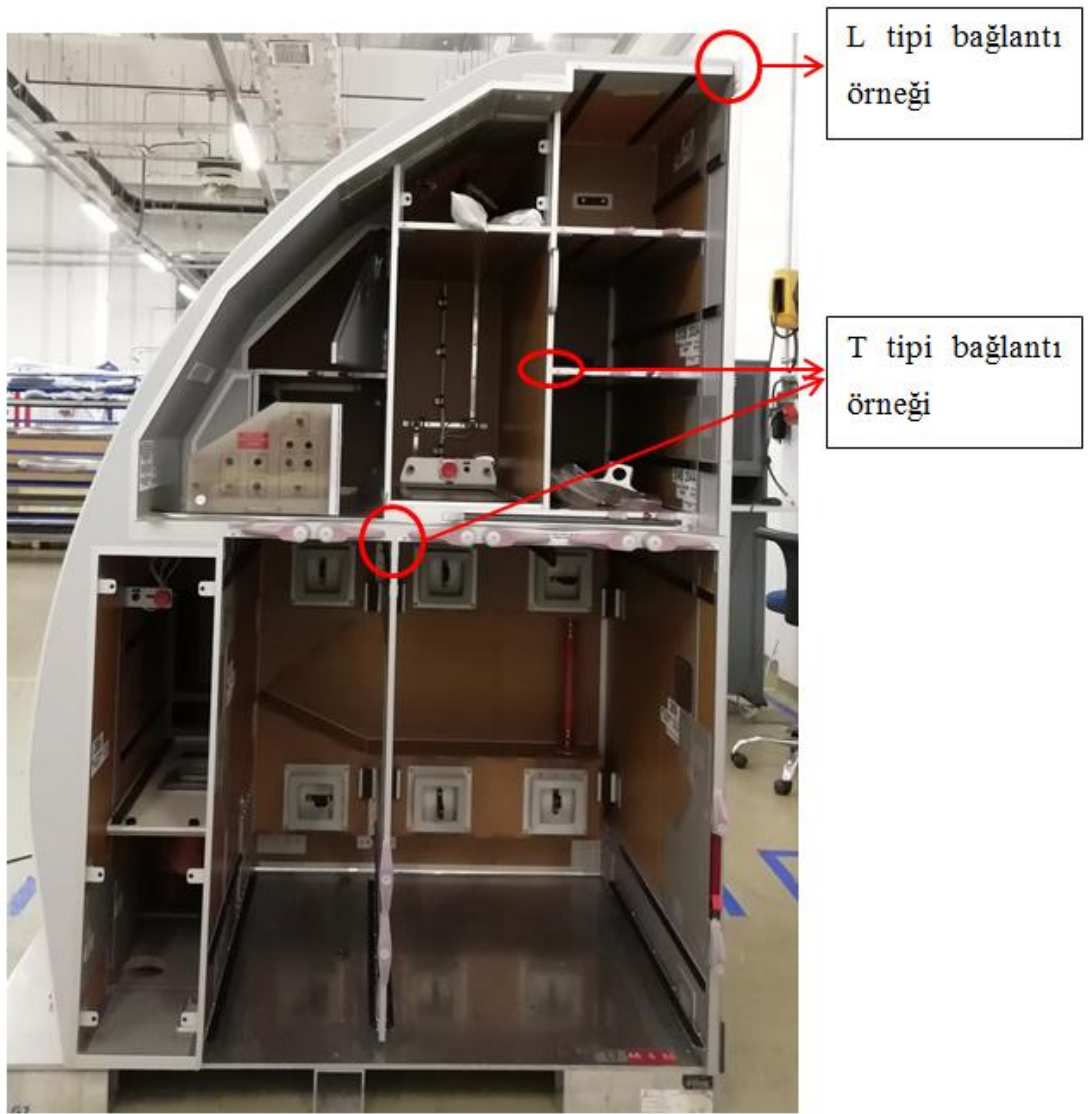
Hazırlanan test kuponları bir panelin yere paralel diğer panelin ise bu panale tam ortasından birleştirilerek birbiriyle 90 derecelik açı korunacak şekilde konumlanmıştır. Kuponun alt paneli her iki tarafta da zemine aparatlar ile sabitlenmiş, dik paneli ise panelin ucundan iki tarafından aparatlar ile sıkıştırılmıştır. Üst panelin sıkıştırılmasında kullanılan iki aparatın arasına bağlantı pimi yerleştirilmiştir. İlgili yüklemenin yapılabilmesi için iş güvenliği emniyetini dikkate alarak test alanında tavanda mevcut bulunan elektrikli uzaktan kumandalı vinç kullanılmıştır. Vincin mevcut çelik halatının ucuna daha önce kalibrasyonu yapılmış 0-500 kN aralığında ölçüm yapan bir yük hücresi bağlanmış, yük hücresinin ucuna ise kanca monte edilmiştir. Üst panelde bulunan iki aparatın arasında ki bağlantı pimi ve yük hücresi ucuna monte edilen kanca sayesinde vinç ile test kuponu arasındaki gerekli bağlantı tamamlanmıştır. Emniyetli bir şekilde uzaktan kumanda aracılığı ile vinç çalıştırılarak çekme yönünde test kuponuna kuvvet uygulanarak test kuponu çekme testine tabi tutulmuştur (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. T tipi bağlantı için deney düzeneği.

3.2. BAĞLANTI TİPLERİ

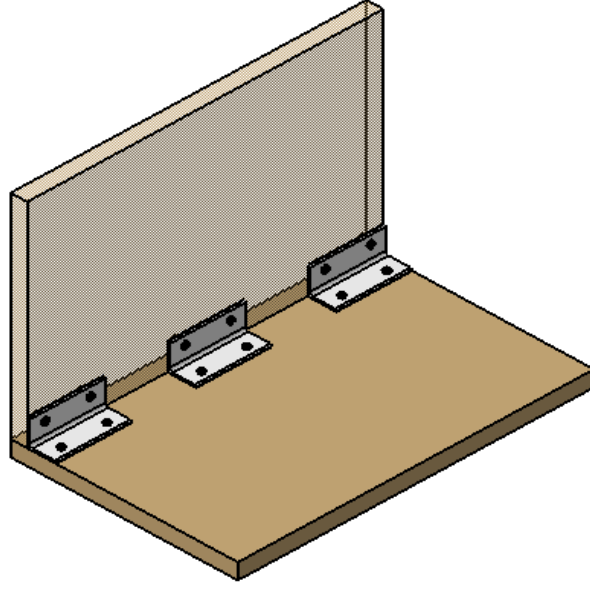
Uçak kabin içinde bulunan galleylerde yapısal malzeme olarak kullanılan bal peteği kompozit paneller birbiriyle kullanıldıkları yere göre farklı bağlantı tipi oluşturmaktadırlar. Bu tezde kullanılan L ve T olmak üzere iki bağlantı tipi incelenmiştir. L bağlantı tipi için kullanım yeri olarak galleylerin dış köşeleri örnek gösterilebilir. T tipi bağlantı için ise galleyler de bulunan rafların alt tabanını oluşturan kompozit panellerin arka gövde kompozit panellerin birleşmesi örnek gösterilebilir.



Şekil 3.9. T tipi ve L Tipi bağlantıları barındıran galley konfigürasyonu.

3.2.1. L Tipi Bağlantı

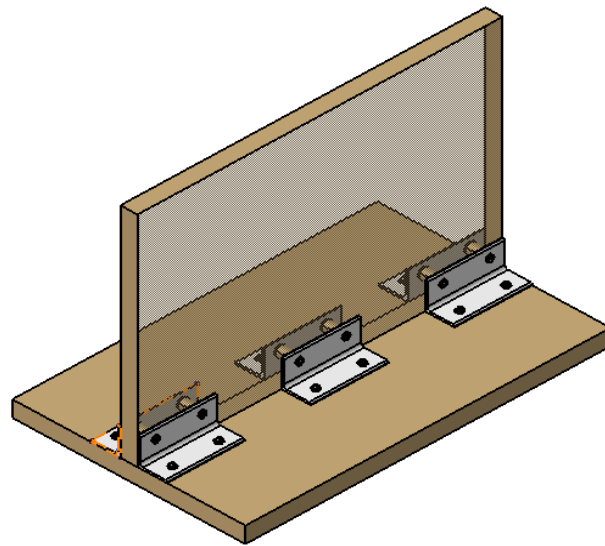
Kompozit paneller birleştirilme geometrisi olarak her iki kompozit panelinde uç kısımlarından birleştirilmesi L tipi bağlantı oluşturmaktadır. Bu bağlantı çeşidi genellikle galleylerin en dış kısımlarında bulunan kompozit panellerin birleştirilmesinde kullanılır.



Şekil 3.10. Braket birleştirme L tipi bağlantı.

3.2.2. T Tipi Bağlantı

Kompozit paneller birleştirilme geometrisi olarak bir kompozit panelin en ucu diğer kompozit panelin orta ya da ucuna yakın olmayan bir kısmında bağlanması üzerine birleştirilmesi T tipi bağlantı oluşturmaktadır. Bu bağlantı çeşidi genellikle galleylerin iç kısımlarında bulunan rafları ya da özel bölmeleri oluşturan kısımlarda kullanılan kompozit panellerin birleştirilmesinde kullanılır.



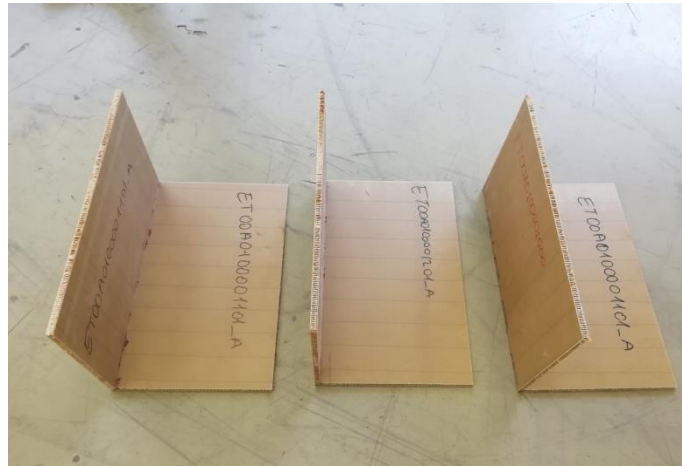
Şekil 3.11. Braket birleştirme T tipi bağlantı.

3.3. FARKLI KALINLIKLARDAKİ BAL PETEĞİ KOMPOZİT PANELLERİN DENEYLERİ

Tenon-Mortise, braket ve ekstrüzyon birleştirme yöntemlerine ait L ve T bağlantıları 10 mm ve 22 mm bal peteği kompozit paneller üzerine uygulanmıştır. Tüm bu değişkenler neticesinde oniki farklı deney varyasyonu ortaya çıkmıştır. Kuponlara uygulanacak testin doğruluğunu artırmak amacıyla ilgili her bir test tipi için üçer adet olmak üzere toplamda montajı tamamlanmış otuzaltı test kuponu hazırlanmıştır. Test düzeneği elektrikli vinç platformu, yük hücresi, pane bağlantı aparatı, test kuponu ve z eksen kısıtlayıcısından oluşmaktadır (Şekil 3.2).

3.3.1. L Tipi Bağlantı Deneyleri

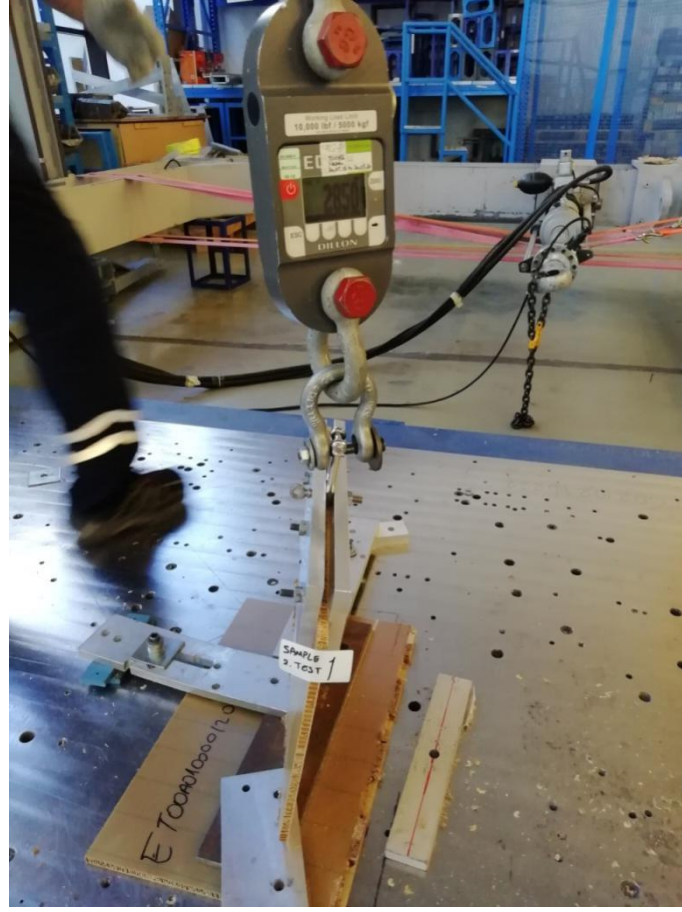
L tip bağlantının montajında iki adet bal peteği sandviç kompozit panel farklı kalınlıklarda ve farklı bağlantı şekilleri ile montaj edilerek test kuponları oluşturulmuştur. Toplam altı tip test kuponu hazırlanmıştır. Her test tipinden 3 adet tekrar yapılmış ve toplamda L tipi bağlantı montajında 18 adet test sonucu elde edilmiştir. Tenon mortise birleştirme yöntemi, braket birleştirme yöntemi ve ekstrüzyon birleştirme yöntemi olmak üzere üç çeşit birleştirme yöntemi 10 mm ve 22 mm kalınlıklarındaki bal peteği kompozit panel kalınlık varyasyonları kullanılarak test kuponları hazırlanmıştır.



Şekil 3.12. L tipi bağlantı montajları hazırlanmış Tenon-Mortise birleştirmeler.

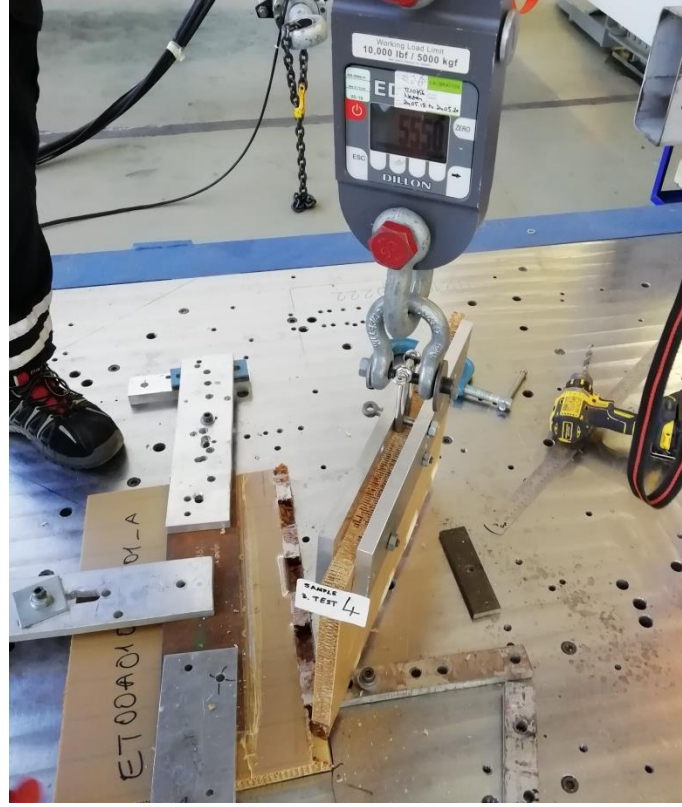
3.3.1.1. Tennon-Mortise Birleştirme - L Tipi Bağlantılı Kompozit Paneller

Test kuponu 10 mm kalınlığındaki bal peteği sandviç iki kompozit panelin tenon mortise birleştime yöntemi kullanılarak birleştirilmesi sonucunda oluşturulmuştur. Birbiri ile birleştirilen kompozit paneller 470 mm boyunda 300 mm eninde ayarlanmıştır. Kompozit panellerin birleştirmeleri birbirleriyle doksan derecelik aç oluşturacak şekilde yapılmıştır. Kompozit paneller test esnasındaki çekme yönünü dikkate alınarak belirlenen dayanıklı ribbon direction yönüne göre montajları yapılmıştır. Test kuponunu oluşturan iki kompozit panelin bir tanesinin kenarına tenon diğer kompozit panelin ucuna ise mortise açılması sonucu L tipi bağlantı montajı elde edilmiştir. Tenon uygulanan kompozit panelin kenarına 10,2 mm genişliğinde 60 mm uzuluğunda ve 9,5 mm derinliğinde tenon delikleri açılmıştır ve bu tenonların birbiri arasındaki mesafeleri 40 mm dir. Mortise uygulanan kompozit panele 10 mm genişliğinde 50 mm uzunluğunda 9,5 mm yüksekliğinde mortiselar yapılmıştır ve bu mortiselerin birbiri arasındaki mesafesi 50 mm dir. Bu kuponun ağırlığı 489 gramdır. Bu kuponu hazırlanan test düzeneğini uygulanması için alt kupon zemine aparatlar ile sabitlenmiş, üst kupon ise aparatlar bağlanarak vinç yardımı ile kompozit panelleri birbirinden ayrılanaya kadar çekilmiştir. Vinç halatı ve üstde kalan kompozit panel arasına daha önce kalibrasyonu yapılmış 0-5000 N aralığında ölçüm yapan bir yük hücresi konularak birleştirme yönteminin koptuğu değer N cinsinen okunarak kayıt altına alınmıştır.



Şekil 3.13. Tenon Mortise birleştirme, L tipi bağlantılı 10mm kalınlığındaki test kuponu test sonrası.

Kalınlığı 22 mm olan test kuponuna ait kompozit panellerin ölçüleri, panellerin birleştirme açısı, birleştirme yöntemi, test yapılış şekli ve test sonucunun okunma yöntemi 10 mm kuponla aynı olmakla birlikte kompozit panel kalınlığı, tenon-mortise ölçüleri farklıdır. Tenon uygulanan kompozit panelin kenarına 22,2 mm genişliğinde 60 mm uzunluğunda ve 21,5 mm derinliğinde tenon delikleri açılmıştır ve bu tenonların birbiri arasındaki mesafeleri 40 mm dir. Mortise uygulanan kompozit panele 22 mm genişliğinde 50 mm uzunluğunda 21,3 mm yüksekliğinde mortiseler yapılmıştır ve bu mortiselerin birbiri arasındaki mesafesi 50 mm dir. Bu kuponun ağırlığı 656 gramdır.



Şekil 3.14. Tenon Mortise birleştirme, L tipi bağlantılı 22 mm kalınlığındaki test kuponu test sonrası.

3.3.1.2. Braket Birleştirme - L Tipi Bağlantılı Kompozit Paneller

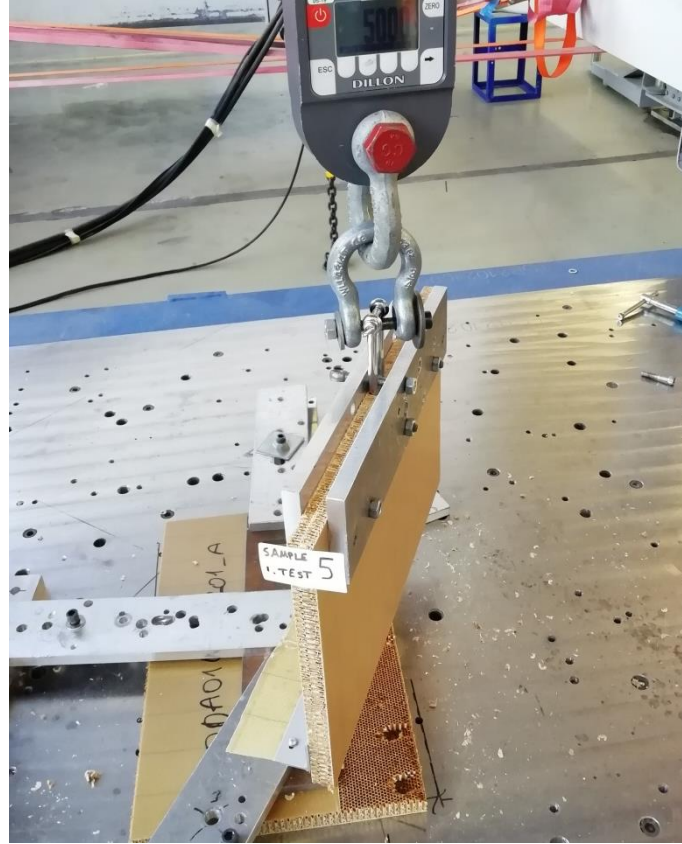
Test kuponu 10 mm kalınlığındaki sandviç iki kompozit panelin braket birleştirme yöntemi kullanılarak birleştirilmesi sonucunda oluşturulmuştur. Birbirine braket bağlantı şekli ile birleştirilen kompozit paneller 470 mm boyunda 300 mm eninde ayarlanmıştır. Kompozit panellerin birleştirme montajı birbirleriyle doksan derecelik açı oluşturacak şekilde yapılmıştır. Her iki kompozit panelin 470 mm uzunluğundaki kenarına paralel gelecek şekilde 6 adet insert deliği açılmıştır. Bu insert delikleri kenara ikili gruplar halinde olup en tarafına 20 mm uzaklıktan başlamış ve grup içindeki insert deliklerinin birbirlerine uzaklıkları 60 mm'dir. Her grubun birbirine uzaklığı ise 125 mm'den oluşmaktadır. Test kuponunu oluşturan kuponlardan zemine sabitlenecek kuponun insert deliklerinin boy tarafına olan mesafesi 35 mm, bu kupona 90 derecelik açı oluşturacak şekilde montajlanacak kuponun insertlerinin boy tarafına olan mesafesi ise 25 mm'dir. Bu ölçüler braket ile montajları sağlandığında kompozit panellerin köşeleri dışarı çıkmadan düzgün montajlama

yapılmasına olanak sağlamıştır. Bu test kuponunda NAS1836-08-11 numaralı standart insert kullanılmıştır. Bal peteği kompozit panele daha önceden CNC torna yardımıyla 9,3 mm derinliğinde ve 5,75 mm çapında yuva açılmıştır. Montaj ölçüleri belirtilen bu insertler deliklerine özel yapıştırıcı ile yapıştırılmış ve kürleşme süresi beklenecek yapıştırıcının donması tamamlanmıştır. 38 mm eninde, 38 mm yüksekliğinde, 100 mm boyunda ve 3 mm kalınlığında olan alüminyum braketden 3 adet kullanılmıştır ve her braket her panele ikişer adet olmak üzere toplam dört adet civata ile bağlanmıştır. Bu braketler civata ve pul ile kompozit panellere bağlanarak bu test kuponu montajı tamamlanmıştır. Kullanılan civata türü NAS602-7, kullanılan pul ise NAS1149FN832P standart numarasına sahiptir. Bu test kuponunun toplam ağırlığı 735 gramdır. Bu kupon hazırlanan test düzeneğini uygulanması için alt kompozit panel zemine aparatlar ile sabitlenmiş, üst kompozit panel ise aparatlar bağlanarak vinç yardımı ile kompozit paneller birbirinden ayrılana kadar çekilmiştir. Vinç halatı ve üstde kalan kompozit panel arasına yük hücresi konularak birleştirme yönteminin koptuğu değer N cinsinden okunarak kayıt altına alınmıştır.



Şekil 3.15. Braket birleştirme, L tipi bağlantılı 10mm kalınlığındaki test kuponu.

Kalınlığı 22 mm olan test kuponuna ait kompozit panellerin ölçüleri, panellerin birleştirme açısı, kullanılan insert, cıvata ve pul, kullanılan braket, birleştirme yöntemi, test yapılış şekli ve test sonucunun okunma yöntemi 10 mm kuponla aynı olmakla birlikte kompozit panel kalınlığı farklıdır. Bu kuponun ağırlığı 901 gramdır.

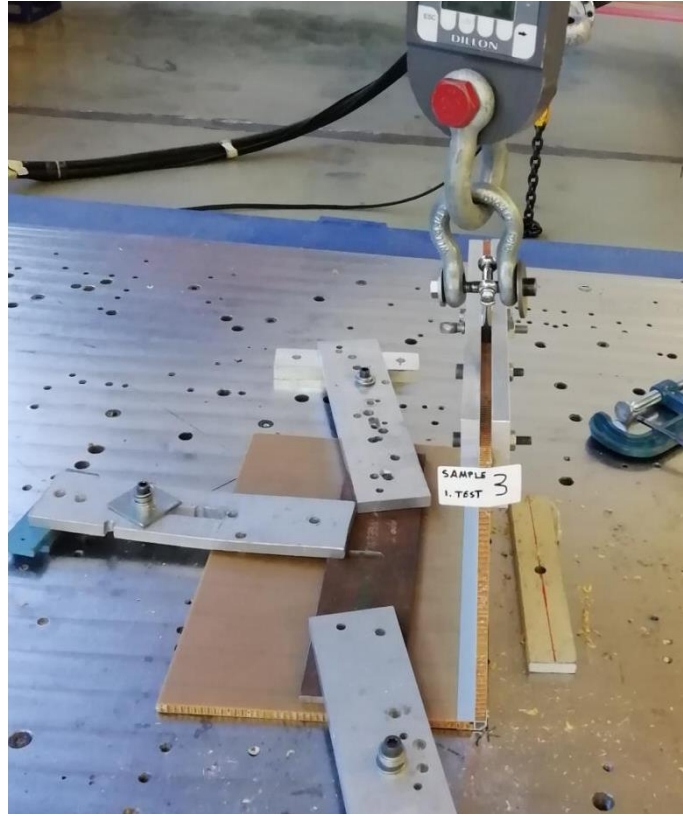


Şekil 3.16. Braket birleştirme, L tipi bağlantılı 22mm kalınlığındaki test kuponu.

3.3.1.3. Ekstrüzyon Birleştirme - L Tipi Bağlantılı Kompozit Paneller

Test kuponu 10 mm kalınlığındaki sandviç iki kompozit panelin extrusion birleştirme yöntemi kullanılarak birleştirilmesi sonucunda oluşturulmuştur. Birbiri ile extrusion bağlantı şekli ile birleştirilen kompozit paneller 470 mm boyunda 300 mm eninde ayarlanmıştır. Kompozit panellerin birleştirme montajı extrusona girecek olan kompozit panel kanallarının 90 derece olması dolayısıyla birbirleriyle doksan derecelik açı oluşturacak şekilde yapılmıştır. Her iki kompozit panelin 470 mm uzunluğundaki kenarını extrusion kanallına 16 mm derinliğinde girecek şekilde özel yapıştırıcı ile yapıştırılmış ve kurluşme süresi beklenerek yapıştırıcının donması

beklenmiştir. Bu test kuponunun toplam ağırlığı 644 gramdır. Bu kupon hazırlanan test düzeneğini uygulanması için alt kompozit panel zemine aparatlar ile sabitlenmiş, üst kompozit panel ise aparatlar bağlanarak vinç yardımı ile kompozit paneller birbirinden ayrılana kadar çekilmiştir. Vinç halatı ve üstde kalan kompozit panel arasına load cell konularak birleştirme yönteminin koptuğu değer N cinsinen okunarak kayıt altına alınmıştır.



Şekil 3.17. Ekstrüzyon birleştirme, L tipi bağlantılı 10 mm kalınlığındaki test kuponu.

Kalınlığı 22 mm olan test kuponuna ait kompozit panellerin ölçüleri, panellerin birleştirme açısı, birleştirme yöntemi, test yapılış şekli ve test sonucunun okunma yöntemi 10 mm kuponla aynı olmakla birlikte kompozit panel kalınlığı ve kullanılan ekstrüzyon farklıdır. Bu kuponun ağırlığı 904 gramdır.



Şekil 3.18. Ekstrüzyon birleştirme, L tipi bağlantılı 22 mm kalınlığındaki test kuponu.

3.3.2. T Tipi Bağlantı Deneyleri

T tip bağlantının montajında iki adet sandviç kompozit panel farklı kalınlıklarda ve farklı bağlantı şekilleri ile montaj edilerek test kuponları oluşturulmuştur. Toplam altı tip test kuponu hazırlanmıştır. Her test tipinden 3 adet tekrar yapılmış ve toplamda T bağlantı montajında 18 adet test sonucu elde edilmiştir. Tenon mortise bağlantı şekli ve braket bağlantı şekli olmak üzere iki çeşit bağlantı şekli 10 mm ve 22 mm kalınlıklarındaki sandviç kompozit panel kalınlık varyasyonları kullanılarak test kuponları hazırlanmıştır.

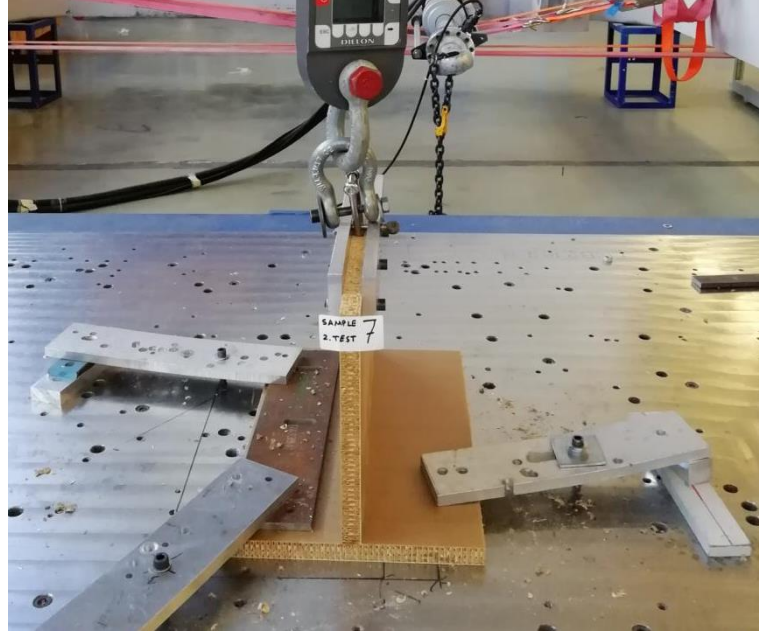


Şekil 3.19. T tipi bağlantı montajları hazırlanmış Tennon-Mortise birleştirmeler.

3.3.2.1. Tennon-Mortise Birleştirme - T Tipi Bağlantılı Kompozit Paneller

Test kuponu 10 mm kalınlığında ki bal peteği kompozit iki panelin tenon mortise birleştime yöntemi kullanılarak birleştirilmesi sonucunda oluşturulmuştur. Kullanılan her iki kompozit panel de 22 mm kalınlığa sahiptir. Birbiri ile birleştirilen kompozit paneller 470 mm boyunda 300 mm eninde ayarlanmıştır. Zemine paralel konumlanan kompozit panele tenon boşlukları açılmıştır. Tenon uygulanan kompozit panelin tam ortasına gelecek şekilde 22,2 mm genişliğinde 60 mm uzuluğunda ve 21,5 mm derinliğinde tenon delikleri açılmıştır ve bu tenonların birbiri arasındaki mesafeleri 40 mm dir. Mortise uygulanan kompozit panele 22 mm genişliğinde 50 mm uzunluğunda 21,3 mm yüksekliğinde mortiseler yapılmıştır ve bu mortiselerin birbiri arasındaki mesafesi 50 mm dir Zemine paralel konumlanan kompozite 90 derecelik açı oluşturacak şekilde montajlanan kompozit panel tam ortasına gelecek şekilde ayarlanmıştır. İki kompozit panelin tenon ve mortiselerden montajlanması neticesinde birbirleriyle oluşturacakları açı 90 derece olarak ayarlanmıştır. Bu birleştirme için özel yapıştırıcı kullanılmıştır. Kompozit paneller test esnasındaki çekme yönünü dikkate alınarak belirlenen dayanıklı ribbon direction yönüne göre montajları yapılmıştır. Bu kuponun ağırlığı 633 gramdır. Bu kuponu hazırlanan test düzeneğini uygulanması için alt kupon zemine aparatlar ile sabitlenmiş, üst kupon ise aparatlar bağlanarak vinç yardımı ile kompozit panelleri birbirinden ayrılana kadar çekilmiştir. Vinç halatı ve üstde kalan kompozit panel

arasına yük hücresi konularak birleştirme yönteminin koptuğu değer N cinsinden okunarak kayıt altına alınmıştır.



Şekil 3.20. Tenon mortise birleştirme, T tipi bağlantılı 22 mm kalınlığındaki test kuponu.

Kalınlığı 10 mm olan test kuponuna ait kompozit panellerin ölçüleri, panellerin birleştirme açısı, birleştirme yöntemi, test yapılış şekli ve test sonucunun okunma yöntemi 22 mm kuponla aynı olmakla birlikte kompozit panel kalınlığı, tenon-mortise ölçüleri farklıdır. Tenon uygulanan kompozit panelin kenarına 10,2 mm genişliğinde 60 mm uzunluğunda ve 9,5 mm derinliğinde tenon delikleri açılmıştır ve bu tenonların birbiri arasındaki mesafeleri 40 mm dir. Mortise uygulanan kompozit panele 10 mm genişliğinde 50 mm uzunluğunda 9,5 mm yüksekliğinde mortiseler yapılmıştır ve bu mortiselerin birbiri arasındaki mesafesi 50 mm dir. Bu kuponun ağırlığı 499 gramdır.

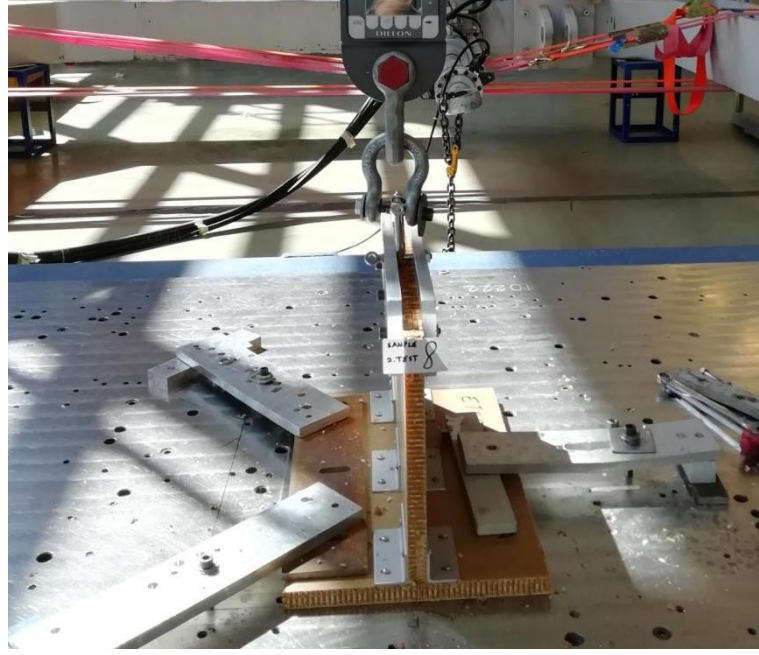


Şekil 3.21. Tenon mortise birleştirme, T tipi bağlantılı 10 mm kalınlığındaki test kuponu.

3.3.2.2. Çift Taraf Braket Birleştirme - T Tipi Bağlantılı Kompozit Paneller

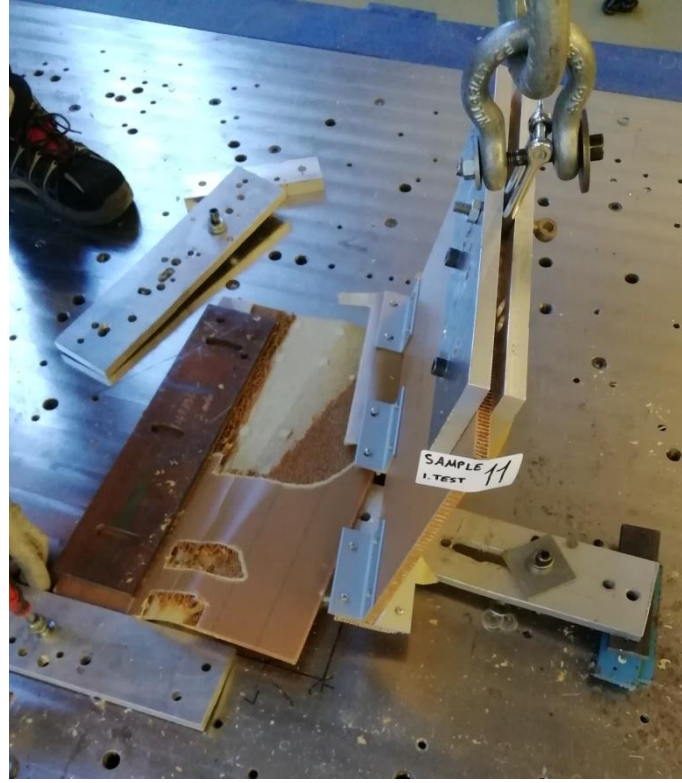
Test kuponu 22 mm kalınlığında bal peteği kompozit iki panelin braket birleştirme yöntemi kullanılarak birleştirilmesi sonucunda oluşturulmuştur. Kullanılan her iki kompozit panel de 22 mm kalınlığa sahiptir. Birbirine braket bağlantı şekli ile birleştirilen kompozit paneller 470 mm boyunda 300 mm eninde ayarlanmıştır. Kompozit panellerin birleştirme montajı birbirleriyle doksan derecelik açı oluşturacak şekilde yapılmıştır. Zemine paralel konumlanan kompozit panele 470 mm uzunluğundaki kenarına paralel gelecek şekilde çift sıra 12 adet insert deliği açılmıştır. Zemine paralel konumlanan kompozite 90 derecelik açı oluşturacak şekilde montajlanan diğer kompozit panel tam ortasına gelecek şekilde ayarlanmıştır. Dik kompozit panele 470 mm uzunluğundaki kenarına paralel gelecek şekilde tek sıra 6 adet insert deliği açılmıştır. Bu insert delikleri kenara ikili gruplar halinde olup en tarafına 20 mm uzaklıktan başlamış ve grup içindeki insert deliklerinin birbirlerine uzaklıkları 60 mm'dir. Her grubun birbirine uzaklığı ise 125

mm'den oluşmaktadır. Test kuponunu oluşturan kuponlardan zemine sabitlenecek kuponun insert deliklerinin boy tarafına olan mesafesi 35 mm, yere sabitlenecek olan kupona 90 derecelik açı oluşturacak şekilde montajlanacak kuponun insertlerinin boy tarafına olan mesafesi ise 25 mm'dir. Bu ölçüler braket ile montajları sağlandığında kompozit panellerin köşeleri dışarı çıkmadan düzgün montajlama yapılmasına olanak sağlamıştır. Bu test kuponunda zemine paralel konumlanan kompozit panelde NAS1836-08-11 numaralı standart insert kullanılmıştır. Dik kompozit panelde ise NAS1833-08-866 numaralı standart insert kullanılmıştır. Bal peteği kompozit panele daha önceden cnc torna yardımıyla 9,3 mm derinliğinde ve 5,75 çapında yuva açılmıştır. Montaj ölçüleri belirtilen bu insert deliklerine insertleri özel yapıştırıcı ile yapıştırılmış ve kürleşme süresi beklenerek yapıştırıcının donması tamamlanmıştır. 38 mm eninde ,38 mm yüksekliğinde, 100 mm boyunda ve 3 mm kalınlığında olan alüminyum braketden dik kompozit panelin her iki tarafında olmak üzere 6 adet kullanılmıştır ve her braket her panele ikişer adet olmak üzere toplam dört adet civata ile bağlanmıştır. Bu braketler civata ve pul ile kompozit panellere bağlanarak bu test kuponu montajı tamamlanmıştır. Kullanılan civata türü NAS602-7 kullanılan pul ise NAS1149FN832P standart numarasına sahiptir. Bu test kuponunun toplam ağırlığı 1171 gramdır. Bu kupon hazırlanan test düzeneğini uygulanması için alt kompozit panel zemine aparatlar ile sabitlenmiş, üst kompozit panel ise aparatlar bağlanarak vinç yardımı ile kompozit paneller birbirinden ayrılana kadar çekilmiştir. Vinç halatı ve üstde kalan kompozit panel arasına yük hücresi konularak birleştirme yönteminin koştugu değer N cinsinen okunarak kayıt altına alınmıştır.



Şekil 3.22. Çift taraf braket birleştirme, T tipi bağlantılı 22 mm kalınlığındaki test kuponu.

Kalınlığı 10 mm olan test kuponuna ait kompozit panellerin ölçüleri, panellerin birleştirme açısı, kullanılan insert, cıvata ve pul, kullanılan braket, birleştirme yöntemi, test yapılış şekli ve test sonucunun okunma yöntemi 22 mm kuponla aynı olmakla birlikte kompozit panel kalınlığı ve dik olan panelde kullanılan insert çeşidi farklıdır. Bu kuponun ağırlığı 971 gramdır.

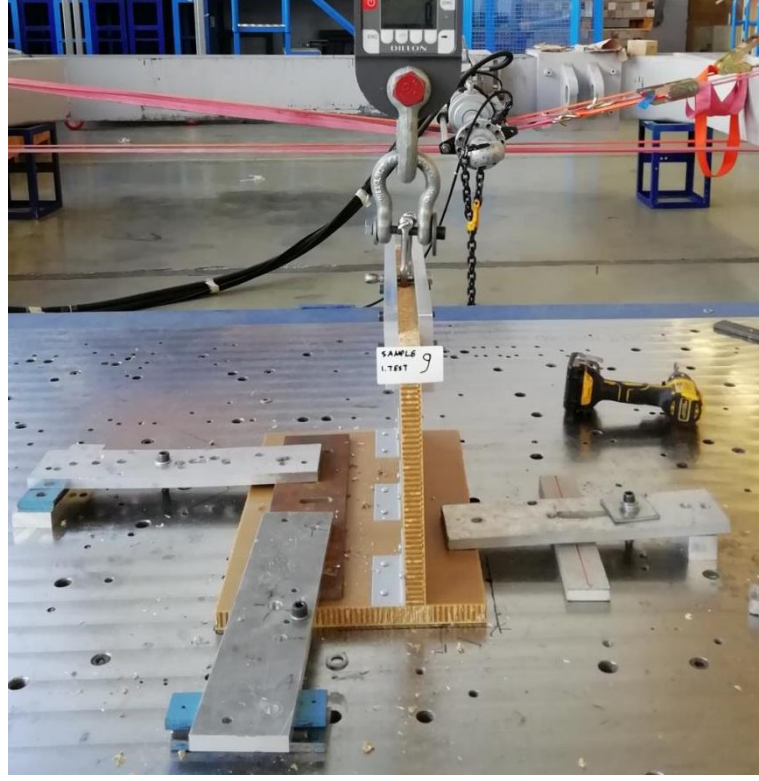


Şekil 3.23. Çift taraf braket birleştirme, T tipi bağlantılı 10 mm kalınlığındaki test kuponu.

3.3.2.3. Tek Taraf Braket Birleştirme - T Tipi Bağlantılı Kompozit Paneller

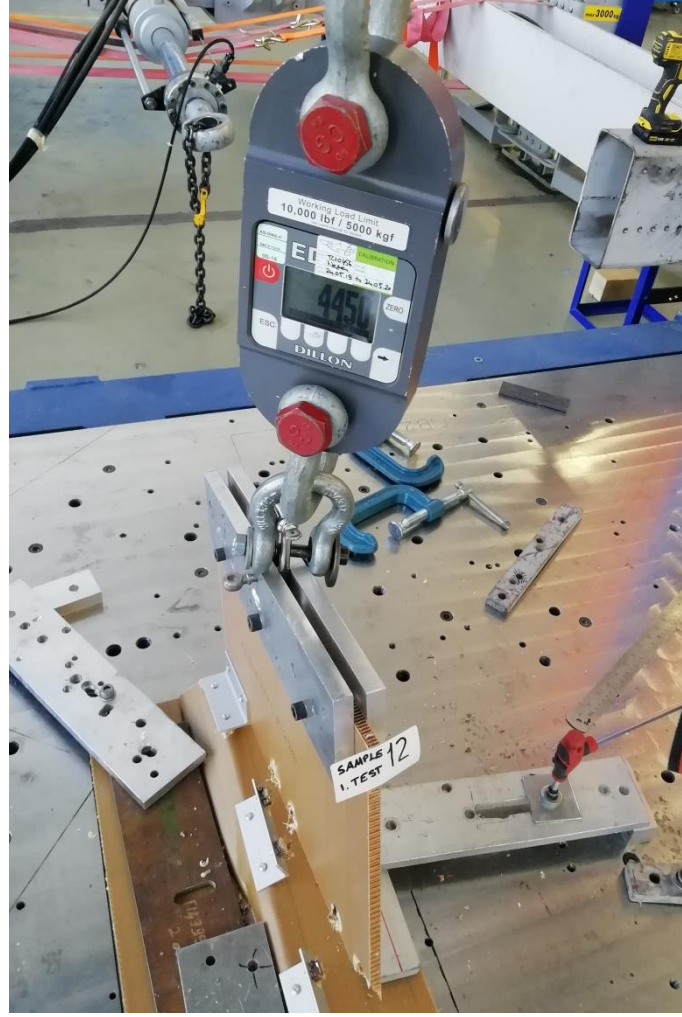
Test kuponu 22 mm kalınlığındaki bal peteği kompozit iki panelin braket birleştirme yöntemi kullanılarak birleştirilmesi sonucunda oluşturulmuştur. Kullanılan her iki kompozit panel de 22 mm kalınlığa sahiptir. Birbirine braket bağlantı şekli ile birleştirilen kompozit paneller 470 mm boyunda 300 mm eninde ayarlanmıştır. Kompozit panellerin birleştirme montajı birbirleriyle doksan derecelik açı oluşturacak şekilde yapılmıştır. Zemine paralel konumlanan kompozit panele 470 mm uzunluğundaki kenarına paralel gelecek şekilde tek sıra 6 adet insert deliği açılmıştır. Zemine paralel konumlanan kompozite 90 derecelik açı oluşturacak şekilde montajlanan diğer kompozit panel tam ortasına gelecek şekilde ayarlanmıştır. Dik kompozit panele 470 mm uzunluğundaki kenarına paralel gelecek şekilde çift sıra 6 adet insert deliği açılmıştır. Bu insert delikleri kenara ikili gruplar halinde olup en tarafına 20 mm uzaklıktan başlamış ve grup içindeki insert deliklerinin birbirlerine uzaklıkları 60 mm'dir. Her grubun birbirine uzaklığı ise 125

mm'den oluşmaktadır. Test kuponunu oluşturan kuponlardan zemine sabitlenecek kuponun insert deliklerinin boy tarafına olan mesafesi 35 mm, yere sabitlenecek olan kupona 90 derecelik açı oluşturacak şekilde montajlanacak kuponun insertlerinin boy tarafına olan mesafesi ise 25 mm'dir. Bu ölçüler braket ile montajları sağlandığında kompozit panellerin köşeleri dışarı çıkmadan düzgün montajlama yapılmasına olanak sağlamıştır. Bu test kuponunda zemine paralel konumlanan kompozit panelde ve dik kompozit panelde NAS1833-08-866 numaralı standart insert kullanılmıştır. Bal peteği kompozit panele daha önceden cnc torna yardımıyla 9,3 mm derinliğinde ve 5,75 çapında yuva açılmıştır. Montaj ölçüleri belirtilen bu insert deliklerine insertleri özel yapıştırıcı ile yapıştırılmış ve kurluşme süresi beklenerek yapıştırıcının donması tamamlanmıştır. 38 mm eninde, 38 mm yüksekliğinde, 100 mm boyunda ve 3 mm kalınlığında olan alüminyum braketden dik kompozit panelin her iki tarafında olmak üzere 6 adet kullanılmıştır ve her braket her panele ikişer adet olmak üzere toplam dört adet civata ile bağlanmıştır. Bu braketler civata ve pul ile kompozit panellere bağlanarak bu test kuponu montajı tamamlanmıştır. Kullanılan civata türü NAS602-7 kullanılan pul ise NAS1149FN832P standart numarasına sahiptir. Bu test kuponunun toplam ağırlığı 908 gramdır. Bu kupon hazırlanan test düzeneğini uygulanması için alt kompozit panel zemine aparatlar ile sabitlenmiş, üst kompozit panel ise aparatlar bağlanarak vinç yardımı ile kompozit paneller birbirinden ayrılana kadar çekilmiştir. Vinç halatı ve üstde kalan kompozit panel arasına yük hücresi konularak birleştirme yönteminin koptuğu değer N olarak kayıt altına alınmıştır.



Şekil 3.24. Tek taraf braket birleştirme, T tipi bağlantılı 22 mm kalınlığındaki test kuponu.

Kalınlığı 10 mm olan test kuponuna ait kompozit panellerin ölçüleri, panellerin birleştirme açısı, kullanılan insert, civata ve pul, kullanılan braket, birleştirme yöntemi, test yapılış şekli ve test sonucunun okunma yöntemi 22 mm kuponla aynı olmakla birlikte kompozit panel kalınlığı farklıdır. Bu kuponun ağırlığı 719 gramdır.



Şekil 3.25. Tek taraf braket birleştirme, T tipi bağlantılı 10 mm kalınlığındaki test kuponu.

3.4. BİRLEŞTİRME YÖNTEMLERİNİN ANALİZİ

Tenon mortise birleştirme yöntemi, braket birleştirme yöntemi ve ekstrüzyon birleştirme yöntemi L bağlantı tipi için, 10 mm kompozit panel kullanılarak bilgisayar destekli analiz programı aracılığı ile yapılan analiz sonucunda belli yükler altında bahsedilen birleştirme yöntemlerinin yer değiştirmeleri incelenmiştir. Bu analizde L tipi bağlantı da 10 mm kullanılarak teste tabi tutulmuş birleştirme şekillerinin kopma değeri analiz programında uygulanarak bağlantı tiplerinin kopmadıkları varyasyonlarda ne kadar yer değiştirmeye uğradıkları incelenmiştir. Ayrıca bu üç bağlantı şekli için eşit kuvvet verilip bağlantı tiplerinin yer değiştirmeleri birbirlerine göre karşılaştırılmıştır.

Tüm test kuponları bilgisayar destekli tasarım programı CATIA aracılığı ile üç boyutlu modellenmiş ve Femap programına step formatında aktarılmıştır. Daha sonra Femap programı ile ön-proses süreçleri tanımlanmıştır. Geometrinin Düzlemsel alan/kalınlık oranının yüksek olmasından dolayı shell element tipi uygun görülmüştür. Buna binaen kullanılan kompozit panel, braket ve ekstrüzyon gibi parçaların midsurface işlemleri ile geometri mesh prosesine hazır hale getirilmiştir. Midsurface geometriye 5mm'lik meshler atılmıştır. Eleman geometrilerinde tria ve quad kullanılmıştır. Kullanılan elementler plate(MAT1), laminate plate(MAT8) ve rigid elemanlar olarak sınıflandırılmıştır. Kompozit paneller için laminate plate, braketler ve ekstrüzyonlar için plate ve kullanılan mekanik bağlantılar için yer değiştirmeyi dağıtan rijit eleman seçilmiştir. Rijit eleman olarak mekanik bağlantılar RBE2 olarak kabul edilmiştir. İzotropik malzemeler için Alüminyum 6061 e ait elastisite modülü 9900000E, kesme modülü 0G, poisson oranı 0,33nu, genleşme katsayısı 1,265E-5a, iletkenlik 0,00206019k, öz ısı 81,44Cp, yoğunluk 2,53881E-4, malzeme özellikleri tanımlanmıştır. Limit gerilme kuvvetleri ise çekme 35000, basınç 35000, kesme 27000 olarak tanımlanmıştır. Ortotropik malzemeler ise iki farklı malzemedan oluşmaktadır. Sertlik 18000E, poisson oranı 0,22nu özelliklere sahip ply ve sertlik 0,2E, poisson oranı 0,5nu özelliklere sahip core. 10 mm kompozit panel sonlu elemanlar programında tasarlanırken alt ve üstte 0,33mm ply bulunup arada 9,34mm core kalacak şekilde gerçeği ile birebir ölçülerde tasarlanmıştır. 22 mm kompozit panel sonlu elemanlar programında tasarlanırken alt ve üstte 0,33mm ply bulunup arada 21,34mm core kalacak şekilde gerçeği ile birebir ölçülerde tasarlanmıştır. Tenon mortise bağlantılar ve ekstrüzyon bağlantılarda yapıstırıcının dayanımı panelin dayanımından çok yüksek olduğu için hata incelemesi panellere üzerinde yoğunlaşılıp bu kabuller doğrultusunda ilerlenecektir. Test sonuçları da kabülü gösterir niteliktedir. Bu sebepler FEM modellerinde panel-panel ve panel-ekstrüzyonların birleşim noktalarındaki meshler Equivalence yöntemi ile birleştirilip modellenmiştir. Analiz sonuçları ve incelemeleri Bölüm 6.3' de verilmiştir.

3.5. BİRLEŞTİRME YÖNTEMLERİNİN OPTİMİZASYONU

Deney ve analizlere bağlı teknik değişkenler, maliyet ve ağırlık parametreleri çok kriterli karar verme metodu ve yanıt yüzey metodu ile analiz edilmiştir. Mevcut çalışmada, çok kriterli karar verme yöntemlerinden TOPSIS metodu tercih edilmiştir. L tipi bağlantı altında Tenon-Mortise (TM), braket (B) ve ekstrüzyon (E) birleştirme yöntemleri incelenmiştir. T tipi bağlantı altında Tenon-Mortise(TM), çift taraf braket (ÇB) ve tek taraf braket (TB) birleştirme yöntemleri incelenmiştir. Çalışma kapsamında belirlenen giriş parametreleri Tablo 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Giriş parametreleri.

| Deney No | Bağlantı Tipi | Panel Kalınlığı | Birleştirme Yöntemi |
|----------|---------------|-----------------|---------------------|
| 1 | <i>L</i> | 10 | TM |
| 2 | <i>L</i> | 10 | B |
| 3 | <i>L</i> | 10 | E |
| 4 | <i>L</i> | 22 | TM |
| 5 | <i>L</i> | 22 | B |
| 6 | <i>L</i> | 22 | E |
| 7 | <i>T</i> | 10 | TM |
| 8 | <i>T</i> | 10 | ÇB |
| 9 | <i>T</i> | 10 | TB |
| 10 | <i>T</i> | 22 | TM |
| 11 | <i>T</i> | 22 | ÇB |
| 12 | <i>T</i> | 22 | TB |

BÖLÜM 4

DENEY SONUÇLARI

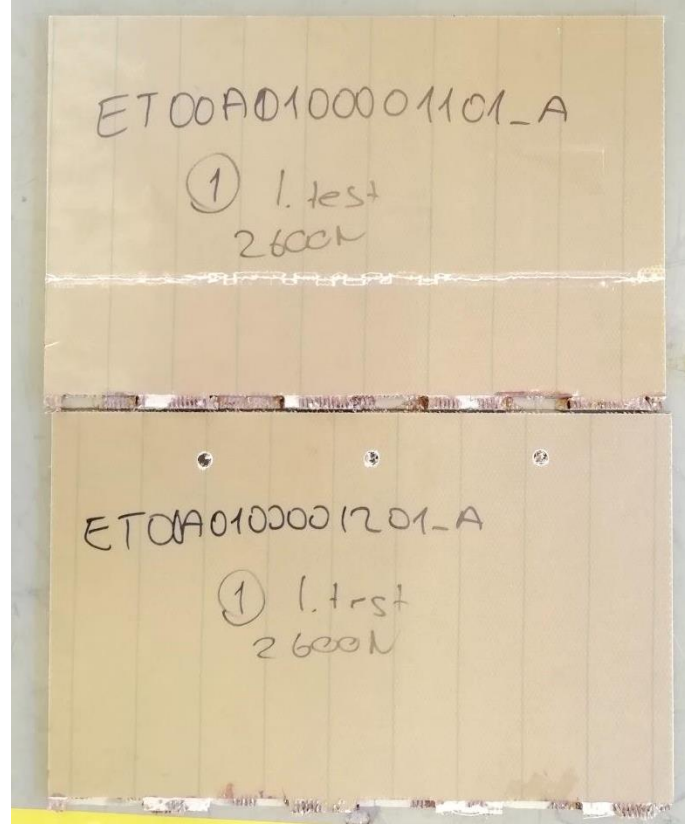
Her birleştirme şekli üç defa tekrar edilmiştir ve birleştirme şeklinin dayanımı bu üç kopma değerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Kompozit paneller birbirine birleştirme yöntemleri kullanılarak birleştirilerek test kuponları farklı varyasyonlarda imal edilmiştir. Her test kuponu iki kompozit panel birbirinden kopuncaya kadar çekme kuvvetine tabi tutulmuştur.



Şekil 4.1. Test kuponları test sonrası.

4.1. TENNON MORTİSE BİRLEŞTİRMELERİ L TİPİ BAĞLANTI

Tennon mortise birleştirme yöntemi ile 10 mm kompozit panel kullanılarak oluşturulan aynı 3 adet test kuponu çekme testine tabi tutulmuştur. Birinci kupon 2,60 kN değerinde kopmuştur. İkinci kupon 2,85 kN değerinde kopmuştur. Üçüncü kupon ise 3,40 kN değerinde kopmuştur. Test sonucunda iki kompozit panelin birbirinden ayrılması tennon ve mortiselara uygulanan yapıştırıcının kopması sonucu olmuştur. İki kompozit panel ve panellerde bulunan tennon ve mortiseler defarmasyona uğramamıştır. Tennon ve tennon açılan bölgede tek tarafda bulunan kompozit panel dış tabakasında zarar görmemiştir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Tenon mortise, L tipi bağlantılı 10 mm kalınlığındaki test sonrası.

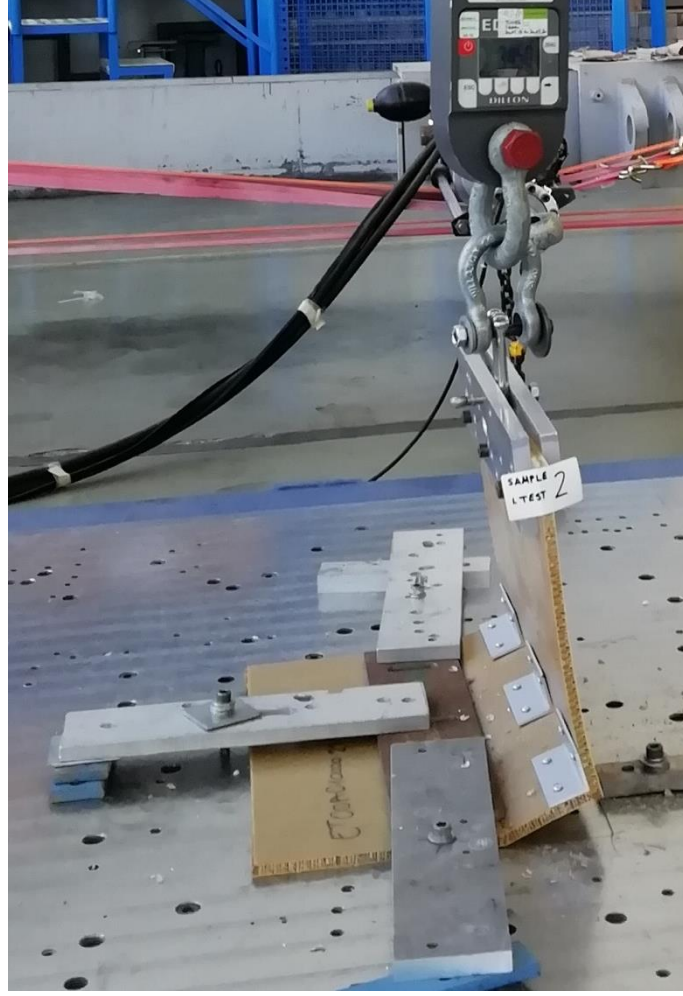
Tenon mortise birleştirme yöntemi ile 22 mm kompozit panel kullanılarak oluşturulan aynı 3 adet test kuponu çekme testine tabi tutulmuştur. Birinci kupon 4,80 kN değerinde kopmuştur. İkinci kupon 5,85 KN değerinde kopmuştur. Üçüncü kupon ise 5,55 kN değerinde kopmuştur. Test sonucunda iki kompozit panelin birbirinden ayrılması tenon ve mortiselara uygulanan yapıştırıcının kopması sonucu olmuştur. İki kompozit panel defarmasyona uğramamıştır. Tenon ve tenon açılan bölgede tek tarafta bulunan kompozit panel dış tabakasında zarar görmemiştir fakat yapıştırma alanlarının olduğu bölgelerde kompozit panel iç aksamında kopmalar meydana gelmiştir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Tenon mortise, L tipi bağlantılı 22 mm kalınlığındaki test sonrası.

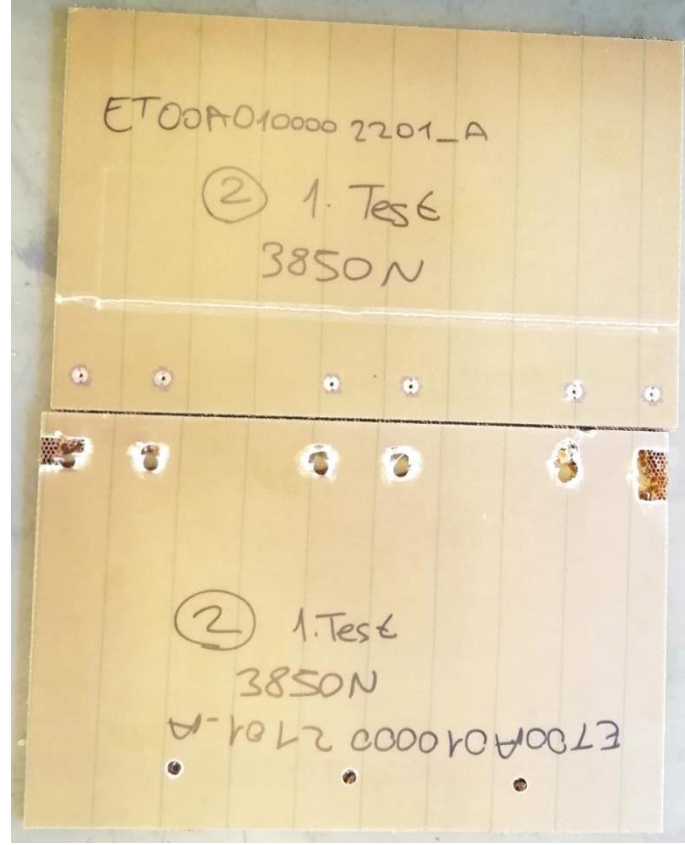
4.2. BRAKET BİRLEŞTİRMELERİ L TİPİ BAĞLANTI

Braket birleştirme yöntemi ile 10 mm kompozit panel kullanılarak oluşturulan aynı 3 adet test kuponu çekme testine tabi tutulmuştur. Birinci kupon 3,85 kN değerinde kopmuştur. İkinci kupon 4,20 kN değerinde kopmuştur. Üçüncü kupon ise 3,85 kN değerinde kopmuştur. Uygulanan kuvvet yaklaşık olarak 3,00 kN değerine ulaştığında zemine sabitlenen kompozit panelin iç bileşeni sabitlendiği aparatın hizasından eğilmeye başlamış ve braket aracılığı ile birleştirilen diğer kompozit yükselmeye başlamıştır (Şekil 4.4).



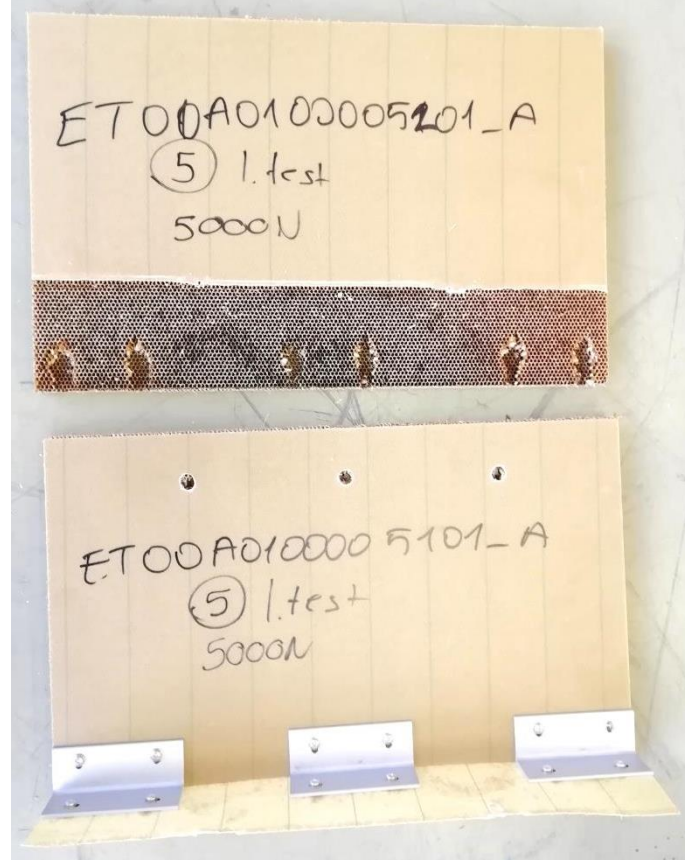
Şekil 4.4. Braket, L tipi bağlantılı 10 mm kalınlığındaki test esnasında.

Test sonucunda iki kompozit panelin birbirinden ayrılması çekilen kompozit paneldeki insertlerin donmuş yapıştırıcı kitlesi ile birlikte kompozit panelden ayrılması sonucu olmuştur. Bu ayrılma esnasında insert etrafında bulunan yapıştırıcı kompozit panel dış tabakasında da yırtılmalara sebebiyet vermiştir. Zemine bağlanan kompozit panelde mevcut bulunan insertler zarar görmemiştir fakat bu kompozit panelin iç kısmı defarmasyona uğramıştır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Braket, L tipi bağlantılı 10 mm kalınlığındaki test sonrasında braketler sökülmüş.

Braket birleştirme yöntemi ile 22 mm kompozit panel kullanılarak oluşturulan aynı 3 adet test kuponu çekme testine tabi tutulmuştur. Birinci kupon 5,00 kN değerinde kopmuştur. İkinci kupon 6,0 kN değerinde kopmuştur. Üçüncü kupon ise 5,25 kN değerinde kopmuştur. Test sonucunda iki kompozit panelin birbirinden ayrılması aparatlar aracılığı ile zemine sabitlenmiş olan kompozit paneldeki insertlerin donmuş yapıştırıcı kitlesi ile birlikte kompozit panelden ayrılması sonucu olmuştur. Bu ayrılma esnasında insert etrafında bulunan yapıştırıcı kompozit panel dış tabakasında da bölgesel yırtılmalara sebebiyet vermiştir. Çekme kuvvetinin uygulandığı kompozit panelde mevcut bulunan insertler zarar görmemiştir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Braket, L tipi bağlantılı 22 mm kalınlığındaki test sonrasında braketler sökülmemiş.

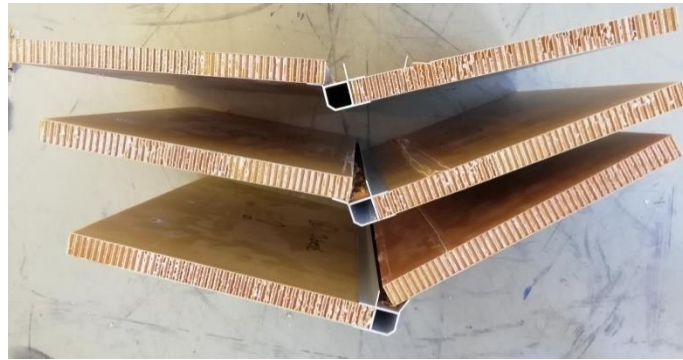
4.3. EKSTRÜZYON BİRLEŞTİRMELERİ L TİPİ BAĞLANTI

Ekstrüzyon birleştirme yöntemi ile 10 mm kompozit panel kullanılarak oluşturulan aynı 3 adet test kuponu çekme testine tabi tutulmuştur. Birinci kupon 3,20 kN değerinde kopmuştur. İkinci kupon 2,15 kN değerinde kopmuştur. Üçüncü kupon ise 3,95 kN değerinde kopmuştur. Test sonucunda iki kompozit panelin birbirinden ayrılması kompozit panellerin içindeki kanallara yapıştırılarak birleştirmeye olanak sağlayan ekstrüzyonun kopması sonucu oluşmuştur. Kompozit paneller bu kopma sonucu deformasyona uğramamıştır. Ekstrüzyon üç test tekararında da zemine sabitlenen panelin altında kaldığı kısımdan kopmuştur (Şekil 4.7).



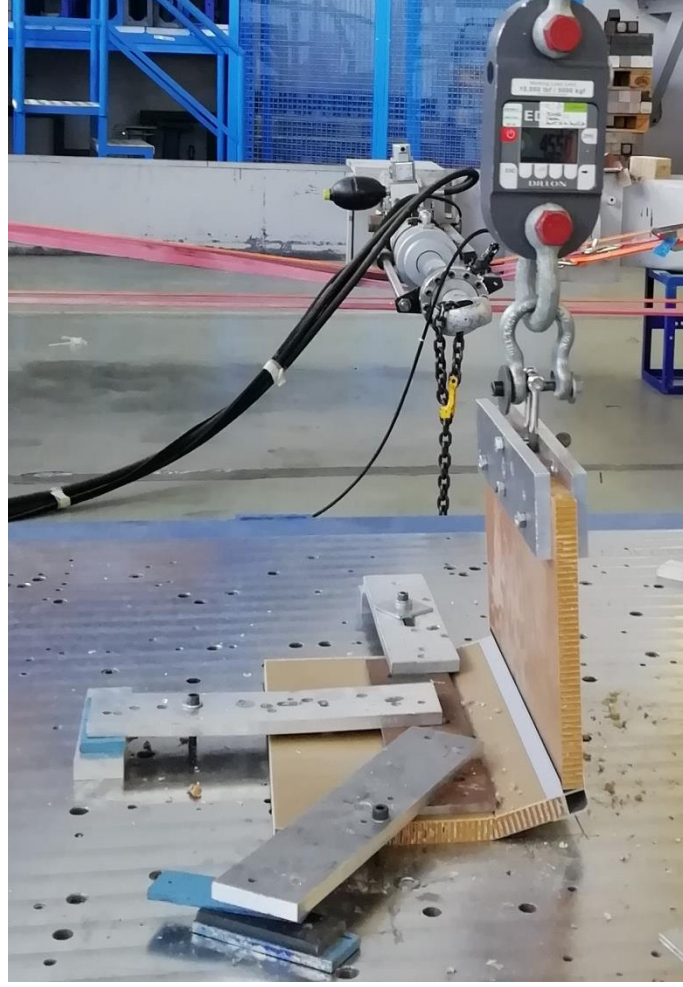
Şekil 4.7. Ekstrüzyon, L tipi bağlantılı 10 mm kalınlığındaki test sonrasında.

Ekstrüzyon birleştirme yöntemi ile 22 mm kompozit panel kullanılarak oluşturulan aynı 3 adet test kuponu çekme testine tabi tutulmuştur. Birinci kupon 6,00 kN değerinde kopmuştur. İkinci kupon 6550 kN değerinde kopmuştur. Üçüncü kupon ise 5,75 kN değerinde kopmuştur. Üç test kuponunda da yukarıda verilen kopma testlerinde ekstrüzyonların sabitlenen kompozit panel altında kalan kısmında defomasyon olmuş fakat tamamen ekstrüzyon yapısından ayrılmadığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.8). Bu deformasyon sonucunda halat boşa düştüğü için yük hücresindeki okunan kuvvette artım gözlenmemiştir.



Şekil 4.8. Ekstrüzyon, L tipi bağlantılı 22 mm kalınlığındaki test sonrasında.

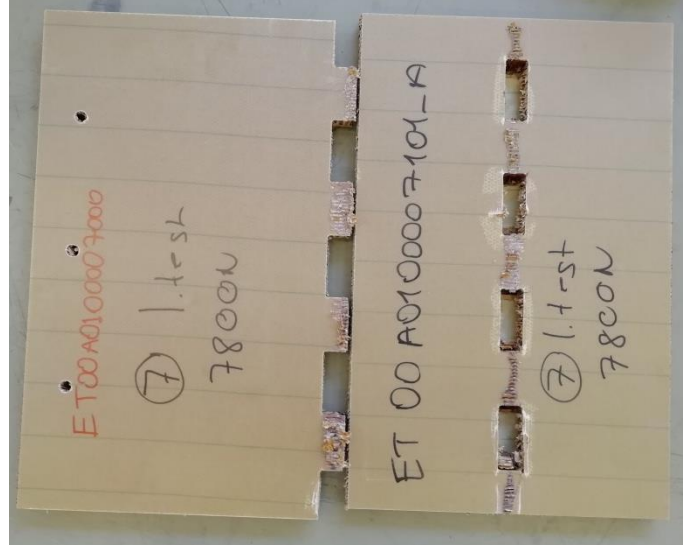
Uygulanan kuvvet belirli değere ulaştığında zemine sabitlenen kompozit panel sabitlendiği aparatın hizasından eğilmeye başlamış ve ekstrüzyon aracılığı ile birleştirilen diğer kompozit yükselmeye başlamıştır (Şekil 4.9).



Şekil 4.9. Ekstrüzyon, L tipi bağlantılı 22 mm kalınlığındaki test sırasında.

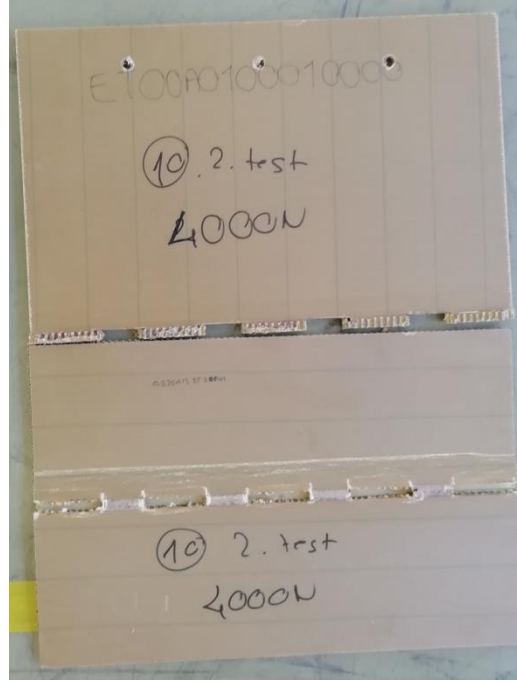
4.4. TENNON MORTİSE BİRLEŞTİRMELERİ T TİPİ BAĞLANTI

Tennon mortise birleştirme yöntemi ile 22 mm kompozit panel kullanılarak oluşturulan aynı 3 adet test kuponu çekme testine tabi tutulmuştur. Birinci kupon 7,80 kN değerinde kopmuştur. İkinci kupon 10,00 kN değerinde kopmuştur. Üçüncü kupon ise 10,65 kN değerinde kopmuştur. Test sonucunda iki kompozit panelin birbirinden ayrılması tenon ve mortiselara uygulanan yapıştırıcının kopması sonucu olmuştur. İki kompozit paneller ve panellerde bulunan tenon ve mortiseler de defarmasyona uğramamıştır. Tenon ve tenon açılan bölgede iki tarafda bulunan kompozit panel dış tabakasında zarar görmemiştir (Şekil 4.10).



Şekil 4.10. Tenon mortise, T tipi bağlantılı 22 mm kalınlığındaki test sonrası.

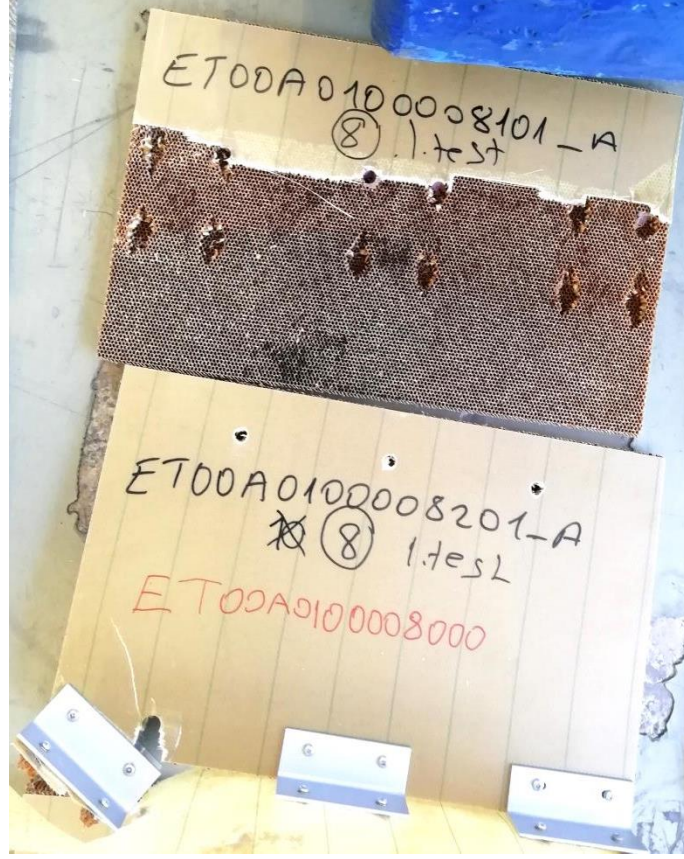
Tenon mortise birleştirme yöntemi ile 10 mm kompozit panel kullanılarak oluturulan aynı 3 adet test kuponu çekme testine tabi tutulmuştur. Birinci kupon 3,50 kN değerinde kopmuştur. İkinci kupon 4,00 kN değerinde kopmuştur. Üçüncü kupon ise 4,05 kN değerinde kopmuştur. Test sonucunda iki kompozit panelin birbirinden ayrılması tenon ve mortiselara uygulanan yapıştırıcının kopması sonucu olmuştur. Panellerde bulunan tenon ve mortiseler da defarmasyona uğramamıştır fakat zemine sabitlenen kompozit panelin defarmasyona uğradığı gözlenmiştir (Şekil 4.11). Tenon ve tenon açılan bölgede iki tarafda bulunan kompozit panel dış tabakasında zarar görmemiştir.



Şekil 4.11. Tenon mortise, T tipi bağlantılı 10 mm kalınlığındaki test sonrası.

4.5. ÇİFT TARAF BRACKET BİRLEŞTİRMELERİ T TİPİ BAĞLANTI

Çift taraflı braket birleştirme yöntemi ile 22 mm kompozit panel kullanılarak oluşturulan aynı 3 adet test kuponu çekme testine tabi tutulmuştur. Birinci kupon 10,00 kN değerinde kopmuştur. İkinci kupon 10,95 kN değerinde kopmuştur. Üçüncü kupon ise 11,85 kN değerinde kopmuştur. Test sonucunda iki kompozit panelin birbirinden ayrılması çekilen kompozit paneldeki insertlerin donmuş yapıştırıcı kitlesi ile birlikte kompozit panelin iç bileşeni ve panelin dış tabakasını yırtması sonucu olmuştur. Bu ayrılma esnasında insert etrafında bulunan yapıştırıcı panelden ayrılırken kompozit panel dış tabakasında bölgesel olarak yırtılmalara sebebiyet vermiştir. Zemine bağlanan kompozit panelde mevcut bulunan insertlerin tamamı kompozit panelden ayrılmıştır ve mekanik bağlantılar ile birlikte braket bağlantı aparatında takılı kalmıştır (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. Çift taraf braket, T tipi bağlantılı 22 mm kalınlığındaki test sonrası.

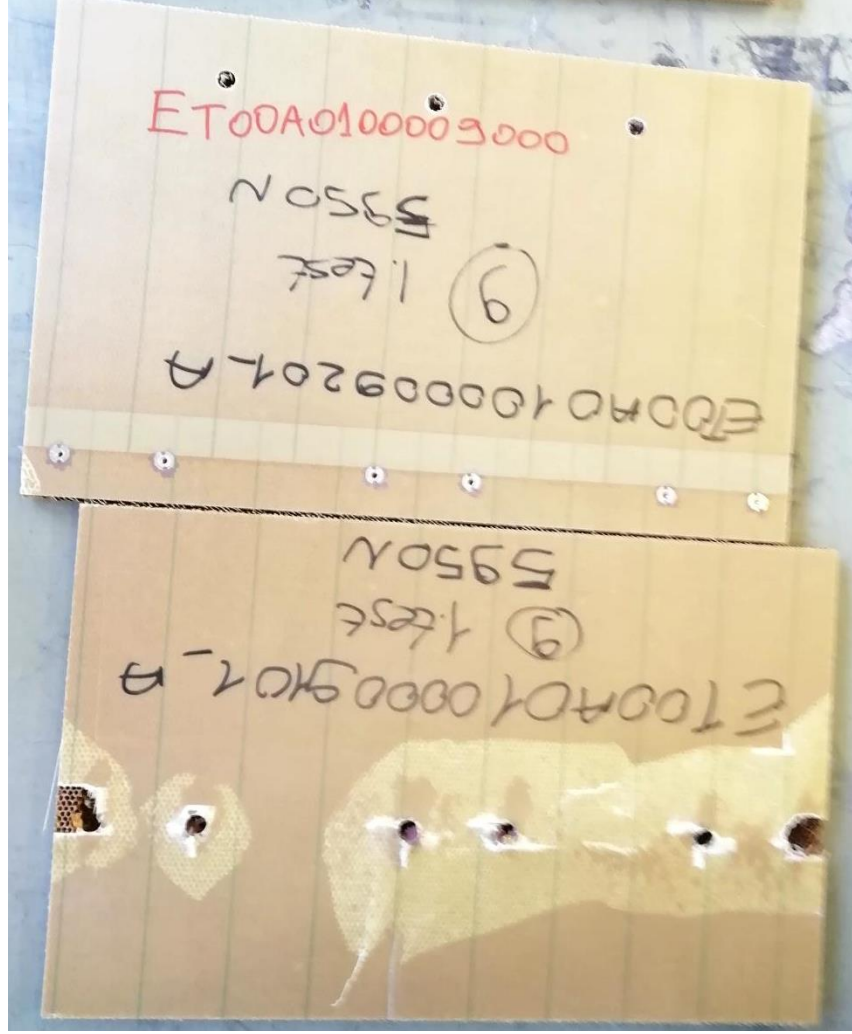
Çift taraflı braket birleştirme yöntemi ile 10 mm kompozit panel kullanılarak oluşturulan aynı 3 adet test kuponu çekme testine tabi tutulmuştur. Birinci kupon 6,25 kN değerinde kopmuştur. İkinci kupon 5,05 kN değerinde kopmuştur. Üçüncü kupon ise 5,50 kN değerinde kopmuştur. Bu ayrılma esnasında insert etrafında bulunan yapıştırıcı panelden ayrılırken kompozit panel dış tabakasında ve kompozit panelin iç bileşeninin de bölgesel olarak kopmalara sebebiyet vermiştir. Çekilen tarafta kalan tüm insertler zarar görmeden kompozit panel üzerinde kalmıştır (Şekil 4.13).



Şekil 4.13. Çift taraf braket, T tipi bağlantılı 10 mm kalınlığındaki test sonrası.

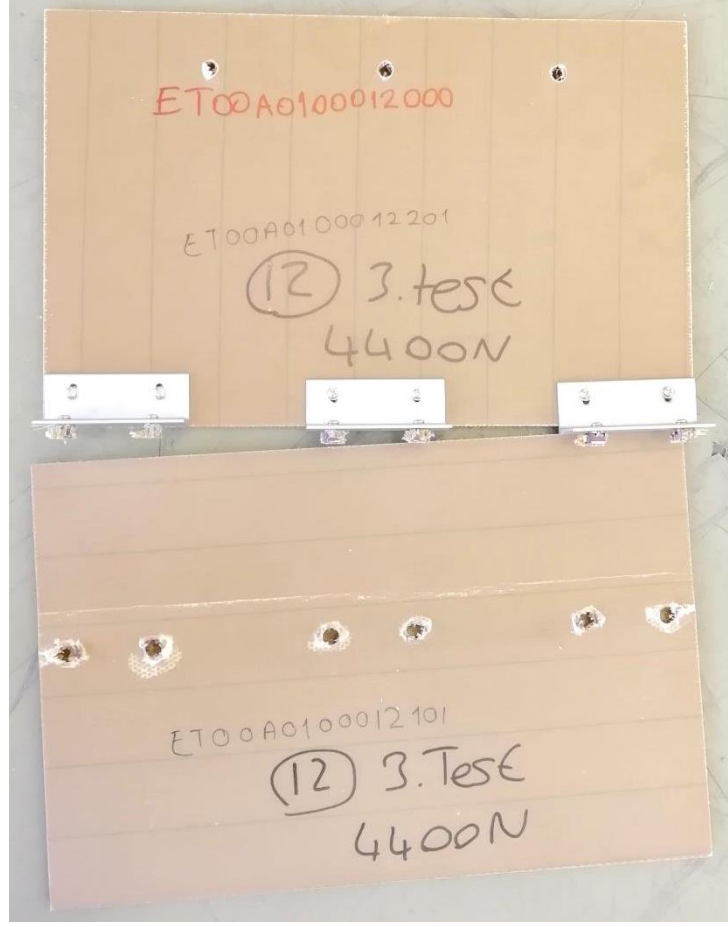
4.6. TEK TARAF BRAKET BİRLEŞTİRMELERİ T TİPİ BAĞLANTI

Tek taraflı braket birleştirme yöntemi ile 22 mm kompozit panel kullanılarak oluşturulan aynı 3 adet test kuponu çekme testine tabi tutulmuştur. Birinci kupon 5,95 kN değerinde kopmuştur. İkinci kupon 6,10 kN değerinde kopmuştur. Üçüncü kupon ise 6,30 kN değerinde kopmuştur. Bu ayrılma esnasında insert etrafında bulunan yapıştırıcı kompozit panel dış tabakasında da sadece sağ ve sol kenarda bulunan insert delikleri etrafında küçük bir bölgede kompozit panel dış tabakasında yırtılmalara sebebiyet vermiştir (Şekil 4.14).



Şekil 4.14. Tek taraf braket, T tipi bağlantılı 22 mm kalınlığındaki test sonrası.

Tek taraflı braket birleştirme yöntemi ile 10 mm kompozit panel kullanılarak oluşturulan aynı 3 adet test kuponu çekme testine tabi tutulmuştur. Birinci kupon 4,45 kN değerinde kopmuştur. İkinci kupon 4,550 kN değerinde kopmuştur. Üçüncü kupon ise 4,40 kN değerinde kopmuştur. Bu ayrılma esnasında insert etrafında bulunan yapıştırıcı ile birlikte kompozit panelden ayrılmıştır (Şekil 4.15)



Şekil 4.15. Tek taraf braket, T tipi bağlantılı 10 mm kalınlığındaki test sonrası.

BÖLÜM 5

SÜREÇ ANALİZİ

Süreç analizi; L bağlantı tipi için 10 mm kompozit panel kalınlığı, T bağlantı tipi için ise 22 mm kompozit panel kalınlığı incelenmiştir.

5.1. TENNON MORTİSE BİRLEŞTİRME L TİPİ BAĞLANTI SÜREÇ ANALİZİ

Bu bağlantı montajı ile hazırlanan test kuponunu tasarlamak için harcanan süre 30 da.'dır. Bu bağlantı çeşidinde bir adet test kuponunu hazırlamak için 10 mm kalınlığında 0,170 m² alanında bal peteği kompozit panel kullanılmıştır. Bir kupon için sonraki süreçte birleştirilecek iki ayrı kompozit panel kesim işlemi ve bu panellere açılan tenon ve mortise işlem süresi toplam 40 da.'dır. Kesme işlemini yapan makine ve makine başında sorumlu personel işgücü mevcuttur. Kesim işlemi gerçekleştirildikten sonra cut-out yapılan yerler çapak temizleme bölümüne gönderilmektedir. Bu paneller için çapak temizleme süresince harcanan süre toplam 10 da.'dır. Çapak temizleme süresince herhangi bir makine maliyeti bulunmamaktadır, bu süreçte sadece personel iş gücü mevcuttur. Kupon daha sonra yapıştırma işleminin gerçekleşmesi için yapıştırma bölümüne gönderilmektedir. Burada yapıştırma işlemini gerçekleştirmek için harcanan süre 10 da.'dır. Bunun yanı sıra bu bölümde yapıştırmak için 0,15 litre adhesive kullanılmıştır. Daha sonra birleştirme ünitesinde tenon bulunan panel ile mortise bulunan panellerinin birbirine montajlanması için harcanan süre ise 20 da.'dır. Daha sonra sağlıklı bir donma süreci için yapıştırıcının kürleşme süreci beklenmiştir.

5.2. BRAKET BİRLEŞTİRME L TİPİ BAĞLANTI SÜREÇ ANALİZİ

L bağlantı Montajı Braket için bu bağlantı çeşidinde bir adet test kuponunu hazırlamak için 10 mm kalınlığında 0,170 m² alanında bal peteği kompozit panel kullanılmıştır. Bir kupon için sonraki süreçte birleştirilecek iki ayrı kompozit panel kesim işlemi ve bu panellere açılan insert delikleri için işlem süresi toplam 35 da.'dır. Kesme işlemi için kesme işlemini yapan makine ve makine başında sorumlu personelin işgücü mevcuttur. Kesim işlemi gerçekleştikten sonra cut-out yapılan yerler çapak temizleme bölümüne gönderilmektedir. Bu panaller için çapak temizleme süresince harcananan süre toplam 15 da.'dır. Çapak temizleme süresince herhangi bir makine maliyeti bulunmamaktadır sadece personel iş gücü mevcuttur. Kupon daha sonra yapıştırma işleminin gerçekleşmesi için yapıştırma bölümüne gönderilmektedir. Burada yapıştırma işlemini gerçekleştirmek için harcanan süre 20 da.'dır. Bunun yanı sıra bu bölümde yapıştırmak için 0,10 litre adhesive kullanılmıştır. Daha sonra birleştirme ünitesinde yapılan işlem bulunmamaktadır. Montaj esnasında braketlerin konulması, cıvataların insertler aracılığı ile braketi panele bağlaması sonucu montajın oluşturulması 20 da.'dır.

5.3. EKSTRÜZYON BİRLEŞTİRME L TİPİ BAĞLANTI SÜREÇ ANALİZİ

L bağlantı Montajı extrusion için bu bağlantı çeşidinde bir adet test kuponunu hazırlamak için 10 mm kalınlığında 0,170 m² alanında bal peteği kompozit panel kullanılmıştır. Bir kupon için sonraki süreçte birleştirilecek iki ayrı kompozit panel kesim işlemi işlem süresi toplam 25 da.'dır. Kesme işlemi için kesme işlemini yapan makine ve makine başında sorumlu personelin işgücü mevcuttur. Kesim işlemi gerçekleştikten sonra kesilen yerler çapak temizleme bölümüne gönderilmektedir. Bu panaller için çapak temizleme süresince harcananan süre toplam 5 da.'dır. Çapak temizleme süresince herhangi bir makine maliyeti bulunmamaktadır sadece personel iş gücü mevcuttur. Kupon daha sonra yapıştırma işleminin gerçekleşmesi için yapıştırma bölümüne gönderilmektedir. Burada yapıştırma işlemini gerçekleştirmek için harcanan süre 15 da.'dır. Bunun yanı sıra bu bölümde yapıştırmak için 0,15 litre adhesive kullanılmıştır. Daha sonra birleştirme ünitesinde panellerin extrusion ile

montajlanması için harcanan süre ise 20 da.'dır. Daha sonra sağlıklı bir donma süreci için yapıştırıcının kürleşme süreci beklenmiştir.

5.4. TENNON MORTİSE BİRLEŞTİRME T TİPİ BAĞLANTI SÜREÇ ANALİZİ

Tenon Mortise birleştirme yöntemi T tipi bağlantı montajı ile hazırlanan test kuponunu tasarlamak için harcanan süre 30 da.'dır. Bu bağlantı çeşidinde bir adet test kuponunu hazırlamak için 22 mm kalınlığında 0,170 m² alanında bal peteği kompozit panel kullanılmıştır. Bir kupon için sonraki süreçte birleştirilecek iki ayrı kompozit panel kesim işlemi ve bu panellere açılan tenon ve mortise işlem süresi toplam 40 da.'dır. Kesme işlemini yapan makine ve makine başında sorumlu personel işgücü mevcuttur. Kesim işlemi gerçekleştikten sonra cut-out yapılan yerler çapak temizleme bölümüne gönderilmektedir. Bu paneller için çapak temizleme süresince harcanan süre toplam 10 da.'dır. Çapak temizleme süresince herhangi bir makine maliyeti bulunmamaktadır, bu süreçte sadece personel iş gücü mevcuttur. Kupon daha sonra yapıştırma işleminin gerçekleşmesi için yapıştırma bölümüne gönderilmektedir. Burada yapıştırma işlemini gerçekleştirmek için harcanan süre 10 dakikadır. Bunun yanı sıra bu bölümde yapıştırmak için 0,15 litre adhesive kullanılmıştır. Daha sonra birleştirme ünitesinde tenon bulunan panel ile mortise bulunan panellerinin birbirine montajlanması için harcanan süre ise 20 da.'dır. Daha sonra sağlıklı bir donma süreci için yapıştırıcının kürleşme süreci beklenmiştir.

5.5. ÇİFT TARAF BRAKET BİRLEŞTİRME T TİPİ BAĞLANTI SÜREÇ ANALİZİ

T bağlantı montajı çift taraf braket için bu bağlantı çeşidinde bir adet test kuponunu hazırlamak için 22 mm kalınlığında 0,170 m² alanında bal peteği kompozit panel kullanılmıştır. Bir kupon için sonraki süreçte birleştirilecek iki ayrı kompozit panel kesim işlemi ve bu panellere açılan insert delikleri için işlem süresi toplam 35 da.'dır. Kesme işlemi için kesme işlemini yapan makine ve makine başında sorumlu personelin işgücü mevcuttur. Kesim işlemi gerçekleştikten sonra cut-out yapılan yerler çapak temizleme bölümüne gönderilmektedir. Bu paneller için çapak

temizleme süresince harcanan süre toplam 15 da.'dır. Çapak temizleme süresince herhangi bir makine maliyeti bulunmamaktadır sadece personel iş gücü mevcuttur. Kupon daha sonra yapıştırma işleminin gerçekleşmesi için yapıştırma bölümüne gönderilmektedir. Burada yapıştırma işlemini gerçekleştirmek için harcanan süre 20 da.'dır. Bunun yanı sıra bu bölümde yapıştırmak için 0,10 litre adhesive kullanılmıştır. Daha sonra birleştirme ünitesinde yapılan işlem bulunmamaktadır. Montaj esnasında braketlerin konulması, cıvataların insertler aracılığı ile braketi panele bağlaması sonucu montajın oluşturulması 20 da.'dır.

5.6. TEK TARAF BRAKET BİRLEŞTİRME T TİPİ BAĞLANTI SÜREÇ ANALİZİ

T bağlantı montajı çift taraf braket için bu bağlantı çeşidinde bir adet test kuponunu hazırlamak için 22 mm kalınlığında 0,170 m² alanında bal peteği kompozit panel kullanılmıştır. Bir kupon için sonraki süreçte birleştirilecek iki ayrı kompozit panel kesim işlemi ve bu panellere açılan insert delikleri için işlem süresi toplam 35 dakikadır. Kesme işlemi için kesme işlemi yapan makine ve makine başında sorumlu personelin işgücü mevcuttur. Kesim işlemi gerçekleştikten sonra cut-out yapılan yerler çapak temizleme bölümüne gönderilmektedir. Bu paneller için çapak temizleme süresince harcanan süre toplam 15 da.'dır. Çapak temizleme süresince herhangi bir makine maliyeti bulunmamaktadır sadece personel iş gücü mevcuttur. Kupon daha sonra yapıştırma işleminin gerçekleşmesi için yapıştırma bölümüne gönderilmektedir. Burada yapıştırma işlemini gerçekleştirmek için harcanan süre 20 da.'dır. Bunun yanı sıra bu bölümde yapıştırmak için 0,10 litre adhesive kullanılmıştır. Daha sonra birleştirme ünitesinde yapılan işlem bulunmamaktadır. Montaj esnasında braketlerin konulması, cıvatalarına insertler aracılığı ile braketi panele bağlaması sonucu montajın oluşturulması 20 da.'dır.

BÖLÜM 6

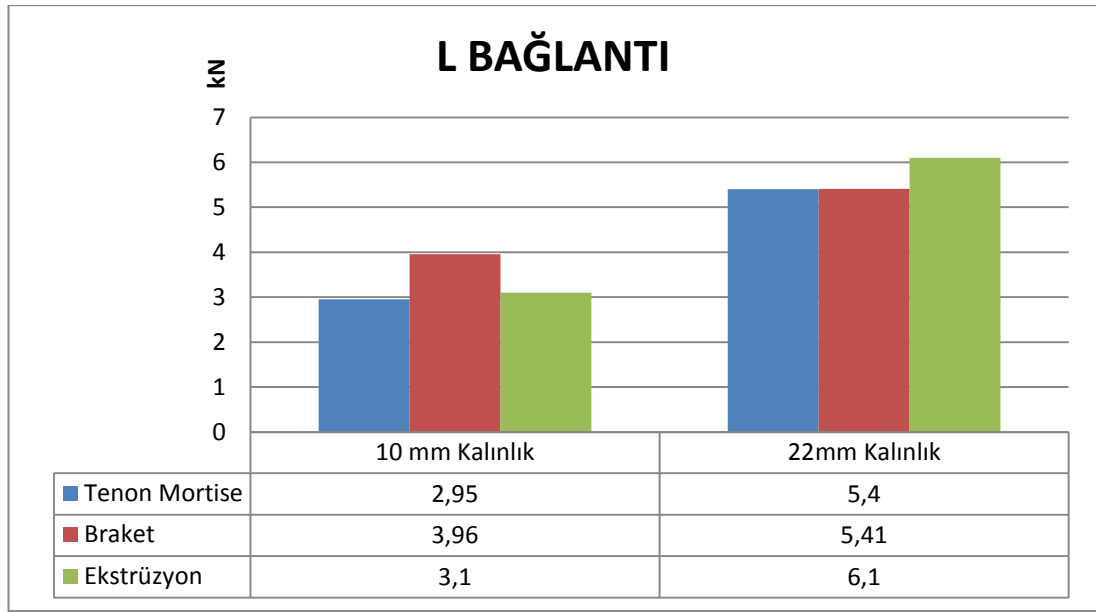
BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER

6.1. BİRLEŞTİRME BAĞLANTILARININ DAYANIM AÇISINDAN KARŞILAŞTIRILMASI

Uçak içi kabin üniteleri yapısal elemanı olarak kullanılan kompozit paneller üzerinde birleştirme yöntemleri kullanılarak L ve T tipi bağlantı tipleri için 10 mm ve 22 mm kalınlık varyasyonları kullanılarak test kuponları imal edilmiştir. Nihayetinde hepsi ilgili test düzeneklerinde çekme testine tabi tutulmuştur. Nihai sonuç alınacak her test uygulaması hata payını en aza indirmek için aynı koşullar altında 3 kez tekrar edilmiştir.

L bağlantı tipi için 10mm ve 22 mm kompozit panel kalınlıkları kullanılarak tenon mortise birleştirme yöntemi, braket birleştirme yöntemi ve ekstrüzyon birleştirme yöntemi Şekil 3.17’de gösterilen L tipi bağlantı test düzeneği aracılığı ile çekme testine tabi tutularak bu üç birleştirme şeklinin kopma kuvvetleri tespit edilmiştir. Tenon mortise birleştirme yöntemi ile 10 mm kompozit panel kullanılarak imal edilen test kuponunun kopma değeri gerçekleştirilen üç test sonucunun ortalaması alındığında 2,95 kN’dur. Braket birleştirme yöntemi ile 10 mm kompozit panel kullanılarak imal edilen test kuponunun kopma değeri gerçekleştirilen üç test sonucunun ortalaması alındığında 3,960 kN’dur. Ekstrüzyon birleştirme yöntemi ile 10 mm kompozit panel kullanılarak imal edilen test kuponunun kopma değeri gerçekleştirilen üç test sonucunun ortalaması alındığında 3,10 kN’dur. L bağlantı tipinde 10 mm komozit panel kullanılarak oluşturulan en dayanımlı olan birleştirme yöntemi braket birleştirme yöntemidir. Daha sonra ekstrüzyon birleştirme yöntemi gelirken en az dayanımı olan ise tenon mortise birleştirme yöntemidir. Tenon mortise birleştirme yöntemi ile 22 mm kompozit panel kullanılarak imal edilen test kuponunun kopma değeri gerçekleştirilen üç test sonucunun ortalaması alındığında 5,40 kN’dur. Braket birleştirme yöntemi ile 22 mm kompozit panel kullanılarak imal

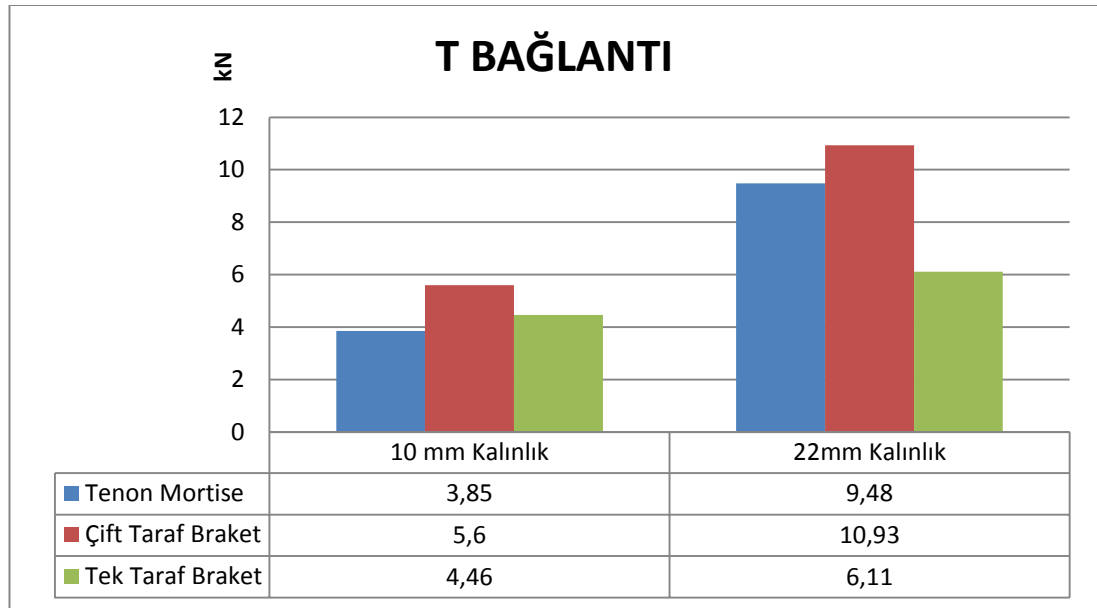
edilen test kuponunun kopma değeri gerçekleştirilen üç test sonucunun ortalaması alındığında 5,41 kN'dur. Ekstrüzyon birleştirme yöntemi ile 22 mm kompozit panel kullanılarak imal edilen test kuponunun kopma değeri gerçekleştirilen üç test sonucunun ortalaması alındığında 6,10 kN'dur. L bağlantı tipinde 22 mm kompozit panel kullanılarak oluşturulan en dayanımlı olan birleştirme yöntemi ekstrüzyon birleştirme yöntemidir. Daha sonra ekstrüzyon braket birleştirme yöntemi gelirken en az dayanımı olan ise tenon mortise birleştirme yöntemidir (Şekil 6.1).



Şekil 6.1. L bağlantı 10 ve 22 mm kompozit kalınlığında birleştirme yöntemlerinin karşılaştırılması.

T bağlantı tipi için 10mm ve 22 mm kompozit panel kalınlıkları kullanılarak tenon mortise birleştirme yöntemi, çift taraf braket birleştirme yöntemi ve tek taraf braket birleştirme yöntemi Şekil 3.19'de gösterilen T tipi bağlantı test düzeneği aracılığı ile çekme testine tabi tutulmuştur. Bu üç birleştirme şeklinin kopma kuvvetleri tespit edilmiştir. Tenon mortise birleştirme yöntemi ile 10 mm kompozit panel kullanılarak imal edilen test kuponunun kopma değeri gerçekleştirilen üç test sonucunun ortalaması alındığında 3,850 kN'dur. Çift taraf braket birleştirme yöntemi ile 10 mm kompozit panel kullanılarak imal edilen test kuponunun kopma değeri gerçekleştirilen üç test sonucunun ortalaması alındığında 5,60 kN'dur. Tek taraf birleştirme yöntemi ile 10 mm kompozit panel kullanılarak imal edilen test kuponunun kopma değeri gerçekleştirilen üç test sonucunun ortalaması alındığında 4,46 kN'dur. T bağlantı tipinde 10 mm komozit panel kullanılarak oluşturulan en

dayanımlı olan birleştirme yöntemi çift taraf braket birleştirme yöntemidir. Daha sonra tek taraf birleştirme yöntemi gelirken en az dayanımı olan ise tenon mortise birleştirme yöntemidir. Tenon mortise birleştirme yöntemi ile 22 mm kompozit panel kullanılarak imal edilen test kuponunun kopma değeri gerçekleştirilen üç test sonucunun ortalaması alındığında 9,48 kN'dur. Çift taraf braket birleştirme yöntemi ile 22 mm kompozit panel kullanılarak imal edilen test kuponunun kopma değeri gerçekleştirilen üç test sonucunun ortalaması alındığında 10,93 kN'dur. Ekstrüzyon birleştirme yöntemi ile 22 mm kompozit panel kullanılarak imal edilen test kuponunun kopma değeri gerçekleştirilen üç test sonucunun ortalaması alındığında 6,11 kN'dur. T bağlantı tipinde 22 mm kompozit panel kullanılarak oluşturulan en dayanımlı olan birleştirme yöntemi çift taraf braket birleştirme yöntemidir. Daha sonra tenon mortise birleştirme yöntemi gelirken en az dayanımı olan ise tek taraf birleştirme yöntemidir (Şekil 6.2).



Şekil 6.2. T bağlantı 10 ve 22 mm kompozit kalınlığında birleştirme yöntemlerinin karşılaştırılması.

6.2. BİRLEŞTİRME BAĞLANTILARININ SÜREÇ ANALİZİ AÇISINDAN KARŞILAŞTIRILMASI

L bağlantı montajında tenon mortise birleştirme şekli, braket birleştirme şekli ve ekstrüzyon birleştirme şekli olmak üzere üç çeşit birleştirme şekilleri süreç

analizleri incelenmiştir. Bu süreç analizinde birleştirme şekilleri uygulanmış test kuponlarının geçtiği her aşama maliyet ve zaman açısından tespit edilmiştir.

Tenon mortise birleştirme şekli için hazırlanan test kuponunun hazırlanması için vakfedilen zaman 110 dakikadır ve bu kuponun imal edilmesi için kullanılan malzeme ve işlem maliyeti 88,08 \$'dır. Braket birleştirme şekli için hazırlanan test kuponunun hazırlanması için vakfedilen zaman 110 dakikadır ve bu kuponun imal edilmesi için kullanılan malzeme ve işlem maliyeti 102,26 \$'dır. Ekstrüzyon birleştirme şekli için hazırlanan test kuponunun hazırlanması için vakfedilen zaman 85 dakikadır ve bu kuponun imal edilmesi için kullanılan malzeme ve işlem maliyeti 78,04 \$'dır.

Çizelge 6.1. L Bağlantı için kullanılan malzeme ve işlem maliyetleri.

| Kullanılan Malzeme | Tenon-Mortise birleştirme | | Braket birleştirme | | Ekstrüzyon birleştirme | |
|--------------------------------------|---------------------------|--------------|--------------------|--------------|------------------------|--------------|
| | Miktar | Maliyet [\$] | Miktar | Maliyet [\$] | Miktar | Maliyet [\$] |
| B.P Kompozit Panel [m ²] | 0,141 | 24,13 | 0,141 | 24,13 | 0,141 | 24,13 |
| Adhasive [lt] | 0,15 | 8,55 | 0,10 | 5,70 | 0,15 | 8,55 |
| Insert | 0 | 0 | 12 | 4,2 | 0 | 0 |
| Ekstrüzyon | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3,96 |
| Braket | 0 | 0 | 3 | 12,91 | 0 | 0 |
| Cıvata | 0 | 0 | 12 | 1,2 | 0 | 0 |
| Pul | 0 | 0 | 12 | 0,12 | 0 | 0 |
| Maliyet [\$] | | 32,68 | | 48,26 | | 36,64 |
| İşlem | Süre [dk] | Maliyet [\$] | Süre [dk] | Maliyet [\$] | Süre [dk] | Maliyet [\$] |
| Tasarım | 30 | 12,6 | 25 | 10,3 | 20 | 8,4 |

Çizelge 6.1. (devam ediyor)

| | | | | | | |
|-------------------------------|----|-------|----|--------|----|-------|
| Panel Kesim | 40 | 26,4 | 35 | 23,1 | 25 | 16,5 |
| Çapak Temizleme | 10 | 4,1 | 15 | 6,2 | 5 | 2,1 |
| Yapıştırıcı Uygulama | 10 | 4,1 | 20 | 8,2 | 15 | 6,2 |
| Birleştirme | 20 | 8,2 | 0 | 0 | 20 | 8,2 |
| Montaj | 0 | 0 | 15 | 6,2 | 0 | 0 |
| Maliyet [\$] | | 55,4 | | 54 | | 41,4 |
| Toplam Maliyet [\$] | | 88,08 | | 102,26 | | 78,04 |

T bağlantı montajında tenon mortise birleştirme şekli, çift taraf braket birleştirme şekli ve tek taraf braket birleştirme şekli olmak üzere üç çeşit birleştirme şekilleri süreç analizleri incelenmiştir. Bu süreç analizinde birleştirme şekilleri uygulanmış test kuponlarının geçtiği her aşama maliyet ve zaman açısından tespit edilmiştir.

Tenon mortise birleştirme şekli için hazırlanan test kuponunun hazırlanması için vakfedilen zaman 115 dakikadır ve bu kuponun imal edilmesi için kullanılan malzeme ve işlem maliyeti 99,54 \$dır . Çift taraf braket birleştirme şekli için hazırlanan test kuponunun hazırlanması için vakfedilen zaman 120 dakikadır ve bu kuponun imal edilmesi için kullanılan malzeme ve işlem maliyeti 134,62 \$dır . Tek taraf braket birleştirme şekli için hazırlanan test kuponunun hazırlanması için vakfedilen zaman 100 dakikadır ve bu kuponun imal edilmesi için kullanılan malzeme ve işlem maliyeti 109,37 \$dır .

Çizelge 6.2. T Bağlantı için kullanılan malzeme ve işlem maliyetleri.

| Kullanılan Malzeme | Tennon-Mortise birleştirme | | Çift taraf braket birleştirme | | Tek taraf braket birleştirme | |
|--------------------------------------|----------------------------|--------------|-------------------------------|---------------|------------------------------|---------------|
| | Miktar | Maliyet [\$] | Miktar | Maliyet [\$] | Miktar | Maliyet [\$] |
| B.P Kompozit Panel [m ²] | 0,141 | 32,29 | 0,141 | 32,29 | 0,141 | 32,29 |
| Adhasive [lt] | 0,15 | 8,55 | 0,10 | 5,70 | 0,15 | 8,55 |
| Insert | 0 | 0 | 18 | 11,82 | 12 | 4,2 |
| Braket | 0 | 0 | 6 | 12,91 | 3 | 12,91 |
| Cıvata | 0 | 0 | 24 | 2,16 | 12 | 1,2 |
| Pul | 0 | 0 | 24 | 0,24 | 12 | 0,12 |
| Maliyet [\$] | | 40,84 | | 65,12 | | 59,27 |
| İşlem | Süre [dk] | Maliyet [\$] | Süre [dk] | Maliyet [\$] | Süre [dk] | Maliyet [\$] |
| | | | | | | |
| Tasarım | 30 | 12,6 | 25 | 10,5 | 25 | 10,5 |
| Panel Kesim | 45 | 29,7 | 40 | 36,4 | 35 | 23,1 |
| Çapak Temizleme | 10 | 4,1 | 15 | 6,2 | 10 | 4,1 |
| Yapıştırıcı Uygulama | 10 | 4,1 | 20 | 8,2 | 15 | 6,2 |
| Birleştirme | 20 | 8,2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Montaj | 0 | 0 | 20 | 8,2 | 15 | 6,2 |
| Maliyet [\$] | | 58,7 | | 69,5 | | 50,1 |
| Toplam Maliyet [\$] | | 99,54 | | 134,62 | | 109,37 |

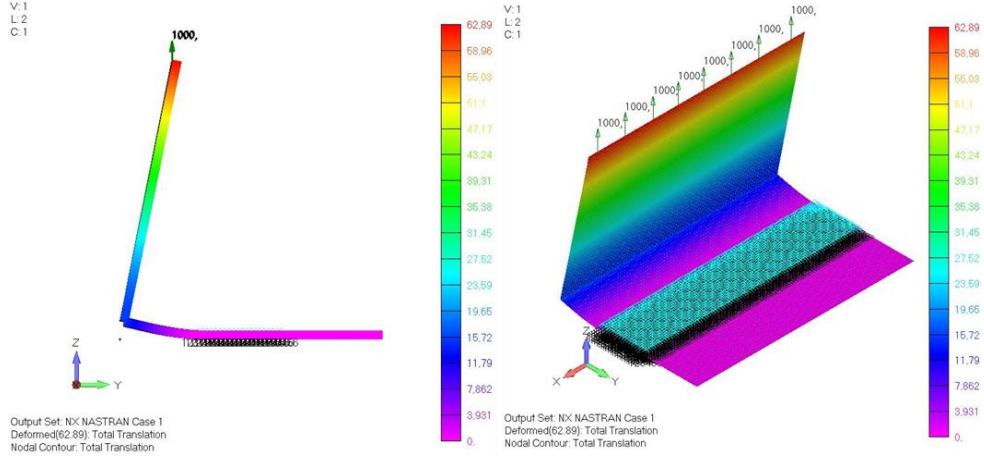
6.3. BİRLEŞTİRME YÖNTEMLERİNİN YÜK ALTINDAKİ YER DEĞİŞTİRME ANALİZLERİ

Birleştirme yöntemlerinin belirli yükler altındaki yer değiştirme analizler bölüm 3.4'de belirtilen parametreler doğrultusunda yapılmıştır. İlk aşamada birleştirme yöntemininle eşit kuvvet uygulanmış ve yer değiştirmeleri analiz edilmiştir. İkinci aşamada ise gerçekte yapılan çekme testindeki kopma kuvveti uygulanmış ve birleştirme şekillerinin yer değiştirmeleri incelenmiştir. Tenon mortise birleştirme yöntemi, braket birleştirme yöntemi ve ekstrüzyon birleştirme yöntemleri L bağlantı tipinde 10 mm ve 22 mm kalınlığındaki kompozit panellerle oluşturulan test kuponları esas alınarak analiz yapılmıştır. Tenon mortise birleştirme yöntemi, çift taraf braket birleştirme yöntemi ve tek taraf braket birleştirme yöntemleri T bağlantı tipinde 10 mm ve 22 mm kalınlığındaki kompozit panellerle oluşturulan test kuponları esas alınarak analiz yapılmıştır. Analiz yapılan modeller çekme testlerine tabi tutulan test kuponlarının ilgili parametreler neticesinde bire bir bilgisayar destekli analiz programında modellenmiştir.

6.3.1. Eşit Kuvvet Altında Birleştirme Yöntemlerinin Analizi

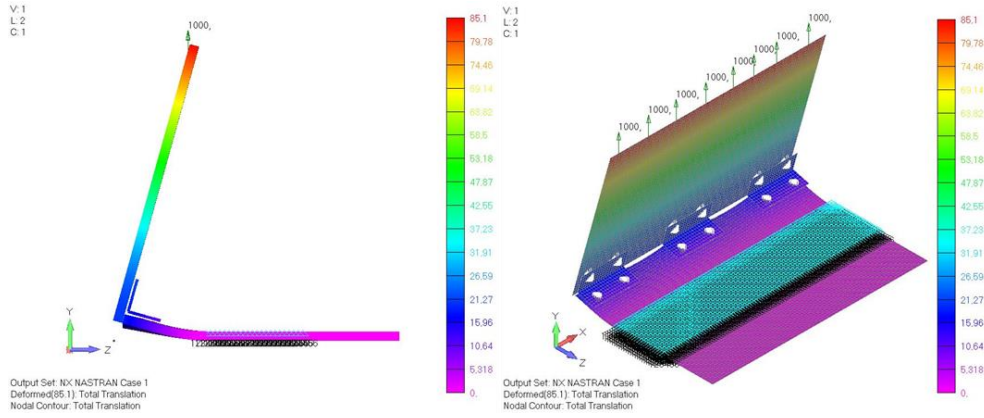
İlk olarak L bağlantı tipinde tenon mortise birleştirme yöntemi, braket birleştirme yöntemi ve ekstrüzyon birleştirme yöntemlerinin analiz neticesinde alınacak yer değiştirme sonuçlarını birbirleriyle mukayese edebilmek için her birine 1,00 kN'luk kuvvet uygulanmıştır. Daha sonra ise T bağlantı tipinde tenon mortise birleştirme yöntemi, çift taraf braket birleştirme yöntemi ve tek taraf braket birleştirme yöntemlerinin analiz neticesinde alınacak yer değiştirme sonuçlarını birbirleriyle mukayese edebilmek için her birine 1,00 kN'luk kuvvet uygulanmıştır.

Tenon mortise birleştirme yöntemi ile L bağlantı tipinde 10 mm kalınlığındaki kompozit panellerle oluşturulan test kuponuna analiz programında 1,00 kN uygulanmıştır. Bu değer sonlu elemanlar programında modellenen test kuponu üzerine uygulandığında tenon mortise birleştirme yöntemi ile imal edilen test kuponunun yer değiştirmesinin 62.89 mm olduğu görülmüştür (Şekil 6.3).



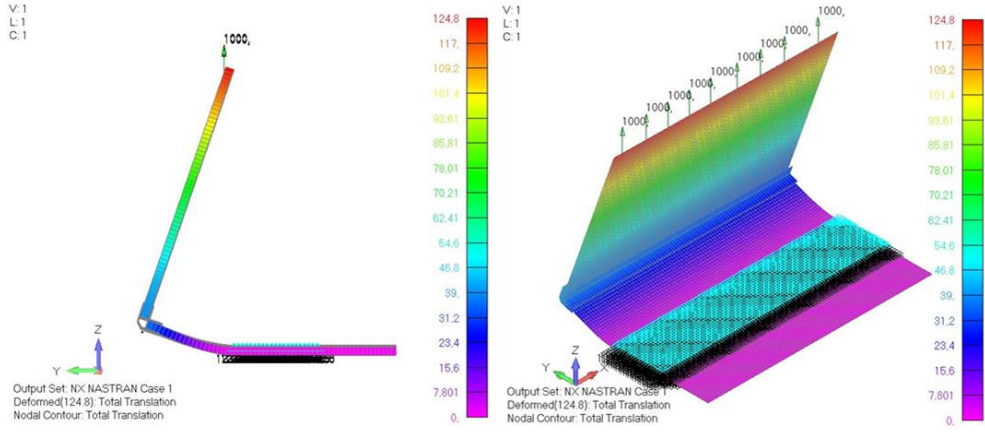
Şekil 6.3. Tenon mortise 10 mm kompozit panel, L tipi bağlantılı eşit kuvvet uygulanması sonucu yer değiştirme analizi.

Braket birleştirme yöntemi ile L bağlantı tipinde 10 mm kalınlığındaki kompozit panellerle oluşturulan test kuponuna analiz programında 1,00 kN uygulanmıştır. Bu değer sonlu elemanlar programında modellenen test kuponu üzerine uygulandığında braket birleştirme yöntemi ile imal edilen test kuponunun yer değiştirmesinin 85.1 mm olduğu görülmüştür (Şekil 6.4).



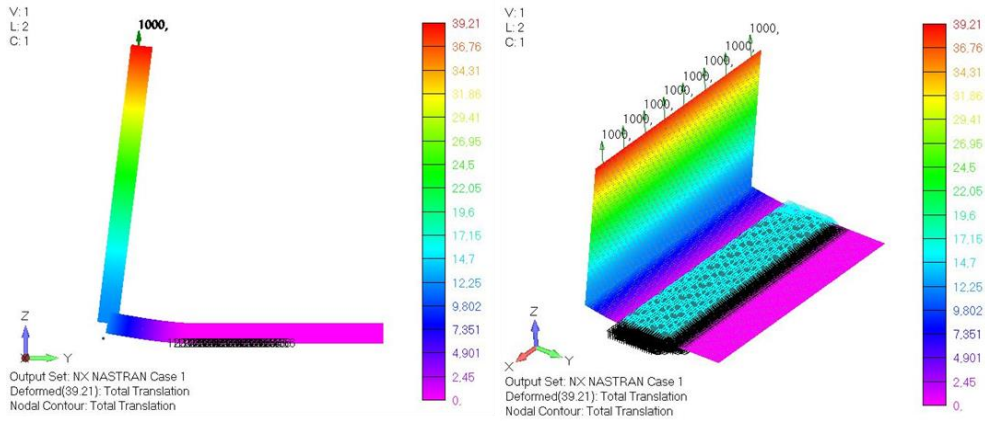
Şekil 6.4. Braket 10 mm kompozit panel, L tipi bağlantılı eşit kuvvet uygulanması sonucu yer değiştirme analizi.

Ekstrüzyon birleştirme yöntemi ile L bağlantı tipinde 10 mm kalınlığındaki kompozit panellerle oluşturulan test kuponuna analiz programında 1,00 kN uygulanmıştır. Bu değer sonlu elemanlar programında modellenen test kuponu üzerine uygulandığında ekstrüzyon birleştirme yöntemi ile imal edilen test kuponunun yer değiştirmesinin 124.8 mm olduğu görülmüştür (Şekil 6.5).



Şekil 6.5. Ekstrüzyon 10 mm kompozit, L tipi bağlantılı eşit kuvvet uygulanması sonucu yer değiştirme analizi.

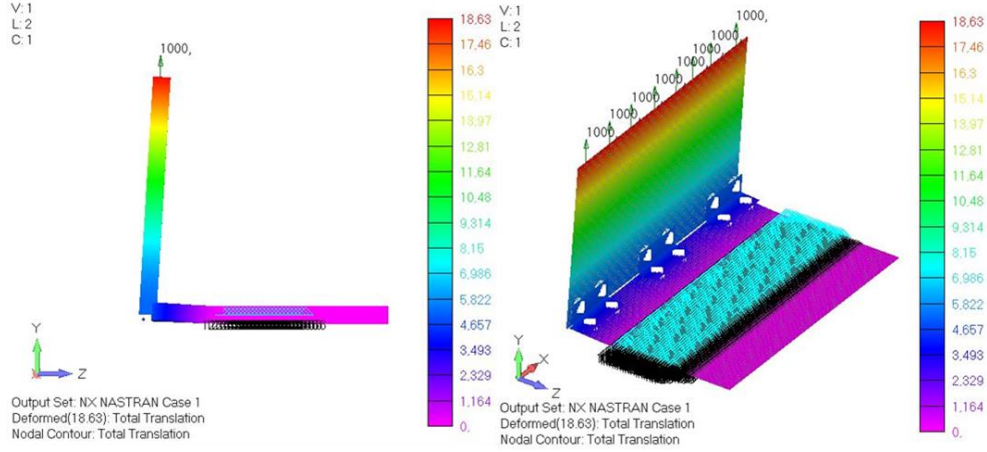
Tenon mortise birleştirme yöntemi ile L bağlantı tipinde 22 mm kalınlığındaki kompozit paneller oluşturulan test kuponuna analiz programında 1,00 kN uygulanmıştır. Bu değer sonlu elemanlar programında modellenen test kuponu üzerine uygulandığında tenon mortise birleştirme yöntemi ile imal edilen test kuponunun yer değiştirmesinin 39,21 mm olduğu görülmüştür (Şekil 6.6).



Şekil 6.6. Tenon mortise 22 mm kompozit panel, L tipi bağlantılı eşit kuvvet uygulanması sonucu yer değiştirme analizi.

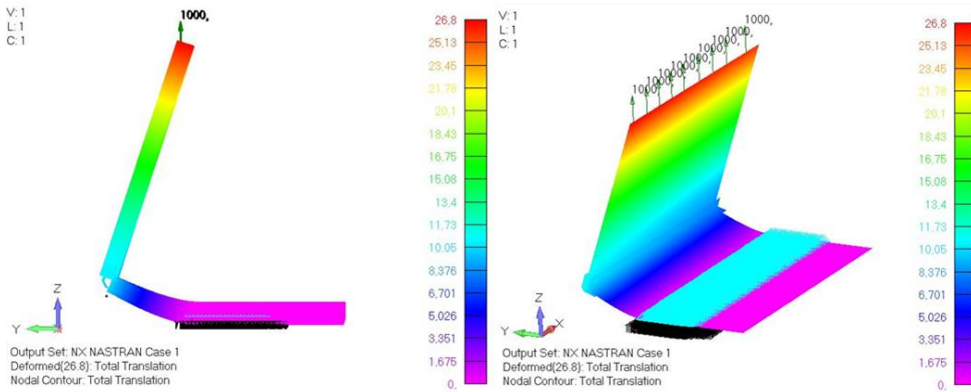
Braket birleştirme yöntemi ile L bağlantı tipinde 22 mm kalınlığındaki kompozit paneller oluşturulan test kuponuna analiz programında 1,00 kN uygulanmıştır. Bu değer sonlu elemanlar programında modellenen test kuponu üzerine uygulandığında

braket birleştirme yöntemi ile imal edilen test kuponunun yer değiştirmesinin 18,63 mm olduğu görülmüştür (Şekil 6.7).

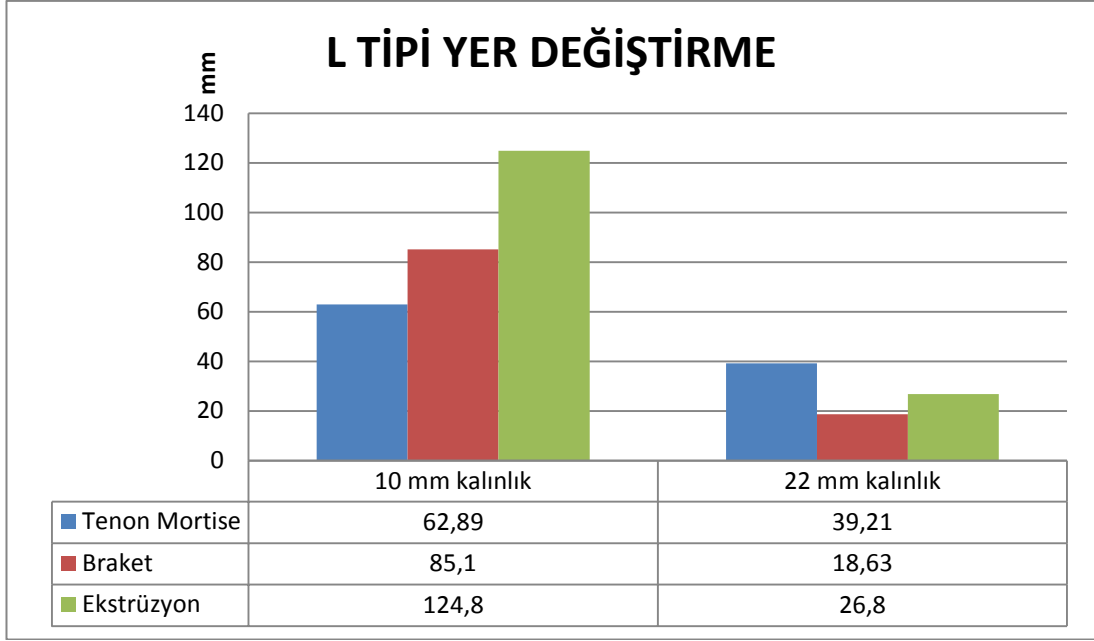


Şekil 6.7. Braket 22 mm kompozit panel, L tipi bağlantılı eşit kuvvet uygulanması sonucu yer değiştirme analizi.

Ekstrüzyon birleştirme yöntemi ile L bağlantı tipinde 22 mm kalınlığındaki kompozit panellerle oluşturulan test kuponuna analiz programında 1,00 kN uygulanmıştır. Bu değer sonlu elemanlar programında modellenen test kuponu üzerine uygulandığında ekstrüzyon birleştirme yöntemi ile imal edilen test kuponunun yer değiştirmesinin 26.8 mm olduğu görülmüştür (Şekil 6.8).

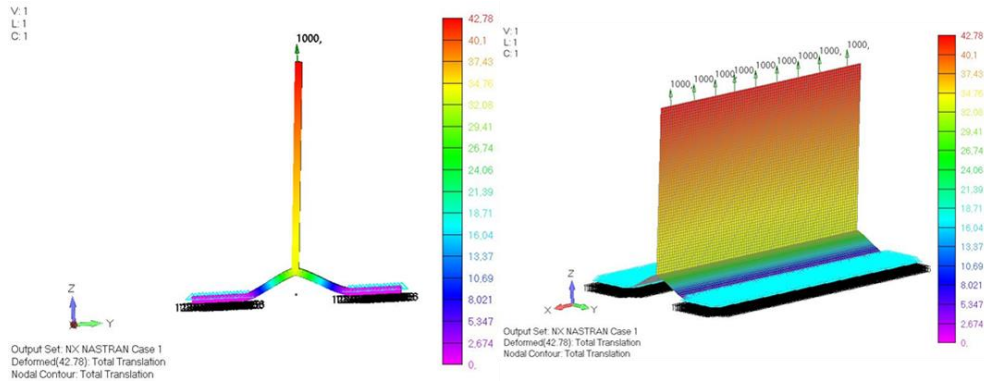


Şekil 6.8. Ekstrüzyon 22 mm kompozit, L tipi bağlantılı eşit kuvvet uygulanması sonucu yer değiştirme analizi.



Şekil 6.9. L tipi altında birleştirme yöntemleri analiz sonucu yer değiştirmeleri.

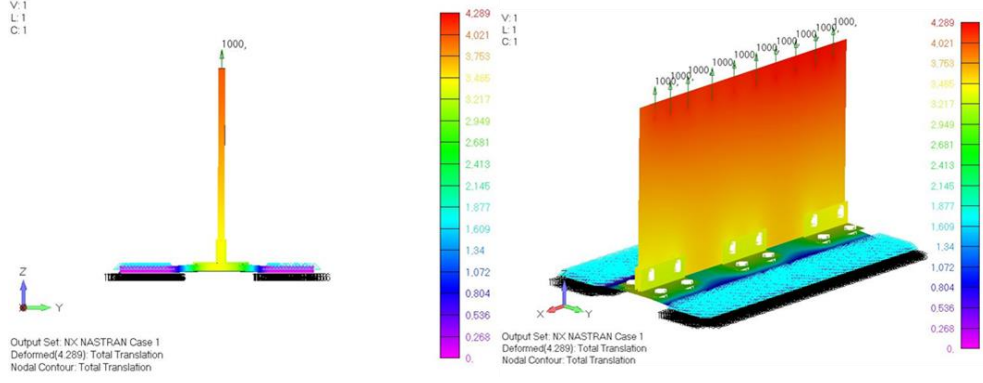
Tenon mortise birleştirme yöntemi ile T bağlantı tipinde 10 mm kalınlığındaki kompozit paneller oluşturulan test kuponuna analiz programında 1,00 kN uygulanmıştır. Bu değer sonlu elemanlar programında modellenen test kuponu üzerine uygulandığında tenon mortise birleştirme yöntemi ile imal edilen test kuponunun yer değiştirmesinin 42,78 mm olduğu görülmüştür (Şekil 6.10).



Şekil 6.10. Tenon mortise 10 mm kompozit panel, T tipi bağlantılı eşit kuvvet uygulanması sonucu yer değiştirme analizi.

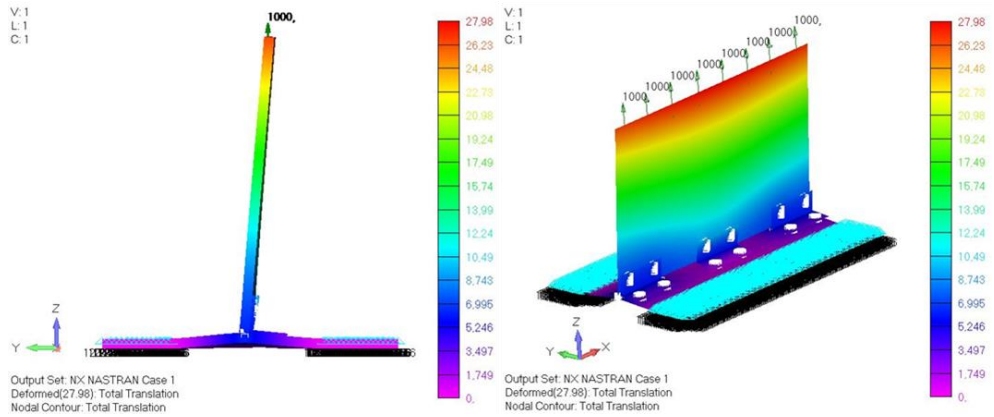
Çift taraf braket birleştirme yöntemi ile T bağlantı tipinde 10 mm kalınlığındaki kompozit paneller oluşturulan test kuponuna analiz programında 1,00 kN uygulanmıştır. Bu değer sonlu elemanlar programında modellenen test kuponu

üzerine uygulandığında çift taraf braket birleştirme yöntemi ile imal edilen test kuponunun yer değiştirmesinin 4,28 mm olduğu görülmüştür (Şekil 6.11).



Şekil 6.11. Çift taraf braket 10 mm kompozit panel, T tipi bağlantılı eşit kuvvet uygulanması sonucu yer değiştirme analizi.

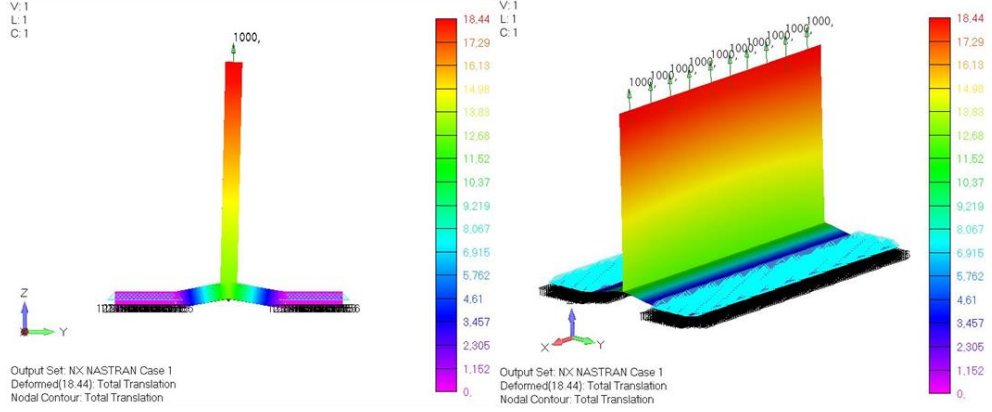
Tek taraf birleştirme yöntemi ile T bağlantı tipinde 10 mm kalınlığındaki kompozit panellerle oluşturulan test kuponuna analiz programında 1,00 kN uygulanmıştır. Bu değer sonlu elemanlar programında modellenen test kuponu üzerine uygulandığında tek taraf braket birleştirme yöntemi ile imal edilen test kuponunun yer değiştirmesinin 27,98 mm olduğu görülmüştür (Şekil 6.12).



Şekil 6.12. Tek taraf braket 10 mm kompozit, T tipi bağlantılı eşit kuvvet uygulanması sonucu yer değiştirme analizi.

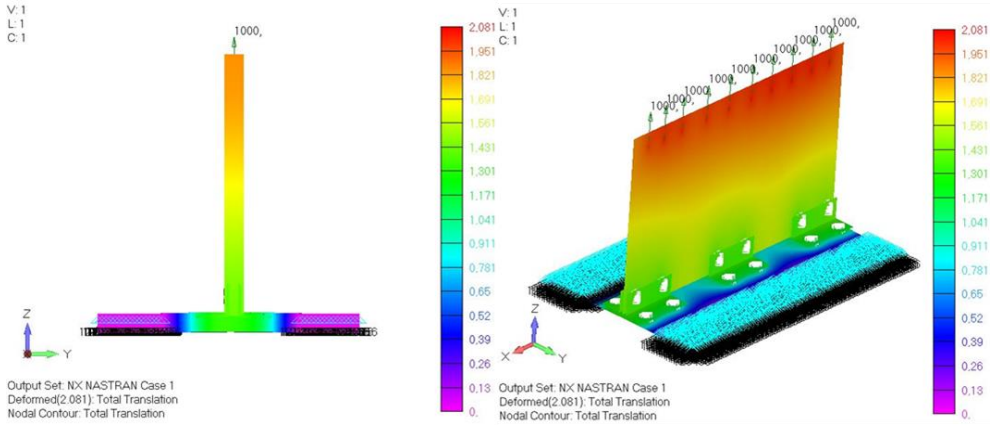
Tenon mortise birleştirme yöntemi ile T bağlantı tipinde 22 mm kalınlığındaki kompozit panellerle oluşturulan test kuponuna analiz programında 1,00 kN uygulanmıştır. Bu değer sonlu elemanlar programında modellenen test kuponu

üzerine uygulandığında tenon mortise birleştirme yöntemi ile imal edilen test kuponunun yer değiştirmesinin 18,44 mm olduğu görülmüştür (Şekil 6.13).



Şekil 6.13. Tenon mortise 22 mm kompozit panel, T tipi bağlantılı eşit kuvvet uygulanması sonucu yer değiştirme analizi.

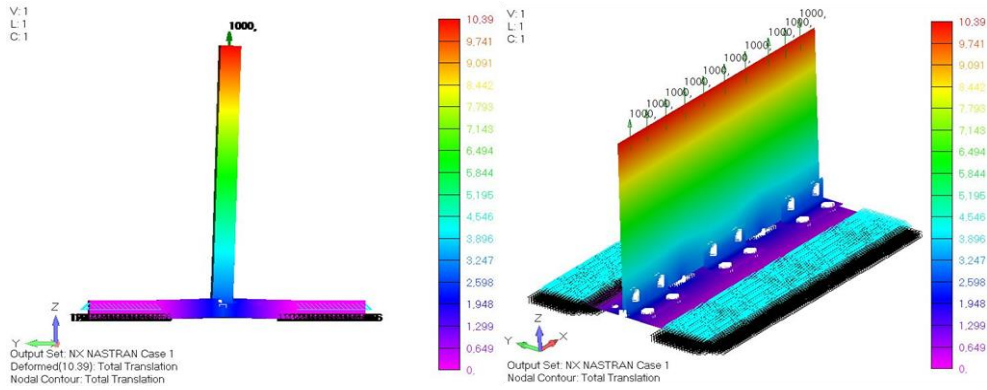
Çift taraf braket birleştirme yöntemi ile T bağlantı tipinde 22 mm kalınlığındaki kompozit paneller oluşturulan test kuponuna analiz programında 1,00 kN uygulanmıştır. Bu değer sonlu elemanlar programında modellenen test kuponu üzerine uygulandığında çift taraf braket birleştirme yöntemi ile imal edilen test kuponunun yer değiştirmesinin 2,08 mm olduğu görülmüştür (Şekil 6.14).



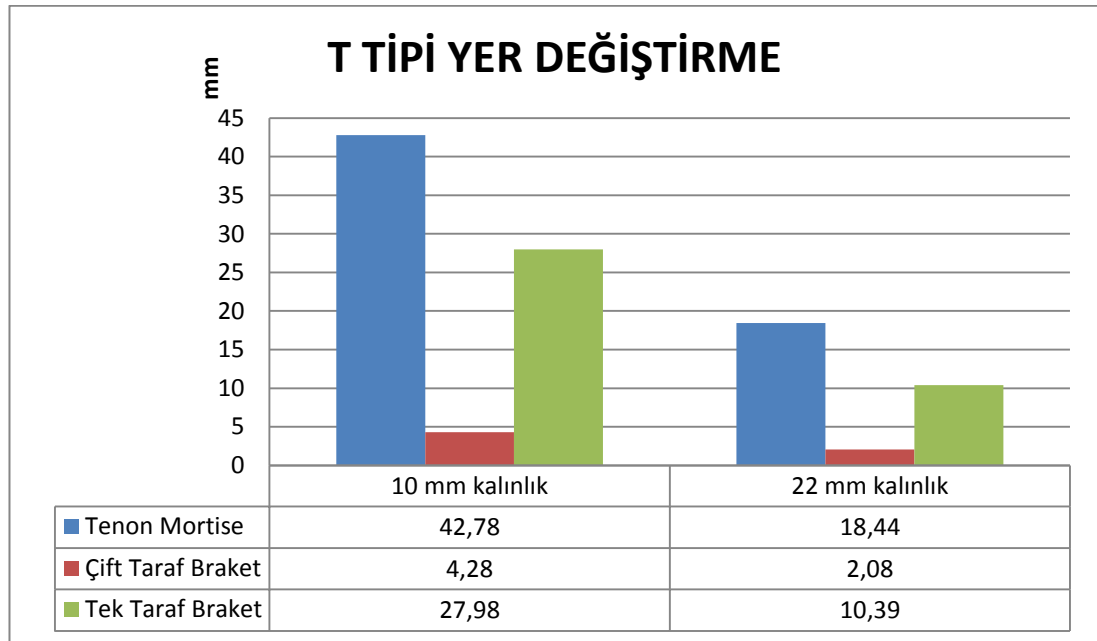
Şekil 6.14. Çift taraf braket 22 mm kompozit panel, T tipi bağlantılı eşit kuvvet uygulanması sonucu yer değiştirme analizi.

Tek taraf braket birleştirme yöntemi ile T bağlantı tipinde 22 mm kalınlığındaki kompozit paneller oluşturulan test kuponuna analiz programında 1,00 kN

uygulanmıştır. Bu değer sonlu elemanlar programında modellenen test kuponu üzerine uygulandığında tek taraf braket birleştirme yöntemi ile imal edilen test kuponunun yer değiştirmesinin 10,39 mm olduğu görülmüştür (Şekil 6.15).



Şekil 6.15. Ek taraf braket 22 mm kompozit, T tipi bağlantılı eşit kuvvet uygulanması sonucu yer değiştirme analizi.



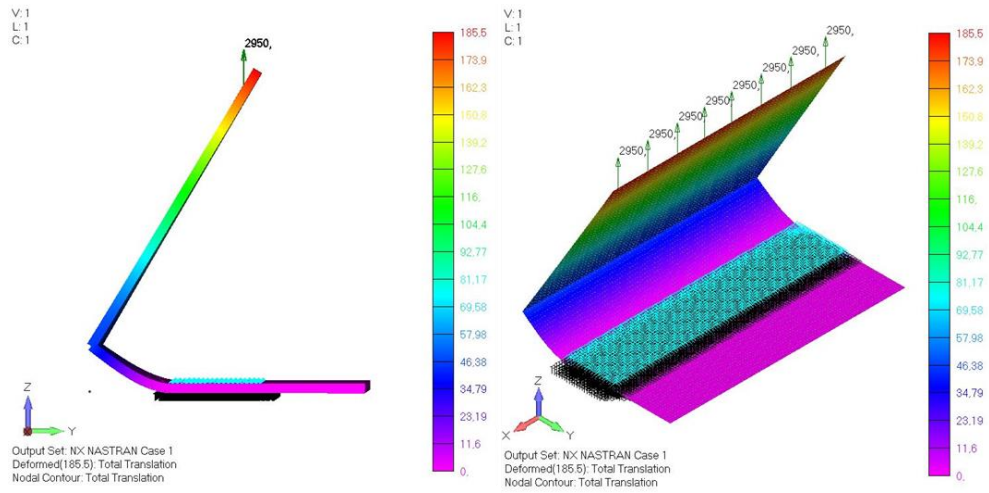
Şekil 6.16. T tipi altında birleştirme yöntemleri analiz sonucu yer değiştirmeleri.

6.4. KOPMA KUVVETİ ALTINDA BİRLEŞTİRME YÖNTEMLERİNİN ANALİZİ

Gerçekleştirilen çekme testlerin neticesinde kuponların kopma kuvveti her biri içinde uygulanmış ve birleştirme şekillerinin yer değiştirmeleri incelenmiştir. L bağlantı

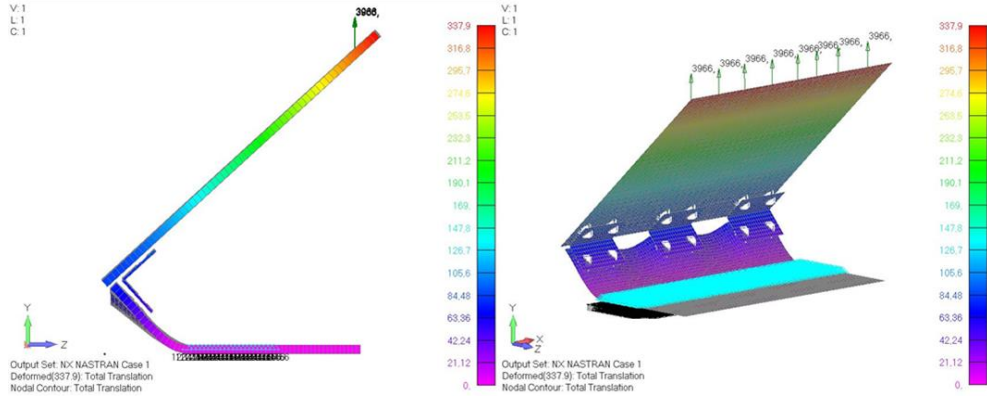
tipinde tenon mortise birleştirme yöntemi, braket birleştirme yöntemi ve ekstrüzyon birleştirme yöntemlerinde her birinde yapılan çekme testi neticesinde ortaya çıkan kopma kuvveti aynı birleştirme yöntemine uygulanarak uygulanmıştır. Daha sonra ise T bağlantı tipinde tenon mortise birleştirme yöntemi, çift taraf braket birleştirme yöntemi ve tek taraf braket birleştirme yöntemlerinde her birinde yapılan çekme testi neticesinde ortaya çıkan kopma kuvveti aynı birleştirme yöntemine uygulanarak uygulanmıştır.

Tenon mortise birleştirme yöntemi ile L bağlantı tipinde 10 mm kalınlığındaki kompozit paneller oluşturulan test kuponunun kopma değeri 2,95 kn'dur. Bu değer sonlu elemanlar programında modellenen test kuponu üzerine uygulandığında tenon mortise birleştirme yöntemi ile imal edilen test kuponunun yer değiştirmesinin 185.5 mm olduğu görülmüştür (Şekil 6.17).



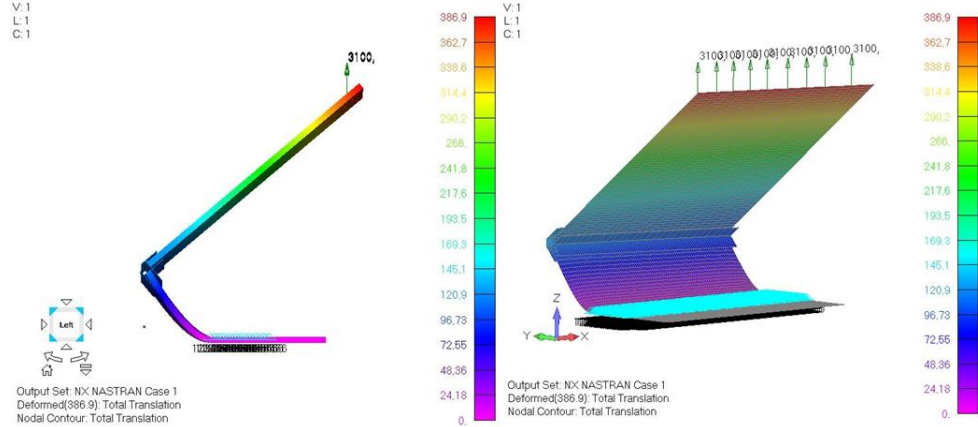
Şekil 6.17. Tenon mortise 10 mm kompozit, L tipi bağlantılı kopma kuvveti uygulanması sonucu yer değiştirme analizi.

Braket birleştirme yöntemi ile L bağlantı tipinde 10 mm kalınlığındaki kompozit paneller oluşturulan test kuponunun kopma değeri 3,96 kN'dur. Bu değer sonlu elemanlar programında modellenen test kuponu üzerine uygulandığında braket birleştirme yöntemi ile imal edilen test kuponunun yer değiştirmesinin 337.5 mm olduğu görülmüştür (Şekil 6.18).



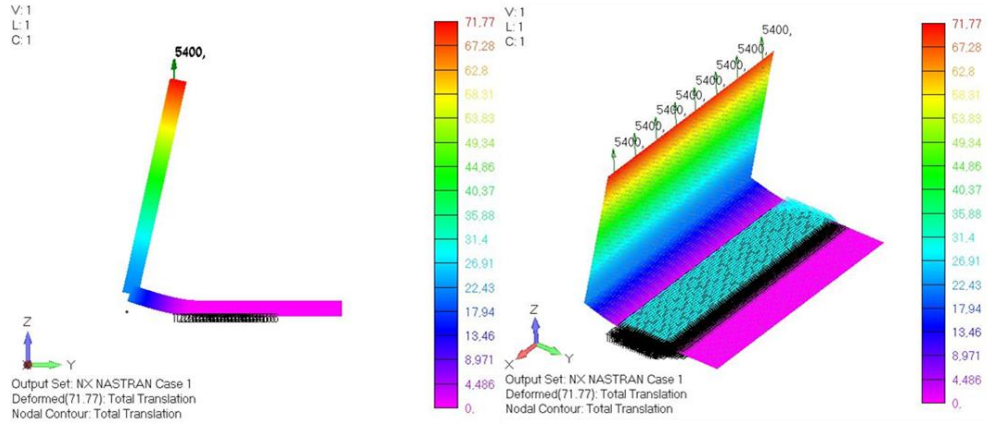
Şekil 6.18. Braket 10 mm kompozit, L tipi bağlantılı kopma kuvveti uygulanması sonucu yer değiştirme analizi.

Ekstrüzyon birleştirme yöntemi ile L bağlantı tipinde 10 mm kalınlığındaki kompozit panellerle oluşturulan test kuponunun kopma değeri 3,10 kN'dur. Bu değer sonlu elemanlar programında modellenen test kuponu üzerine uygulandığında ekstrüzyon birleştirme yöntemi ile imal edilen test kuponunun yer değiştirmesinin 386,9 mm olduğu görülmüştür (Şekil 6.19).



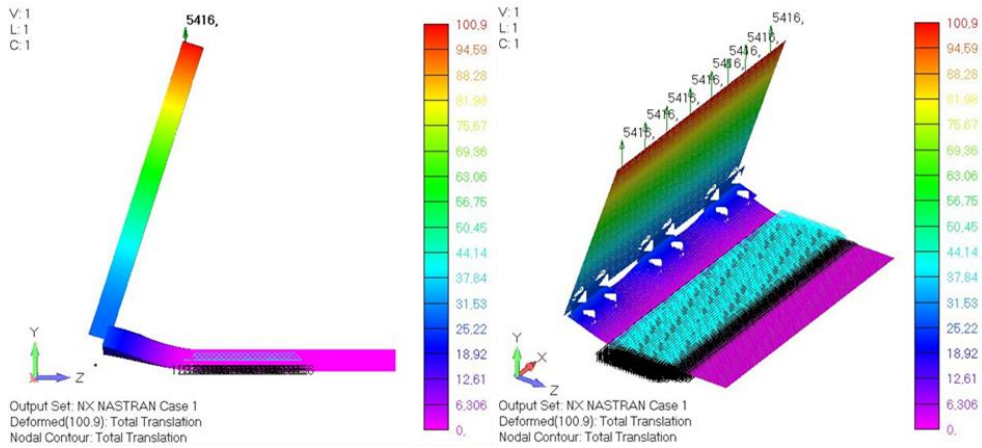
Şekil 6.19. Ekstrüzyon 10 mm kompozit, L tipi bağlantılı kopma kuvveti uygulanması sonucu yer değiştirme analizi.

Tenon mortise birleştirme yöntemi ile L bağlantı tipinde 22 mm kalınlığındaki kompozit panellerle oluşturulan test kuponunun kopma değeri 5,40 kN'dur. Bu değer sonlu elemanlar programında modellenen test kuponu üzerine uygulandığında tenon mortise birleştirme yöntemi ile imal edilen test kuponunun yer değiştirmesinin 71,77 mm olduğu görülmüştür (Şekil 6.20).



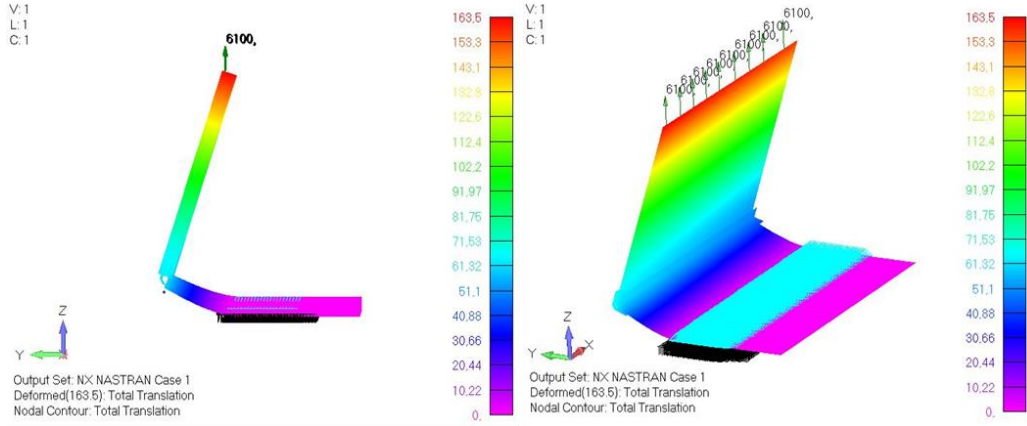
Şekil 6.20. Tenon mortise 22 mm kompozit, L tipi bağlantılı kopma kuvveti uygulanması sonucu yer değiştirme analizi.

Braket birleştirme yöntemi ile L bağlantı tipinde 22 mm kalınlığındaki kompozit panellerle oluşturulan test kuponunun kopma değeri 5,41 kN'dur. Bu değer sonlu elemanlar programında modellenen test kuponu üzerine uygulandığında braket birleştirme yöntemi ile imal edilen test kuponunun yer değiştirmesinin 100,9 mm olduğu görülmüştür (Şekil 6.21).



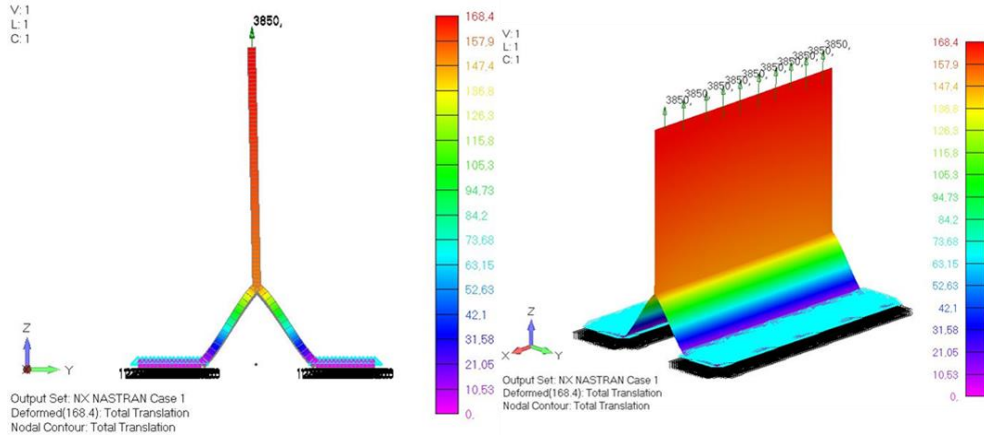
Şekil 6.21. Braket 22 mm kompozit, L tipi bağlantılı kopma kuvveti uygulanması sonucu yer değiştirme analizi.

Ekstrüzyon birleştirme yöntemi ile L bağlantı tipinde 22 mm kalınlığındaki kompozit panellerle oluşturulan test kuponunun kopma değeri 6,10 kN'dur. Bu değer sonlu elemanlar programında modellenen test kuponu üzerine uygulandığında ekstrüzyon birleştirme yöntemi ile imal edilen test kuponunun yer değiştirmesinin 163,5 mm olduğu görülmüştür (Şekil 6.22).



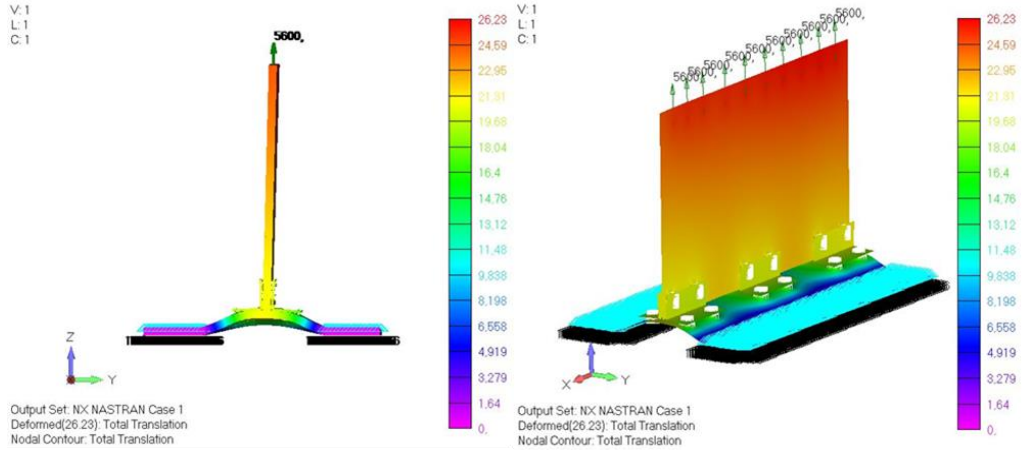
Şekil 6.22. Ekstrüzyon 22 mm kompozit, L tipi bağlantılı kopma kuvveti uygulanması sonucu yer değiştirme analizi.

Tenon mortise birleştirme yöntemi ile T bağlantı tipinde 10 mm kalınlığındaki kompozit panellerle oluşturulan test kuponunun kopma değeri 3,85 kN'dur. Bu değer sonlu elemanlar programında modellenen test kuponu üzerine uygulandığında tenon mortise birleştirme yöntemi ile imal edilen test kuponunun yer değiştirmesinin 168,4 mm olduğu görülmüştür (Şekil 6.23).



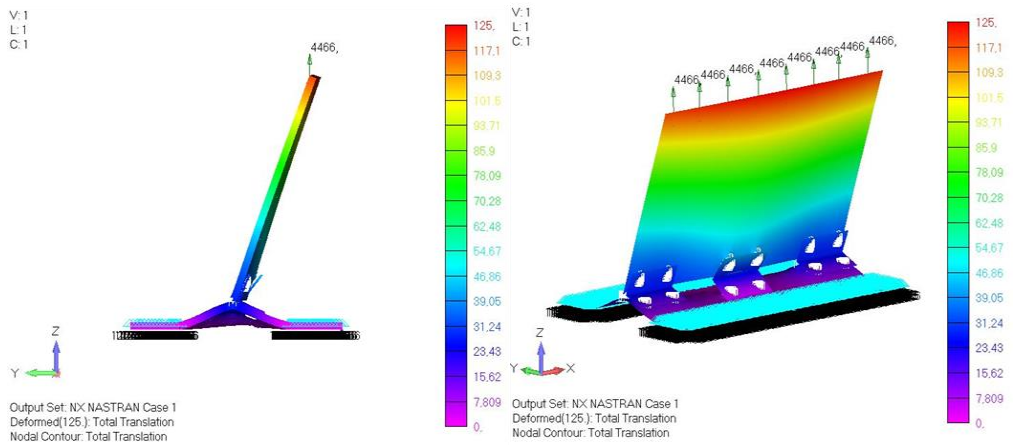
Şekil 6.23. Tenon mortise 10 mm kompozit, T tipi bağlantılı kopma kuvveti uygulanması sonucu yer değiştirme analizi.

Çift taraf braket birleştirme yöntemi ile T bağlantı tipinde 10 mm kalınlığındaki kompozit panellerle oluşturulan test kuponunun kopma değeri 5,60 kN'dur. Bu değer sonlu elemanlar programında modellenen test kuponu üzerine uygulandığında çift taraf braket birleştirme yöntemi ile imal edilen test kuponunun yer değiştirmesinin 26,23 mm olduğu görülmüştür (Şekil 6.24).



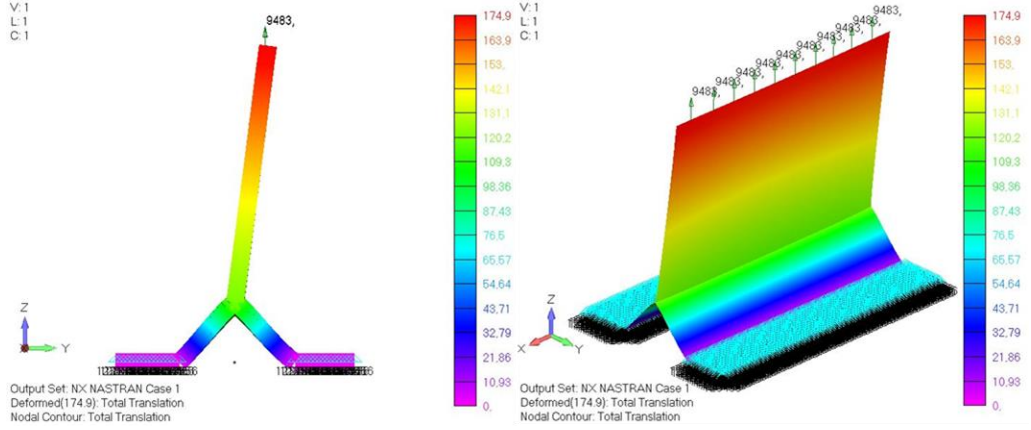
Şekil 6.24. Çift taraf braket 10 mm kompozit, T tipi bağlantılı kopma kuvveti uygulanması sonucu yer değiştirme analizi.

Tek taraf braket birleştirme yöntemi ile T bağlantı tipinde 10 mm kalınlığındaki kompozit panelle oluşturulan test kuponunun kopma değeri 4,46 kN'dur. Bu değer sonlu elemanlar programında modellenen test kuponu üzerine uygulandığında ekstrüzyon birleştirme yöntemi ile imal edilen test kuponunun yer değiştirmesinin 125 mm olduğu görülmüştür (Şekil 6.25).



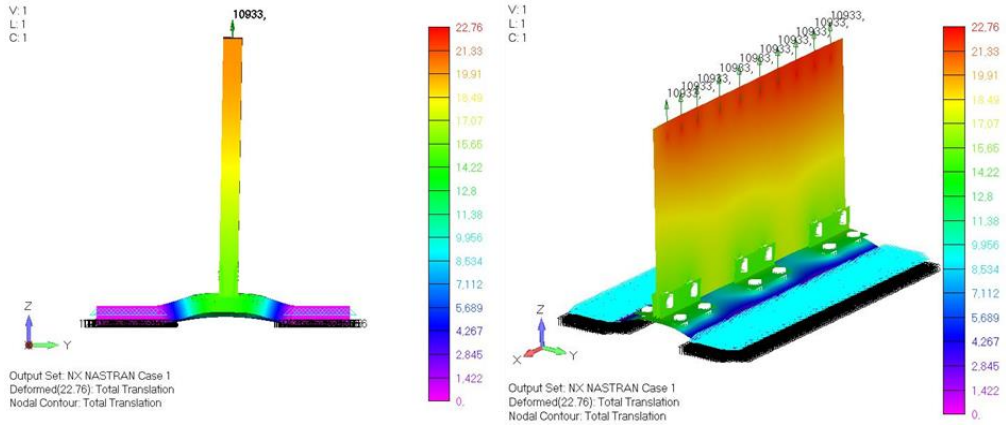
Şekil 6.25. Tek taraf braket 10 mm kompozit, T tipi bağlantılı kopma kuvveti uygulanması sonucu yer değiştirme analizi.

Tenon mortise birleştirme yöntemi ile T bağlantı tipinde 22 mm kalınlığındaki kompozit panelle oluşturulan test kuponunun kopma değeri 9,48 kN'dur. Bu değer sonlu elemanlar programında modellenen test kuponu üzerine uygulandığında tenon mortise birleştirme yöntemi ile imal edilen test kuponunun yer değiştirmesinin 174,9 mm olduğu görülmüştür (Şekil 6.26).



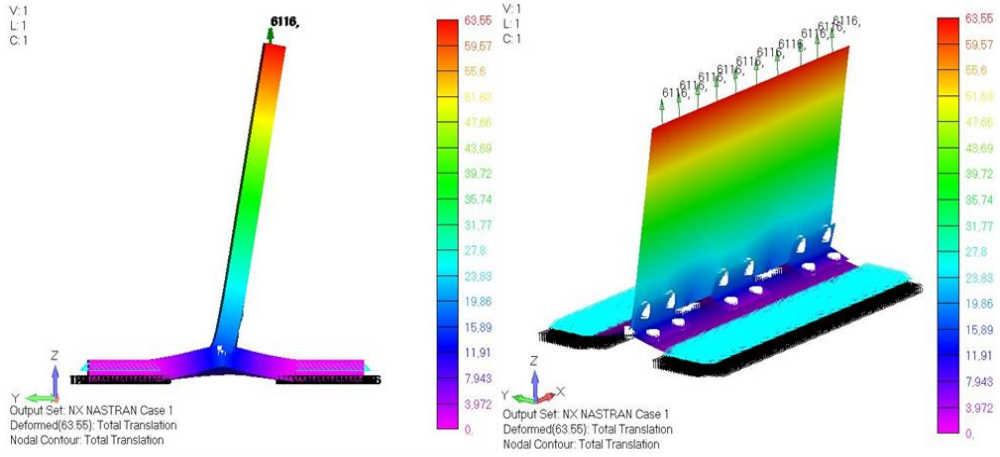
Şekil 6.26. Tenon mortise 22 mm kompozit, T tipi bağlantılı kopma kuvveti uygulanması sonucu yer değiştirme analizi.

Çift taraf braket birleştirme yöntemi ile T bağlantı tipinde 22 mm kalınlığındaki kompozit panellerle oluşturulan test kuponunun kopma değeri 10,931 kN'dur. Bu değer sonlu elemanlar programında modellenen test kuponu üzerine uygulandığında çift taraf braket birleştirme yöntemi ile imal edilen test kuponunun yer değiştirmesinin 22,76 mm olduğu görülmüştür (Şekil 6.27).



Şekil 6.27. Çift taraf braket 22 mm kompozit, T tipi bağlantılı kopma kuvveti uygulanması sonucu yer değiştirme analizi.

Tek taraf birleştirme yöntemi ile T bağlantı tipinde 22 mm kalınlığındaki kompozit panellerle oluşturulan test kuponunun kopma değeri 6,11 kN'dur. Bu değer sonlu elemanlar programında modellenen test kuponu üzerine uygulandığında ekstrüzyon birleştirme yöntemi ile imal edilen test kuponunun yer değiştirmesinin 63,55 mm olduğu görülmüştür (Şekil 6.28).



Şekil 6.28. Tek taraf braket 22 mm kompozit, T tipi bağlantılı kopma kuvveti uygulanması sonucu yer değiştirme analizi.

6.5. BİRLEŞTİRME YÖNTEMLERİNİN OPTİMİZASYONU

Uçak içi kabin ünitelerinin tasarım ve bağlantı tipinin modellenmesi ve bu değişkenlerin birlikte incelenerek optimum parametrelerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda deney ve analizlere bağlı teknik değişkenler, maliyet ve ağırlık parametreleri çok kriterli karar verme metodu ve yanıt yüzey metodu ile analiz edilmiştir.

6.5.1. Çok Kriterli Karar Verme Metodu

Mevcut çalışmada, çok kriterli karar verme yöntemlerinden TOPSIS metodu tercih edilmiştir. Analizlerde dikkate alınan giriş ve çıkış parametreleri Çizelge 6.1’de verilmiştir. Bağlantı tipi, panel kalınlığı ve birleştirme yöntemi optimizasyon için belirlenen giriş parametreleridir. Çıkış parametreleri ise kopma kuvveti, yer değiştirme, maliyet ve ağırlık olarak belirlenmiştir.

Çizelge 6.3. Giriş ve çıkış parametreleri.

| Bağlantı Tipi | Panel Kalınlığı (mm) | Birleştirme Yöntemi | Kopma Kuvveti (N) | Yer Değiştirme (mm) | Maliyet (\$) | Ağırlık (gr) |
|---------------|----------------------|---------------------|-------------------|---------------------|--------------|--------------|
| L | 10 | TM | 2950 | 62,89 | 88,08 | 489 |
| L | 10 | B | 3966 | 85,1 | 102,26 | 735 |
| L | 10 | E | 3100 | 124,8 | 78,04 | 644 |
| L | 22 | TM | 5400 | 39,21 | 96,24 | 656 |
| L | 22 | B | 5416 | 18,63 | 110,42 | 901 |
| L | 22 | E | 6100 | 26,8 | 86,2 | 904 |
| | | | | | | |
| T | 10 | TM | 3850 | 42,78 | 99,54 | 499 |
| T | 10 | ÇB | 5600 | 4,289 | 134,62 | 971 |
| T | 10 | TB | 4466 | 27,98 | 109,37 | 719 |
| T | 22 | TM | 9483 | 18,44 | 107,7 | 633 |
| T | 22 | ÇB | 10933 | 2,081 | 142,78 | 1171 |
| T | 22 | TB | 6116 | 10,39 | 117,53 | 908 |

L ve T bağlantı tipleri farklı uygulamalarda kullanılması sebebiyle analizler her iki bağlantı tipi için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. TOPSIS metodu pozitif ideal çözüm noktasına en yakın, negatif ideal çözüm noktasına en uzak noktanın belirlenmesi prensibine göre oluşturulmuş bir algoritmadır [31]. Analiz edilecek alternatif değişkenler belirli kriterler doğrultusunda maksimum ve minimum değerleri arasında karşılaştırılır [32]. Gerçekleştirilen TOPSIS analizinde karar parametreleri için ağırlık katsayısının belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında her bir çıkış parametresi için ağırlık oranı %25 (0,25) olarak belirlenmiştir. Uçak içi kabin ünitelerinin tasarım ve montaj uygulamalarında kopma dayanımı, yük altında yer değiştirme miktarı, maliyeti ve ağırlığı aynı derecede öneme sahiptir. Analizlerde kopma dayanımı maksimizasyonu, yer değiştirme, maliyet ve ağırlık minimizasyonu hedef fonksiyon olarak belirlenmiş ve optimizasyon problemi modellenmiştir. L tipi bağlantı için gerçekleştirilen TOPSIS analizi sonucunda elde edilen veriler Çizelge 6. 2’de verilmiştir.

Çizelge 6.4. L tipi bağlantı TOPSIS sonuçları.

| Bağlantı Tipi | Panel Kalınlığı (mm) | Birleştirme Yöntemi | Si+ | Si- | Top | Pi | Sıralama |
|---------------|----------------------|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| L | 10 | TM | 0,0952168 | 0,1097723 | 0,2049891 | 0,535503 | 4 |
| L | 10 | B | 0,1159573 | 0,0669145 | 0,1828718 | 0,3659094 | 5 |
| L | 10 | E | 0,1696471 | 0,0504126 | 0,2200597 | 0,2290861 | 6 |
| L | 22 | TM | 0,045411 | 0,1410525 | 0,1864634 | 0,7564617 | 1 |
| L | 22 | B | 0,0686892 | 0,164051 | 0,2327402 | 0,7048676 | 3 |
| L | 22 | E | 0,0594035 | 0,1609446 | 0,2203482 | 0,7304106 | 2 |

TOPSIS çok kriterli karar verme yöntemine göre L tipi bağlantı için 22 mm kalınlık ve TM birleştirme yöntemi en ideal çözüm olarak belirlenmiştir. 2. derecede 22 mm kalınlık ile E birleştirme yöntemi, 3. derecede ise 22 mm kalınlık ile B birleştirme yöntemi bulunmuştur. Birleştirme yöntemleri dikkate alındığında TM en ideal sonucu vermiştir. T tipi panel türü için gerçekleştirilen TOPSIS analizi sonucu elde edilen veriler Çizelge 6.3'te verilmiştir.

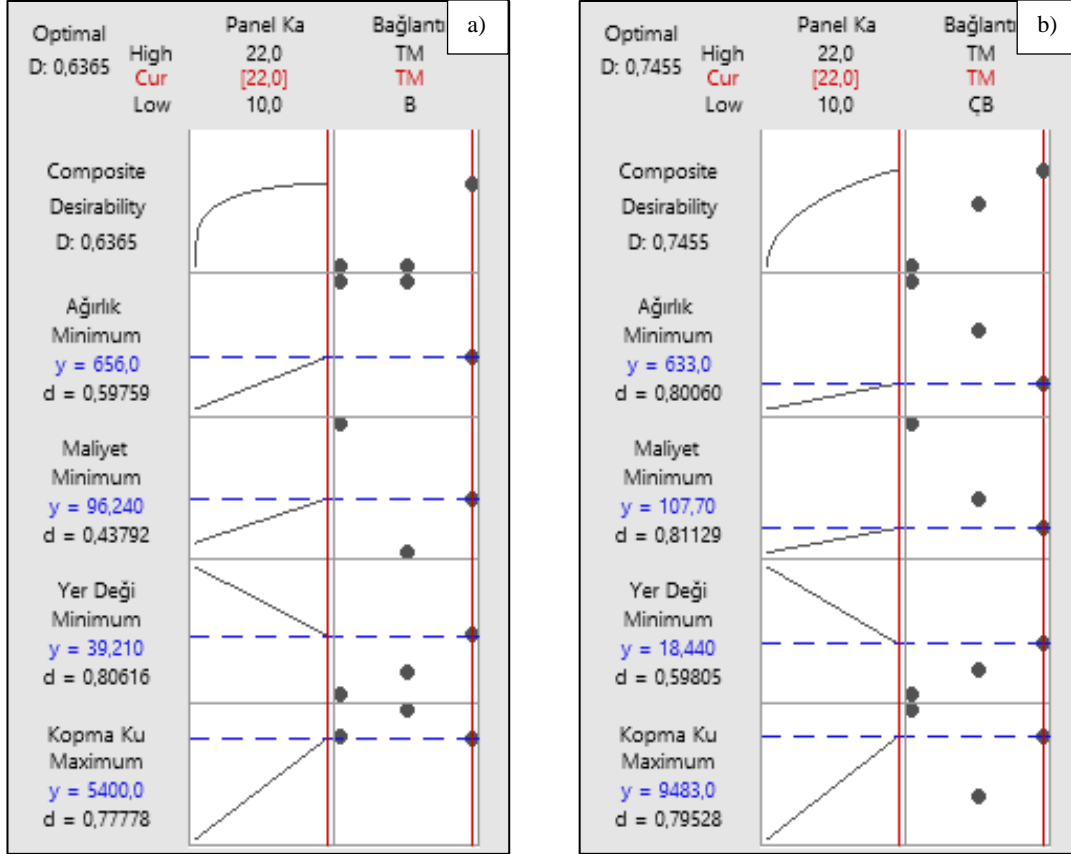
Çizelge 6.5. T tipi bağlantı TOPSIS sonuçları.

| Bağlantı Tipi | Panel Kalınlığı (mm) | Birleştirme Yöntemi | Si+ | Si- | Top | Pi | Sıralama |
|---------------|----------------------|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| T | 10 | TM | 0,2087814 | 0,0889826 | 0,297764 | 0,2988359 | 6 |
| T | 10 | ÇB | 0,099543 | 0,1768291 | 0,2763721 | 0,6398225 | 3 |
| T | 10 | TB | 0,1507285 | 0,0910733 | 0,2418018 | 0,3766445 | 4 |
| T | 22 | TM | 0,0784411 | 0,1531077 | 0,2315488 | 0,661233 | 2 |
| T | 22 | ÇB | 0,0889826 | 0,2087814 | 0,297764 | 0,7011641 | 1 |
| T | 22 | TB | 0,0932574 | 0,1541333 | 0,2473907 | 0,623036 | 5 |

TOPSIS çok kriterli karar verme yöntemine göre T tipi bağlantı için 22 mm kalınlık ve ÇB birleştirme yöntemi en ideal çözüm olarak belirlenmiştir. T tipi panel için 2. derecede ideal olan çözüm 22 mm kalınlık ve TM birleştirme yöntemidir. 3. derecede ise 10 mm kalınlık ve ÇB birleştirme yöntemi bulunmuştur.

6.5.2. Yanıt Yüzey Metodu

Yanıt yüzey metoduna göre elde edilen optimizasyon sonuçları Şekil 6.29'da verilmiştir.



Şekil 6.29. Yanıt Yüzey Metoduna göre optimizasyon sonuçları; a) L tipi bağlantı için sonuçlar, b) T tipi bağlantı için sonuçlar.

Elde edilen sonuçlara göre her iki bağlantı tipi için optimum panel kalınlığı 22 mm, birleştirme yöntemi ise TM olarak bulunmuştur. L tipi bağlantı için belirlenen optimum parametrenin seçimi sonucunda meydana gelen kopma kuvveti 5400 N, yer değiştirme miktarı 39,210 mm, maliyet 96,240 \$, ağırlık ise 656 gr olarak bulunmuştur. T tipi bağlantı için ise belirlenen optimum parametrenin seçimi sonucunda ise meydana gelen kopma kuvveti 9483 N, yer değiştirme miktarı 18,44 mm, maliyet 107,70 \$, ağırlık 633 gr olarak bulunmuştur.

Mevcut çalışma kapsamında gerçekleştirilen iki optimizasyon yönteminde de L ve T tipi bağlantılar için kopma dayanımı, yer değiştirme miktarı, maliyet ve ağırlık parametreleri göz önüne alındığında optimum kalınlık değeri 22 mm olarak bulunmuştur. Her iki optimizasyon yöntemi sonucunda L tipi bağlantı için optimum birleştirme yöntemi TM olarak bulunmuştur. T tipi bağlantı için YYM sonucunda optimum birleştirme yöntemi TM iken, TOPSIS sonucunda en iyi birleştirme yöntemi ÇB olarak bulunmuştur. TM birleştirme yöntemi TOPSIS analizinde ikinci en iyi sonucu vermiştir. Bu durum kabul edilebilir seviyededir.

6.6. BİRLEŞTİRME DAYANIMI, HASARLARI VE İYİLEŞTİRMELERİ İÇİN ÖNERİLER

Yapılan deneysel testlerin sonuçları incelenmiş ve birleştirme yöntemlerinin daha çok dayanıma sahip olması için tespitler yapılmıştır.

6.6.1. Tenon Mortise Birleştirme İyileştirmesi

Alt bölüm 4.1 de ve 4.4 de bahsedilen hasarların engellenebilmesi için çözümler geliştirilmiştir. Tenon mortise birleştirme şeklinin uygulandığı hem L bağlantı hemde T bağlantı testlerinin tümünde kuponun kopması tenon ve mortise birleştiren yapıştırıcıdan ayrıldığı tespit edilmiştir (Şekil 4.2). Bu ayrılma esnasında tenon ve mortiselar zarar görmemiştir. Bu çıktılar neticesine tenon ve mortise birleştirme yönteminde kullanılan yapıştırma yüzeyi artırılabilir ayrıca açılan tenon ve mortiselardan dik olarak kompozit panelin dış tabakası kalması şartıyla iç kanallar oluşturulup yapıştırıcıya gelen yük panele dağıtılabilir. Tenon ve mortise adım ve ölçülerinin değiştirilerek tekrar incelenmesi tavsiye edilebilir. Bu noktada kullanılacak yapıştırıcı miktarının havacılık sektörü için en önemli konulardan biri olan ağırlık konusundaki oluşturacağı değişim göz önünde bulunmalıdır.

6.6.2. Braket Birleştirme İyileştirmesi

Alt bölüm 4.2, 4.5 ve 4.6'da bahsedilen hasarların engellenebilmesi için çözümler geliştirilmiştir. Braket birleştirme şeklinin yapılan hem L bağlantı hemde T bağlantı

testlerinin tümünde kuponun kopması kompozit panele açılan özel deliklerden yapıştırılan insertlerin kompozit panelden ayrılması sonucu olmuştur (Şekil 4.5). Bu ayrılma esnasında insertler, montajda kullanılan braketler defarmosyana uğramamıştır. Bu çıktılar neticesine braket birleştirme yönteminde insertleri panele yerleştirmek için kullanılan yapıştırma yüzeyi artılabilir. Ayrıca açılan insert deliklerine dik olarak kompozit panelin dış zarı kalması şartıyla iç kanallar oluşturulup yapıştırıcıya gelen yük panele dağıtılabilir.

6.6.3. Extrusion Birleştirme İyileştirmesi

Alt bölüm 4.3'de bahsedilen hasarların engellenebilmesi için çözümler geliştirilmiştir. Ekstrüzyon birleştirme şeklinin yapılan L bağlantı testlerinin tümünde kuponun kopması birleştirmeyi oluşturan ekstrüzyonun zemine sabitlenen kompozit panelin altında kalan ekstrüzyon kenarının defarmosyana uğraması sonucu olmuştur (Şekil 4.7). Bu ayrılma esnasında kompozit panel defarmosyana uğramamıştır. Bu çıktılar neticesine ekstrüzyon birleştirme yönteminde kullanılan ekstrüzyon et kalınlığı değiştirilerek daha mukavim birleşmeler yapılabilir.

BÖLÜM 7

SONUÇLAR

Bu çalışmada havacılık sektöründe uçak içi kabin sistemleri yapısal elamanı olan bal peteği kompozit panellerinden farklı birleştirme yöntemleri kullanılarak oluşturulmuş test kuponları, kurulan test düzeneği neticesinde çekme testine tabi tutulup bu birleştirme yöntemlerinin çekme testine karşı dayanımları gözlenmiştir. Ayrıca bu birleştirme yöntemleri için test edilecek kuponların imalat süreci dikkate alınarak zaman, ağırlık ve maliyet açısından süreç analizi yapılmıştır. Tüm bunlar L ve T tipi olmak üzere iki bağlantı tipi altında 10 mm ve 22 mm kompozit panel kalınlıkları kullanılarak farklı birleştirme şekilleri varyasyonları üzerinde incelenmiştir. L tipi bağlantıda tenon mortise, braket ve ekstrüzyon birleştirme şekilleri incelenirken T tipi bağlantı da tenon mortise, çift taraflı braket ve tek taraflı braket birleştirme şekilleri incelenmiştir.

- Yapılan testler neticesinde L tipi bağlantı ile 10 mm kompozit panel kullanılarak imal edilmiş test kuponlarına uygulanan çekme testine en yüksek dayanımı braket birleştirme yöntemi göstermiş olup, ekstrüzyon birleştirme şekli en yüksek dayanımlı birleştirme şekline göre %21,8, tenon mortise birleştirme şekli ise %25,6 daha az dayanım göstermiştir.
- L tipi bağlantı ile 22 mm kompozit panel kullanılarak imal edilmiş test kuponlarına uygulanan çekme testine en yüksek dayanımı ekstrüzyon birleştirme şekli göstermiş olup, braket birleştirme şekli ve tenon mortise birleştirme şekli en yüksek dayanımlı birleştirme şekline göre %11,2 daha az dayanım göstermiştir.
- L tipi için test edilen kuponların imalat süreçlerinde harcanan adam saat ve kullanılan malzeme açısından maliyetleri hesaplanarak yapılan süreç analizi neticesinde maliyeti en düşük olan ekstrüzyon birleştirme yöntemi olduğu

tespit edilmiştir. Tenon mortise birleştirme yönteminin maliyeti en uygun maliyetli birleştirme yöntemine göre %12,9, braket birleştirme yöntemi ise %30,7 daha fazladır.

- L tipi için hazırlanan test kuponları imalat süreleri incelendiğinde en az sürede imal edilenin ekstrüzyon birleştirme yöntemi olduğu tespit edilmiştir. Tenon mortise birleştirme yöntemi ve braket birleştirme yöntemlerinin en az sürede imal edilen birleştirme yöntemine göre %29,4 daha fazla süre harcadığı tespit edilmiştir.
- T tipi bağlantı ile 22 mm kompozit panel kullanılarak imal edilmiş test kuponlarına uygulanan çekme testine en yüksek dayanımı çift taraflı braket birleştirme şekli göstermiştir. Tenon mortise birleştirme şekli en yüksek dayanımlı birleştirme şekline göre %9,9, tek taraflı braket birleştirme şekli ise %44,0 daha az dayanım göstermiştir.
- T tipi bağlantı ile 10 mm kompozit panel kullanılarak imal edilmiş test kuponlarına uygulanan çekme testine en yüksek dayanımı çift taraflı braket birleştirme şekli göstermiştir. Tek taraflı braket birleştirme şekli en yüksek dayanımlı birleştirme şekline göre %20,2, tenon mortise birleştirme şekli ise %31,2 daha az dayanım göstermiştir.
- T tipi için test edilen kuponların imalat süreçlerinde harcanan adam saat ve kullanılan malzeme açısından maliyetleri hesaplanarak yapılan süreç analizi neticesinde maliyeti en düşük olan tenon mortise birleştirme yöntemi olduğu tespit edilmiştir. Tek taraflı braket birleştirme yönteminin en uygun maliyetli birleştirme yöntemine göre %9,9, çift taraflı braket birleştirme yöntemi ise %35,2 daha fazladır.
- T tipi için hazırlanan test kuponları imalat süreleri incelendiğinde en az sürede imal edilenin tek taraflı braket birleştirme yöntemi olduğu tespit edilmiştir. Tenon mortise birleştirme yöntemi en az sürede imal edilen birleştirme yöntemine göre %15, çift taraflı birleştirme yöntemi ise %20 daha fazla süre harcadığı tespit edilmiştir.

- Yapılan yer değiştirme analizleri neticesinde en az yer değiştirme reaksiyonu gösteren birleştirme yöntemi tenon mortise birleştirme yöntemi olmuştur. Braket birleştirme yöntemi en az yer değiştirme reaksiyonu gösteren birleştirme yöntemine göre %35,3, ekstrüzyon birleştirme yöntemi ise %98,5 daha fazla yer değiştirme reaksiyonu göstermiştir.
- Bu alışma kapsamında gerçekleştirilen iki optimizasyon yönteminde de L ve T tipi bağlantılar için kopma dayanımı, yer değiştirme miktarı, maliyet ve ağırlık parametreleri göz önüne alındığında optimum kalınlık değeri 22 mm olarak bulunmuştur. Her iki optimizasyon yöntemi sonucunda L tipi bağlantı için optimum birleştirme yöntemi TM olarak bulunmuştur. T tipi bağlantı için YYM sonucunda optimum birleştirme yöntemi TM iken, TOPSIS sonucunda en iyi birleştirme yöntemi B olarak bulunmuştur.

Bu yapılan çalışmada farklı birleştirme yöntemleri kullanılarak hazırlanan test kuponları sadece çekme testine tabi tutulmuştur. Kesme ve bükmeye maruz kalacak şekilde farklı testlere tutularak çıkacak sonuçlar gözlemlenebilir. Birleştirme yöntemlerinden biri olan tenon mortise birleştirme yöntemi için; tenon ve mortise ölçüleri değiştirilerek yeni testler yapılarak bu birleştirme şeklinin en iyi varyasyonu için gerekli ölçüler tespit edilebilir. Braket birleştirme yöntemi için insertlerin kompozit panellere yapışma yüzeylerinin kompozit panel içine açılan kanal ya da başka metodlar denenerek iyileştirilmesi hususunda çalışmalar yapılabilir. Ekstrüzyon birleştirme şekli için kullanılan alüminyum ekstrüzyonların kalınlıkları değiştirilerek testlere tabi tutulabilir. Kullanılan zel yapıştırıcı değiştirilerek tüm bu birleştirme şekilleri yeniden test edilebilir.

KAYNAKLAR

1. Harding, J., “Flying’s Strangest Moments: Extraordinary But True Stories from Over 1100 Years of Aviation History” **Robson: Anova Books**, London, 5-6, (2006).
2. Milliyet İlkler Ansiklopedisi, “I-Dünyayı Değiştiren Buluşlar”, **Milliyet Kültür ve Sanat**, İstanbul, 46-50 (1985)
3. Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü, “Havayolu Taşımacılığı ve Ekonomik Düzenlemeler Teori ve Türkiye Uygulaması” **Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü Yayınları**, 10-16, (2015)
4. Aktaş, H., “Dünya Havacılık Kronolojisi” **TMMOB Makina Mühendisleri Odası Bursa Şubesi Haber Bülteni**, 7-11, (2012).
5. Authenticated U.S Government Agency “Federal Information Administration, DOT” **AUA**, 208-210 (1992)
6. İnternet: U.S. Department of Transportation “Federal Aviation Administration” https://lessonslearned.faa.gov/ll_main.cfm?TabID=3&LLID=70&LLTypeID=2 (2020).
7. Livingston, B. A. and Marino, A. P., “Quality Assurance Standart for Digital Product Definition at Boeing Suppliers” **Supplier Quality, 66-C6-1E3T** Document number: D6-51991 Revision: L (2016)
8. Jonas, P., “Flight Catering 2nd ed” ISBN: 13 978-0-7506-6216-6, Newyork, 244-259 (2004)
9. Milli Eğitim Bakanlığı “Yiyecek İçecek Hizmetleri/Uçakta Servis” **MEB**, Ankara, 11-16, 2007
10. TCI (Turkish Cabin Interiors Inc), June 13, **Introducing TCI**, 3-8, (2014)
11. İnternet: Yokohama Aerospace America Inc. “Lavatory Modules” <http://www.yokohama-aero.com/products-solutions> (2019)
12. İnternet: DIEHL Aviation “Front Row Manument” https://www.diehl.com/cms/files/Front-Row-Monument_Online-2018.pdf (2018)

13. Şen, O., ve Yetmez, M., “Vibro-acoustic analysis of a post-impacted woven composite panel”, *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*, 51: 208-211 (2020)
14. Okkaloğlu, M., Pekbey, Y., ve Aktaş, A., “Yapıştırıcı ile Birleştirilmiş L Tipi Kompozit Köşe Bağlantılarda Çekme Dayanımının Arttırılması”, *Mühendis ve Makine*, 55 (649): 50-57 (2014)
15. Bekem, A., Ercan, H., Doğu, M., Ünal, A., “Uçak Sanayiinde Kullanılan Balpeteği Kompozitlerin Mekanik Davranışlarının İncelenmesi”, *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS’ 11)*, Elazığ, 475-480 (2011)
16. Arslan, N., ve Kaman, M, O ., “Aluminyum, Kağıt ve Cam Elyaf Petek Yapılı Kompozitlerin Üretim Teknikleri ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması”, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi ve Fen Fakültesi Dergisi*, İzmir, 113-123 (2002)
17. Aktaş, A., “Bir Taktik İnsansız Hava Aracı Kanadının Yapısal Davranışının Sayısal ve Deneysel Olarak İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 5-10 (2012).
18. Aslan, M., Güler O., ve Alver, Ü., “Farklı Yüzey ve Çekirdek Malzemelerine Sahip Sandviç Panel Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Denizli, 1060-1068 (2018)
19. Güner, O., “Sandviç Kompozit Panellerin Üretimi ve Karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 53-56 (2016)
20. Akkuş, H., Düzcükoğlu H., ve Şahin Ö., “Alüminyum Honeycomb yapılarda Darbe Kuvvetinin Optimizasyonu”, *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, Düzce, 65-71 (2015)
21. Şen, O., “Darbe Etkisi Altındaki Kompozit Plakaların Vibroakustik Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Zonguldak, 5-19 (2019)
22. Banae, M. D., and Silva, L. F. M., “Adhesively Bonded Joints in Composite Materials: an Overview”, *Instituto de Engenharia Mecânica (IDMEC)*, Porto, 2-16 (2008)
23. Fitton, M. D. and Broughton, J. G. “Variable modulus adhesives: an approach to optimised joint performance”, *Int. J. Adhesion Adhes*, Rutherford, 329–336 (2005)
24. Yang, S., Gu, L., and Gibson, R. F., “Nondestructive Detection of Weak Joints in Adhesively Bonded Composite Structures”, *Composite Structures*, Detroit, 63-71 (2001)

25. Smith, L. J. H., “Adhesively Bonded Joints for Fibrous Composite Structures”, *Recent Advances in Structural Joints and Repairs for Composite Materials*, London, 173-210 (2003)
26. Diler, E. A., “Pvc/Ctp Denizel Sandviç T-Bağlantıların Geometri-Performans İlişkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 49-66 (2006)
27. Doğan, T., “Failure Analysis in an Adhesively Bonded Single-Lap Composite Joint Under Various Loads”, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül University Graduate School of Natural and Applied Sciences*, İzmir, 21-64 (2015)
28. Bianchi , G., Aglietti, G. S., and Richardson, G., “Optimization of Bolted Joints Connecting Honeycomb Panels”, University of Southampton, *School of Engineering Sciences*, Guilford, 5-7 (2008)
29. Heimbs, S., and Pein, M., “Failure Behavior of Honeycomb Sandvic Corner Joints and Inserts”, *Composite Structures*, Munich, 575-588 (2009)
30. Nguyen, S. V., and Yeh, H. S., “Failure Analysis of Polymer Matrix Composite (PMC) Honeycomb Sandvic Joint Panels”, *Journal of Reinforced Plastic and Composites*, 23, 923-939 (2004)
31. Çetin M. H., Alvalı G T., “Yük Vagonu Bojisi Tasarımında Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ile Malzeme Seçimi”, *Journal of Engineering Sciences and Design*, 8 (1): 91-104 (2020)
32. Demireli, E., “TOPSIS Çok Kriterli Karar Verme Sistemi: Türkiye’deki Kamu Bankaları Üzerine Bir Uygulama”, *Girişimcilik ve Kalkınma Dergisi*, 5 (1): (2010)

ÖZGEÇMİŞ

Aslan Kahraman ERHAL 1992 yılında doğdu. Lise eğitimini Safranbolu Anadolu Lisesinde tamamladı. 2016 yılında Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünden mezun olarak lisans eğitimini tamamladı. Mezuniyetinin ardından Güven Çelik firmasında tasarım mühendisi olarak profesyonel iş hayatına başladı. Daha sonra TCI firmasında yapısal tasarım mühendisi olarak çalıştı. Şuan GE Grid Solution şirketinde mekanik tasarım mühendisi olarak profesyonel çalışma hayatına devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Kavakpınar mah. Cemil meriç Caddesi.

No:43 D:11

Pendik / İSTANBUL

E-posta : kahramanerhal@hotmail.com