

**KEVLAR/KARBON ELYAF TAKVİYELİ
LAMİNA KOMPOZİTLERDE TERMAL ŞEKİL
DEĞİŞTİRME DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

Ersin TAŞKIN

**Yüksek Lisans Tezi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Yrd. Doç. Dr. Sait Özmen ERUSLU
2015**

T.C.

NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KEVLAR/KARBON ELYAF TAKVİYELİ LAMİNA KOMPOZİTLERDE
TERMAL ŞEKİL DEĞİŞTİRME DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

Ersin TAŞKIN

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: Yrd. Doç. Dr. Sait Özmen ERUSLU

TEKİRDAĞ-2015

Her hakkı saklıdır

Yrd. Doç. Dr. Sait Özmen ERUSLU danışmanlığında, Ersin TAŞKIN tarafından hazırlanan“Kevlar/Karbon Elyaf Takviyeli Lamina Kompozitlerde Termal Şekil Değişirme Davranışının İncelenmesi” isimli bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından. Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak oybirliği ile kabul edilmiştir.

Juri Başkanı: Yrd. Doç. Dr. S.Özmen ERUSLU

İmza :

Üye: Prof. Dr. Serdar Osman YILMAZ

İmza :

Üye: Prof. Dr. Metin AYDOĞDU

İmza :

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Prof. Dr. Fatih KONUKCU

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KEVLAR/KARBON ELYAF TAKVİYELİ LAMİNA KOMPOZİTLERDE TERMAL ŞEKİL DEĞİŞTİRME DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Ersin TAŞKIN

Namık Kemal Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Sait Özmen ERUSLU

Çalışmamızda dokuma karbon, Ncf karbon, dokuma kevlar tekstil esaslı epoksi kompozitlerin termal yükler altında burkulma davranışı deneysel ve nümerik olarak ortaya konulmuştur. Ortotropik doğrultularda alınan numunelerde termal burkulma davranışı incelenmiş laminalarda oluşan şekil değiştirme ve gerilmeler bulunmuştur. Açılı katmanlı dokuma numunelerde termal burkulma sıcaklığında oluşan gerilmeler düşük, şekil değiştirmeler yüksek bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar numune termal burkulma sıcaklıkları ve termal burkulma yüklerinin numune oryantasyonundan, malzeme rijitliklerinden, numune kalınlığından ve termal çevrimden etkilendikleri göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Termal burkulma, Dokuma kompozitler, Termal Gerilmeler, Mod Şekilleri, Termal Çevrim

2015 , 37 sayfa

ABSTRACT

MSc. Thesis

THERMAL EXPANSION BEHAVIOUR OF KEVLAR/CARBON FIBER REINFORCED LAMINATED PLATES

Ersin TAŞKIN

Namık Kemal University

Institute Of Science

Department Of Mechanical Engineering

Supervisor: Yrd. Doç. Dr. Sait Özmen ERUSLU

In our work Carbon woven fabric, Ncf Fabric ve Kevlar woven fabric epoxy composites thermal buckling behavior were investigated experimentally and numerically. Thermal buckling behavior of specimens at orthotropic directions were studied and laminates displacements and stresses were found for thermal buckling temperature. The stresses at angle ply woven fabric specimens are found lower where as strains are higher at the thermal buckling temperature. The results were indicate that the thermal buckling temperature and thermal buckling loads are effected from orientation angle, materials rigidity, specimens thickness and thermal cycling.

Keywords : Thermal Buckling, Woven Fabric Composites, Thermal Stresses, Mode Shapes, Thermal Cycling,

2015 , 37 pages

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
TABLOLAR DİZİNİ	vi
KISALTMALAR	vii
ÖNSÖZ	viii
1 GİRİŞ	1
2 KURUMSAL TEMELLER VE LİTERATÜR ÖZETİ	4
2.1 Kompozitlerde Termal Analiz Uygulamaları	6
2.2 Çalışmanın kapsamı	7
3 KOMPOZİT MALZEME ÜRETİM ÜNİTESİ VE EKİPMANLARI	8
3.1 Termoset Vinlester Reçine	9
3.2 Hızlandırıcı (Katalizör)	9
3.3 Sertleştirici.....	9
3.4 Kalıp Ayrıcı	9
3.5 Karbon Elyaf Dokuma Kumaş.....	10
3.6 Karbon iki Eksenli (Stitch-bonding)Dikerek Bağlanmış Kumaş	10
3.7 Kevlar Elyaf Dokuma Kumaş.....	11
3.8 Vakum Pompası	12
4 MATERYAL METOD	13
4.1 Deneysel Çalışma Öncesi	13
4.2 Deneysel Çalışma.....	13
4.3 Kompozit Malzeme Üretimi	13
4.4 Mekanik Karakterizasyon.....	15
4.4.1 Çekme Testi	15
4.4.2 Eğilme Testi.....	17
4.4.3 Termal Burkulma Testi.....	18
4.5 Kompozit Numunelerin Termal Uzama Katsayılarının Teorik Olarak Belirlenmesi	19
4.6 Kompozit Numunelerin Termal Analizi.....	20
4.7 Termal Çevrimin Burkulma ve Kompozit Malzeme Üzerine Etkisinin İncelenmesi	27
5 SONUÇ VE ÖNERİLER	30

KAYNAKLAR	32
ÖZGEÇMİŞ	37

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3 1 Kompozit Malzeme Üretim Ünitesi Ekipmanları	8
Şekil 3 2 Vakum İnfüzyon Yöntemiyle Kompozit Üretimi	9
Şekil 3 3 Karbon Elyaf Dokuma Kumaş.....	10
Şekil 3 4 İki Eksenli (+45/-45) Karbon Elyaf Kıvrımsız Tekstil Destek Ürünü	10
Şekil 4 1 Vakum İnfüzyon Yöntemiyle Kompozit Üretimi.....	14
Şekil 4 2 Eğilme Testi Uygulanışı	17
Şekil 4 3 Termal Burkulma Test Kabini Ve Kompozit Numunesi Görüntüleri.....	18
Şekil 4 4 Termal Burkulma Test Kabini Ve Kompozit Numunesi Görüntüleri.....	19
Şekil 4 5 Termal Burkulma Test Kabini Ve Kompozit Numunesi Görüntüleri.....	19
Şekil 4 6 Termal Burkulma Testi Sonlu Elemanlar Modeli.....	21
Şekil 4 7 Tek Katmanlı Dokuma Karbon/ Vinlester Kompozitte Termal Burkulma Mod Şekli (Mod1)	23
Şekil 4 8 Tek Kat. Dokuma Karbon/ Vinlester Kompozitte Termal Burkulma Davranışı Mod Şekli (Mod1).....	24
Şekil 4 9 Tek Katmanlı Dokuma Karbon/ Vinlester Kompozitte Termal Burkulma Mod Şekli (Mod2)	24
Şekil 4 10 Tek Katmanlı Dokuma Karbon/ Vinlester Kompozitte Termal Burkulma Mod Şekli (Mod2) (45/-45) Numunelerde	24
Şekil 4 11 Tek Katmanlı Dokuma Karbon/ Vinlester Kompozitte Termal Burkulma Testi Mod Görüntüsü(Mod2)	25
Şekil 4 12 İki Katmanlı Dokuma Karbon/ Vinlester Kompozitte Termal Burkulma Mod Şekli (Mod1)	25
Şekil 4 13 İki Katmanlı Dokuma Karbon/ Vinlester Kompozitte Termal Gerilmeler.....	25
Şekil 4 14 İki Katmanlı Dokuma Kevlar/Karbon Takviyeli Vinlester Kompozitte Termal Burkulma Mod Şekli (Mod1).....	26
Şekil 4 15 İki Katmanlı Dokuma Kevlar /Karbon Takviyeli Vinlester Kompozitte Termal Burkulma Mod Şekli (Mod1).....	26
Şekil 4 16 İki Katmanlı Dokuma Kevlar /Karbon Takviyeli Vinlester Kompozitte Termal Gerilme.....	26
Şekil 4 17 Tüm Kompozitlerin Düzleme Göre Açısal Yanal Kesit Deformasyon Şekilleri....	27
Şekil 4 18 Deneylerde Uygulanan Termal Çevrim.....	27
Şekil 4 19 Termal Çevrim Sonucu Kompozitte Oluşan Delaminasyon	28
Şekil 4 20 Burkulmuş Kompozit Numunelerin Optik Mikroskopta Kesit Görüntüleri.....	29

TABLolar DİZİNİ

Tablo 3 1 Polives 702 Reçine Özellikleri.....	9
Tablo 3 2 Dokuma Karbon Elyaf Kumaş Malzemesinin Mekanik Özellikleri	10
Tablo 3 3 Kıvrımsız Destekli Karbon Elyaf Malzemesinin Mekanik Özellikleri	11
Tablo 3 4 Kevlar (Aramid) Dokuma Kumaş Ve Özellikleri	11
Tablo 3 5 Çalışmada Kullanılan Kumaşların Özellikleri	12
Tablo 4 1 Karbon Dokuma Takviyeli Kompozit Numuneler İçin Mekanik Özellikler	15
Tablo 4 2 Kevlar(A)/Karbon(K) Dokuma Takviyeli Kompozit Numuneler İçin Mekanik Özellikler	16
Tablo 4 3 Ncf (+45/-45) Karbon Takviyeli Kompozit Numuneler İçin Mekanik Özellikler ..	16
Tablo 4 4 Ncf (+45/-45) Karbon / Dokuma Takviyeli Kompozit Numuneler İçin Mekanik Özellikler	17
Tablo 4 5 Karbon-Keçe-Kevlar Eğilme Test Sonuçları.....	17
Tablo 4 6 Karbon-Keçe-Karbon Eğilme Test Sonuçları.....	18
Tablo 4 7 Karbon Elyaf Ve Kevlar Elyaf Dokuma Kumaşların Termal Uzama Katsayıları ...	20
Tablo 4 8 Kıvrımsız Destekli Karbon Elyaf Kumaşların Uzunlamasına Ve Enine Yöndeki Termal Uzama Katsayıları	20
Tablo 4 9 Vinlester Termoset Reçine Termal Uzama Katsayısı	20
Tablo 4 10 Üretilen Kompozit Malzemelerin Hesaplanan Termal Uzama Katsayıları	21
Tablo 4 11 (0°/90°) Yönlerden Alınmış Numunelerde Termal Burkulma Test Sonuçları	22
Tablo 4 12 (45°/-45°) Yönlerden Alınmış Numunelerde Termal Burkulma Test Sonuçları	22
Tablo 4 13 Burkulma Sıcaklığında Termal Gerilmeler Ve Şekil Değişiklikleri	23
Tablo 4 14 Termal Çevrim Sonrası Termal Burkulma Sıcaklıklarının Değişimi	28

KISALTMALAR

α	Isıl Gengelme Kat Sayısı
α_m	Matris Isıl Genleşme Katsayısı
α_c	Kompozit Isıl Genleşme Katsayısı
α_f	Elyaf Isıl Genleşme Katsayısı
v_f	Elyaf Hacim Oranı
v_m	Matris Hacim Oranı
K	Tek Kat Dokuma Karbon Kumaş
KK	İki Kat Dokuma Karbon Kumaş
A	Tek Kat Dokuma Kevlar Kumaş
AA	İki Kat Dokuma Kevlar Kumaş
AK	Tek Kat Dokuma Kevlar Kumaş + Tek Kat Dokuma Karbon Kumaş
N	Kıvrımsız Karbon Kumaş
NK	Kıvrımsız Karbon Kumaş + Tek Kat Dokuma Karbon Kumaş
S _x	X Yönünde Normal Gerilme
S _y	Y Yönünde Normal Gerilme
U _x	X Yönünde Şekil Değişirme
U _y	Y Yönünde Şekil Değişirme
MD	Makine İşleme Yönü
CD	Makine İşleme Yönüne Dik Yön
BD	Elyaf Yönü
K-1	0° Ve 90° Yönlerinden Alınan Numune
K-2	45° Ve -45° Yönlerinden Alınan Numune

ÖNSÖZ

Çalışmamı hazırlamamda desteklerini esirgemediği için Yrd. Doc. Dr. S.Özmen ERUSLU hocama ve Poliya A.Ş Arge Müdürü Sayın Şaban ATEŞ'e desteklerinden dolayı ayrıca eğitim hayatım boyunca sürekli yanımda olan anneme ve kardeşime teşekkür ederim.

Şubat, 2015

Ersin TAŞKIN

1 GİRİŞ

Elyaf takviyeli kompozit malzemeler pek çok mühendislik uygulamasında yapı elemanı olarak kullanılmaktadır. Bunun sebebi kompozit malzemelerin yüksek özgül dayanımlı, yüksek özgül modüllü, iyi sönüm özellikli ve yüksek yorulma dayanımlı olmalarıdır. Mühendislik uygulamalarında kullanılan malzemeler yüksek sıcaklık ve gerilmeye maruz kalırlar. Bu tip uygulamalarda kullanılacak malzemelerin ortam şartlarında performanslı çalışmaları stabilitelerini korumaları gerekmektedir. Bu sebeplerden dolayı yüksek sıcaklık ve gerilme uygulamalarında kompozit malzemeler kullanılır. Kompozit malzemeler takviye ve matris olmak üzere iki ana kısımdan oluşur. Takviye elemanı olarak fiberler kompozitteki büyük hacim oranını kaplayan elemanlardır ve kompozit yapıya etki eden yüklerin büyük kısmını taşıma görevini üstlenmişlerdir(Yıldız H.vd.2004). Matris ise genelde elyafı dış faktörlerden koruyan, elyaflar arasında yük dağıtımını görevini üstlenir ve elyafları arzulanan konum ve doğrultuda tutan bağlayıcı özelliği olan bir yapıdır. Matris malzemesi olarak genellikle metal ve polimer esaslı malzemeler kullanılır. Elyaf katkılı kompozit malzemelerin özgül ağırlık, dayanım-ağırlık oranı ve modül-ağırlık oranı gibi mekanik özellikleri metal malzemelerden daha iyidir. Bu özelliklerinden dolayı elyaf katkılı kompozitler yapısal malzemelerin içinde önemli bir yere sahiptir. Takviye elemanları elyaf tipinin şekline ve boyutuna göre kısa elyaf (kırılmış demet), sürekli elyaf (çok uçlu fitil, dokuma, elyaf sarma) şeklinde üretilmekte kullanım alanına ve mekanik gereksinimlere göre çeşitlilik göstermektedir. En çok kullanılan fiber türleri cam fiberler, karbon fiberler, kevlar fiberler, polietilen fiberler, boron fiberler, seramik fiberler olarak sıralanmaktadır.

Cam elyaflar, teknolojiye kullanılan en eski elyaf tipleridir. Son yıllarda geliştirilmiş olan bor, karbon, silisyum karbür ve aramid elyaflar ise gelişmiş kompozit yapılarda kullanılan elyaf tipleridir. Elyafların ince çaplı olarak üretilmeleri ile büyük kütleli yapılara oranla yapısal hata olasılıkları en aza indirilmiştir. Bu nedenle üstün mekanik özellikler gösterirler. Ayrıca, elyafların yüksek performanslı mühendislik malzemeleri olmalarının nedenleri aşağıda verilen özelliklere de bağlıdır. 1. Üstün mikroyapısal özellikler, tane boyutlarının küçük oluşu ve küçük çapta üretilmeleri. 2. Boy/çap oranı arttıkça matris malzeme tarafından elyaflara iletilen yük miktarının artması. 3. Elastite modülünün çok yüksek olması (Vatangül E.2008).4- Düşük termal genişleme katsayısına, yüksek termal iletkenliğe sahip olmaları vb.

Tekstil kompozitleri genellikle polimerik esaslı matris malzemelerinin tekstil esaslı takviye elemanlarıyla birlikte oluşturdukları yapılara denilmektedir. Tekstil takviye elemanları iplik ve ipliklerden elde edilen ürünlerin oluşturduğu iç içe geçmiş yapılardan oluşmaktadır. Modern tekstil işleme teknolojilerinin gelişmesiyle yüksek kalitede çok amaçlı takviye elemanları elde edilebilmektedir. Tekstil kompozitlerinin konvansiyonel ürünlerle karşılaştırıldığında en önemli avantajı yapıda dengeli bir takviye oluşturması ve takviye elemanı olarak kolay ve ucuz elde edilebilir olmasıdır. Özellikle havacılık sanayinde kompozit yapıda laminalar arası gerilmeler önem arz etmektedir (Shivakumar, K. N.vd.1999). Tekstil kompozitleri süreksizlik göstermediklerinden özellikle örgülü tekstil kompozitlerinde laminalar arası ayrılma gözlenmez. Tekstil kompozitleri havacılık sanayinde, denizcilik sektöründe, savunma sanayiinde, otomotiv, konstrüksiyon ve enerji sektöründe geniş kullanım alanına sahiptir. Tekstil kompozitlerinde takviye elemanları örgülü, dokuma, dokuma olmayan olmak üzere çeşitli şekillerde üretilmektedir. Takviye ürünlerinde genellikle cam elyaf, karbon elyaf, polyester elyaf ve aramid elyaf kullanılmaktadır. Matris malzemesi olarak genellikle polimerik esaslı reçine, poliüretan köpük ve termoplastik malzemeler (Polipropilen, Polietilen) kullanılmaktadır. Üretim tekniği olarak yoğunluklu olarak rezin transfer yöntemi, rezin infüzyon yöntemi ve enjeksiyon kalıplama yöntemleri kullanılmaktadır.

Kıvrımsız tekstil destekli (NCF) kompozitler ipliklerin kalınlık boyunca yığın şeklinde lamina edilip birbirine dikilmesiyle üretilen takviye elemanlarından oluşmaktadır. NCF destekli kompozitler dokuma tekstil kompozitlere göre daha yüksek bası mukavemetine sahiptir (Bozkurt E. vd.2012). Karbon elyaftan ve kevlar iplikten üretilmiş NCF kompozitler yüksek sıcaklık, yüksek bası mukavemeti ve stabiliteye sahip olmaktadır. Karbon ve aramid malzemelerin üretim tekniklerinin gelişmesi ve yaygınlaşmasıyla birlikte tekstil kompozitlerinde kullanımı yaygınlaşmıştır. Karbon- Karbon ve Aramid-Aramid, Karbon-Aramid elyaf takviyeli kompozit yapılar yüksek sıcaklık (1500C⁰ sıcaklıklara kadar) dayanımları ve düşük özgül ağırlıkları sayesinde geniş kullanım alanı bulmaktadır.

Termal yük altında plaka, kabuk yapılı metal ve kompozit malzemelerin herhangi bir mekanik yük etkisi olmadığı halde anlık yüksek sıcaklık değişimlerinde burkuldukları bilinmektedir. Bu sebeple yüksek sıcaklık uygulamalarında metal esaslı basınçlı kaplardan kompozit ve nano malzemelere kadar termal burkulma üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Termal burkulma üzerine yapılmış mevcut çalışmalarda genellikle kompozitlerin makromekanik esasları dikkate alınmaktadır. Termal anlık değişim durumlarında oluşan yüksek basınç gerilmeleri yüksek bası dayanımına sahip olmayan Karbon ve Aramid elyaf

kompozitlerde hasarlara sebep olabilmektedir. Yürütülen deneysel çalışmalarda içyapının mekanik davranışının belirlenmesinde kullanılan tekniklerin artması (X-Ray Difraksiyon, DSC, Termogravimetri, Ramar spektroskopisi, vs.) hasar durumlarının belirlenmesini termal yükler altındaki kompozitlerin geliştirilmesini sağlamıştır. Günümüzde üretim tekniklerinin ve içyapıya mikro ve nano düzeyde müdahalenin artmasıyla farklı tekniklerle üretilen kompozit malzemeler bir araya getirilmiş hibrid yapıda birçok kompozit (Karbon-Aramid vb.) üretilmiştir. Nano fiber takviyeli hibrid kompozit ürünler üzerine çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır. Bu sebeple hibrid kompozit yapıların mekanik davranışını anlama ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Özellikle tekstil esaslı kompozitlerde hibrid yapılar yoğunlukla kullanılmaktadır.

2 KURUMSAL TEMELLER VE LİTERATÜR ÖZETİ

Kompozit malzemelerde termal şekil değiştirmeye ilgili ilk çalışmalar enerji prensiplerine bağlı olarak ortaya konulmuştur. 1970'lerde fiber takviyeli kompozitlerde termal uzama katsayıları belirlenmiştir. Schapery RA.(1968), İzotropik kompozitlerin termoelastik özelliklerini enerji ifadelerinden yola çıkarak çözmüştür. Charmis C.C. vd. (1968) Tek eksenli sürekli elyaf kompozitlerde termal uzama katsayılarının değişimini istatistiksel çalışmalarla ortaya koymuşlardır. Fiber takviyeli malzemelerde termal uzama katsayılarının belirlenmesiyle termal şekil değiştirmeye ilgili çalışmalar hız kazanmıştır. 80'lerin ortalarından itibaren temel termal özellikleri belirlenmiş olan kompozit malzemelerin termal yük ve mekanik yük etkisi altında yüksek deformasyon etkilerini hasar teorileri ile kombine eden çalışmalar başlamıştır. İnce cidarlı yapıların burkulmasıyla ilgili çalışmalar Euler'e kadar dayanmaktadır. Plaklarda termal burkulma ile ilgili çalışmalar Gossard ve arkadaşları tarafından 1950'lerde başlamıştır. Gossard ML. vd. (1952). 1980'lerin başlarında J.N Reddy ve arkadaşları lamina kompozit kabuk yapıların termoelastik davranışını ortaya koymuşlardır. Reddy J.N.vd.(1981). Kompozit plaklarda termal burkulma çalışmaları 90'larda artmıştır, yapılan çalışmalar genellikle yüksek deformasyon teorilerini kullanarak enine yöndeki kayma şekil değiştirme etkilerinin kritik burkulma parametresi ve burkulma mod şekline etkilerini içermektedir. Chang JS.(1990) Ankastre sınır şartları için sonlu elemanlar yöntemini kullanarak yüksek deformasyon teorileri ile termal burkulma sonuçları bulmuştur. Huang N.N.vd.(1991) Eğrisel ve düz plakalar için termal yükler altında oluşan yüksek deformasyonları Tsai-Wu hasar kriterine bağlı olarak ortaya koymuşlardır. Chen W.J.vd.(1991) Sonlu elemanlar yöntemini kullanarak uniform olmayan sıcaklık etkisi altındaki lamina kompozitlerdeki burkulma davranışını incelemişlerdir. Huang N.N.vd.(1992) Farklı sınır şartları için sonlu elemanlar yöntemi kullanarak lamina kompozitlerde termal burkulma analizi yapmışlardır. Aydoğdu M.(2007) Lamina kompozit kirişlerde kritik termal burkulma sıcaklıklarını ortotropik yönlerdeki termal uzama katsayılarının oranına bağlı olarak elde etmiş, bazı lamina kirişlerin soğuma sırasında bazılarının da ısınma durumunda burkulduklarını ortaya koymuştur.

2000'li yıllardan itibaren termal burkulma çalışmaları ağırlıklı olarak farklı tip kompozit malzemeler üzerinde yoğunlaşmıştır. Bazı çalışmalarda kompozit ve sandviç plakalarda malzeme özelliklerinin sıcaklığa bağlı olarak değişimi incelenmiş, viskoelastik ve higroskopik etkilerin termal burkulma sonuçlarına etkisi incelenmiştir. Babu C.S.vd. (2000)

Yüksek deformasyon teorileri kullanarak kompozit ve sandviç plakalardan üretilmiş malzemelerin termal burkulma davranışını incelemiştir.

Tekstil esaslı malzemelerin termal yük etkisi altındaki davranışı malzemenin geometrik özelliklerinden dolayı mikro mekanik yapıya bağlı olarak değişmektedir. Bu sebeple tekstil kompozitlerinde mikro mekanik yapıyı inceleme ihtiyacı doğmuştur. Tekstil kompozitlerinde mikromekanik temelli yaklaşımlar 70'lere dayanmaktadır. Potter K.D. (1970), Kompozit enjeksiyon ürünlerde kullanılan kompleks formlardaki tekstil ürünlerinin kayma şekil değiştirmesini incelemiştir. 80li yıllarda dokuma kompozitlerde iki boyutta termal uzama ve termal eğilme katsayıları mikro mekanik modellerle ortaya koyuldu. Ishikawa T.vd.(1983) Dokuma kompozitlerde termal uzama ve termal eğilme kat sayılarını bir boyutlu ve iki boyutlu mikro mekanik modellerle ortaya koydular. 80'lerin sonlarında tekstil üretim teknolojilerinin gelişimine paralel olarak dokuma kompozitlerde ilk mikro mekanik modeller Chou ve arkadaşları tarafından oluşturulmuştur. Chou T.vd.(1989) Tekstil dokuma kompozitlerde klasik plak teorisi baz alınarak mosaic modeli ortaya koymuşlardır. 90'lardan itibaren iki boyutlu ve kesitin yöne bağlı olarak değişmediğini kabul eden yaklaşımların konvansiyonel kompozitlerden farklı olarak tekstil kompozitlerinde gerçek sonuçları vermektense uzak olmasından dolayı üç boyutlu birim hücre modellerine dayanan mikro mekanik yaklaşımlar geliştirilmiştir. Naik ve arkadaşları dokuma kompozitlerin tekrarlı mesh yapısını iki boyutlu birim hücre modelleriyle ortaya koymuştur. Naik N.K.vd. (1992) Cox yaklaşımının devamı niteliğinde dokuma kompozitleri sıralı hücrelerden oluşan bir yapıda modelleyen bir yaklaşımı ortaya atmışlardır. Naik N.K.vd. (1993), Dokuma kompozitlerde tekrarlı yapıdaki kompozit yapıyı birim hücre modeliyle iki boyutlu olarak modelleyerek malzemenin termomekanik özelliklerini ortaya koydu.

Dokuma teknolojisinin gelişimine paralel olarak iki boyutlu tekstil ürünlerinin katman katman dikilmesiyle yeni nesil tekstil kompozitleri üretilmiştir. Bu ürünlerde üretim kolaylığının yanında yüksek katmanlar arası kayma mukavemetinin ve darbe direncinin olması aynı zamanda mekanik bağlantı elemanı olarak kullanılması avantajlı yanlarıdır. Tekstil esaslı kompozitlerin mekanik özelliklerinin araştırılması üzerine literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Bozkurt E. vd. (2007) NCF cam elyaf takviyeli epoksi/klay nano kompozitlerde mekanik ve termal davranışı incelemiştir. (Potluri P. vd.2007) Dokuma kompozitlerde enjeksiyon kalıplama sırasında sıcaklık etkisiyle gözlenen tek eksenli ve iki eksenli çekme yüklerinin kompozit geometrisine etkilerini hacim eleman modelleriyle sonlu

elemanlar yöntemiyle incelemişlerdir. Mattsson D. vd. (2008) NCF kompozitlerde çekme etkisi altında hasar gelişimini, katman diziliş etkisini incelemişlerdir.

Çalışmamızda 0/90 karbon dokuma, kevlar dokuma ve NCF karbon kumaş takviyeli termoset epoksi lamine kompozitler üretilmiş ve mekanik karakterizasyon işlemi sonrası termal yükler altındaki stabilitesi incelenmiştir. Katman sayısı ve elyaf yönlenmesinin stabiliteye etkisi incelenmiştir. Ayrıca hibrid yapıdaki karbon/ kevlar takviyeli laminaların termal stabilitesi araştırılmıştır. Katman sayısı sınırlı sayıda tutulduğundan polipropilen keçe ile kalınlık artırılarak eğilme rijitliği incelenmiştir. Ara yüzey davranışı ve eğilme rijitliği değerleri ortaya konulmuştur.

2.1 Kompozitlerde Termal Analiz Uygulamaları

Termal şekil değiştirme davranışı ile ilgili ilk çalışmalar enerji prensiplerine dayanmaktadır. Kompozit malzeme teorilerinin gelişmesiyle makro düzeyde termal özellikleri tanımlamak mümkün olmuştur.

Termal burkulma çalışmaları ağırlıklı olarak plak, kabuk ve kirişler için lamina ve sandviç kompozitlerin makro mekanik ve yüksek mertebe plak deformasyon teorileri kullanılarak kritik burkulma yükü bulma esaslarına dayanmaktadır. Deneysel termal analiz çalışmalarının temelini kompozit malzemelerin sıcaklığa bağlı olarak mekanik özelliklerinin değişmesi oluşturmaktadır. Özellikle tekstil kompozitlerinin termal analizinde viskoz malzeme özellikleri mekanik davranışta belirleyici olmaktadır. Sıcaklığa bağlı olarak statik ve dinamik malzeme özelliklerinin (rijitlik, sönüm özellikleri) zamana bağlı olarak değişimi üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Bunun yanında termal çalışmaların birçoğu içyapı ve içyapının termal stabilizasyonunu içeren malzeme mikro yapısıyla ilgili çalışmalardır. Son yıllarda yapılan çalışmalar nano partikül ve fiber takviyeli kompozitlerin termal analizi ve termal şok analizi üzerinde yoğunlaşmaktadır.

Termal analiz çalışmalarında kompozit yapıların makro mekanik modellenmesi genellikle tek eksenli sürekli ve süreksiz elyaf takviyeli konvansiyonel lamina kompozitlerde doğru sonuçlar vermektedir. Bununla birlikte kompozit üretimi ve malzeme teknolojilerinin gelişmesiyle içyapıdaki değişimleri mikro mekanik modellerle destekleme ihtiyacı doğmuştur. Özellikle tekstil esaslı kompozitlerde deneysel sonuçlar üç boyutlu mikro mekanik modellerle desteklenmektedir.

2.2 Çalışmanın kapsamı

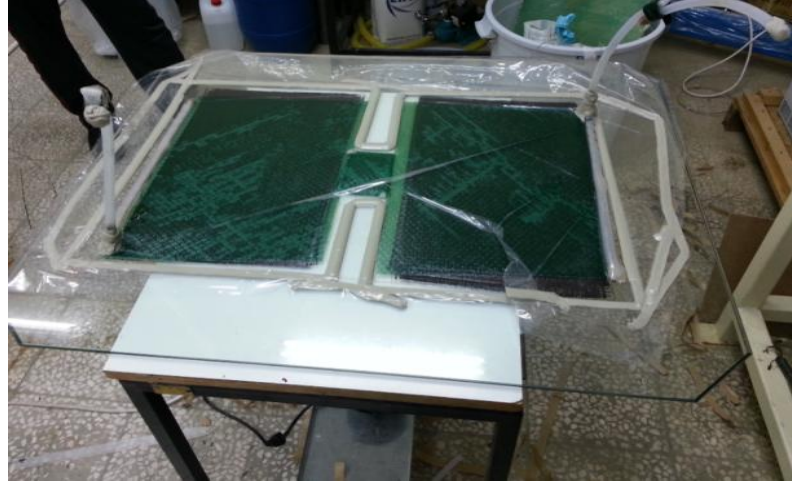
Çalışmada tekstil esaslı kıvrımsız karbon NCF (NonCrimpFabric) , dokuma karbon ve dokuma kevlar takviye elemanları ve plastik esaslı termoset matris malzemeler temin edilerek vakum infüzyon yöntemiyle tabakalı kompozitler üretilmiştir. Elde edilen parçalardan çekme numuneleri ve eğilme test numuneleri çıkartılarak numuneler çekme ve eğilme testine tabi tutulmuştur. Bu yöntemle malzemelerin rijitlikleri ortotropik doğrultularda belirlenmiştir. Ortotropik malzeme özellikleri belirlenmiş olan kompozitlerden termal burkulma testi amacıyla numuneler çıkartılmış, numuneler daha önceden hazırlanmış olan bir düzenele termal burkulma testine tabi tutulmuştur. Elde edilen burkulma mod şekilleri deneysel veriler ve sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilmiş sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Termal burkulma amacıyla kullanılan numune mekanik özelliklerinin şekil değiştirme davranışına etkisi incelenmiştir.

3 KOMPOZİT MALZEME ÜRETİM ÜNİTESİ VE EKİPMANLARI

Kompozit malzemeler vakum infüzyon yöntemi kullanılarak üretilmiş olup üretim laboratuvar ortamında hazırlanan aşağıdaki düzenekle gerçekleştirilmiştir. Düzenekte kullanılan ekipmanların listesi aşağıda belirtilmiştir.

	Infuzyon-Vakum-Hortum-PE-10x12mm
	INFUZYON-T-BAGLANTI-10mm-
	INFUZYON-L-BAGLANTI-10mm-
	Infuzyon-Filesi-Extrude-FH-5052-EN:120cm
	Infuzyon-Spiral-Hortum-12x14mm
	Vakum-Naylonu-G-bag-100-65-200VS-En:200cm
	Vakum-Sizdirmazlik-Bandi-Boy:15m-90C
	Peel-Ply-Kumas-83-gr-m2--plain-10m2
	Vakum-icin-Cabuk-Baglanti-Konnektor-Seti
	Vakum-Cikis-Baglanti-Seti
	Vakum-Pompasi
	Infuzyon-Recine-Akis-Tanki-1lt

Şekil 3 1 Kompozit Malzeme Üretim Ünitesi Ekipmanları



Şekil 3 2 Vakum İnfüzyon Yöntemiyle Kompozit Üretimi

3.1 Termoset Vinlester Reçine

Çalışmada Matris fazı olarak Poliya Polyester San Tic Ltd.Şti. firmasının Polives™ 702 kodlu İnfüzyon tipi Bisfenol A-Epoksi vinilester reçinesi kullanılmıştır.

Tablo 3 1 Polives 702 Reçine Özellikleri

ISO STANDARINDA GÖRE SERTLEŞMİŞ REÇİNEİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ	
Eğilme Dayanımı	155 Mpa
Elastisite Modülü	3500 Mpa
Kopmadaki Uzama	6%
Çekme Dayanımı	76 Mpa

3.2 Hızlandırıcı (Katalizör)

Kompozit numunelerin üretiminde hızlandırıcı olarak, Poliya Polyester Sanayii'nden temin edilen COBALT kullanılmıştır. Firma, genel amaçlı polyester kullanımında, 23°C' de % 0,2 oranında Cobalt kullanımı önermiştir.

3.3 Sertleştirici

Kompozit numunelerin üretiminde sertleştirici olarak, Poliya Polyester MEK-PEROXIDE (Methyl Ethyl Ketone Peroxide) kullanılmıştır. Firma, genel amaçlı polyester kullanımında, 23°C' de % 2 oranında MEK-P kullanımı önermiştir.

3.4 Kalıp Ayırıcı

Kalıp ayırıcı olarak, Poliya Polyester'den temin edilen Poliya Polivaks kullanılmıştır.


3.5 Karbon Elyaf Dokuma Kumaş

Çalışmada Toho Tenax Europe GmbH (TEIJIN) firmasının Tenax-E HTA 40 1k F15 ticari isimli karbon liflerinden yine aynı firmada bezayağı dokuma kumaşı olarak üretilmiş takviye malzemesi kullanılmıştır. Kumaş 245g/m² gramajda 3 katlı F15 67 tex iplikle atkı ve çözgüde 6 adet/cm olarak dokunmuştur. Kumaşın mekanik özellikleri ve resmi Tabloda verilmiştir.



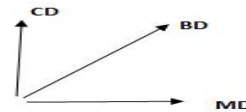
Şekil 3 3 Karbon Elyaf Dokuma Kumaş

Tablo 3 2 Dokuma Karbon Elyaf Kumaş Malzemesinin Mekanik Özellikleri

KUMAŞ	ÖZELLİK	DEĞERİ
	Elyaf Çapı [μm]	7
	Yoğunluk [g/cm^3]	1,76
	Çekme Dayanımı [MPa]	3950
	Elastisitemodulu [GPa]	2382
	Kopmadaki birim boy değişimi [%]	1,7
	Termal iletkenlik [W/mK]	17
	Termal genişleme katsayısı [$10^{-6}/\text{K}$]	-0,1
	Spesifik elektriksel direnç [W cm]	$1,6 \times 10^{-3}$

3.6 Karbon İki Eksenli (Stitch-bonding) Dikerek Bağlanmış Kumaş

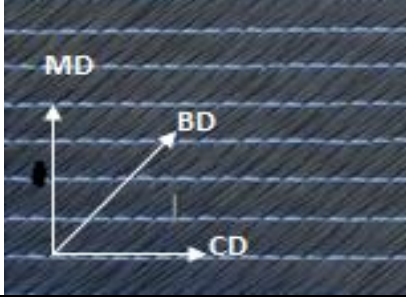
Çalışmamızda NCF (NonCrimpFabric) Karbon elyaf kıvrımsız tekstil destek ürünleri Telateks A.Ş.firmasından temin edildi. Elde edilen kumaş iki eksenli (+45/-45) kıvrımsız karbon elyaflardan oluşmaktadır. Aşağıdaki tabloda kullanılan kumaşın temel mekanik özellikleri verilmiştir.



Şekil 3 4 İki eksenli (+45/-45) Karbon Elyaf Kıvrımsız Tekstil Destek Ürünü

Şekilde MD: Makine işleme yönünü, CD: Makine işleme yönüne dik yönü, BD: Elyaf yönünü göstermektedir.

Tablo 3 3 Kıvrımsız Destekli Karbon Elyaf Malzemesinin Mekanik Özellikleri

KUMAŞ	ÖZELLİK	DEĞERİ
	Elyaf Çapı [μm]	5
	Yoğunluk [g/cm^3]	300
	Çekme Dayanımı [MPa]	4000
	Elastisite modulu [GPa]	235
	Termal genişleme katsayısı [$10^{-6}/\text{K}$]	-0.1


Kıvrımsız tekstil destekli (NCF) kompozitler ipliklerin kalınlık boyunca yığın şeklinde lamina edilip birbirine dikilmesiyle üretilen takviye elemanlarından oluşmaktadır. NCF destekli kompozitler dokuma tekstil kompozitlere göre daha yüksek bası mukavemetine sahiptir. Bu sebeple çalışmamızda dokuma kumaşlardan üretilmiş lamine kompozitler ile NCF tekstil destekli lamina kompozitlerle karşılaştırılmıştır.

3.7 Kevlar Elyaf Dokuma Kumaş

Çalışmamızda kullandığımız kevlar elyaf dokuma kumaş üretici firmadan elde edilen mekanik özellikler aşağıda verilmiştir.

Çalışmamızda kullandığımız karbon malzemenin elastisite modülü 238GPa, Çekme dayanımı 3950MPa, kevlar malzemenin elastisite modülü 113GPa, Çekme dayanımı 2542MPa olarak üretici firmalardan alınmıştır.

Tablo 3 4 Kevlar (Aramid) Dokuma Kumaş ve Özellikleri

KUMAŞ	ÖZELLİK	DEĞERİ
	Elyaf Çapı [μm]	5
	Yoğunluk [g/cc]	110
	Çekme Dayanımı [MPa]	2542
	Elastisite modulu [GPa]	113
	Termal genişleme katsayısı [$10^{-6}/\text{K}$]	-2.1

Tablo 3 5 Çalışmada kullanılan kumaşların özellikleri

Malzeme	Açı	Hacim Oranı (%)	Yoğunluk [g/m ²]
Dokuma Karbon Kumaş	(0°/90°)	35	176
Kıvrımsız Karbon Kumaş	(+45°/-45°)	41.5	300
Dokuma Kevlar Kumaş	(0°/90°)	32	110

3.8 Vakum Pompası

Numuneler vakum pompası yardımıyla vakum altında üretilmiştir. Malzemelerin boşluksuz üretilmesinde vakum önem arz etmektedir. Çalışmamızda vakum kapasitesi 2 mbar, akış debisi 8m³/h olan yağlı tip bir pompa kullanılmıştır. Sistemi uzun süre vakum altında tutabilecek bir vakum pompası seçilmiştir. Kompozit matris malzemesi olan termoset reçine sertleşinceye kadar vakum pompası çalıştırılmaya devam ettirilmiştir.

4 MATERYAL METOD

Çalışma deneysel ve teorik olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır.

4.1 Deneysel Çalışma Öncesi

- İnfüzyon vakum yöntemiyle üretim yapabilmek için bir kompozit üretim ünitesi temin edilmiştir.
- NCF ve dokuma tekstil kompoziti üretimi için karbon ve keklar elyaflar temin edilmiştir.
- Matris malzemesi olarak ısıya dayanıklı bir termoset reçine temin edilmiştir.

4.2 Deneysel Çalışma

- 1- Öncelikle Vakum infüzyon yöntemiyle Kıvrımsız Karbon (NCF), Dokuma Karbon ve Aramid elyaf takviyeli Vinlester kompozit plakalar üretilmiştir.
- 2- Kompozit plakalardan ortotropik yöndeki elastik özelliklerini belirlemek amacıyla çekme numuneleri alınmıştır.
- 3- Termal burkulma testi amacıyla uniform sıcaklık dağılımı ve soğutma ünitesi bulunan bir düzenek kullanılmıştır.
- 4- İki tarafından ankastre desteklenmiş sınır koşullarında hibrid kompozit yapıda üretilmiş kompozit plakalar için termal stabilite davranışı araştırılmıştır.

4.3 Kompozit Malzeme Üretimi

Bu çalışma için gereken ekipman ve deneysel düzenek kurulmadan önce ilk denemelerimizi elle yatırma ve kalıba dökme ile başlattık. Bu denemelerde hem karbon fiberin hem de reçinenin uygulamada daha verimli nasıl olacağını, reçine hazırlama yöntemini ve karbon fiberin uygun kesim yöntemini tespit etmiş olduk. Bu denemeler sonucunda elde ettiğimiz ve gözlemlerimiz sonucunda, uygun reçine karışım oranı ve üretmemiz gereken kompozit plak boyutlarını belirledik.

Ekipman ve gerekli malzemeleri elde ettikten sonra infüzyon yöntemi ile üretime başladık. İlk olarak 0-90 dokuma karbon kumaş ile 1 kat,2 kat,3 kat, 4 kat şeklinde katman artırarak ilerledik. Daha sonra kevlar ve kıvrımsız (NCF) karbon(45/-45) kumaş ile değişik dizilişlerde kompozit malzemeler üreterek devam ettik.



Şekil 4 1 Vakum İnfüzyon Yöntemiyle Kompozit Üretimi

Numuneleri uygun ölçülerde kesmek için 30.000 dev/dak hızla dönen elmas kesme ucuna sahip el motoru ile kesim yapıp daha sonra kesilen yüzeyleri zımparalayarak çentiksiz hale getirdik. Numune hazırlamada son işlem olan kütleme işlemine geçtik. Reçinenin kristal yapısını istediğimiz şekle ulaştırmak için 50 °C, 80 °C, 110 °C ‘ de cam arasına yerleştirdiğimiz numuneleri fırında kütleme işlemine tabii tuttuk. Daha sonra standartlara uygun şekil ve ölçülerde numuneler çıkartılarak çekme testi uyguladık.

4.4 Mekanik Karakterizasyon

İnfüzyon yöntemiyle üretilmiş plakalardan ASTM standardına göre ortotropik doğrultularda çekme numuneleri alınarak çekme cihazı yardımıyla ve üç nokta eğme testi yardımıyla numunelerin mekanik özellikleri belirlenmiştir.

4.4.1 Çekme Testi

Çekme testleri sonucunda ürettiğimiz kompozit malzemelerin mekanik özellikleri aşağıda verilmektedir.

Tablo 4 1 Karbon Dokuma Takviyeli Kompozit Numuneler için Mekanik Özellikler

Katman Sayısı	Test Yönü	Çekme Elastisite Modülü (GPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Kopma Uzaması %	Numune Kalınlığı(mm)
1	MD	18.206	300.105	2.34	0.35
	BD	5.606	97.453	34.48	
	CD	18.201	300.11	2.32	
2	MD	21.117	382.816	3.010	0.526
	BD	7.596	78.938	34.88	
	CD	21.102	381.24	3.087	
3	MD	21.650	382.333	3.366	0.73
	BD	7.063	80.162	33.353	
	CD	21.680	382	3.36	
4	MD	22.319	460.181	4.067	1.06
	BD	7.353	105.755	33.247	
	CD	22.308	460.1	4.06	

Tablo 4 2 Kevlar(A)/Karbon(K) Dokuma Takviyeli Kompozit Numuneler için Mekanik Özellikler

Katman Sayısı	Diziliş	Test Yönü	Çekme Elastisite Modülü (GPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Kopma Uzaması %
2	AK	MD	18.139	491.405	3.900
		BD	5.635	72.844	32.371
		CD	18.125	490.45	3.875
4	AAKK	MD	20.624	456.333	4.603
		BD	6.514	54.136	16.465
		CD	20.585	455.29	4.628
4	AKAK	MD	20.869	413.590	3.90
		BD	6.728	89.580	28.794
		CD	20.855	412.150	3.92

Tablo 4 3 NCF (+45/-45) Karbon Takviyeli Kompozit Numuneler için Mekanik Özellikler

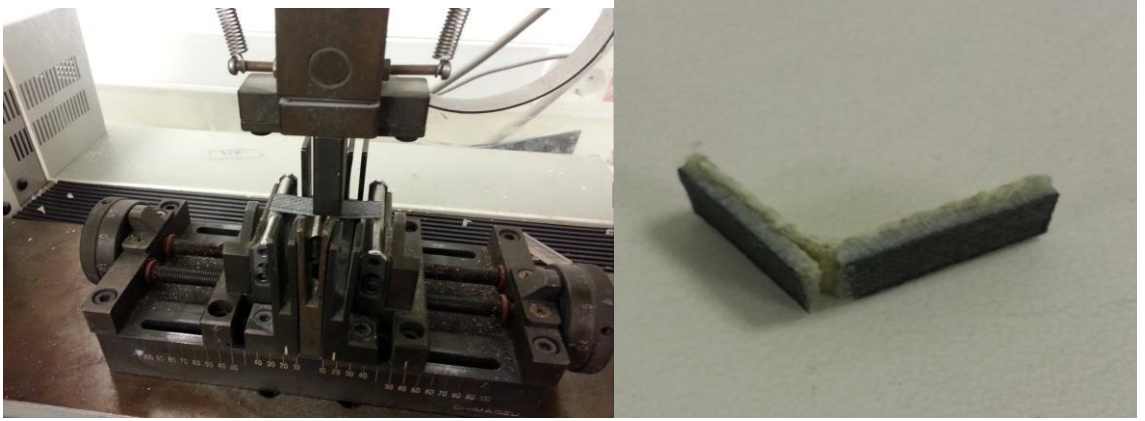
Katman Sayısı	Test Yönü	Çekme Elastisite Modülü (GPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Kopma Uzaması %
4	MD	6.518	28.118	4.857
	BD	23.053	185.847	5.534
	CD	5.745	24.500	4.23

Tablo 4 4 NCF (+45/-45) Karbon / Dokuma Takviyeli Kompozit Numuneler için Mekanik Özellikler

Katman Sayısı	Test Yönü	Çekme Elastisite Modülü (GPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Kopma Uzaması %
4	MD	16.717	194.726	2.401
	BD	16.470	81.553	1.295
	CD	15.450	190	2.390

4.4.2 Eğilme Testi

Kompozit numunelerin eğilme rijitliğini belirleyebilmek için numuneler ISO-3167 standardına göre üç nokta eğme testi ölçüleri kullanılmıştır.



Şekil 4 2 Eğilme Testi Uygulanışı

Tablo 4 5 Karbon-Keçe-Kevlar Eğilme Test Sonuçları

Numune Sayısı	Elastic Modül 15000 - 80000 MPa	Max. Yük Kgf	Eğilme Dayanımı Mpa	Max. Yükteki Uzama %	Kopmadaki Uzama %	Genişlik mm	Kalınlık mm
1	110381	24,5369	348,427	1,26682	1,28403	10,52	2,75
2	96881,6	27,0862	367,843	1,60671	1,90366	11	2,75
3	115154	26,4488	395,107	0,70076	1,39005	10	2,75
4	83651,3	28,0167	380,48	1,28934	1,7747	11	2,75
Ortalama Değer	101517	26,5221	372,964	1,21591	1,58811	10,63	2,75
Maximum Değer	115154	28,0167	395,107	1,60671	1,90366	11	2,75
Minimum Değer	83651,3	24,5369	348,427	0,70076	1,28403	10	2,75

Tablo 4 6 Karbon-Keçe-Karbon Eğilme Test Sonuçları

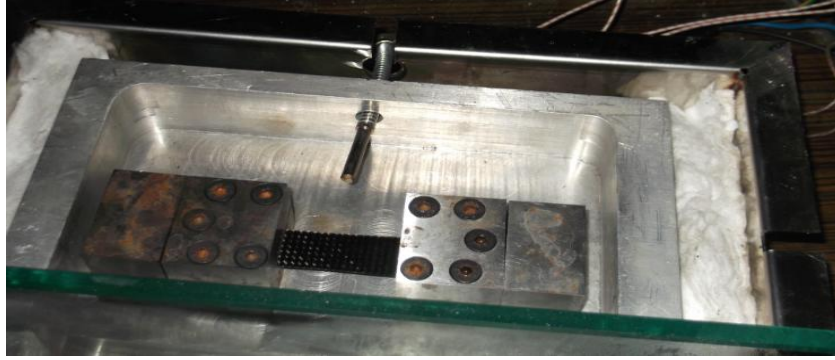
Numune Sayısı	Elastic Modül 15000 - 80000 MPA	Max. Yük Kgf	Eğilme Dayanımı Mpa	Max. Yükteki Uzama %	Kopmadaki Uzama %	Genişlik mm	Kalınlık mm
1	32479,8	20,3688	249,687	0,88188	0,89375	10	2,4
2	29566,4	17,7048	217,031	0,92563	2,32125	10	2,4
3	30698,8	19,7315	241,875	1,08563	2,06438	10	2,4
4	29595,2	20,2923	248,75	0,98063	2,075	10	2,4
Ortalama Değer	30585,05	19,52435	239,33575	0,9684425	1,838595	10	2,4
Maximum Değer	32479,8	20,3688	249,687	1,08563	2,32125	10	2,4
Minimum Değer	29566,4	17,7048	217,031	0,88188	0,89375	10	2,4

4.4.3 Termal Burkulma Testi

Üretilen kompozit numunelerin termal davranışını incelemek amacıyla aşağıda gösterilen termal bir kabin tasarlanmıştır. Numuneler iki tarafından ankastre sınır şartlarını sağlayacak şekilde tasarlanan iki küçük mengene ile bağlanarak kabin içerisine yerleştirilmiştir. Ortam sıcaklığı J tipi hassas ölçüm alan termokupl (sıcaklık ölçer) ile ölçülerek sıcaklık kontrol ünitesine aktarılmıştır. Numuneler önceden belirlenmiş bir sıcaklığa kadar ısıtılarak homojen sıcaklığa ulaşıncaya kadar beklenmiş daha sonra 22°C' ye ani soğutma yapılmıştır. Sıcaklık aralığı belirlenirken numunelerin malzeme özelliklerine göre karışımlar kuralıyla tespit edilmiş termal uzama katsayısı baz alınarak numuneler sonlu elemanlar paket programıyla modellenmiş termal burkulma sıcaklıkları belirlenmiştir. Deneysel olarak elde edilen sonuçlar numerik sonuçlarla karşılaştırılarak burkulma sıcaklık aralığı tespit edilmiştir. Numerik incelemede Sonlu elemanlar yazılımı Ansys kullanılmıştır. Öncelikle tabakalı kompozitlerde teorik rijitlik ve termal şekil değiştirme tanımlamaları elde edilmiştir.



Şekil 4 3 Termal Burkulma Test Kabini ve Kompozit Numunesi Görüntüleri



Şekil 4 4 Termal Burkulma Test Kabini ve Kompozit Numunesi Görüntüleri



Şekil 4 5 Termal Burkulma Test Kabini ve Kompozit Numunesi Görüntüleri

4.5 Kompozit Numunelerin Termal Uzama Katsayılarının Teorik Olarak Belirlenmesi

Literatürde kompozit malzemelerin termal uzama katsayılarıyla ilgili bir çok çalışma olup çalışmalar genellikle ortotropik özelliklere sahip kompozit yapılarda iyi sonuçlar vermektedir.

Dokuma kompozitlerde yakın sonuçları aşağıda denklemleri verilen karışımlar kuralı ile elde ettik.

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_c = v_f \alpha_f + v_m \alpha_m \quad (1)$$

Burada α_f elyaf ısı genleşme katsayısını,

v_f elyaf hacim oranını, v_m matris hacim oranını, α_m matris ısı genleşme katsayısını göstermektedir.

Tablo 4 7 Karbon Elyaf ve Kevlar Elyaf Dokuma Kumaşların termal uzama katsayıları

Malzeme	Uzunlamasına Yönde Isıl Genleşme Katsayısı $\alpha_f (10^{-6}/C^{\circ})$
Dokuma Karbon Kumaş Atkı Elyaf: Tenax-E HTA 40 1k Çözümlü Elyaf: Tenax-E HTA 40 1k	-0.1
Dokuma Kevlar Kumaş 110 gr/m2 twill	-2.4

Tablo 4 8 Kıvrımsız Destekli Karbon Elyaf Kumaşların Uzunlamasına Ve Enine Yöndeki Termal Uzama Katsayıları

Malzeme	Uzunlamasına Yönde Isıl Genleşme Katsayısı $\alpha_{f1} (10^{-6}/C^{\circ})$
+45/-45 NCF Karbon Kumaş	-0.1

Tablo 4 9 Vinlester Termoset Reçine Termal Uzama Katsayısı

Malzeme	Uzunlamasına Yönde Isıl Genleşme Katsayısı $\alpha_m (10^{-6}/C^{\circ})$
Vinlester Termoset Reçine	10

4.6 Kompozit Numunelerin Termal Analizi

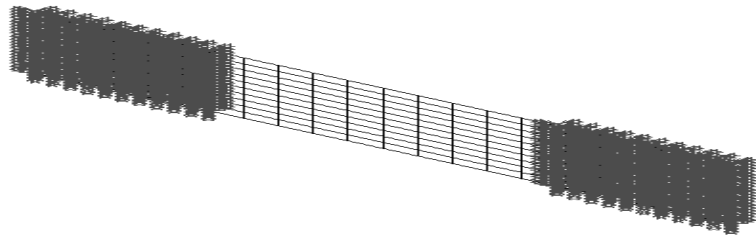
Çalışmamızda öncelikle kompozit malzemelerin termal uzama katsayıları karışımlar kuralı denklemleri yardımıyla bulunmuştur. Ayrıca termal burkulma deneyinden elde edilen burkulma mod şekilleri nümerik olarak sonlu elemanlar analizleriyle karşılaştırılarak teorik

hesaplamanın termal burkulma deney sonuçlarıyla uyumluluğu araştırılmıştır. Nümerik incelemede Sonlu elemanlar yazılımı Ansys kullanılmıştır. Aşağıdaki tabloda ürettiğimiz kompozit malzemelerin teorik olarak hesaplanmış termal uzama katsayıları verilmektedir.

Tablo 4 10 Üretilen Kompozit Malzemelerin Hesaplanan Termal Uzama Katsayıları

Malzeme	Katman Dizilişi	Hacim Oranı (%)	Kalınlık (mm)	Isıl Genleşme Katsayısı Karışımlar Kuralı $\alpha_c (10^{-6}/C^{\circ})$
Dokuma Karbon Takviyeli / VinlesterKompozit	K	35	0.35	6.465
	KK	35	0.526	6.465
	KKK	35	0.73	6.465
	KKKK	35.7	1.06	6.394
Dokuma Aramid (A) Takviyeli Vinlester	A	32	0.34	6.032
	AA	32	0.52	6.032
	AAA	32	0.72	6.032
	AAAA	32	1.03	6.032
Dokuma Aramid (A) /Karbon Takviyeli Vinlester	AK	30.8	0.51	6.535
Dokuma Aramid/Karbon Takviyeli VinlesterKompozit	AKAK	32.39	1.06	6.356
Dokuma Aramid/Karbon Takviyeli VinlesterKompozit	AAKK	32.39	0.96	6.356
+45/-45 NCF Karbon Takviyeli Vinlester Kompozit	NKNK	35	0.99	6.465
+45/-45 NCF Karbon / Dokuma Karbon Takviyeli Vinlester Kompozit	KNKK	28.9	1.17	7.0810

Sonlu Elemanlar Modeli termal burkulma test koşullarını sağlayacak şekilde modellenmiştir. Aşağıda analizde kullanılan sonlu elemanlar modeli ve sınır koşulları gösterilmiştir.



Şekil 4 6 Termal Burkulma Testi Sonlu Elemanlar Modeli

Sonlu Elemanlar Modelinde termal burkulma testi boyutları da bir plaka modellemiştir. Sonlu elemanlar modelinde numune iki kenarından şekilde görüldüğü gibi ankastre olarak mesnetlenmiştir. Analiz sonuçlarına uygun olarak reçine ergime sıcaklığına (120 °C) kadar numuneye üniform sıcaklık uygulanmıştır.

Tablo 4 11 (0°/90°) Yönlerden Alınmış Numunelerde Termal Burkulma Test Sonuçları

Malzeme	Katman Dizilişi	Mod Numarası	Deneysel Burkulma Sıcaklığı °C	Burkulma Yüğü (N)	Kalınlık (mm)
Dokuma Karbon Takviyeli / Vinlester Kompozit	K	Mod1	-40.0985	6.6460	0.35
		Mod2	-82.393	13.579	
	KK	Mod1	-72.505	30.393	0.526
		Mod2	-	-	
Dokuma Aramid / Karbon Takviyeli Vinlester	AK	Mod1	-68.161	20.566	0.51
		Mod2	-	-	

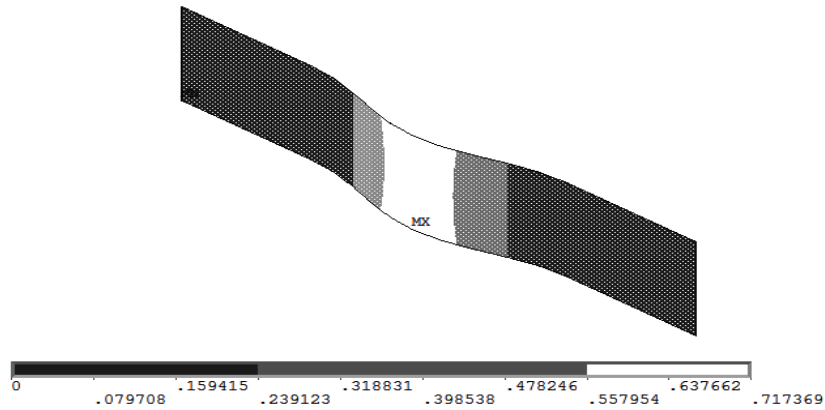
Tablo 4 12 (45°/-45°) Yönlerden Alınmış Numunelerde Termal Burkulma Test Sonuçları

Malzeme	Katman Dizilişi	Mod Numarası	Deneysel Burkulma Sıcaklığı °C	Burkulma Yüğü (N)	Kalınlık (mm)
Dokuma Karbon Takviyeli / Vinlester Kompozit	K	Mod1	-40.325	21.167	0.35
		Mod2	-82.75	43.437	
	KK	Mod1	-72.768	76.382	0.526
		Mod2	-	-	
Dokuma Aramid / Karbon Takviyeli Vinlester	AK	Mod1	-68.440	82.128	0.51
		Mod2	-	-	

Tablo 4 13 Burkulma Sıcaklığında Termal Gerilmeler ve Şekil Değişiklikleri

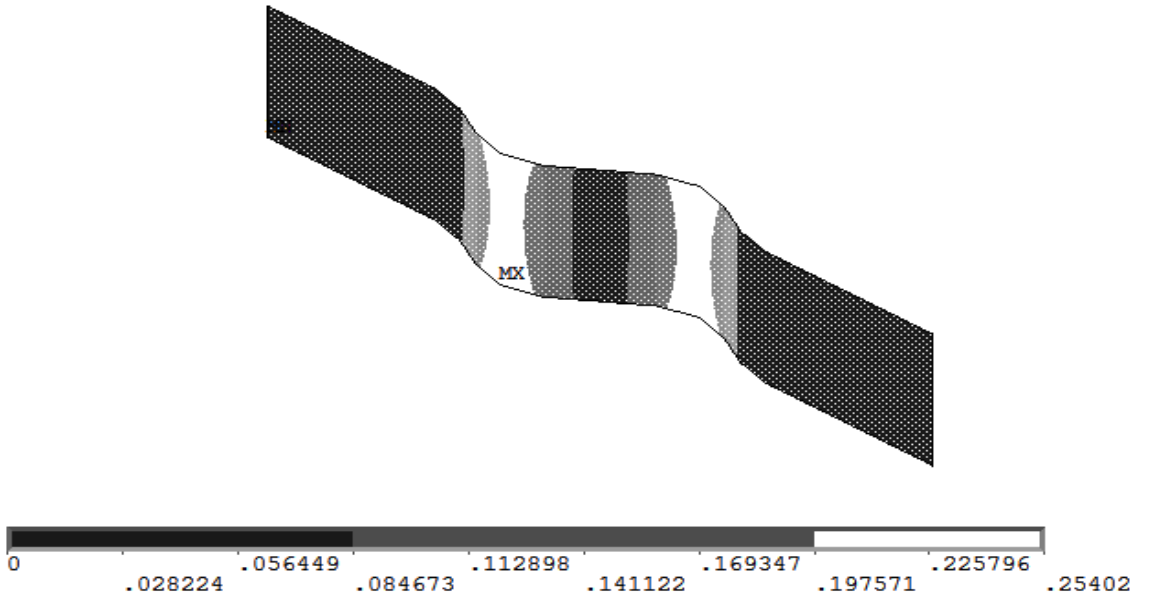
Kalınlık (mm)	Katman Dizilişi	Mod Numarası	BURKULMA SICAKLIĞI (°C)	U _x (mm)	U _y (mm)	S _x (Mpa)	S _y (Mpa)	TERMAL GENLEŞME KATSAYISI $\alpha (10^{-6}/C^{\circ})$	BURKULMA MOD ŞEKİL DEĞİŞTİRME ORANI
0.35	K-1	Mod1	40.323	0.0002	0.002	-5.62	-3.81	0.000004	0.717
		Mod2	82.75	0,0004	0.004	-11.53	-7.82	0.000004	0.254
	K-2	Mod1	40.137	0,0005	0.002	-2.216	-1.288	0.000004	1.253
		Mod2	82.445	0.001	0.004	-4.551	-2.646	0.000004	0.427
0.526	KK-1	Mod1	72.768	0.0006	0.005	-15.11	-9.971	0.000005	0.36
	KK-2		72.505	0.0010	0.005	-6.74	-3.905	0.000005	0.585
0.51	AK-1	Mod1	68.44	0.0005	0.004	-11.89	-8.055	0.000005	0.408
	AK-2		68.161	0.0010	0.004	-4.727	-2.748	0.000005	-0.71

Burada K-1, K-2 ifadeleri sırasıyla (0°/90°) ve (45°/-45°) yönlerden alınmış numuneleri belirtmektedir. U_x X yönünde şekil değiştirmeyi, U_y Y yönünde şekil değiştirmeyi, S_x X yönünde normal gerilmeyi, S_y Y yönünde normal gerilmeyi göstermektedir.

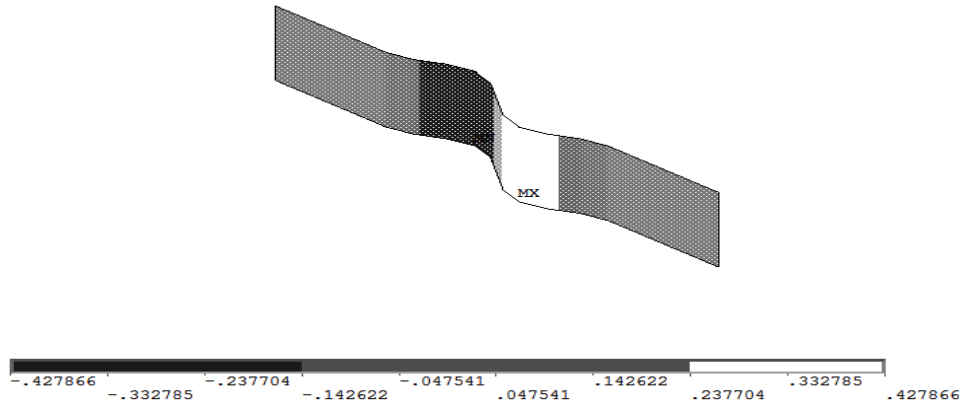
**Şekil 4 7** Tek Katmanlı Dokuma Karbon/ Vinlester Kompozitte Termal Burkulma Mod Şekli (Mod1)



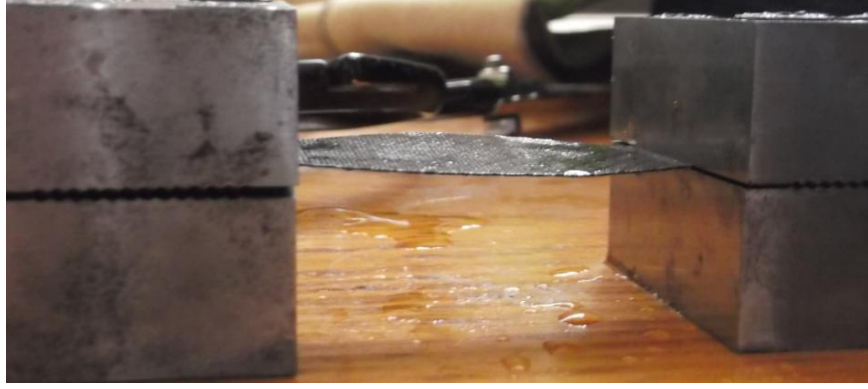
Şekil 4 8 Tek Kat. Dokuma Karbon/ Vinlester Kompozitte Termal Burkulma Davranışı Mod Şekli (Mod1)



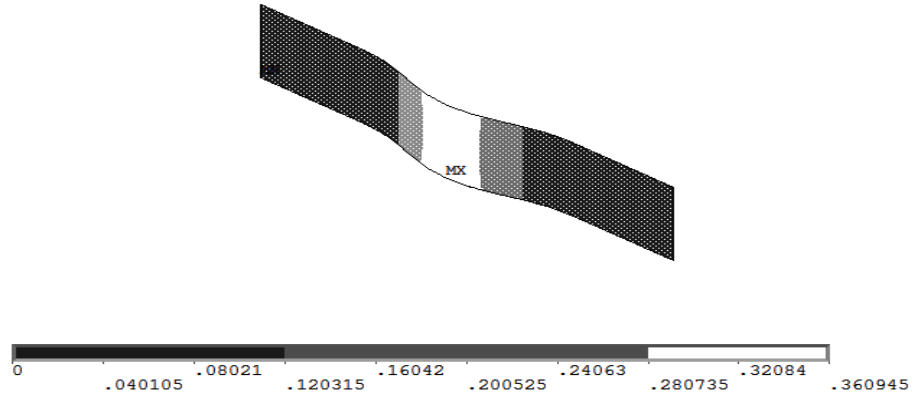
Şekil 4 9 Tek Katmanlı Dokuma Karbon/ Vinlester Kompozitte Termal Burkulma Mod Şekli (Mod2)



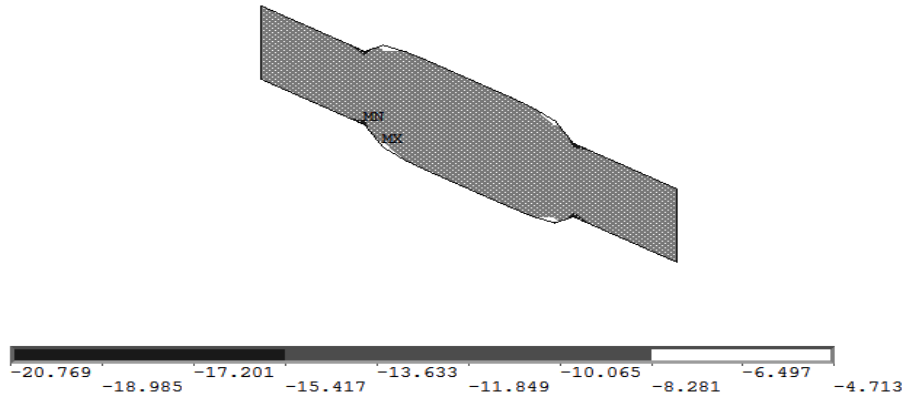
Şekil 4 10 Tek Katmanlı Dokuma Karbon/ Vinlester Kompozitte Termal Burkulma Mod Şekli (Mod2) (45/-45) Numunelerde



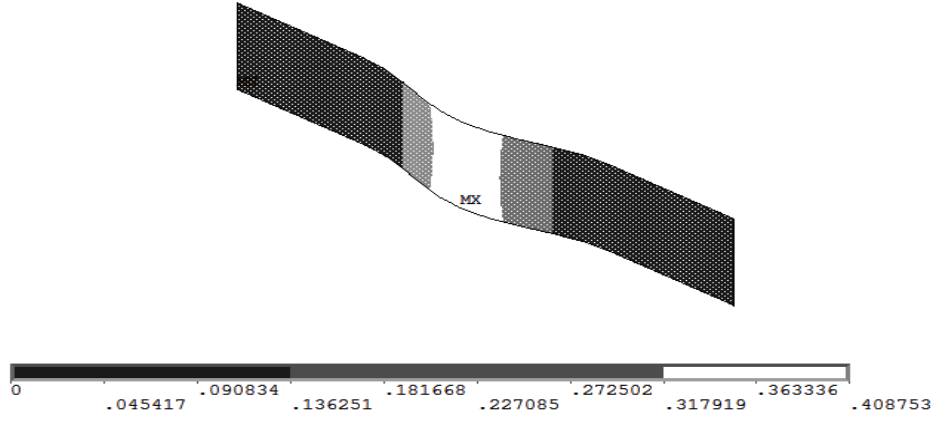
Şekil 4 11 Tek Katmanlı Dokuma Karbon/ Vinlester Kompozitte Termal Burkulma Testi Mod Görüntüsü(Mod2)



Şekil 4 12 İki Katmanlı Dokuma Karbon/ Vinlester Kompozitte Termal Burkulma Mod Şekli (Mod1)



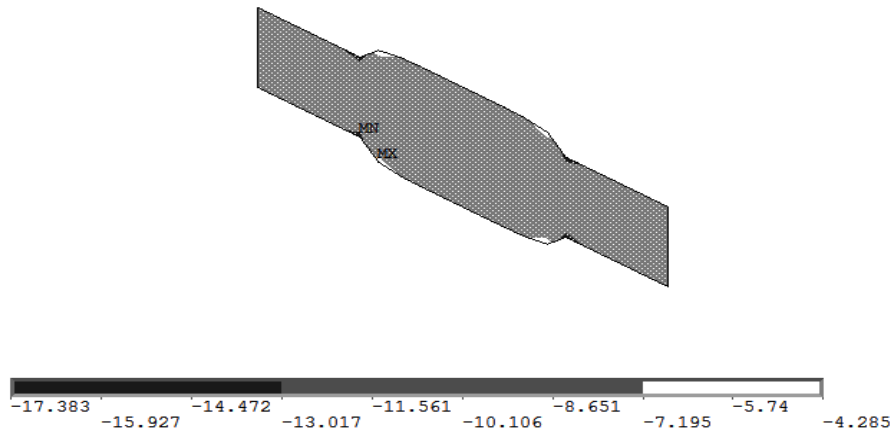
Şekil 4 13 İki Katmanlı Dokuma Karbon/ Vinlester Kompozitte Termal Gerilmeler



Şekil 4 14 İki Katmanlı Dokuma Kevlar/Karbon Takviyeli Vinlester Kompozitte Termal Burkulma Mod Şekli (Mod1)



Şekil 4 15 İki Katmanlı Dokuma Kevlar /Karbon Takviyeli Vinlester Kompozitte Termal Burkulma Mod Şekli (Mod1)



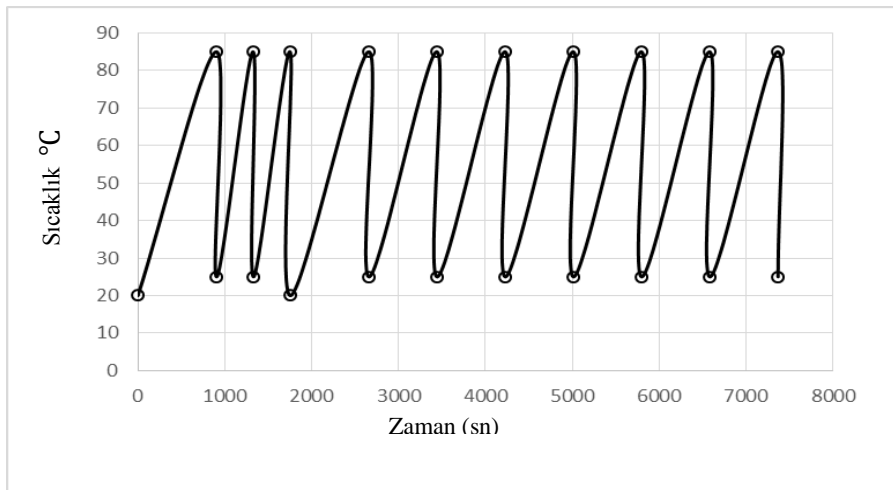
Şekil 4 16 İki Katmanlı Dokuma Kevlar /Karbon Takviyeli Vinlester Kompozitte Termal Gerilme



Şekil 4 17 Tüm Kompozitlerin Düzleme göre Açısal Yanal Kesit Deformasyon Şekilleri

4.7 Termal Çevrimin Burkulma ve Kompozit Malzeme Üzerine Etkisinin İncelenmesi

Üretilen numunelerin termal yük altındaki değişimleri reçine özelliklerinden dolayı reçine mukavemetine etki yapmakta bu yüzden kompozit malzemenin çekme mukavemeti önemli oranda değişmemektedir. Termal çevrimin etkisini araştırmak için numunelere burkulma sıcaklığının hemen altında bir sıcaklıkta aşağıdaki grafikte gösterildiği gibi termal çevrim uygulanmıştır. Termal çevrim öncesi ve sonrası burkulma sıcaklıklarındaki değişim aşağıda Çizelge halinde verilmektedir.

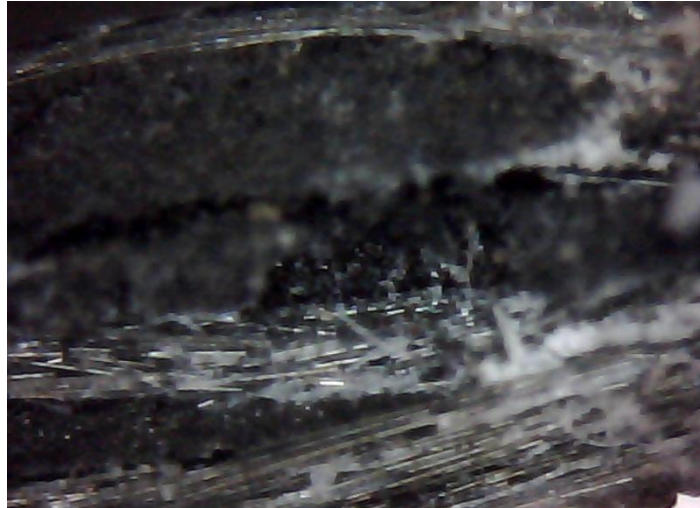


Şekil 4 18 Deneylerde Uygulanan Termal Çevrim

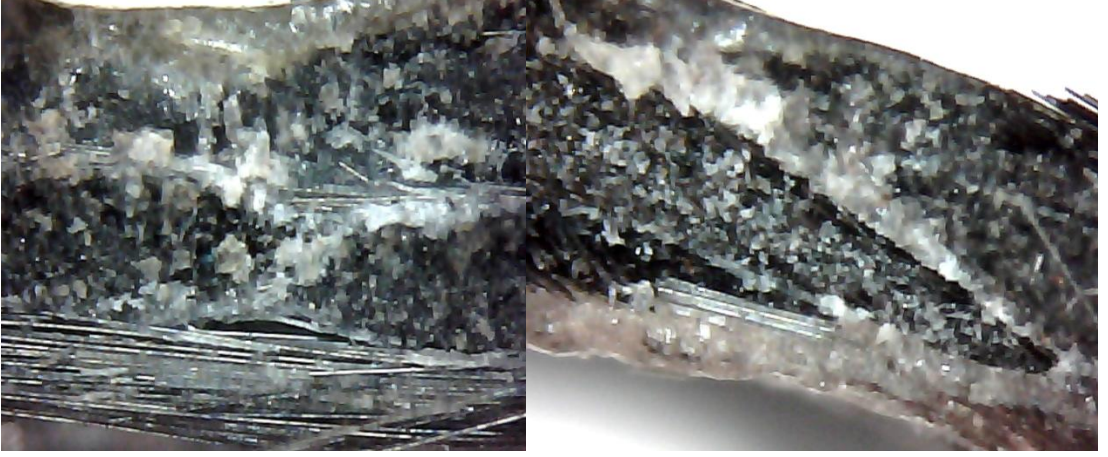
Tablo 4 14 Termal Çevrim Sonrası Termal Burkulma Sıcaklıklarının Değişimi

Malzeme	Katman Dizilişi	Burkulma Sıcaklığı °C Deney (Mod1)	Burkulma Sıcaklığı °C Deney (Mod1) 5 çevrim	Burkulma Sıcaklığı °C Deney (Mod1) 10 çevrim	Burkulma Sıcaklığı °C Deney (Mod1)20 çevrim	Kalınlık
Dokuma Karbon Takviyeli Vinlester Kompozit	K	40.325	39.63	38.95	38.291	0.35
	KK	72.768	72.155	71.545	70.954	0.526
Dokuma Aramid Karbon Takviyeli Vinlester	AK	68.440	67.726	67.026	66.340	0.51

Termal çevrime uğramış numunelerde delaminasyon bölgeleri gözlenmiştir. Şekillerde görüldüğü gibi termal çevrim fiber matris ara yüzeylerinde ayrılmalara sebep olmaktadır.



Şekil 4 19 Termal Çevrim Sonucu Kompozitte Oluşan Delaminasyon



Şekil 4 20 Burkulmuş Kompozit Numunelerin Optik Mikroskopta Kesit Görüntüleri

5 SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada karbon/kevlar kompozit numunelerin termal uzama ve stabilite davranışı araştırılmıştır.

Yapılan çalışmada üretilen kompozit malzemelerde karbon ve kevlar kumaşlar düşük termal uzama katsayıları sebebiyle tercih edilmiş termal mukavemet gerektiren yerlerde ikincil yapısal eleman olarak kullanılmak üzere stabiliteleri ve termal çevrim davranışları incelenmiştir. Çalışmada termal uygulamalarda matris malzemesi olarak kullanılan vinlester reçine, 120°C sıcaklıklara kadar termal dayanım gösterebilmektedir. Çalışmamızda kompozit numuneler infüzyon yöntemiyle üretilerek numunelerde hava boşluğu oluşması engellenmiş, destekleme elamanı olarak kullanılan dokuma ve kıvrımsız dokuma kumaşların kalınlıklarında numuneler üretilmiştir.

Öncelikle ürettiğimiz numunelerin mekanik karakterizasyon işlemi gerçekleştirilmiş, malzeme özellikleri belirlenmiştir. Karbon dokuma- kevlar dokuma vinlester epoksi kompozitlerde katman sayısı arttıkça numune rijitliği artmıştır. Dokuma kompozitlerde makine doğrultusundaki ve buna dik doğrultudaki mekanik özellikler birbirine yakın olup yüksek değerdedir, açılı yönlerdeki özellikler düşük rijitlik yüksek kopma uzaması sonuçları vermektedir.

NCF (+45/-45) açılı katmanlı kıvrımsız karbon elyaf numuneler düşük mukavemet özellikleri göstermekle birlikte açılı yönde yüksek rijitlik ve mukavemet değerlerine sahiptirler. Yüksek mukavemet değerlerine ulaşamamasının sebebi kumaş ara yüzlerinde vakum sonrası yapılan incelemelerde ortaya çıkan kumaş ara yüzlerine reçinenin işlememe sorunudur. Bu sorunun düşük gramajlı kumaş ile aşılacağı düşünülmektedir.

Mekanik karakterizasyon işlemi sonrası numunelerin termal uzama katsayıları karışımlar kuralı ile bulunmuştur. Bulunan teorik değerler termal burkulma sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Karbon ve aramid elyafın düşük termal uzamaları sebebiyle numunelerin uzaması ($6-7 \times 10^{-6}/C^{\circ}$) aralığında tespit edilmiştir. Karışımlar kuralı ile belirlenen termal uzama katsayıları ile elde edilen termal burkulma sıcaklıkları deneyden elde edilen termal burkulma sıcaklıklarından yüksek değerler vermektedir.

Sonlu elemanlar modeliyle elde edilen termal burkulma sıcaklıkları ve termal burkulma mod şekilleri deney ile uyumluluk göstermektedir.

Kalınlık arttıkça termal burkulma sıcaklığı yükselmektedir. Kalın numunelerde (>0.51mm) reçinenin camsı geçiş sıcaklığı 120 °C olması sebebiyle çok yüksek sıcaklıklara çıkılamadığı için termal burkulma gözlenmemiştir. Kevlar elyaf takviyeli hibrid numuneler termal uzama katsayısının düşük olması sebebiyle karbon numunelere göre daha yüksek sıcaklıkta burkulmaktadır. Hibrid numunelerin burkulma yükleri daha yüksektir.

Açılı katmanlı dokuma numunelerde termal burkulma yükü ve termal burkulma sıcaklığında oluşan gerilmeler düşük şekil değiştirmeler yüksektir.

Karbon yanında keklar ile takviyelendirilmiş numunelerde kekların yüksek şekil değiştirme kabiliyetinden dolayı karbon elyafta oluşan hasar sonucunda çekme testi ve üç nokta eğilme testleri sonlanmıştır.

Termal burkulma sıcaklığında gerçekleştirilen termal çevrimlerde numune matris malzemesinde ve elyaf kumaş ara yüzeyinde bozulmalar ve delaminasyonlar gözlenmiştir. Termal çevrim sayısına bağlı olarak numune stabilitesi bozulmakta daha düşük sıcaklıklarda burkulmalar gözlenmektedir.

Bundan sonraki çalışmalarda termal kütleme ve termal çevrimin ara yüzey ve kompozit mukavemetine etkisi incelenebilir.

KAYNAKLAR

- Adams D. F. ,(1970), Inelastic Analysis of a Unidirectional Composite Subjected to Transverse Normal Loading, 4(3), 310-328.
- Akkerman R., Vries R.S.,(1998), Thermomechanical Properties of woven fabric composites, FRC'98, Newcastle upon Tyne (UK).
- Aydogdu M.,(2007), Thermal buckling analysis of cross-ply laminated composite beams with general boundary conditions , Composites Science and Technology, 67 ,1096–1104.
- Aviles F., Carlsson L.A.,(2007), Post-buckling and debond propagation in sandwich panels subject to in-plane compression, Engineering Fracture Mechanics ,74, 794–806.
- Avcı A., Sahin Ö.S.,Uyaner M.,(2005), Thermal buckling of hybrid laminated composite plates with a hole, Composite Structures ,68, 247–254.
- Beier U. , Fischer F.,Sandler J.K.W.,AltstaV., Weimer C., Christian B.W., (2007),Mechanical performance of carbon fibre-reinforced composites based on stitched preforms, Composites: Part A 38,1655–1663.
- Bednarczyk B.A., Pindera M.J.,(1997),Micromechanical Modeling of Woven Metal Matrix Composites, University of Virginia, Charlottesville, Virginia, Nasa Contractor Report 204153.
- Bibo G.A., Hogg P. J., Backhouse R.,Mills A.,(1997), Carbon Fiber non-crimp fabric laminates for cost effective damage-tolerant structures, Composite Science and Tech.,58(1),129-143.
- Bozkurt E., Kaya E., Tanoglu M.,(2007),Mechanical and thermal behavior of non-crimp glass fiberreinforced layered clay/epoxy nanocomposites, Composite Science and Tech., 67(15–16), 3394–3403.
- Cam Elyaf, 1997, Bülten Sayı 6, Cam Elyaf Sanayi A.Ş.
- Chamis C.C., Sendeckyj G.P.,(1968), Critique on theories predicting thermoelastic properties of fibrous composites,2(3),332-358.
- Dassios K.G. ,Musso S., Galiotis C. (2012),Compressive behavior of MWCNT/epoxy composite mats, Composites Science and Technology ,72 ,1027–1033.
- Daynes S., Potter K.D.,Weaver P.M.,(2008), Bistable prestressed buckled laminates,68, 3431–3437.
- Edgren F., Leif E. (2005), Approximate analytical constitutive model for non-crimp fabric composites, Composites: Part A 36 ,173–181.

- Edgrena F., Mattsson D., Aspa L.E.,(2004), Formation of damage and its effects on non-crimp fabric reinforced composites loaded in tension, *Janis Varnab, Composites Science and Technology* ,64 ,675–692.
- Eruslu S.Ö. (2008) Kısa Elyaf Takviyeli Kompozit Plaklarda Titreşim Analizi, Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi Makine Mühendisliği.
- Eruslu S.Ö.,Aydogdu M.,Filiz S.,(2012) ,Thermal buckling analysis of of short fiber reinforced laminated plates, *Mechanics of Nano, Micro and Macro Composite Structures Conference*.
- Goyal S.,(2009), *Mechanics of Thermally Driven Buckling-Induced Debonding in Thin Films*,Doctoral thesis,Purdue University Graduate School West Lafayette, Indiana.
- Hsu Y.S., Reddy J.N. Bert C.W.,(1981), Thermoelasticity of circular cylindrical shells laminated of bimodulus composite materials, , *Journal of Thermal Stresses* 4(2),155-177.
- <http://plastics.about.com/library/weekly/aa060297.htm> > Composites / Plastics - What's a Composite?
- Jumbo F.S.,Ashcroft I.A.,Crocombe A.D.,Abdelwahab M.M.,(2010), Thermal residual stress analysis of epoxy bi-material laminates and bonded joints, *International Journal of Adhesion and Adhesives* 30(7),523–538.
- Jones R.M.,(2005) ,Thermal buckling of uniformly heated unidirectional and symmetric cross-ply laminated fiber-reinforced composite uniaxial in-plane restrained simply supported rectangular plates, *Composites Part A : Applied science and manufacturing*. 36(10), 1355–1367.
- Kabir .H.R.H., Askar H., Chaudhuri R.A., (2003), Thermal buckling response of shear flexible laminated anisotropic plates using a three-node isoparametric element, *Composite Structures*, 59 (2),173–187.
- Khan A.I.,(2009), Prediction of elastic properties of 2d orthogonal plain weave fabric composite, master thesis.
- Kruckenber T., Ye L., Paton R., (2008), Static and vibration compaction and microstructure analysis on plain-woven textile fabrics, , *Composites: Part A*, 39, 488–502.
- Lee J.,(1997), Thermally induced buckling of laminated composites by layerwise theory, *Computers Structures* , 65(6), 917-922.
- Murphy K.D., Ferreira D.,(2001), Thermal Buckling of Rectangular Plates. *International Journal of Solids and Structures*. 38,3979-3994.
- Meyers C.A., Hyer M.W., (1991),Thermal Buckling and Postbuckling of Symmetrically Laminated Composite Plates, College of Engineering Virginia Polytechnic Institute and State University, february Nasa report.

- Matsunaga H., (2006), Thermal buckling of angle-ply laminated composite and sandwich plates according to a global higher-order deformation theory, *Composite Structures* ,72(2) , 177–192.
- Mikata Y., Taya M., (1985), Stress Field in a Coated Continuous Fiber Composite Subjected to Thermo-Mechanical Loadings, *Journal of Composite Materials*, 19(6), 554-578.
- Mikhailuk D.S., Truong T.C., Borovkov A.I., Lomov S.V., Verpoest I., (2008), Experimental observations and finite element modelling of damage initiation and evolution in carbon/epoxy non-crimp fabric composites, *Engineering Fracture Mechanics*, 75(9), 2751–2766.
- Mattsson D., Joffe R., Varna J., (2008), Damage in NCF composites under tension: Effect of layer stacking sequence , *Engineering Fracture Mechanics*, 75(9), 2666–2682.
- Mital K.S., (1996), *Simplified Micromechanics of Plain Weave Composites*,
University of Toledo, Ohio, NASA Technical Memorandum 107165.
- Mao W.G., Dai C.Y., Zhou Y.C., Yu X.H., (2007), Thermo-Mechanical Buckling Failure of Thermal Barrier Coatings with Arbitrary Delamination Location, *Advances in Vibration Engineering*, 6(2).149-164.
- Mao W.G., Dai C.Y., Zhou Y.C., Yu X.H., (2006), Modeling of residual stresses variation with thermal cycling in thermal barrier coatings, *Mechanics of Materials* ,38 (12), 1118–1127.
- Mackerle J., (2004), Finite element analyses and simulations of manufacturing processes of composites and their mechanical properties: a bibliography (1985–2003), *Computational Materials Science* ,31(3-4),187–219.
- Manikandan Nair K.C., Thomas S., Groeninckx G., (2001), Thermal and dynamic mechanical analysis of polystyrene composites reinforced with short sisal fibres, 61(16), 2519-2529.
- Mohammed U., Lekakou C., Dong L., Bader M.G., (2000), Shear deformation and micromechanics of woven fabrics *Composites: Part A* ,31(4), 299–308.
- Noor K.A., Starnes J.H., Peters J.M., (1995) , Thermomechanical postbuckling of multilayered composite panels with cutouts, *Composite Structures*, 30(4), 369-388.
- Olçay Y. Akyol M., Gemci R., 2002, Polimer Esaslı Lif Takviyeli Kompozit Malzemelerin Arabirim Mukavemeti Üzerine Farklı Kür Metotlarının Etkisinin İncelenmesi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık fakültesi, Cilt 7, Sayı 1, Bursa*
- Pan N., (1996), Analysis of woven fabric strengths: prediction of fabric strength under uniaxial and biaxial extensions, *Composites Science and Technology* ,56(3), 311-327.
- Paspuleti S., (2005), *Mechanical and Thermal Buckling of Thin Films*, Master of Science, Faculty of the Graduate School University of Missouri-Columbia.

- Patterson T.,Orloff D.I,Bloom F.,(2002), Delamination Buckling and Spalling of Plasma sprayed Thermal Barrier Coatings, , Mathematical and Computer Modelling ,35(1-2), 165-190.
- Philips N. L.,1989, Design with Advance Composite Materials,Springer-Verlag, The Design Council, Great Britain Younnossi O., Kennedy M., Graser J. C I., 2001, Military Airframe Costs The Effects of Advanced Materials and Manufacturing Processes, Project Air Force, RAND, Pittsburg, USA
- Pradeep V., Ganesan N.,(2008), Thermal buckling and vibration behavior of multi-layer rectangular viscoelastic sandwich plates, Journal of Sound and Vibration 310(1-2) ,169–183.
- Topal U. ,Uzman Ü.,(2009), Thermal buckling load optimization of angle-ply laminated cylindrical shells, Materials and Design ,30(3), 532–536.
- Sayman O.,(2002), Elastic-plastic and residual stresses in symmetric thermoplastic laminated plates under a linear thermal loading, Composites Science and Technology 62(9), 1231–1238.
- Schapery R.A.,(1968), Thermal expansion coefficients of composite materials based on energy principles,2(3), 380-404.
- Shivakumar, K. N. , Sundaresan, M. J. , Avva, V. S.,(1999), Structural Integrity of Discontinuous Stiffened Integrally Braided and Woven Composite Panels, DTIC Document.
- Shiau L.C.,Kuo S.Y., Chen C.Y. ,(2010), Thermal buckling behavior of composite laminated plates Composite Structures,92(2), 508-514.
- Shariyat M.,(2007), Thermal buckling analysis of rectangular composite plates with temperature-dependent properties based on a layerwise theory, Thin-Walled Structures 45(4), 439–452.
- Ray D.,Sarkar B.K.,Das S.,Rana A.K.,(2002),Dynamic mechanical and thermal analysis of vinylester-resin-matrix composites reinforced with untreated and alkali-treated jute fibres, Composites Science and Technology,62(7-8),911-917.
- Reddy J.N. ,Hsu Y.S., (1980), Effects of shear deformation and anisotropy on the thermal bending of layered composite platesJournal of Thermal Stresses 3(4), 475-493.
- Reddy J.N., Chao W.C., (1981), Non-linear bending of thick rectangular, laminated composite plates, International Journal of Non-Linear Mechanics,16 (3-4) , 291–301.
- Xue X.L,Wang S.B., Jia H.K., Li L.A., He W.,(2011), Experimental Investigation on Buckling of Thin Films in Mechanical-Thermal Coupled-Field, , Physics Procedia 19, 158–163.

- Wu Z., Chen W.,(2007), Thermomechanical buckling of laminated composite and sandwich plates using global–local higher order theory, International Journal of Mechanical Sciences 49(6) ,712–721.
- www.science.org.au/nova/059/059key.htm > Putting it together - the science and technology of composite materials
- www.fibersource.com > FiberSource: The Manufactured Fiber Industry
- www.geocities.com/CapeCanaveral/1320 > Vince Kelly's Carbon Fiber Homepage
- www.fibreglast.com > Fiberglass, Carbon Fiber - Fibre Glast Developments Corp.
- www.msm.cam.ac.uk/phase-trans/2001/stef/img23.htm > Peel Joint: FE Model
- Vatangül E., (2008), Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi ve Ansys 10 Programı ile Isıl Gerilme Analizi, Dokuz Eylül Üni.Bitirme Tezi.
- Yıldız H. , G. Eral , (2004) , Kompozit Malzemelerin Sürünme Davranışının Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İncelenmesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi 10 (3) 359-366
- Zhao L.G. , Warrior N.A., Long A.C.,(2006), A micromechanical study of residual stress and its effect on transverse failure in polymer–matrix composites,,International Journal of Solids and Structures ,43,5449-5467.

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında AĞRI'da doğdu. İlkokulu 5.sınıfa kadar Yunus Emre İlköğretim Okulu'nda okudu. Daha sonra Mustafa Kemal Lisesi'nde ortaokul ve lise eğitimini tamamladı. 2001 Yılında Fırat Üniversitesi Endüstriyel Elektronik Bölümüne başlayıp 2. yarıyılıda bıraktı. 2003 yılında Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Talaşlı Üretim Öğretmenliği bölümüne devam etti. 2007 yılında Çerkezköy Belediye Başkanlığında memur olarak çalışmaya başladı. 2010 yılında askerlik görevini tamamladı. 2011 yılında Namık Kemal üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek lisans eğitimine başladı.