

**KARAYOLLARINDAKİ İŞARET
LEVHALARININ İMALATINDA KOMPOZİT
MALZEME KULLANIMI**

Yusuf ERBAY

**Yüksek Lisans Tezi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Prof. Dr. Hamit AKBULUT**

2014

Her hakkı saklıdır

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KARAYOLLARINDAKİ İŞARET LEVHALARININ İMALATINDA
KOMPOZİT MALZEME KULLANIMI**

Yusuf ERBAY

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**ERZURUM
2014**

Her hakkı saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

**KARAYOLLARINDAKİ İŞARET LEVHALARININ İMALATINDA KOMPOZİT
MALZEME KULLANIMI**

Prof. Dr. Hamit AKBULUT danışmanlığında, Yusuf ERBAY tarafından hazırlanan bu çalışma **12/03/2014** tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek lisans tezi olarak **oybirliği/oy çokluğu (3/3)** ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Hamit AKBULUT

İmza :

Üye : Prof. Dr. Adnan ÖZEL

İmza :

Üye : Doç. Dr. Habip UYSAL

İmza :

Yukarıdaki sonuç;
Enstitü Yönetim Kurulu **17.04.2014** tarih ve **16/520** nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. İhsan EFEOĞLU
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KARAYOLLARINDAKİ İŞARET LEVHALARININ İMALATINDA KOMPOZİT MALZEME KULLANIMI

Yusuf ERBAY

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hamit AKBULUT

Karayollarında kullanılan Yatay ve düşey işaretlemeler, yol çevresinin genel özelliklerini, gerekli ikaz ve mesajları yolu kullananlara aktarırlar. İkaz mahiyetindeki trafik işaret levhaları yolda, yaklaşan tehlikeyi önceden belirterek yolu kullananların daha tehlikeyi görmeden gerekli tedbirleri almalarına yardımcı olur. Trafiğin düzenlenmesi için kullanılan işaretler ile trafiğin düzenli ve güvenli biçimde seyri sağlamaktadır. Bu işaret levhaları bunları taşıyan direkler genellikle çelik veya alüminyum gibi metallerden yapılmaktadır. Ancak kompozit teknolojisinin gelişmesiyle birlikte kompozit malzeme söz konusu olabilmektedir.

Bu çalışmada kompozit malzemeden üretilmiş trafik direk ve levhalarının alüminyum ve çelikten üretilmiş olan trafik direk ve levhalarıyla mukayesesi için modelleme yapılarak seçilen malzemelerde oluşan gerilmeler hesaplanmış ve karşılaştırılarak incelenmiştir.

2014, 74 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Trafik levha ve direkleri, Kompozit malzeme, Gerilme analizi, Sonlu elemanlar yöntemi

ABSTRACT

USING COMPOSITE MATERIALS IN MANUFACTURING PROCESS OF ROAD POST ON HIGHWAYS

Yusuf ERBAY

Atatürk University
Institute of Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Hamit AKBULUT

Horizontal and vertical traffic signs used on the highways that tell road users general features of the road environment, necessary warning and messages. The road users are helped to take measure by warning traffic sing posts before pressing danger and without seeing the danger. The traffic posts used for traffic regulation provide that the traffic progresses regularly and safely. The posts and traffic sings are usually made from metal like steel and aluminum. However the way to development of composite technology, composite materials shall be used.

In this work, modelling is studied to compare traffic post and sings made from composite material with made from metal material such as steel and aluminum. Tensions on the choosen materials calculated and studied with comparison.

2014, 74 Pages

Keywords: Traffic signs and poles, composite materials, Stress analysis, Finite element method

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tezimin belirlenmesi ve tamamlanması aşamalarında, öncelikle tezimi değerlendirerek, değerli görüş ve eleştirileriyle her türlü ilgi ve yardımı esirgemeyen tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Hamit AKBULUT'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam esnasında bana destek olan ve bilgi alışverişinde bulunduğum Sayın Prof. Dr. Mehmet GAVGALI'ya, Sayın Arş. Gör. Recep ÇATAR'a, Sayın Mak. Yük. Müh. Farzin AZİMPOUR'a, tez çalışmamın her aşamasında bana verdiği destekle çalışma azmi kazandıran eşim Neslihan ERBAY ve çocuklarım Abdullah Burak ERBAY ve Elif Sena ERBAY'a derin sevgi ve saygılarımı sunarım.

Yusuf ERBAY

Mart, 2014

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Amaç	5
1.2. Kapsam.....	5
2. KURAMSAL TEMELLER.....	6
2.1. Kompozit Malzeme Tanımı.....	6
2.2. Kompozit Malzemelerin Tarihsel Gelişimi	6
2.3. Kompozit Malzemelerin Avantajları.....	11
2.3.1. Yüksek mukavemet	11
2.3.2. Kolay şekillendirme	11
2.3.3. Elektriksel özellikler.....	11
2.3.4. Isıya ve ateşe dayanıklılık	12
2.3.5. Titreşim sönümlleme	12
2.3.6. Korozyona ve kimyasal etkilere karşı dayanıklılık	12
2.3.7. Kalıcı renklendirme	12
2.4. Kompozit Malzemelerin Dezavantajları	13
2.5. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları.....	13
2.5.1. Havacılık sanayi	14
2.5.2. Denizcilik sanayi	14
2.5.3. Spor araçları	14
2.5.4. Sağlık.....	15
2.5.5. Otomotiv.....	15
2.5.6. Formula 1 arabaları	16
2.5.7. Müzik aletleri	16

2.5.8. Yapı sektörü	17
2.6. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	17
2.6.1. Yapılarını oluşturan malzemelere göre sınıflandırma	17
2.6.1.a. Plastik–plastik kompozitler	17
2.6.1.b. Plastik–metal fiber kompozitler	18
2.6.1.c. Plastik–cam elyaf kompozitler	18
2.6.1.d. Plastik–köpük kompozitler	19
2.6.1.f. Seramik kompozitler	20
2.6.2. Yapı bileşenlerinin şekline göre sınıflandırma.....	20
2.6.2.a. Partikül takviyeli kompozitler	20
2.6.2.b. Lamel esaslı kompozitler.....	20
2.6.2.c. Elyaf takviyeli kompozitler	21
2.6.2.d. Dolgu kompozitler.....	21
2.6.2.e. Tabakalı kompozitler	22
2.7. Kompozit Malzeme Yapımında Kullanılan Temel Malzemeler	22
2.7.1. Matris malzemeleri.....	22
2.7.2. Reçineler ve özellikleri.....	23
2.7.2.a. Epoksi reçineler	23
2.7.2.b. Polyesterler	23
2.7.2.c. Üretan reçineleri	23
2.7.2.d. Fenolik reçineler.....	24
2.7.3. Elyaf malzemeleri.....	24
2.7.3.a. Cam elyaflar	24
2.7.3.b. Bor elyaflar	26
2.7.3.c. Silisyum karbür elyaflar	26
2.7.3.d. Alumina elyaflar	27
2.7.3.e. Grafit (Karbon) elyaflar	27
2.7.3.f. Aramid elyaflar	28
2.8. Kompozit Malzeme Üretim Yöntemleri.....	28
2.8.1. Elle yatırma (hand lay-up).....	28
2.8.2. Püskürtme (spray-up)	29
2.8.3. Elyaf sarma (filament winding).....	29

2.8.4. Reçine transfer kalıplama RTM/reçine enjeksiyonu	29
2.8.5. Profil çekme/pultrüzyon (pultrusion)	30
2.8.6. Hazır kalıplama/compression molding (SMC, BMC).....	30
2.8.7. Hazır kalıplama pestili/SMC (sheet moulding composites).....	31
2.8.8. Hazır kalıplama hamuru/BMC (bulk moulding composites)	31
2.8.9. Vakum bonding/vakum bagging	32
2.8.10. Otoklav/autoclave bonding.....	32
2.8.11. Preslenebilir takviyeli termoplastik.....	33
2.9. Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY)	33
2.9.1. Sonlu elemanlar yönteminin tarihsel gelişimi	33
2.9.2. Sonlu eleman yöntemi adımları.....	34
2.9.3. Sonlu eleman seçimi.....	36
2.9.4. Sonlu eleman modelinin oluşturulması	36
2.9.5. Malzeme ve eleman sabitlerinin belirlenmesi	36
2.9.6. Yük ve sınır koşullarının belirlenmesi	37
2.9.7. Çözüm	37
2.9.8. Sonuçların alınması	37
2.9.9. Sonlu eleman yönteminin diğer yöntemlere göre avantaj ve dezavantajları	37
2.9.10. Sonlu elemanlar yönteminde paket program kullanımı	38
2.10. Gerilme Analizi	38
2.10.1. Kırılma ve akma kriterleri	39
2.10.2. Gerilme teorileri	39
2.10.3. Şekil değişimi teorileri	39
2.10.4. Enerji teorileri.....	39
2.11. Çalışmada Kullanılan Mühendislik Yazılımlar	40
2.11.1. SolidWorks.....	40
2.11.2. ANSYS-Workbench.....	40
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	41
3.1. Levha ve Direk Modeli.....	41
3.1.1. Levha direği.....	42
3.1.2. Direği levhaya bağlayan kelepçe üst parçası.....	42
3.1.3. Kelepçenin alt parçası	43

3.1.4. Vida ve somun.....	43
3.1.5. Levha kanalı	44
3.1.6. Levhalar	44
3.2. Montaj İşlemi	45
3.2.1. Kanalla kelepçenin montajlanması.....	45
3.2.2. Levhanın kanal bağlantısı.....	45
3.2.3. Levhaların direğe montajlanması	46
3.4. Modelin ANSYS Workbench'a Aktarılması.....	46
3.4.1. Malzeme özellikleri	46
3.4.2. Elemanlar arasındaki bağlar	47
3.4.3. Sonlu elemanlar modelinin oluşturulması.....	47
3.4.4. Rüzgar yükü hesabı	47
3.4.5. Analizler	49
3.4.6. Von-Mises gerilmesi	49
3.4.7. ANSYS sonuçlarının teyidi	51
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	56
4.1. Kayma Gerilmesi.....	56
4.2. Normal Gerilme.....	58
4.3. Von-Mises Gerilme Dağılımı	60
4.4. Direkte Meydana Gelen Sehim	62
4.5. Levhalarda Meydana Gelen Deformasyonlar.....	64
4.6. Kompozit Direklerdeki Sehim Değerlerinin Cidar Kalınlığına Göre Değişimi..	66
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	71
KAYNAKLAR	73
ÖZGEÇMİŞ	75

SİMGELER DİZİNİ

A	Alan
C	Santigrat derece
D	Düğümlerin yer değiştirme vektörü
E	Elastiklik modülü
V	Kesme kuvveti
G	Kayma modülü
K	Direngenlik matrisi
P	Basınç
u_g	Birim hacim için genel çarpılma enerjisi
ν	Poisson oranı
σ	Normal Gerilme
τ	Kayma gerilmesi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Bir sonlu eleman modelinde düğüm noktaları ve elemanları	35
Şekil 3.1. Levhanın genel görünümü	41
Şekil 3.2. Levha direğinin boyutları (ölçüler mm’dir).....	42
Şekil 3.3. Kelepçenin üst parça geometrisi	42
Şekil 3.4. Kelepçenin alt parça geometrisi	43
Şekil 3.5. Kelepçe bağlantı vida ve somunu	43
Şekil 3.6. Levhanın üzerinde bulunan T kanal	44
Şekil 3.7. Levhanın ön görünüşü	44
Şekil 3.8. Kelepçenin levha kanalına bağlantısı	45
Şekil 3.9. Levha kanal bağlantısı	45
Şekil 3.10. Levhaların direğe montajı.....	46
Şekil 3.11. Direğe ve levhalara rüzgâr kuvvetinin etkisi	48
Şekil 3.12. Von Mises ve Maksimum kayma gerilmesi teorilerinin karşılaştırılması	50
Şekil 3.13. (a) Levha ve direğin cepheden görünüşü (b) ANSYS analizinde kuvvetler.....	51
Şekil 3.14. (a) Direğin serbest cisim diyagramı, (b) Direk kesiti (c) Direk ölçüleri	53
Şekil 4.1. Çelik direğin eklem bölgesindeki kayma gerilmesi dağılımı	56
Şekil 4.2. Alüminyum direğin eklem bölgesindeki kayma gerilmesi dağılımı.....	57
Şekil 4.3. Kompozit direğin eklem bölgesindeki kayma gerilmesi dağılımı.....	57
Şekil 4.4. Malzemelerde oluşan kayma gerilmelerinin karşılaştırılması	58
Şekil 4.5. Çelik direğin normal gerilmesi dağılımı.....	58
Şekil 4.6. Alüminyum direğin normal gerilmesi dağılımı	59
Şekil 4.7. Kompozit direğin normal gerilmesi dağılımı	59
Şekil 4.8. Malzemelerde oluşan normal gerilmelerinin karşılaştırılması	60
Şekil 4.9. Çelik direğin Von-Mises gerilmesi dağılımı	60
Şekil 4.10. Alüminyum direğin Von-Mises gerilmesi dağılımı.....	61
Şekil 4.11. Kompozit direğin Von-Mises gerilmesi dağılımı	61
Şekil 4.12. Direkte meydana gelen Von-Mises gerilme değerleri	62
Şekil 4.13. Çelik direğin sehimi.....	62

Şekil 4.14. Alüminyum direğin sehim	63
Şekil 4.15. Kompozit direğin sehim	63
Şekil 4.16. Direklerde oluşan sehimlerin karşılaştırılması	64
Şekil 4.17. Çelik direkteki levhada oluşan deformasyonlar	64
Şekil 4.18. Alüminyum direkteki levhada oluşan deformasyonlar	65
Şekil 4.19. Kompozit direkteki levhada oluşan deformasyonlar	65
Şekil 4.20. Levhalarda oluşan en büyük deformasyonların karşılaştırılması	66
Şekil 4.21. Kompozit direğin geometrisi	67
Şekil 4.22. 1 nolu kompozit direkteki sehim	68
Şekil 4.23. 2 nolu kompozit direkteki sehim	68
Şekil 4.24. 3 nolu kompozit direkteki sehim	69
Şekil 4.25. 4 nolu kompozit direkteki sehim	69
Şekil 4.26. 5 nolu kompozit direkteki sehim	70

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Malzemelerin özellikleri.....	47
Çizelge 3.2. Levha ve direk boyutları.....	49
Çizelge 4.1. Cıdar kalınlıklarına göre sehim değerleri	67

1. GİRİŞ

20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren tekniğin hızla gelişmesi, beraberinde sanayinin temel girdisi olan malzeme ve malzeme biliminde de gelişmelerin hızlanmasını sağlamıştır. Fakat yeryüzünde çelik bakır alüminyum gibi malzemelerin sınırlı olmasından dolayı, malzemeler ve bu malzemelerin özellikleri teknolojinin gelişimine ayak uyduramamıştır. Bilim ve teknolojinin büyük hızla ilerlediği günümüzde her geçen gün yeni üstün özelliklere sahip malzemelere ihtiyaç ortaya çıkmaktadır (Şahin 2006).

Uzay araçlarının yapımına geçilen asırda, bilim adamları çağın yenilikleri ile birlikte mevcut malzemelerin özelliklerinden, bilimin gelişmesi paralelinde günün şartlarına uyacak şekilde, gerek ekonomik gerekse teknik yönden daha uygun malzemeler imal etme yoluna gitmişlerdir. Dolayısıyla hem ekonomik hem daha yüksek mukavemetli ve hem de çok hafif malzemelerin elde edilmesi için yapılan çalışmalar yoğunlaştırılmıştır. Böylece malzemeyi teşkil eden bileşenlerin, özellikleri farklı olan kombinasyonlarının verdikleri, kompozit malzemeler, büyük bir önem kazanmıştır (Vatangül 2008).

Akbulut ve Sayman (2001), merkezinde dikdörtgen şeklinde delik bulunan tabakalı kompozit plakaların burkulmasının SEM kullanarak araştırmışlardır. Çalışmalarında, plak kalınlığının, takviye açılarının, tek yönlü ve çift yönlü yükleme durumunun, basit veya ankastre mesnet sınır şartlarının, tabakaların simetrik veya simetrik olmama durumunun kritik burkulma yüküne etkilerini araştırmışlardır. Kritik burkulma yükünün tek yönlü yükleme durumunda süratli bir değişim gösterdiğini, çift yönlü yükleme durumunda ise değişimin daha yavaş olduğunu, kritik burkulma yükündeki azalışın basit mesnetli ve ince tabakalarda ankastre mesnetli tabakalara oranla daha hassas bir değişim gösterdiğini tespit etmişlerdir. Burkulmaya karşı en iyi direnci gösteren levhanın tek yönlü yüklenmiş 45° / -45° takviye açısına sahip simetrik olmayan tabakalı levhada olduğunu tespit etmişlerdir.

Temiz ve Özel (2001),Yaptıkları çalışmada delikli ve deliksiz izotropik ve ortotropik kompozit plakalarda gerilme analizini sonlu elemanlar yöntemini kullanarak yapmışlardır. Problemi çözmek için bir bilgisayar programı yazmışlar ve 8-nod isoparametrik elementi kullanmışlardır. Hesaplamaları çeşitli kompozit ve çelik malzemeler için bu program ile yapmışlardır. Sonuçları diyagram ve tablolarla göstermiş ve literatürle karşılaştırmışlardır. Delikli numunelerdeki gerilme dağılımının deliksiz numunelere göre tümüyle farklı olduğunun tespit etmişlerdir. Analiz sonuçları elastik gerilmenin ilk tabakadan son tabakaya doğru yavaş yavaş azaldığını göstermişlerdir.

Akbulut ve Şenel (2010), Merkezi bir deliğe sahip yuvarlatılmış düzlemsel yük altında, paslanmaz çelik, elyaf takviyeli kompozit alüminyum plakalar içinde artık gerilmeler ile çalışma yapmışlardır. Çalışmada, delik boyutu, köşe yarıçapı ve kalıntı gerilmeler ile ilgili yönlendirme açılarının etkileri sonlu eleman yöntemi (SEY) yazılımı ANSYS kullanılarak incelenmiştir. Sonuçlar tablo ve grafik şekillerde sunulmuştur

Tafresri and Bailey (2007), Kompozit silindirin kombine yükler altındaki stabilitesini incelemişler ve silindirin kusursuz olması durumundaki burkulma değerlerini araştırmışlardır.

Han *et al.* (2007), Çevresi halkalar şeklinde Cam elyaf takviyeli boruların burulmasını incelemişlerdir. Farklı birim ve sertlik oranına sahip çeşitli plastik takviyeli Cam Fiber boru silindirik boru modellerin burulma modelleri analizleri ile değerlendirilip ve ortotropik materyalden yapılmış bir nervür takviyeli borunun elastik burkulma kuvvetini hesaplayarak analiz sonuçlarını içeren bilgiler ileri sürmüştür. Çevresi halkalar şeklinde CTP takviyeli borunun genel düz bir boruya göre üstün mukavemete sahip olduğunu göstermişlerdir.

Hur *et al.* (2008), dış hidrostatik basınç altında kompozit silindirlerin burulmasını deneysel ve nümerik olarak incelemişlerdir.

Leijten *et al.* (2009), petrol ve gaz endüstrisi için makaraya sarılabilir boru sistemi geliştirilmiş ve silindirik yapıların burulmaları incelenmiştir.

Li *et al.* (2010), çelik telleri helozonik olarak çaprazlama yöntemiyle güçlendirmiş ve yeni bir plastik matriksli çelik kompozit boruların burulma davranışını elde ederek Çin Ulusal Standartları için temel veri sağlamak adına hidrolik basınç vakum test etme aygıtları tasarımılamışlardır.

Ural (2009), Silindirik kompozit kapların burkulma analizini incelemiştir. Yapılan analizler neticesinde; Çapraz ve simetrik tabakalandırma durumunda ilk tabakanın takviye açısının fazla bir önemi olmadığı tespit edilmiştir. Tabaka sayısı ne kadar az ise simetrik tabakalandırmanın burkulma üzerindeki olumlu etkisi asimetrik tabakalandırmaya oranla o kadar fazla olduğu tespit edilmiştir. Silindirin yüzeyine etkiyen çevresel bant yükü azaldıkça burkulma dayanımı artış göstermektedir.

Ho and Cheng (1963), dört sınır şartını göz önünde tutarak, eksenel, radyal ve eğilme b yükleri altında homojen olmayan anizotropik ince cidarlı silindir yapıların burulması ile ilgili analizler yapmışlardır.

Akbulut ve Ural (2007), Dört bir kenarına dairesel çentik açılmış kompozit levhaların burkulma davranışlarını incelemiştir. Çentikli bir levhada; çentik yarıçapının, yükleme durumunun, levha kalınlığının, takviye açılarının, tabaka sayısının ve elastisite modülü oranlarının burkulmayı nasıl etkilediği SEM ile araştırmışlardır. Levhanın kenarında açılan çentiklerin levhanın burkulma değerini artırdığı, çift yönlü yükleme durumunda kritik burkulma değerinin azaldığını tespit etmişlerdir.

Karayollarında kullanılan yatay ve düşey işaretlemeler, yol çevresinin genel özelliklerini, gerekli ikaz ve mesajları yolu kullananlara aktarırlar. İkaz mahiyetindeki trafik işaret levhaları yolda yaklaşan tehlikeyi önceden belirterek yolu kullananların daha tehlikeyi görmeden gerekli tedbirleri almalarına yardımcı olmaktadır. Trafiğin

düzenlenmesi için kullanılan işaretler ile trafiğin düzenli ve güvenli bir biçimde seyri sağlanabilmektedir.

Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından her yıl elde ettiği bütçe imkânları ile sorumluluğundaki yaklaşık 62.880 km devlet ve il yolu ile 2119 km otoyolu yatay ve düşey işaretlemesi yapılmaktadır. Devlet ve il yollarında, 2013 yaklaşık birim fiyatları ile 126 milyon TL tutarında (KDV dahil) 771.362 adet standart trafik işaret levhası ile 208.000 m² trafik bilgi levhası bulunmaktadır.

Özellikle alüminyum malzemeden yapılan ve bilgi levhalarının yoğun olduğu ana yollar üzerinde bulunan levhaların çalınması, daha çok kırsal veya avcılık yapılan kesimlerde kurşunlanması, üzerindeki reflektif tabakanın soyulması, tahrip edilmesi, çarpılma, sert bir cisimle tahrip edilmesi, normal yıpranma, kullanım süresine bağlı olarak görünürlüğünü kaybetme gibi nedenlerden dolayı bu levhaların %20'si her yıl yenilenmekte, yılda yaklaşık 10 milyon TL si çalınma ve kurşunlanmalar olmak üzere 25 milyon TL harcama yapılmaktadır. Bir adet standart levha 76.-TL (KDV hariç), 1 m² bilgi levhası 233 TL (KDV hariç) TL'dir. Buna karşılık hurda olarak satış bedeli alüminyum levhalarda onda bir, saç levhalarda ise yüzde bir mertebesinde-dir. Çalınan işaret levhaların tespit edilip yerine konulmasına kadar geçen süre içerisinde, ilgili bölgelerde işaret levhasının bulunmayışından dolayı trafik güvenliği tehlikeye girebilmektedir.

Bütün bu anlatılanlarda dolayı sürekli ve kalıcı olmalarını sağlamak için en modern malzemelerden imkânlar oranında yararlanılması gerekmektedir. Karayolları 12. Bölge Müdürlüğü tarafından bütçe imkânları ile sorumluluğundaki 2205 km devlet ve il yolunun yatay ve düşey işaretlemesi yapılmaktadır. Bölge Müdürlüğüne bağlı devlet ve il yolları üzerinde 2013 yaklaşık birim fiyatları ile 5 milyon TL tutarında yaklaşık 40.000 adet standart trafik işaret levhası ile bilgi levhası bulunmaktadır (KGM 2012).

1.1. Amaç

Bu çalışmada Trafik levha ve direklerinin kompozit (CTP) malzemedan imalatının alüminyum (Al) ve galvanizli çelikten (St 37) imatları ile karşılaştırılması yapılacaktır. Üç farklı malzeme den üretilen direklerin rüzgâr yükü karşısındaki davranışları incelenecektir. Yapılan modelleme sonrasında bu malzemelerdeki eğilme burulmalar dikkate alınarak gerilme analizleri yapılacaktır. Yapılan model üzerinde üç malzemenin aynı yükler altında oluşan gerilmeler ve deformasyonlar hesaplanarak karşılaştırmaları yapılacaktır. Hazırlanan bu modellerde, doğal ortamdaki rüzgar hızının levha ve direğe uyguladığı kuvvetlerden dolayı oluşan gerilmeler ve şekil değiştirmeler belirlenerek, kullanılan malzemelerin performansları araştırılacaktır.

1.2. Kapsam

Bu çalışma, Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY) ni baz alan ANSYS-Workbench ile yürütülmüştür. Modeller öncelikle mevcut piyasada kullanılan trafik işaret levhalarının ve direklerinin boyutları göz önüne alınarak SolidWorks te tasarımı yapılmıştır. Üç farklı malzemedan imal edilmiş trafik işaret levha ve direklerinde oluşan gerilmeler ve şekil değiştirmeler, SEY’i baz alan ANSYS Workbench sayısal analiz paket programı ile yapılmış, levha-direk SEY modelleri SolidWorks’la elde edilecektir.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Kompozit Malzeme Tanımı

İstenen amaç için tek başlarına uygun olmayan farklı özelliklerdeki iki ya da daha fazla malzemeyi istenen özellikleri sağlayacak duruma getirmek için belirli şartlar ve belirli oranlarda fiziksel olarak, makro yapıda bir araya getirilerek elde edilen malzemelere Kompozit Malzemeler denir (Delibalta 2005).

Farklı özelliklerdeki malzemelerin bir araya getirilmesindeki amaç kompozit malzemelere düşük ağırlık, yüksek mukavemet, yüksek korozyon dayanımı, uygun termal özellik, uygun aşınma ve yorulma dayanımı gibi özellikleri kazandırmaktır. Kompozit malzemelerde çekirdek olarak kullanılan tali faz taşıyıcı vazifesi gören bir fiber malzeme ve bu malzemenin çevresinde hacimsel olarak çoğunluğu oluşturan Ana faz bağlayıcı matris malzeme bulunur. Bu iki malzeme grubundan fiber malzeme, kompozit malzemenin mukavemet ve yük taşıma özelliğini sağlamaktadır. Matris malzeme ise plastik deformasyona geçişte oluşabilecek çatlak ilerlemelerini önleyici rol oynamakta ve kompozit malzemenin kopmasını geciktirmektedir. Matris olarak kullanılan malzemenin bir amacı da, fiber malzemeleri yük altında bir arada tutabilmek ve yükü lifler arasında homojen olarak dağıtmaktır. Böylelikle fiber malzemelerde plastik deformasyon gerçekleştiğinde ortaya çıkacak çatlak ilerlemesi olayının önüne geçilmiş olunur. Günümüzde düşük özgül ağırlığa karşılık yüksek mukavemet ve korozyona dayanıklılığı, iyi şekillenebilme özelliği ve yorulmaya karşı iyi dayanımı nedeniyle kompozit malzemeler metal malzemelere nazaran daha fazla tercih edilmektedir (Delibalta 2005).

2.2. Kompozit Malzemelerin Tarihsel Gelişimi

Malzeme kullanımı insanlıkla beraber başlamıştır. İlk devirlerde bugünkü gibi doğadaki direkt elde edilebilecek malzemeler kullanılabiliyordu. İlk zamanlar, en basit malzeme çakmak taşı ve tahta kullanılmıştır. Hemen sonraları çamur-saman karıştırılıp kerpiç

olarak kullanılmaya başlanılmıştır. M.Ö. 2000 yıllarında bu durum çok iyiydi; çünkü kesici alet olarak çakmak taşı ve sap yapı malzemesi olarak da en iyi tahta ve pişmiş toprak vardı. Çamur içinde gömülmüş saman kurutularak çok iyi bir karma malzeme olabilmektedir veya ok yayı yapılırken üst üste konulan, özellikleri ve lif yönleri farklı ağaç levhalar karma bir plaka oluşturlardı. Sonraları kâğıt olarak da papirüs kullanılmaya başlanmıştır (Vatangül 2008).

Tarihi öneme, (ilk olarak) metallerde altın ile girmişlerdir. Çünkü ilk çağlarda altın Kolay işlenebilir olduğu için ilk kullanılan metal olmuştur. Belki de altının asaleti buradan gelmektedir. İşlemeciliğiyle beraber, bakır bronz sonrada demir kullanılmaya başlanmıştır. Demiri işlemeyi başaran insanoğlu artık malzeme bakımından gelişimi hızlandırmaya başlamıştır. Bu devirlerde yapı malzemeleri ve bugüne kadar kullanılabilen malzemelerin önemi de çok büyüktür. Şöyle ki; Mısır Piramitleri ve tapınakları taştan yapılmışlar, bu sebepten o zamandan beri ayakta kalmışlardır. Oysa en az bunlar kadar görkemli olan Babil Kulesi gibi Mezopotamya Anıtları, çok daha dirençsiz bir malzeme olan tuğladan yapılmış olduklarından hemen hemen tamamen yok olmuşlardır. İlk çağlara kadar bu klasik malzemeler kullanılmıştır. Farklı olarak, ilk denizcilerin bulduğu tahmin edilen camda bu malzemelere eklenmiştir. Tabii ki, ilk aşamada mühendislik malzemesi olarak bu kadar yaygın kullanılamamıştır. Ancak ev eşyaları vb.lerinin yapımında kullanılmıştır. Bu devirlerden başlayıp bugün bile kullanılan en önemli malzeme ise demir olmuştur. Demirin kullanımı ilk devirlerde çok üstünlük sağlamıştır. Örneğin, demirin işlenmesini bilen Hititler henüz demiri tam manasıyla öğrenemeyen birçok devlete karşı uzun süre efsanevi üstünlük kurmuştur. İsraililer çamur ve samanla tuğla yaparak, ortaçağda askerler kılıçlarını sağlamlaştırma yoluna gitmişlerdir (Vatangül 2008).

Kompozit malzemeler; çoğu doğal ve biyolojik yapıda bulunabilir. En çok rastlanan doğal kompozit malzeme odundur. Eski Yunan ve Mısır uygarlıklarında; odunun ısıl genleşme ve nem tutma özellikleri kullanılarak daha kaliteli ürün elde etmek amacıyla kontrplak üretilmiştir (Vatangül 2008).

Mısırlılar kontrplağı vb. yaparak günümüze değin önemi gittikçe artan kompozit malzemeyi o zamanlardan kullanmaya başlamışlardır. İlkçağdan itibaren, metal yapımı, işlenmesi, saflaştırılması, dökümü vb. geliştirilmeye başlandı. Artık günümüze kadar birinci malzeme sınıfı metaller oldu. Seramikler ve karma malzemeler ikinci aşamaya kaldı. Gerçi bu metallerde karma metaller olarak kompozit sınıfına bir açıdan girmektedir. Seramik olarak bu devirlerde en önemli kesit, çimentonun yapı malzemesi olarak kullanılmasıdır. M.S. 1000 yıllarında gelişen çimentoyla dökme demir imali aynı zamana rast gelmektedir. Görüldüğü üzere tuğla-kağıt-samandan başka gerçek anlamda kompozit malzeme geliştirilmemiştir (Vatangül 2008).

Malzemelerin tarihsel gelişimi XX. yüzyıla gelindiğinde, o ana kadar metallerden çelikler, alaşımlar, yapıştırıcılar, lastikler, bakalitler polimer olarak seramiklerden Portland çimentosu, ısı yansıtıcı vb. geliştirilmiştir. Buraya kadar anlaşılmaktadır ki ilk çağdan XX. Yüzyıl başına kadar kompozit malzemelerde fazla bir artma olmamıştır. Geliştirilen kompozitler pahalı olduğu için o güne kadar daima daha ucuz, daha güvenli, daha mukavim vb. malzemeler yapılabilmıştır. Havacılığın I. Dünya Savaşı sonrası ve devrim olarak II. Dünya Savaşı sonrasında hızla gelişmesiyle havacılıkta malzemeye olan ihtiyacın türü değişmeye başladı. Kompozitler önce uçak, sonra uzay yapılarında kullanılmaya başlandı. Dizayn olarak oldukça yüksek bir yapısal verim mukavemet/ağırlık oranının çok yüksek olmasının istenmesi klasik malzemelerde istenilen verimi sağlamadı. Dolayısıyla kompozit malzemeler bu amaç için en uygun malzemelerdi (Vatangül 2008).

Karma yapı malzemesi olarak en önemli yapı malzemesi betondur. “Beton” sözcüğü Hitit-Avrupa kökenli Bitume’den gelmektedir ki, karışım anlamına gelmektedir. İlk bulunduğu günümüze kadar çok aşama geçirmiştir. 1930’lardan sonra ve özellikle II. Dünya Savaşı sırasında betonarme ve ön gerilmeli beton türleri ön plana çıkmıştır. Metallerde son yıllarda işleme ve kontrolü daha yüksek kaliteli ve gelişimi yavaş malzeme olarak cam-metaller, Al-Li alaşımları, çift yüzlü çelikler, mikro alaşımlı çelikler ve yeni süper alaşımlı çelikler geliştirilmeye başlanmıştır (Vatangül 2008).

Polimerler, yüzyıl başında naylonun gelişmesiyle ön plana çıkmıştır ki, bunların en önemlileri plastiklerdir. Son yıllarda ise Acrylics, epoxy'ler ve polyesterler çok büyük kullanım alanı bulmuşlardır. 1950'li yıllardan sonra, özellikle çok hızlı gelişim gösteren bir dalda biyomalzemelerdir. Polimerler, metal alaşımları, seramikler vb. birçok tıp dalında kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle yapay organların yeni protezlerde kullanımı çok artmıştır. Tabii bu dal çok üstün mühendislik-malzeme ve tıp eğitimi isteyen bir daldır.

Metallerin, seramiklerin ve polimerlerin gelişmesi dolayısıyla, bunların daha üstün ve daha çok çeşitli özelliği bir arada toplayan malzeme olarak kompozit malzemelerin gelişimi de çok hızlandırılmıştır. Adeta patlama safhasına varmıştır. Havacılığında gelişiminin hızlanması kompozit malzemeye havacılıkta en çok kullanılan malzeme durumuna getirmiştir (Vatangül 2008).

Havacılıkta özellikle hava-uzay yapı elemanlarında kullanılan kompozitler klasik tür kompozit malzemeden ayrıldığı için bunlara “İleri kompozit malzeme (Advanced composite materials)” denmiştir. Bu malzemeler, son yıllarda büyük bir gelişme göstermiş olup, Cam elyafı plastik malzemeler (GFRD-Glass Fiber Reinforced Plastics), Karbon fiber takviyeli plastik malzemeler (CFRR-Carbon Fiber Reinforced Plastics), Kevlar (RP-4) geliştirilmiştir. Son yıllarda kullanılan önemli bir kompozit malzeme türü de metal-matrisli kompozit malzemelerdir. Özellikle çok yüksek mukavemet/ağırlık oranı gereken uçaklarda kullanımı giderek artmaktadır.

Kompozit malzemeler; makroskopik yapıda birbirinden bağımsız iki veya daha fazla malzemenin bir araya gelmesiyle oluştuğu söylenmişti. Eğer bu bileşenler makroskopik yapının yanında mikroskopik yapıda da birleştirilirse kompozit olarak tanımlanamazlar, bu nedenle metal alaşımları ve polimer karışımları kompozit olarak sınıflandırılmazlar.

Kompozit malzemeler; genel itibarıyla kendini meydana getiren malzemelerin en iyi özelliklerini yansıtacak şekilde biçimlendirilirler. Bu nedenle; hafiflik ve yüksek mukavemet istenen yerlerde metaller yerine kompozit malzemeler kullanılmaktadır.

Kompozit malzemeler oluşturularak daha yüksek mukavemet, daha iyi rijitlik, daha iyi korozyon ve aşınma direnci, hafiflik, yüksek yorulma ömrü ve ısıya dayanıklılık gibi özellikler kazanılabilir. Gerçekte tüm bu özellikler aynı anda sağlanamaz. Kullanım alanlarına göre ihtiyaç duyulan özellik arttırılabilir (Onaran 2003).

Böylece; uygun kompozit malzemeler kullanılan matris ve elyafın özelliklerini taşıyacak şekilde elde edilebilir. Kompozit malzemelerin, parça bütünlüğü, hafiflik, yüksek mukavemet, darbe dayanımı ve uzun kullanım ömrü gibi özellikleri, geniş kullanım alanlarında avantajlar sağlamaktadır.

Cam elyafı elastik ve gevrek bir malzeme olup, yük altında düzgün olarak kopma noktasına kadar uzar, yükün kalkması sonucunda herhangi bir plastik şekil değiştirme göstermeden başlangıç boyutuna geri dönebilir. Diğer metallerde ve organik liflerde bulunmayan bu elastiklik ve yüksek mukavemet özellikleri; cam elyafına büyük miktarda enerjiyi, kayıpsız olarak depolama ve bırakma olanağı sağlamaktadır (Onaran 2003).

Bu zellik, dinamik yorulma dayanımı, aşınmaya karşı korunması koşulu ile otomobil, kamyon amortisör yayları ve mobilya yayları gibi ürünlerin cam elyafı takviyeli plastik malzemeden yapılabilmesini sağlamaktadır. Cam elyafı takviyeli plastiklerde, cam elyafı takviyesinin yn önemli bir etkindir ve bu, cam elyafının reçine ile kaplanabilirliğini de etkiler. Dolayısıyla takviye miktarının artışı ile birlikte cam elyafının mukavemeti de artar.

Kompozit malzemelerin bu üstün özelliklerine rağmen, yük taşıma kabiliyetinde zamanla azalma görülmektedir. Bu nedenle, tasarım yapılırken uygun bir emniyet faktörü n görülerek, ani kırılmaların önüne geçilmesi gereklidir.

Zamana bağlı olarak mukavemetin azalmasından dolayı, çekme dayanımı başlangıç değerinin 2/3'ne kısa sürede düşebilir ve 50 yıllık bir sürede de 1/2'sine düşebilir (Kazanç 2002).

2.3. Kompozit Malzemelerin Avantajları

Kompozit malzemelerin özgül ağırlıklarının düşük oluşu, hafif yapılarda büyük avantaj sağlar. Bunun yanında fiber takviyeli kompozit malzemelerin korozyona dayanımları, ısı, ses ve elektrik yalıtımı sağlamaları da ilgili kullanım alanları için önemli bir üstünlük sağlamaktadır. Kompozit malzemelerin dezavantajlı yanlarını ortadan kaldırmaya yönelik teorik çalışmaların olumlu sonuçlanması halinde kompozit malzemeler, metalik malzemelerin yerini alabilecektir. Kompozit malzemelerin avantajlarını şöyle sıralayabiliriz (Vatangül 2008).

2.3.1. Yüksek mukavemet

Kompozit malzemelerin çekme ve eğilme mukavemetleri, birçok metalik malzemeye göre çok daha yüksektir. Ayrıca kaplama özelliklerinden dolayı, kompozitlere istenen yönde ve istenen bölgede gerekli mukavemet verilebilir. Böylelikle malzemedan tasarruf yapılarak, daha hafif ve ucuz ürünler elde edilebilir.

2.3.2. Kolay şekillendirme

Kompozit malzeme kullanılarak yapılan büyük ve karmaşık parçalar, tek işlemle bir parça halinde kalıplanabilir. Bu da malzeme ve işçilikten kazanç sağlar.

2.3.3. Elektriksel özellikler

Uygun malzemelerin seçilmesiyle, çok üstün elektriksel özelliklere sahip kompozit ürünler elde edilebilir. Bugün büyük enerji nakil hatlarında kompozitler iyi bir iletken ve gerektiğinde de başka bir yapıda, iyi bir yalıtkan malzemesi olarak kullanılabilirler.

2.3.4. Isıya ve ateşe dayanıklılık

Isı iletim katsayısı düşük malzemelerden oluşan kompozitlerin ısıya dayanıklılık özellikleri, yüksek ısı altında kullanabilmesine olanak tanımaktadır. Bazı özel katkı maddeleri ile kompozit malzemenin ısıya dayanımı arttırılabilir.

2.3.5. Titreşim sönümleme

Kompozit malzemelerin sünekliği nedeniyle, doğal bir titreşim sönümleme ve şok yutabilme özelliği vardır. Bu sayede çatlak yürümesi olayı da engellenmiş olur.

2.3.6. Korozyona ve kimyasal etkilere karşı dayanıklılık

Kompozitler malzemeler, hava etkilerinden, korozyondan ve çoğu kimyasal etkilere zarar görmezler. Bu özellikleri nedeniyle kompozit malzemeler, kimyevi madde tankları, boru ve aspiratörleri, tekne ve deniz araçları yapımında güvenle kullanılmaktadır.

2.3.7. Kalıcı renklendirme

Kompozit malzemelere, kalıplama esnasında reçineye ilave edilen pigmentler sayesinde istenen renk verilebilir. Bu işlem ek bir masraf ve işçilik gerektirmez. Kompozit malzemeler, aşağıda belirtilecek olan dezavantajlara rağmen çelik ve alüminyuma göre birçok avantaja sahiptir. Bu nedenle kompozitler; kimyasal madde depolarında, karayolu tankerlerinde, bina cephe ve panolarında, otomobil gövde ve tamponlarında, deniz teknelerinde, komple banyo ünitelerinde, ev eşyalarında, tarım araçları gibi birçok sanayi alanında kullanılabilecek bir malzemedir.

2.4. Kompozit Malzemelerin Dezavantajları

Kompozit malzemelerin mantığı gereği, kompozit malzemeyi oluşturan malzemenin her hangi birinin olumsuz özellikleri mevcut kompozit malzemeye yansır. Örneğin kompoziti oluşturan matris organik çözücülere karşı dayanıksız ise, onun oluşturduğu kompozite de bu olumsuzluk yansır. Kompozit malzemelerde bazı dezavantajlar görülmektedir.

1. Kompozit malzemelerdeki hava zerrecikleri, malzemenin yorulma özelliklerini olumsuz etkiler.
2. Kompozit malzemeler değişik doğrultularda, değişik özellikler gösterirler.
3. Aynı kompozit malzeme için çekme, basma, kesme türü operasyonlar liflerde açılmaya neden olduğundan, bu tür malzemelerde hassas imalattan söz edilemez.
4. İyi tanımlanmamış tasarım parametreleri varsa, bundan dolayı ham malzeme açısından en yüksek imalat verimliliğine ulaşılamaması bir dezavantajdır.
5. Lamine edilmiş kompozitlerin özellikleri her zaman ideal değildir, kalınlık yönünde düşük dayanıklılık ve katlar arası düşük kesime dayanıklılık özelliği bulunmaktadır
6. Malzemenin kalitesi üretim yöntemlerinin kalitesine bağlıdır, standartlaşmış bir kalite yoktur.
7. Elyaf malzemeler genellikle kırılgan (gevrek) malzeme olmalarından dolayı kolaylıkla zarar görürler, onarılmaları yeni problemler yaratabilir. Malzemelerin sınırlı raf ömürleri vardır. Bazı tür kompozitlerin soğutularak saklanmaları gerekmektedir. Sıcak kurutma gerekmektedir. Kompozitler onarılmadan önce çok iyi bir şekilde temizlenmeli ve kurutulmalıdır. Bazen bu zor olabilmekte ve bunun için bazı kurutma teknikleri kullanılabilmektedir (Vatangül 2008).

2.5. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları

Kompozit malzemeler artık gittikçe artan oranlarda ve yeni sektörlerde kullanılmaya başlanmıştır. Uzun zaman uçak sanayisindeki ihtiyaçların yönlendirdiği kompozit

malzeme gelişimleri son dönemde yeni birçok sektörde birçok farklı amaç için kullanılmaktadır (Akbulut 2005).

2.5.1. Havacılık sanayi

Özellikle ileri kompozit malzemeler, havacılık sanayinde çok geniş uygulama alanları bulmaktadır. Kompozit malzemelerinin hafifliklerine oranla üstün mekanik özellikleri uçaklarda ve helikopterlerde sadece iç mekân değil yapısal parçalarını da polimer esaslı kompozitlerle üretilmesine neden olmaktadır.

B2 bombardıman uçağı gövde panelleri; karbon fiber+epoksi

A380 yolcu uçağı kanat panelleri ve flapler; karbon fiber+epoksi

A380 yolcu uçağı burun bölümü (radome); CTP

Yukarıda kullanılan parçalardan sadece bir kısmına örnek oluşturmaktadır.

2.5.2. Denizcilik sanayi

Yelkenli Gövdesi; CTP, Balsa ve polimer köpük üstüne cam, aramid karbon dokumaları ile kaplanması

Yat, Tekne Arkası Platform Basamaklar; CTP, Yelken Direği; Kevlar+Epoksi

2.5.3. Spor araçları

Kompozit malzemelerin popüler olduğu yeni sektörler arasında spor araç ve gereçleri her geçen gün daha da öne çıkmaktadır. Özellikle ağırlığın azalması, dolayısıyla hareket kabiliyetinin artması ve dayanıklılığın artmasına neden olan cam ve karbon elyafı takviyeli kompozitler kullanılmaktadır. Kompozitler kano, sörf ve yatlar için çok önemli olan malzeme yoğunluğu ve darbe dayanımı konusunda üstün özelliklere sahiptirler. Dağ bisikletleri en iyi katılık/ağırlık oranı ve en düşük ağırlık özellikleri kazanmak için karbon elyafı ile üretilmektedir. Korozyona dayanım, şok emme ve sağlamlık gibi üstün

özellikler kazandırmaktadır. Ayrıca golf sopası, tenis raketi gibi spor ürünlerinde ağırlığı düşürmek için karbon elyafı takviyeli kompozit malzemelerden üretilmektedirler.

Su kayağı; Termoplastik prepreg

Kar kayağı; Ahşap üzerine sarılmış karbon, aramid, cam elyafı karışımı+epoksi

Kano küreği; (%33 Cam+Poliftalamid)

Su kaydırakları; CTP

Sörf Tahtaları; CTP

Bisiklet; (Karbon+Poliamid 6), yaklaşık 1kg ağırlığında

Reebok Spor Ayakkabı; termoplastik poliüretan, petek (honeycomb)

Yukarıda kullanılan parçalardan sadece bir kısmına örnek oluşturmaktadır.

2.5.4. Sağlık

Tekerlekli sandalye; Cam veya Karbon Elyaf takviyeli Polyester

Tıbbi Tetkik Cihazları Dış Muhafazaları; CTP

Yukarıda belirtilen kullanım yerleri sağlık alanında kullanılan kompozitlere örnek olarak verilebilir.

2.5.5. Otomotiv

Otomobil firması müşterilerinin ihtiyaçlarına karşılık vermek çevresel şartların etkisiyle daha hafif otomobiller üretmektedirler. Hafifi otomobiller daha çabuk hızlanabilen, daha çabuk durabilen ilerlemek için daha küçük bir motora ve daha az benzine ihtiyaç duyan araç anlamına gelmektedir ki, bu durum müşteri memnuniyeti ve ülke ekonomisi açısından önem arz etmektedir. Bunlara aşağıdaki örneklerden birkaç tanesini sayabiliriz.

Cam Sileceği; %30 Cam+PBT

Fitre Kutusu; Mercedes, %35 Cam+Poliamid 66

Far G6vdesi; BMW, %30 Cam+PBT

Otomobil Spoiler; CTP

Otomobil Yan G6vde iskeleti; Ford, CTP

2.5.6. Formula 1 arabaları

Formula-I arabalarının yapımına ait d6zenlemeler çok 6zeldir ve titizlikle uygulanmaktadır. Arabanın t6m ağırlığı 605 kilogramı aşmamalıdır. Tasarım m6hendisleri en az ağırlıkla en sağlam 6z6m6 bulmak durumundadırlar. Daha 6nceleri yarış arabalarında hafif bir metal olan al6minyum kullanılmaktaydı artık kompozit malzemeler çok daha d6ř6k ağırlıklarla ikiye katlanabilmektedir. Ayrıca karmaşık parçaların kompozit malzemelerle 6retilmesi F1 otomobillerin 6retiminde gerekli parça sayısı azaltılabilmektedir. Al6minyumla 200'den fazla parçayla 6retilen g6vde ve şase beş parçaya d6ř6r6lm6řt6r. Kompozit malzemeler metal cıvatalar gibi bağlantı parçaları ile birleştirilmek yerine epoksi reçinesi ile birbirlerine bağlanmaktadır. F1 arabalarında aşağıda belirtilenlerle beraber birçok parça kompozit malzeme kullanılmaktadır (Akbulut 2005).

Motor kaplaması, Burun kapağı, 6n ve arka kanatlar, Elektrik dağıtım Panoları; CTP

2.5.7. M6zik aletleri

London College of Furniture ve diğer bazı yerlerde ileri kompozit malzemelerle m6zikal enstr6manlar yapılması 6zerine çalışmalar bulunmaktadır. İleri kompozit malzemelerle yapılan yaylı sazlarda boyun kısmının tellerin gerilmesinden dolayı deforme olması karşılaşılan temel sorunlardandır.

Keman; Karbon Fiber+Epoksi

Gitar; Karbon lamine tabakalar arası polimer k6p6k

Akustik Gitar; Grafit-Epoksi

Çello; Karbon + Epoksi

2.5.8. Yapı sektörü

Yapı sektöründe aşağıda kullanım alanlarına örnekler verilmiştir.

Köprü Tabanı; CTP -Trabzan; CTP

Yürüme yolları; CTP, Taşıyıcı Konstrüksiyon; CTP ,Bina Balkon Korkuluğu; CTP

Kapı; CTP, Bina Kaplama Panelleri: CTP, Küvet; CTP, Lavabo; CTP, Sokak Lambası; CTP

2.6. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeleri, yapılarını oluşturan malzemeler ve yapı bileşenlerinin şekillerine göre iki şekilde sınıflandırmak mümkündür. Matris malzemesinin türüne göre (plastik kompozitler, metalik kompozitler, seramik kompozitler vb.) bir gruptandırma yapılabildiği gibi yapı bileşenlerinin şekillerine göre de (partikül esaslı kompozitler, lamel esaslı, fiber esaslı kompozitler, dolgulu “kafes” kompozitler, tabaka yapılı kompozitler şeklinde) sınıflandırılabilir (Vatangül 2008).

2.6.1. Yapılarını oluşturan malzemelere göre sınıflandırma

2.6.1.a. Plastik–plastik kompozitler

Fiber olarak kullanılan plastik, yük taşıyıcı bir özelliğe sahip iken, matris olarak kullanılan plastik, esneklik verici, darbe emici ya da istenen amaca göre kullanılan plastiğin özelliğine sahip olmaktadır. Kullanılabilecek plastik türleri de iki ayrı sınıfta incelenebilir.

Termoplastikler: Bu tür plastikler, ısıtıldığında yumuşar ve şekillendirildikten sonra soğutulduğunda sertleşir. Bu işlem sırasında plastiğin mikro yapısında herhangi bir değişiklik söz konusu değildir. Genellikle 5-50°C arasındaki sıcaklıklarda kullanılabilirler.

Bu gruba giren plastikler:

Naylon, Polietilen, Karbonflorür, Akrilikler, Selülozikler, Viniller şeklinde sıralanabilir.

Termoset Plastikler: Bu tip plastiklerde ise ısıtılıp şekillendirildikten sonra soğutulduklarında artık mikro yapıda oluşan değişim nedeniyle eski yapıya dönüşüm mümkün olmamaktadır.

Bu grubun belli başlı plastikleri ise:

Polyesterler, Epoksi1er, Alkiter, Aminler olarak verilebilir.

2.6.1.b. Plastik–metal fiber kompozitler

Endüstride çok kullanılan bir tür olan metal fiber takviyeli plastikten oluşan kompozitler oldukça mukavemetli ve hafif bir ürün olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu kompozitler, metal fiberleri (bakır, bronz, alüminyum, çelik vs.) polietilen ve polipropilen plastiklerini takviyelendirmesi ile elde edilmekte ve kullanılmaktadır. Özellikle deformasyon yönünden takviyelendirilme yaygın olarak kullanılmakta ve iyi bir verim alınmaktadır.

2.6.1.c. Plastik–cam elyaf kompozitler

İsteğe göre termoplastikler veya termoset, plastikten oluşan matris ve cam liflerin uygun kompozisyonlarından üretilmektedir. Mekanik ve fiziksel özellikleri nedeniyle cam lifler birçok durumda metal, asbest, sentetik elyaf ve pamuk ipliği gibi liflere tercih

edilebilirler. Ancak cam elyafı kompozitler, büyük kuvvetleri iletmelerine rağmen camın kırılğan olmasından dolayı çok küçük dirençlidirler. Bu tür malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri, kullanılan plastik reçineler uygun seçilerek, arzu edilen şekle sokulabilir. Plastik reçineler de, daha önce belirtildiği gibi termoplastik ve termoset türünde olmaktadır. Termoset plastikler, fiberlerin de düzgün oryantasyonu ile yüksek mukavemete ulaşabilirler. Cam elyaf takviyeleri ile en çok kullanılan plastik reçineler, polyesterlerdir.

2.6.1.d. Plastik–köpük kompozitler

Bu tür kompozitlerde plastik, fiber olarak görev yapmakta, köpük ise matris konumunda olmaktadır. Köpükler, hücreli yapıya sahip, düşük yoğunlukta, gözenekli ve doğal halde bulunduğu gibi, büyük bir kısmı sentetik olarak imal edilmiş hafif maddelerdir. Köpük hücre yapısına göre sert, kırılğan, yumuşak ya da elastik olabilmektedir. Matris olarak kullanılan bu köpük türleri, kullanılan plastiğin de çeşitlenebilmesiyle değişik özellikte kompozit malzemelerin oluşumunu sağlayabilmektedir.

2.6.1.e. Metal matrisli kompozitler

Metallerin ve metal alaşımlarının birçoğu, yüksek sıcaklıkta bazı özellikleri sağlamalarına rağmen kırılğan olmaktadır. Fakat metalik fiberler ile takviye edilmiş metal matrisli kompozitler, her iki fazın uyumlu çalışması ile yüksek sıcaklıkta da yüksek mukavemet özelliklerini vermektedirler. Bakır ve alüminyum matrisli, wolfram veya molibden elyafı kompozitler ve Al-Cu kompoziti, bize bu kompozisyonu veren en iyi örneklerdir. Bu tip kompozitler, matrisin özelliklerini iyileştirdiği gibi bu özelliklere daha ekonomik olarak ulaşılmasını sağlamaktadır. Bu kompozitlerde metal matris içine gömülen ikinci faz, sürekli lifler şeklinde olabildiği gibi, gelişi güzel olarak dağıtılmış küçük parçalar halinde de olabilmektedir (Sayman 2007).

2.6.1.f. Seramik kompozitler

Metal veya metal olmayan malzemelerin birleşimlerinden oluşan seramik kompozitler, yüksek sıcaklıklara karşı çok iyi dayanım göstermekle birlikte, rijit ve gevrek bir yapıya sahiptirler. Ayrıca elektriksel olarak çok iyi bir yalıtkanlık özelliği de gösterirler.

2.6.2. Yapı bileşenlerinin şekline göre sınıflandırma

2.6.2.a. Partikül takviyeli kompozitler

Rijitlik ve mukavemette artış sağlayan küçük granül dolgu maddesi ilavesiyle şekillendirilerek üretilirler. Partikül kompozitler, bir veya iki boyutlu makroskobik partiküllerin veya sıfır boyutlu olarak kabul edilen çok küçük mikroskobik partiküllerin matris fazı ile oluşturdukları malzemelerdir. Makroskobik veya mikroskobik boyutlu partiküller kompozit malzeme özelliklerini farklı şekilde etkilerler. Partikül takviyeli kompozitleri fiber ve pul kompozitlerden ayırt eden karakteristik özellikleri, partiküllerin matris içinde tamamen rasgele dağılması ve bu nedenle malzemenin izotropik özellik göstermemesidir. Partikül esaslı kompozitlerin maliyeti düşük ve rijitliğide oldukça iyidir.

2.6.2.b. Lamel esaslı kompozitler

Yüksek yük taşıma kabiliyeti olan büyük uzunluk / çap oranında dolgu malzemesi ilave edilerek üretilirler. Matris içinde yer alan pulların konsantrasyonu düşük olabileceği gibi birbiri ile temas etmelerini sağlayacak derecede yüksek değerlerde olabilirler. Düzlemsel yapıya sahip pullarla sıkı paketleme ile elde edilir. Pul esaslı sistemin maliyeti biraz daha fazla, ancak mukavemet özellikleri iyidir.

2.6.2.c. Elyaf takviyeli kompozitler

Birçok özelliklerde artış sağlayan, yüksek etkinliği olan liflerin ilavesiyle elde edilir. Mühendislikte kullanılan malzemelerin pek çoğu fiber şeklinde üretildiklerinde mukavemet ve rijitlikleri kütle hallerindeki değerlerinden çok üstünde olabilmektedir. Örneğin karbon fiberlerin çekme mukavemeti kütle halindeki grafitten 50 kat, rijitliği 3 kat daha yüksektir. Fiberlerin bu özelliğinin fark edilmesiyle fiber kompozitlerin üretilmesi süreci başlamıştır. Günümüzde düşük performanslı ev eşyalarından roket motorlarına değin kullanım alanı bulan malzemeler olmuşlardır. Fiberler yapı içerisinde kesintisiz uzayan sürekli fiberler veya uzun fiberlerin kesilmesiyle elde edilen süreksiz fiberler veya elyaflar şeklinde olabilirler. Fiber-matris kompozitlerinin mühendislik performansını etkileyen en önemli faktörler fiberlerin şekli, uzunluğu, yönlenmesi, matrisin mekanik özellikleri ve fiber-matris ara yüzey özellikleridir. Fiberler dairesel olduğu gibi daha nadiren dikdörtgen, hegzagonal, poligonal ve içi boş dairesel kesitli olabilir. Bu kesitlerin bazı artı özellikleri olmakla birlikte (paketleme, yüksek mukavemet vs.) dairesel kesitler maliyeti ve kullanım kolaylığı ile üstünlük sağlar. Sürekli fiberlerle çalışmak genelde daha kolay olmakla beraber tasarım serbestliği süreksizlere göre çok daha sınırlıdır. Sürekli fiberler süreksizlerden daha iyi yönlenme göstermelerine karşılık süreksiz fiberlerin kullanılması daha pratik sonuçlar vermektedir (Sayman 2007).

2.6.2.d. Dolgu kompozitler

Üç boyutlu sürekli bir matris malzemesinin yine üç boyutlu dolgu maddesi ile doldurulması ile oluşan malzemelerdir. Matris çeşitli geometrik şekillere sahip bir iskelet veya şebeke yapısındadır. Düzgün petekler, hücreler veya süngere benzeyen gözenekli yapılar arasında metalik, organik veya seramik esaslı dolgu maddeleri yer alabilir. Optimum özelliklere sahip kompozitlerin üretimi için birbiri içinde çözünmeyen, kimyasal reaksiyon vermeyen bileşenlerin seçilmesi gerekir.

2.6.2.e. Tabakalı kompozitler

Farklı özelliklere sahip en az iki tabakanın kombinasyonundan oluşur. Çok değişik kombinasyonlarla tabakalanmış kompozitlerin üretimi mümkündür. Korozyon direnci zayıf metaller üzerine, daha yüksek dirençli metallerin veya plastiklerin kaplanmasıyla korozyon özelliğinin, yumuşak metallerin sert malzemelerle birleştirilmesiyle sertlik ve aşınma direncinin, farklı fiber yönlendirilmesine sahip tek tabakaların birleştirilmesiyle çok yönlü yük taşıma özelliğinin geliştirilmesi mümkün olmaktadır.

2.7. Kompozit Malzeme Yapımında Kullanılan Temel Malzemeler

2.7.1. Matris malzemeleri

Kompozit yapılarda matrisin üç temel fonksiyonu vardır. Bunlar, elyafları bir arada tutmak, yükü elyaflara dağıtmak ve elyafları çevresel etkilerden korumaktır. İdeal bir matris malzemesi başlangıçta düşük viskoziteli bir yapıda iken daha sonra elyafları sağlam ve uygun bir şekilde çevreleyebilecek katı forma kolaylıkla geçebilmelidir. Kompozit yapılarda yükü taşıyan elyafların fonksiyonlarını yerine getirmeleri açısından matrisin mekanik özelliklerinin rolü çok büyüktür. Örneğin matris malzemesi olmaksızın bir elyaf demeti düşünüldüğünde yük bir ya da birkaç elyaf tarafından taşınacaktır. Matrisin varlığı ise yükün tüm elyaflara eşit olarak dağılımını sağlayacaktır. Kesme yükü altındaki bir gerilmeye dayanım, elyaflarla matris arasında iyi bir yapışma ve matrisin yüksek kesme mukavemeti özelliklerini gerektirir. Elyaf yönlendirmelerine dik doğrultuda, matrisin mekanik özellikleri ve elyaf ile matris arasındaki bağ kuvvetleri, kompozit yapının mukavemetini belirleyici önemli hususlardır. Matris elyafa göre daha zayıf ve daha esnektir. Bu özellik kompozit yapıların tasarımında dikkat edilmesi gereken bir husustur. Matrisin kesme mukavemeti ve matris ile elyaf arası bağ kuvvetleri çok yüksek ise elyaf ya da matriste oluşacak bir çatlakın yön değiştirmeksizin ilerlemesi mümkündür. Bu durumda kompozit gevrek bir malzeme gibi davrandığından kopma yüzeyi temiz ve parlak bir yapı gösterir. Eğer bağ mukavemeti çok düşükse elyaflar boşluktaki bir elyaf demeti gibi davranır ve kompozit

zayıflar. Orta seviyede bir bağ mukavemetinde ise elyaf veya matristen başlayan enlemesine doğrultuda bir çatlak elyaf/matris ara yüzeyine dönüp elyaf doğrultusunda ilerleyebilir. Bu durumda kompozit sünek malzemelerin kopması gibi lifli bir yüzey sergiler (Sayman 2007).

2.7.2. Reçineler ve özellikleri

2.7.2.a. Epoksi reçineler

Epoksi reçineleri bifenol A ile epiklorhidridin reaksiyon ürünü olup sertleştirici (katalist) ile karıştırıldığında adi sıcaklıkta veya fırınlama ile (70–90 derece) bir sonucu belli bir sürede sertleşir ve bir plastik görünümü alır. Önemli özellikleri olarak sıvı, viskoz sıvı veya katı hallerde bulunabilmeleri, elektrik, ısı, kimyasal dirençleri ile mekanik özelliklerinin yüksek olması, hava şartlarından etkilenmemeleridir. Depolanma süreleri oda sıcaklığında 24 aydır.

2.7.2.b. Polyesterler

Dibazik asitlerle gliserin, glikol gibi polialkollerin reaksiyonundan elde edilirler. Katı, sıvı termostat, termoplast gibi türlerde bulunur. Sıvı polyesterler, katalist ve hızlandırıcı kullanılarak kür edilirler. Sert, kimyasal maddelere ve hava şartlarına direnci çok yüksektir. Katı polisterler (LPET gibi) darbe dayanımlıdır.

2.7.2.c. Üretan reçineleri

Bir izosiyanatla bir polialkolün oda sıcaklığında katılma polimerizasyonu ile elde edilen üretanlar daha çok köpük lastik (esnek ve rijit) yapımında kullanılırlar. Kimyasal direnci iyidir.

2.7.2.d. Fenolik reçineler

Fenol formaldehit kondenzasyon ürünü olup, bu ham maddelerin bazen türevlerinde kullanılmaktadır. Katı ve sıvı türleri vardır. Yurdumuzda sıvı reçine üretimi vardır.

2.7.3. Elyaf malzemeleri

Matris malzeme içinde yer alan elyaf takviyeler kompozit yapının temel mukavemet elemanlarıdır. Düşük yoğunluklarının yanı sıra yüksek elastite modülüne ve sertliğe sahip olan elyaflar kimyasal korozyona da dirençlidir. Günümüzde kompozit yapılarda kullanılan en önemli takviye malzemeleri sürekli elyaflardır. Bu elyaflar özellikle modern kompozitlerin oluşturulmasında önemli bir yer tutarlar. 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 kütsel 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 yüksek olmasıdır.

2.7.3.a. Cam elyaflar

Cam elyaflar, sıradan bir şişe camından yüksek saflıktaki kuartz camına kadar pek çok tipte imal edilirler. Üç boyutlu moleküler yapıda, bir silisyum atomu dört oksijen atomu ile çevrilmiştir. Silisyum metalik olmayan hafif bir malzemedir, doğada genellikle oksijenle birlikte silis (SiO_2) şeklinde bulunur. Cam eldesi için silis kumu, katkı

malzemeleri ile birlikte kuru halde iken 1260°C civarına ısıtılır ve soğumaya bırakıldığında sert bir yapı elde edilir (Sayman 2007).

Cam Elyafların bazı özellikleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Çekme mukavemeti yüksektir, birim ağırlık başına mukavemeti çeliğinkinden yüksektir.
2. Isıl dirençleri düşüktür. Yanmazlar, ancak yüksek sıcaklıkta yumuşarlar.
3. Kimyasal malzemelere karşı dirençlidirler.
4. Nem absorbe etme özellikleri yoktur, ancak cam elyafı kompozitlerde matris ile cam elyaf arasında nemin etkisi ile bir çözülme olabilir. Özel elyaf kaplama işlemleri ile bu etki ortadan kaldırılabilir.
5. Elektriği iletmezler. Bu özellik sayesinde elektriksel yalıtımın önem kazandığı durumlarda cam elyafı kompozitlerin kullanılmasına imkân tanır.

Cam elyaf imalinde silis kumuna çeşitli katkı malzemeleri eklendiğinde yapı bu malzemelerin etkisi ile farklı özellikler kazanır. Dört farklı tipte cam elyaf mevcuttur. A (Alkali) Camı: A camı yüksek oranda alkali içeren bir camdır. Bu nedenle elektriksel yalıtkanlık özelliği kötüdür. Kimyasal direnci yüksek, en yaygın cam tipidir. C (Korozyon) Camı: Kimyasal çözeltilere direnci çok yüksektir. E (Elektrik) Camı: Düşük alkali oranı nedeniyle elektriksel yalıtkanlığı diğer cam tiplerine göre çok iyidir. Mukavemeti oldukça yüksektir. Suya karşı direnci de oldukça iyidir. Nemli ortamlar için geliştirilen kompozitlerde genellikle E camı kullanılır. S (Mukavemet) Camı: Yüksek mukavemetli bir camdır. Çekme mukavemeti E camına oranla %33 daha yüksektir. Ayrıca yüksek sıcaklıklarda oldukça iyi bir yorulma direncine sahiptir. Bu özellikleri nedeniyle havacılıkta ve uzay endüstrisinde tercih edilir. Cam elyaflar genellikle plastik veya epoksi reçinelerle kullanılırlar.

2.7.3.b. Bor elyaflar

Bor elyaflar aslında kendi içlerinde kompozit yapıdadırlar. Çekirdek olarak adlandırılan ince bir flamanın üzerine bor kaplanarak imal edilirler. Çekirdek genellikle tungstendir. Karbon çekirdek de kullanılabilir ancak bu yeni bir uygulamadır. Bor-Tungsten elyaflar, sıcak tungsten flamanın hidrojen ve bortriklorür (BC13) gazından geçirilmesi ile üretilirler. Böylece Tungsten flamanın dışında bor plaka oluşur. Bor elyaflar değişik çaplarda üretilirler (0.05mm ile 0.2mm). Tungsten çekirdek ise daima 0.01 mm çapında üretilir. Bor elyaflar yüksek çekme mukavemetine ve elastik modüle sahiptirler. Çekme mukavemetleri 2758 MPa ile 3447 MPa'dır. Elastite modülü ise 400 GPa'dır. Bu değer S camının elastite modülünden beş kat fazladır. Üstün mekanik özelliklere sahip olan bor elyaflar, uçak yapılarında kullanılmak üzere geliştirilmişlerdir. Ancak, maliyetlerinin çok yüksek olması nedeniyle, son yıllarda yerlerini karbon elyaflara bırakmışlardır. Bor elyafların Silisyum Karbür (SiC) veya Bor Karbür (B4C) kaplanmasıyla yüksek sıcaklıklara dayanımı artar. Özellikle bor karbür kaplanması ile çekme mukavemeti önemli ölçüde artırılabilir. Bor elyafların erime sıcaklıkları 2040°C civarındadır.

2.7.3.c. Silisyum karbür elyaflar

Bor gibi, Silisyum karbürün tungsten çekirdek üzerine kaplanması ile elde edilirler. 0.1 mm ile 0.14 mm çaplarında üretilirler. Yüksek sıcaklıklardaki özellikleri bor elyaflardan daha iyidir. Silisyum karbür elyaf 1370°C'ta mukavemetinin sadece %30'unu kaybeder. Bor elyaf için bu sıcaklık 640°C'tır. Bu elyaflar genellikle Titanyum matrisle kullanılırlar. Jet motor parçalarında Titanyum, Alüminyum ve Vanadyum alaşımlı matris ile kullanılırlar. Ancak Silisyum karbür elyaflar Bor elyaflara göre daha yüksek yoğunluğa sahiptirler. Silisyum karbürün karbon çekirdek üzerine kaplanması ile üretilen elyafların yoğunluğu düşüktür.

2.7.3.d. Alumina elyaflar

Alumina, Alüminyum oksittir (Al_2O_3). Elyaf formundaki alümina, 0.02 mm çapındaki alümina flamanın Silisyum dioksit (SiO_2) kaplanması ile elde edilir. Alümina elyafların çekme mukavemetleri yeterince yüksek değildir, ancak basma mukavemetleri yüksektir. Örneğin, alümina epoksi kompozitlerin basma mukavemetleri 2275 ila 2413 MPa'dır. Ayrıca, yüksek sıcaklık dayanımları nedeniyle uçak motorlarında kullanılmaktadırlar.

2.7.3.e. Grafit (Karbon) elyaflar

Karbon, yoğunluğu 2.268 gr/cm³ olan kristal yapıda bir malzemedir. Karbon elyaflar cam elyaflardan daha sonra gelişen ve çok yaygın olarak kullanılan bir elyaf grubudur. Hem karbon hem de grafit elyaflar aynı esaslı malzemeden üretilirler. Bu malzemeler hammadde olarak bilinirler. Karbon elyafların üretiminde üç adet hammadde mevcuttur. Bunlardan ilki rayondur (suni ipek). Bu hammadde insert bir atmosferde 1000-3000°C civarına ısıtılır ve aynı zamanda çekme kuvveti uygulanır. Bu işlem mukavemet ve tokluk sağlar. Ancak yüksek maliyet nedeniyle rayon elyaflar uygun değildirler. Elyaf imalatında genellikle rayonun yerine poliakrilonitril (PAN) kullanılır. PAN bazlı elyaflar 2413 ila 3102 MPa değerinde çekme mukavemetine sahiptirler ve maliyetleri düşüktür. Petrolün rafinesi ile elde edilen zift bazlı elyaflar ise 2069 MPa değerinde çekme mukavemetine sahiptirler. Mekanik özellikleri PAN bazlı elyaflar kadar iyi değildir ancak maliyetleri düşüktür.

Karbon elyafların en önemli özellikleri düşük yoğunluğun yanı sıra yüksek mukavemet ve tokluk değerleridir. Karbon elyaflar, nemden etkilenmezler ve sürünme mukavemetleri çok yüksektir. Aşınma ve yorulma mukavemetleri oldukça iyidir. Bu nedenle askeri ve sivil uçak yapılarında yaygın bir kullanım alanına sahiptirler. Karbon elyaflar çeşitli plastik matrislerle ve en yaygın olarak epoksi reçinelerle kullanılırlar. Ayrıca karbon elyaflar alüminyum, magnezyum gibi metal matrislerle de kullanılırlar.

2.7.3.f. Aramid elyaflar

Aramid "aromatik polyamid"ın kısaltılmış adıdır. Polyamidler uzun zincirli polimerlerdir, aramidin moleküler yapısında altı karbon atomu birbirine hidrojen atomu ile bağlanmışlardır. İki farklı tip aramid elyaf mevcuttur. Bunlar Du Pont firması tarafından geliştirilen Kevlar 29 ve Kevlar 49'dur. Aramidin mekanik özellikleri grafit elyaflarda olduğu gibi elyaf eksenine doğrultusunda çok iyi iken elyaflara dik doğrultuda çok zayıftır. Aramid elyaflar düşük ağırlık, yüksek çekme mukavemeti ve düşük maliyet özelliklerine sahiptir. Darbe direnci yüksektir, gevrekliği grafitin gevrekliğinin yansı kadardır. Bu nedenle kolay şekil verilebilir. Doğal kimyasallara dirençlidir ancak asit ve alkalilerden etkilenir.

Her iki kevlar da 2344 MPa değerinde çekme mukavemetine sahiptir ve kopma uzaması %1,8'dir. Kevlar 49'un elastik modülü kevlar 29'unkinden iki kat fazladır. Kevlar elyafın yoğunluğu cam ve grafit elyafların yoğunluklarından daha düşüktür. Kevlar49/Epoksi kompozitlerinin darbe mukavemeti grafit epoksi kompozitlere oranla yedi kat, bor/epoksi kompozitlere oranla dört kat daha iyidir. Uçak yapılarında, düşük basma mukavemetleri nedeniyle, karbon elyaflarla birlikte hibrid kompozit olarak, kumanda yüzeylerinde kullanılmaktadırlar. Aramid elyaflar elektriksel iletkenliğe sahip değildirler. Basma mukavemetlerinin iyi olmamasının yanı sıra kevlar epoksi kompozitlerinin nem absorbe etme özellikleri kötüdür.

2.8. Kompozit Malzeme Üretim Yöntemleri

İstenilen özelliklerde ve biçimde kompozit malzeme üretimi için birçok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerden bazıları aşağıda verilmektedir.

2.8.1. Elle yatırma (hand lay-up)

Dokuma veya kırılmış elyaflarla hazırlanmış takviye kumaşları hazırlanmış olan kalıp üzerine elle yatırılarak üzerine sıvı reçine elyaf katmanlarına emdirilir. Elyaf

yatırılmadan önce kalıp temizlenerek jelkot sürülür. Jelkot sertleştikten sonra elyaf katları yatırılır. Reçine ise kompozit malzemenin hazır olması için en son sürülür Bu işlemde elyaf kumaşına reçinenin iyi nüfuz etmesi önemlidir. El yatırma tekniğinde en çok kullanılan polyester ve epoksi'nin yanısıra vinil ester ve fenolik reçineler de tercih edilmektedir. Elle yatırma yoğun işçilik gerektirmesine rağmen düşük sayıdaki üretimler için çok uygundur.

2.8.2. Püskürtme (spray-up)

Püskürtme yöntemi elle yatırma yöntemini aletli şekli olarak kabul edilebilir. Kırpılmış elyaflar kalıp yüzeyine, içine sertleştirici katılmış reçine ile birlikte özel bir tabanca ile püskürtülür. Elyafın kırılma işlemi tabanca üzerinde bulunan ve bağımsız çalışan bir kırpıcı sayesinde yapılır. Püskürtülme işlemi sonrası yüzeyin bir rulo ile düzeltilmesiyle ürün hazırlanmış olur.

2.8.3. Elyaf sarma (filament winding)

Bu yöntem özel biçime sahip ürünlerin seri üretimine uygundur. Elyaf sarma yöntemi sürekli elyaf liflerinin reçine ile ıslatıldıktan sonra bir makaradan çekilerek dönen bir kalıp üzerine sarılmasıdır. Sürekli liflerin farklı açılarla kalıba sarılmasıyla farklı mekanik özelliklerde ürünler elde edilebilir. Yeterli sayıda elyaf katının sarılmasından sonra ürün sertleşir. Ardından döner kalıp ayrılır. Bu yöntemle yapılan ürünler genellikle silindirik, borular, araba şaftları, uçak su tankları, yat direkleri, dairesel basınç tanklarıdır.

2.8.4. Reçine transfer kalıplama RTM/reçine enjeksiyonu

Bu kompozit üretim yönteminde elle yatırma sistemlere daha hızlı ve uzun ömürlü olmakla birlikte iki parçalı kalıp kullanmak gereklidir. Kalıbın kompozit malzemeye yapılması çelik kalıp maliyetine göre daha düşük kalmasına neden olmaktadır. RTM yöntemi çoğunluk jelkotlu veya jelkotsuz her iki yüzeyinde düzgün olması istenen

parçalarda kullanılır. Takviye malzemesi kuru olarak keçe, kumaş veya ikisinin kombinasyonu kullanılır. Takviye malzemesi önceden kalıp boşluğu doldurulacak şekilde kalıba yerleştirilir ve kalıp kapatılır. Elyaf lar matris içinde geç çözünen reçinelerle kaplanarak kalıp içerisinde sürüklenmesi önlenir. Reçine basınç altında kalıba pompalanır. Bu süreç daha fazla zaman ister. Matris enjeksiyonu soğuk, ılık veya en çok 80°C'ye kadar ısıtılmış kaplarda uygulanabilir. Bu yöntemde içerideki havanın dışarı çıkarılması ve reçinenin elyaf içine iyi işlemesi için vakum kullanılabilir. Elyafın kalıba yerleştirilmesini gerektirmesinden dolayı uzun sayılabilecek bir işçilik gerektirir. Kalıp kapalı olduğu için ise zararlı gazlar azalır ve gözeneksiz bir ürün elde edilebilir. Bu yöntemle karmaşık parçalar üretilebilir. Concorde uçaklarında, F1 arabalarında bazı parçalar bu yöntemle hazırlanmaktadır.

2.8.5. Profil çekme/pultruzyon (pultrusion)

Pultruzyon işlemi sürekli sabit kesitli kompozit profil ürünlerin üretilebildiği düşük maliyetli seri üretim yöntemidir. Pull ve Extrusion kelimelerinden türetilmiştir. Sisteme beslenen sürekli takviye malzemesi reçine banyosundan geçirildikten sonra 120-150°C'ye ısıtılmış şekillendirme kalıbından geçilerek sertleşmesi sağlanır. Kalıplar genellikle krom kaplanmış parlak çelikten yapılmaktadır. Sürekli elyaf kullanılmasından dolayı takviye yönünde çok yüksek mekanik mukavemet elde edilir. Enine yükleri karşılayabilmek için özel dokumalar kullanmak gerekmektedir.

2.8.6. Hazır kalıplama/compression molding (SMC, BMC)

Hazır kalıplama bünyesinde cam elyafı, reçine, katkı ve dolgu malzemeleri içeren kalıplamaya hazır, hazır kalıplama bileşimleri olarak adlandırılan kompozit malzemelerin (SMC, BMC) sıcak pres kalıplarla ürüne dönüştürülmesidir. Karmaşık şekillerin üretilebilmesi, metal parçaların bünye içine gömülebilmesi, farklı cidar kalınlıkları gibi avantajları bulunmaktadır. Ayrıca ürünün iki yüzü de kalıp ile şekillenmektedir. Diğer kompozit malzeme üretim tekniklerinin olanak vermediği delik gibi komplike şekiller elde edilebilmektedir. Iskarta oranı düşüktür. Bu yöntemin

dezavantajları kalıplama bileşimlerinin buzdolaplarında saklanmaları gerekliliği, kalıpların metal olmasından dolayı diğer kalıplardan daha maliyetli olması ve büyük parçaların üretimi için büyük ve pahalı preslere ihtiyaç olmasıdır. Hazır kalıplama yönteminde kullanılan bileşimler içeriklerine göre çeşitlilik göstermekle beraber en çok iki tür hazır kalıplama bileşimi kullanılmaktadır.

2.8.7. Hazır kalıplama pestili/SMC (sheet moulding composites)

SMC takviye malzemesi olarak kırılmış lif ile dolgu malzemesi içeren bir reçinenin önceden birleştirilmesi ile oluşan pestil biçiminde malzemedir. Sürekli lifler, 25-50 mm kırılmış olarak ve kompozitin toplam ağırlığının %25-30 oranında kullanılır. Genellikle 1m genişliğinde ve 3mm. kalınlığında üretilir.

2.8.8. Hazır kalıplama hamuru/BMC (bulk moulding composites)

BMC takviye malzemesi olarak kırılmış lif ve dolgu malzemesi içeren bir reçinenin önceden birleştirilmesi ile oluşan hamur biçiminde malzemedir.

Hazır kalıplama bileşimlerinin avantajları;

- Çok geniş tasarım esnekliği
- Düzgün yüzey
- Kolayca laklanabilme, boyanabilme ve kalıp içinde yüzeyin kaplanabilmesi
- Geri dönüştürülebilme ve hazırlığında geri dönüşümlü malzeme kullanabilme
- Metal gömme parçaların yerleştirilmesi ile montaj kolaylığı
- Yüksek alev dayanımı
- Sıcaklık dayanımı
- Soğukta kırılma olmama, enjeksiyon kalıplama (injection moulding)

Bu yöntem RTM'ye benzer bir yöntemdir. Farklılığı reçine/elyaf karışımının kalıp dışarısında karışmış ve eritilerek basınç altında boş kalıp içine enjekte ediliyor olmasındadır.

Sadece düşük viskoziteye sahip termoset reçineler bu yöntemde kullanılabilir. Diğer yöntemlere göre daha hızlıdır. Çocuk oyuncaklarından uçak parçalarına kadar birçok ürün bu yöntemle üretilmektedir.

2.8.9. Vakum bonding/vakum bagging

Kompozit malzeme (genellikle geniş sandöviç yapılar) önce bir kalıba yerleştirilir, ardından bir vakum torbası en üst katman olarak yerleştirilir. İçerideki havanın emilmesiyle vakum torbası, yatırılan malzemenin üzerine 1 atmosferlik basınç uygulayarak aşağıya çekilir. Sonraki aşamada tüm bileşim bir fırına yerleştirilerek reçinenin kür işlemi için ısıtılır. Bu yöntem sıklıkla elyaf sarma ve yatırma teknikleri ile bağlantılı olarak uygulanır. Kompozit malzeme tamir işlemlerinde de vakum bagging yöntemi kullanılmaktadır.

2.8.10. Otoklav/autoclave bonding

Termoset kompozit malzemelerin performanslarını artırmak için elyaf/reçine oranını artırmak ve malzeme içinde oluşabilecek hava boşluklarını tamamen gidermek gerekmektedir. Bunun sağlanması için malzemeyi yüksek ısı ve basınca uygulayarak sağlanabilir. Vakum bagging yöntemindeki gibi sızdırmaz bir torba ile elyaf/reçine yatırmasına basınç uygulanabilir. Fakat 1 atmosferden fazla düzenli ve kontrol edilebilir bir basıncın uygulanabilmesi için dışsal basınca ihtiyaç duyulur. Bu uygulama için, otoklav yönteminde de uygulanan ve kompleks şekillerde en çok kontrol edilebilen metot, dışarıdan sıkıştırılmış gazın kompozit malzemenin içinde bulunduğu kaba verilmesidir. Otoklav kesin basıncın, ısının ve emişin kontrol edilebildiği basınçlı bir kaptır. Vakum bagging yöntemi ile benzerdir. Fırın yerine bir otoklav kullanılır. Böylece özel amaçlar için yüksek kalitede kompozit üretebilmek için kür şartları tam

olarak kontrol edilebilir. Bu yöntem diğerlerine oranla daha uzun sürede uygulanır ve daha pahalıdır.

2.8.11. Preslenebilir takviyeli termoplastik

Keçe türünde elyaf takviyesi içeren termoplastik reçine ile yapılmış plaka şeklinde preslenebilir kalıplamaya hazır özel amaçlı bir takviyeli termoplastik çeşidini tanımlamaktadır. GMT'nin hazırlanması SMC'ye benzemektedir. Ekstruderden çekilen bir termoplastik levha üzerine yumuşak haldeyken bir elyaf takviyesi yerleştirilir. Bu katmanların üzerine bir diğer termoplastik levhada yumuşakken yerleştirilerek soğuk hadde silindirlerinin arasından geçirilir. Sertleşen plakalar kesilerek preslenmeye hazır duruma getirilir.

2.9. Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY)

Sonlu elemanlar yöntemi matematikçilerden ziyade daha çok mühendisler tarafından ilgi görmüş ve geliştirilmiştir. Metot ilk olarak gerilme analizi problemlerine uygulanmıştır. Tüm bu uygulamalarda bir büyüklük alanının hesaplanması istenmektedir. Gerilme analizinde bu değer yer değiştirme (deplasman) alanı veya gerilme alanı; ısı analizinde sıcaklık alanı veya ısı akışı; akışkan problemlerinde ise akım fonksiyonu veya hız potansiyel fonksiyonudur. Hesaplanan büyüklük alanının almış olduğu en büyük değer veya en büyük gradyen özel bir öneme sahiptir.

2.9.1. Sonlu elemanlar yönteminin tarihsel gelişimi

Sonlu elemanlar metodu ilk olarak yapı analizinde kullanılmaya başlandı. İlk çalışmalar 1941 yılında Hrennikoff ve 1943 yılında Mc Henry tarafından geliştirilen yarı analitik analiz metotlarıdır. 1960 yılında Argyis ve Kelsey virtüel iş prensibini kullanarak bir direkt yaklaşım metodu geliştirmiştir. 1956 yılında Turner ve ark. bir üçgen eleman için rijitlik matrisini oluşturmuştur. “Sonlu Elemanlar” terimi ilk defa 1960 yılında Clough tarafından çalışmasında ortaya atılmıştır. Metodun üç boyutlu problemlere uygulanması

iki boyutlu teoriden sonra kolayca gerçekleştirilmiştir. İlk gerçek kabuk elemanlar aksenal simetrik elemanlar olup bunları silindirik ve diğer kabuk elemanları izlemiştir. Araştırmacılar 1960'lı yılların başlarında doğrusal olmayan (non-linear) problemlerle ilgilenmeye başladılar ve geometrik olarak doğrusal olmayan problemler için bir çözüm tekniği geliştirdi. Sonlu elemanlar metoduyla stabilite analizi ise ilk olarak 1965 yılında Martin tarafından tartışılmıştır. Statik problemlerin yanı sıra dinamik problemleri de SEY'le incelenmeye başlanmıştır. Yapı alanı dışındaki problemlerin sonlu elemanlar metoduyla çözümü 1960'lı yıllarda başlamıştır. Sonlu elemanlar metodu geliştirilerek ısı transferi, yeraltı sularının akışı, manyetik alan ve diğer birçok alana uygulanmaktadır. SEY'in yaygınlaşmasıyla genel amaçlı sonlu elemanlar paket programları 1970'li yıllardan itibaren ortaya çıkmaya başlamıştır. 1980'li yılların sonlarına doğru ise artık paket programlar mikro bilgisayarlarda kullanılmaya başlandı. 1990 yılların ortaları itibariyle sonlu elemanlar metodu ve uygulamalarıyla ilgili yaklaşık olarak 40000 makale ve kitap yayınlanmıştır (Özdemir 2009).

2.9.2. Sonlu eleman yöntemi adımları

Sonlu eleman yöntemi sürekli ortamlara genellikle şu adımlar ile uygulanır;

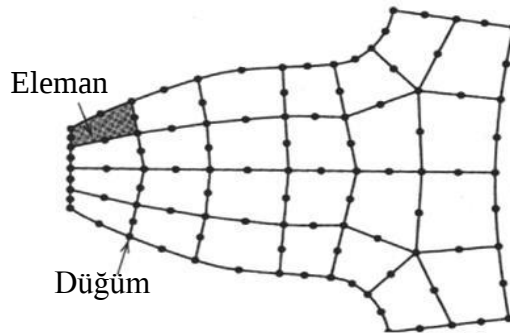
- Sürekli ortam, eğri ya da yüzey olarak belirli şekilde ve sayıda “sonlu elemanlara” bölünür.
- Sonlu elemanlar, düğüm noktaları ile birbirlerine bağlanırlar. Bu noktaların yer değiştirmeleri ya da dönme açıları problemin bilinmeyenleridir.
- Serbest değişkenlerin sonlu eleman içerisindeki değişimleri “değişken fonksiyonları” ya da “değişken modelleri” ile ifade edilir.
- SEY'de şekil değiştirme hali, şekil değiştirme–yer değiştirme bağlantıları kullanılarak, gerilme hali ise gerilme–şekil değiştirme bağıntıları kullanılarak düğüm yer değişimleri cinsinden ifade edilmektedir.
- Sonlu elemana etki eden tüm iç ve dış yükler dengede olmalıdır. Bunun için minimum enerji prensibi kullanılarak denge denklemleri kurulur.
- Kurulan bu denge denklemleri, her bir sonlu eleman için ayrı ayrı yapılarak, aynı düğüm noktasına komşu elemanlardan gelen etkiler toplanır.

- Sürekli ortamın sınırlarındaki şartlar kullanılır ve denklem takımı çözülür. Böylece düğüm yer değiştirmeleri hesaplanır.
- Bulunan yer değiştirmeleri yardımıyla elemanlardaki şekil değiştirme, gerilme bileşenleri ve istenirse asal gerilmeler bulunabilir.

Sonlu elemanlar yönteminde temel düşünce sürekli fonksiyonları bölgesel sürekli fonksiyonlar (genellikle polinomlar) ile temsil etmektir. Bunun anlamı, bir eleman içerisinde hesaplanması istenen büyüklüğün (örneğin deplasmanın) değeri o elemanın düğümlerindeki değerler kullanılarak interpolasyon ile bulunur. Bu nedenle sonlu elemanlar metodunda bilinmeyen ve hesaplanması istenen değerler düğümlerdeki değerlerdir. Bir varyasyonel prensip (örneğin; enerjinin minimum olması prensibi) kullanılarak büyüklük alanının düğümlerdeki değerleri için bir denklem takımı elde edilir. Bu denklem takımının matris formundaki gösterimi aşağıdaki gibidir:

$$[K].\{D\}=\{F\} \quad (2.1)$$

Burada $\{D\}$ büyüklük alanının düğümlerdeki bilinmeyen değerlerini temsil eden (deplasman) vektör, $\{F\}$ yük vektörü ve $[K]$ ise malzeme mekanik özellikleri ilgili direngenlik matrisidir. Şekil 2.1’de bir dişli çarkın bir dişinin sonlu eleman modeli görülmektedir.



Şekil 2.1. Bir sonlu eleman modelinde düğüm noktaları ve elemanları

2.9.3. Sonlu eleman seçimi

Sonlu eleman seçimi için kullanıcının SEY ile ilgili yeterince bilgi sahibi olması gerekir. Çözümü istenen cismin geometrisi, analizin tipi (mukavemet, ısı transferi, manyetik analiz gibi) ve sınır şartları eleman seçimini etkiler. Sonlu eleman paket programının kütüphanesinden ya da kullanıcının model geometrisine ve problem tipine uyumlu bir eleman tanımlaması ile eleman seçimi yapılabilir. Örneğin ANSYS paket programında farklı analiz tipleri için yaklaşık olarak 252 adet eleman bulunmaktadır.

2.9.4. Sonlu eleman modelinin oluşturulması

Karmaşık olan model geometrisi daha küçük ve davranışı bilinen elemanlara bölünerek sonlu elemanlar modeli oluşturulur. Model kritik bölgeleri dikkate alınarak buna uygun eleman boyutu ne kadar iyi ayarlanabilirse, hem elde edilecek sonuçların gerçeğe daha yakın değerlerde olmasını sağlanacak, hem de çözüm zamanını ve ihtiyaç duyulan belleği azaltacaktır. Eleman sayısı artması demek modeldeki bilinmeyen sayısının da artması demektir ki bu da bilgisayarlarda daha fazla hesaplama yapılması anlamına gelir ve sonucun elde edilme süresi uzar. Genellikle sonlu elemanlar paket programları otomatik olarak sonlu elemanlar modelini oluştursalar da, hassas bölgeler üzerinde düzeltmeler yapmak gerekebilmektedir.

2.9.5. Malzeme ve eleman sabitlerinin belirlenmesi

Elastiklik modülü, Poisson oranı, yoğunluk, ısı transfer katsayısı gibi malzeme özellikleri ve seçilen eleman ve analiz tipine göre kesit alanı, atalet momenti gibi değerler sabit olarak ya da bir değişkene bağımlı olarak kullanıcı tarafından belirlenmelidir.

2.9.6. Yük ve sınır koşullarının belirlenmesi

Model üzerine gelen yükler belirlenir. Bu aşamada modelin bağlantı şekilleri kullanıcı tarafından doğru bir şekilde tanımlanmalıdır.

2.9.7. Çözüm

Bu aşamada sonlu eleman modelinin denklemleri, seçilen bir matris çözüm yöntemi vasıtasıyla çözülür.

2.9.8. Sonuçların alınması

Elde edilen analiz sonuçlarının liste halinde, grafiksel olarak ve eş eğrilerle ekranda görüntülenmesi işlemidir.

2.9.9. Sonlu eleman yönteminin diğer yöntemlere göre avantaj ve dezavantajları

Analizlerde diğer nümerik yöntemlere göre, örneğin sonlu farklar yöntemi daha eski ve güvenilir olmasına rağmen, sonlu eleman yöntemi daha fazla tercih edilmektedir, çünkü:

- 1) Sonlu eleman yönteminde şekil karmaşık olmasına rağmen analiz yapılabilir.
- 2) İlgili olduğu alanlar arttırılabilir.
- 3) Değişik malzeme özellikleri ve geometrik farklılık güçlükler ortaya çıkarmaz.
- 4) Sınır şartları kolayca tespit edilir.

Bu nedenlerden dolayı SEY yüksek hızlı ve yüksek kapasiteli gelişmiş bilgisayarlar sayesinde çok karmaşık yapıların incelenmesinde araştırmacılar tarafından en çok kullanılan yöntem olmuştur.

Bütün bilinen bu avantajlarının yanında kullanıcılarca bilinen bazı dezavantajlarını da saymak gerekir.

- 1) Ana yapının alt yapılara bölünmesi deneyim gerektirir.
- 2) Çok sayıda veri girişi sebebiyle hata yapma olasılığı yüksektir.
- 3) Sonuçlar düzenlenmediği takdirde bir dizi sayıdan oluşur ve yorumlanması zorlaşır.

2.9.10. Sonlu elemanlar yönteminde paket program kullanımı

Sonlu elemanlar yönteminin güvenilirliği ve pratikliği konusunda yapılan araştırmalar ve deneylerden sonra bu yöntemin gerçekte örtüşen sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Dolayısı ile bu fikrin endüstriyel ürün olarak ortaya çıkması çok uzun zaman almamıştır. Yani, kişinin, deney ortamı olmaksızın bilgisayarını bir deney düzeneği gibi kullanması fikri cazip gelebilirdi. Çok geçmeden sonlu elemanlar prensibini ilke edinmiş yazılımlar piyasaya sürülmeye başlandı. Bunlardan başlıcalar, ANSYS, SAP 80/90/2000, NASTRAN, IDEAS, ADAMS, LUCAS, MARC, ABAQUS, FLOTRAN vs. dünyada çok kullanılan sonlu eleman yöntemine dayalı paket programlardır.

Bahsi geçen bu yazılımlar çeşitli bilim dallarına hizmet veren yazılımlar olarak dikkat çekmektedirler. Son yıllarda ANSYS, adından sıkça bahsedilmeye başlanan yazılımdır. Özellikle gerilme problemlerinin çözümünde etkin bir şekilde kullanılmaktadır (Özdemir 2009).

2.10. Gerilme Analizi

Mukavemet hesaplarını ana amacı, elemanın dış kuvvetlere karşı dayanmasını sağlamaktır. Dış yüklerin ve momentin etkisi altında, cismin herhangi bir kesitinde, tepki olarak iç kuvvetler meydana gelir. Birim alanına isabet eden iç kuvvetlere gerilme adı verilir. Gerilme, kesite normal ve kesite teğetsel olmak üzere iki bileşene ayrılabilir. Gerilmenin normal bileşenine normal gerilme denir ve σ ile ifade edilir; kesit içine

düşen yani kesite teğetsel bileşenine kayma gerilmesi denir ve genellikle τ ile gösterilir (Özdemir 2009).

2.10.1. Kırılma ve akma kriterleri

Gevrek malzemelerde akma görülmez yalnızca kırılma meydana gelir; sünek malzemelerde ise önce akma, daha sonra plastik deformasyon ve kopma olayı olur. Bu sebeple gevrek malzemelerde kritik gerilme olarak kırılma gerilmesi, sünek malzemelerde ise akma gerilmesi alınır (Özdemir 2009).

2.10.2. Gerilme teorileri

- a. Maksimum gerilme teorisi
- b. Maksimum kayma gerilmesi teorisi (Tresca)
- c. İç sürtünme teorisi
- d. Mohr kriteri

2.10.3. Şekil değişimi teorileri

- a. Maksimum birim uzama teorisi
- b. Maksimum çarpılma açısı teorisi

2.10.4. Enerji teorileri

- a. Toplam şekil değişimi enerjisi teorisi
- b. Çarpılma enerjisi teorisi (von Mises kriteri)

2.11. Çalışmada Kullanılan Mühendislik Yazılımlar

2.11.1. SolidWorks

SolidWorks, yenilikçi, kullanımı kolay, Windows için hazırlanmış 3 boyutlu tasarım programıdır. SolidWorks her türlü makine, tesis, ürün tasarımında kullanıcıya Windows'un kolaylıklarını kullanarak hızlı bir şekilde çizim yapmasını sağlar. SolidWorks parasolid prensibinde çalıştığı için kullanıcıya, tasarımın her aşamasında müdahale şansı vererek, modelin boyutlarının, ölçülerinin ve ayrıntılarının istenilen şekilde değiştirilmesi imkanı vardır, saniyelerle ölçülebilecek zaman dilimlerinde teknik resim ve montajların yapılmasını sağlar. Programın bölümlerinden olan “Feature tree” (tasarım ağacı) ile yapılan işlemlerin sıraları ve yapıları değiştirilebilir. Üstelik yapılan değişiklikler sonucu varsa yapılmış olan montaj ve teknik resim anında güncelleşir. Böylece kullanıcıya teknik resimde veya montajda parçaya müdahale edebilme şansı doğar.

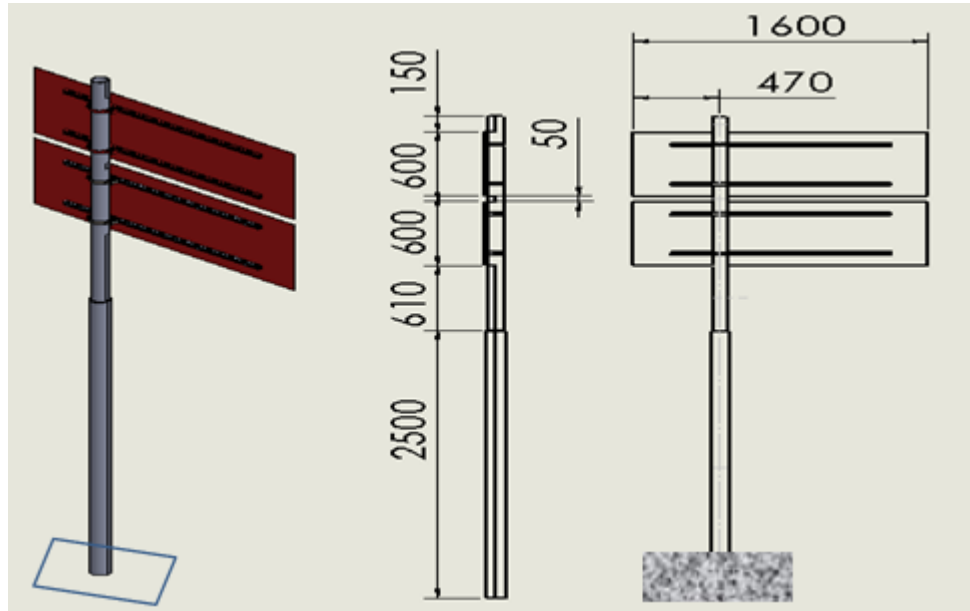
2.11.2. ANSYS-Workbench

ANSYS yazılımı mühendislerin mukavemet, titreşim, akışkanlar mekaniği ve ısı transferi ile elektromanyetik alanlarda fiziğin tüm disiplinlerinin birbiri ile olan etkileşimini sanal ortamda oluşturma için kullanılabilen genel amaçlı bir sonlu elemanlar yazılımıdır. Bu sayede gerçekleştirilen testlerin ya da çalışma şartlarının oluşturulmasına olanak sağlayan ANSYS, ürünlerin henüz prototipleri üretilmeden sanal ortamda test edilmelerine olanak sağlar. Ayrıca, sanal ortamdaki 3 boyutlu çalışmalar neticesinde yapıların zayıf noktalarının tespiti ve iyileştirilmesi ile ömür hesaplarının gerçekleştirilmesi ve muhtemel problemlerin öngörülmesi mümkün olmaktadır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Levha ve Direk Modeli

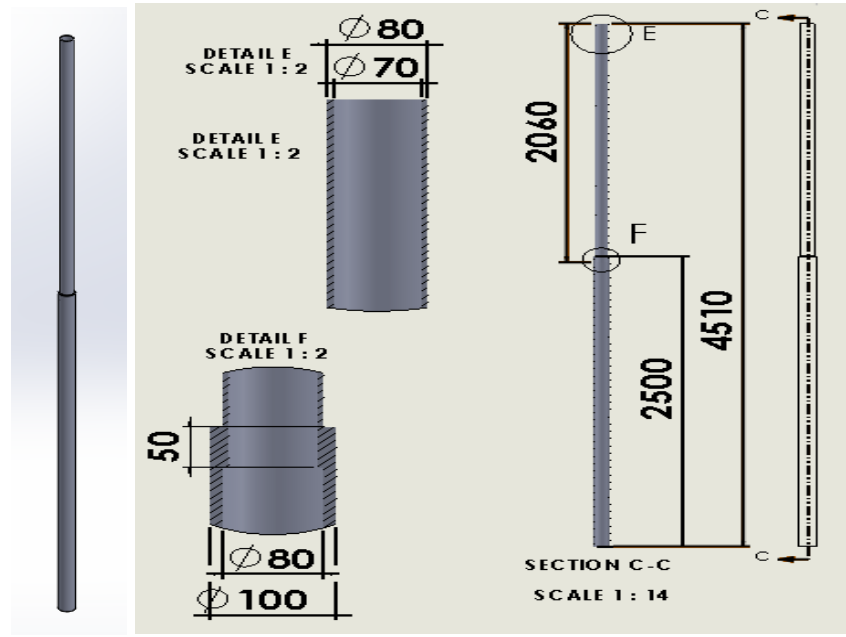
Karayollarında kullanılan trafik levhaları yol çevresinin genel özelliklerini, gerekli ikaz ve mesajları yolu kullananlara aktarırlar. İkaz mahiyetindeki trafik işaret levhaları yolda yaklaşan tehlikeyi önceden belirterek yolu kullananların daha tehlikeyi görmeden gerekli tedbirleri almalarına yardımcı olur. Trafiğin düzenlenmesi için kullanılan işaretler ile trafiğin düzenli ve güvenli biçimde seyri sağlanır. İki adet trafik levhası ve direği SolidWorks 2013 programında 3 boyutlu olarak modellenmiştir. Modelde kullanılan parçaların boyut ölçüleri mm olarak ölçülendirilmiştir. Levha ve direği meydana getiren elemanlar modellendikten sonra sistemin montajı yapılmıştır. Genel olarak direk tipi olarak mevcut kullanılan direklerden boru kesitli direk seçilmiştir. Levhalar ise dikdörtgen kesitli ve farklı boyutlarda üzerine gerekli mesaj yazılarının yazılacağı orta boyda 1600x600x2 mm ebatlarındaki levhalar seçilmiştir



Şekil 3.1. Levhanın genel görünümü

3.1.1. Levha direği

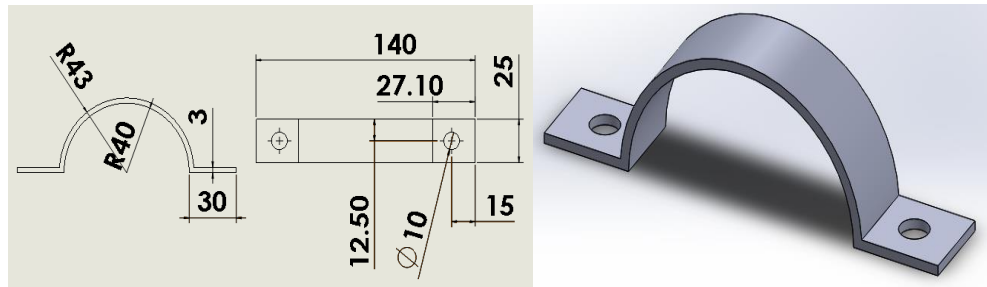
Direk iç içe geçmiş iki borudan teleskopik olarak tasarlanmıştır ve Şekil 3.2’de direğin boyutları gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Levha direğinin boyutları (ölçüler mm’dir)

3.1.2. Direği levhaya bağlayan kelepçe üst parçası

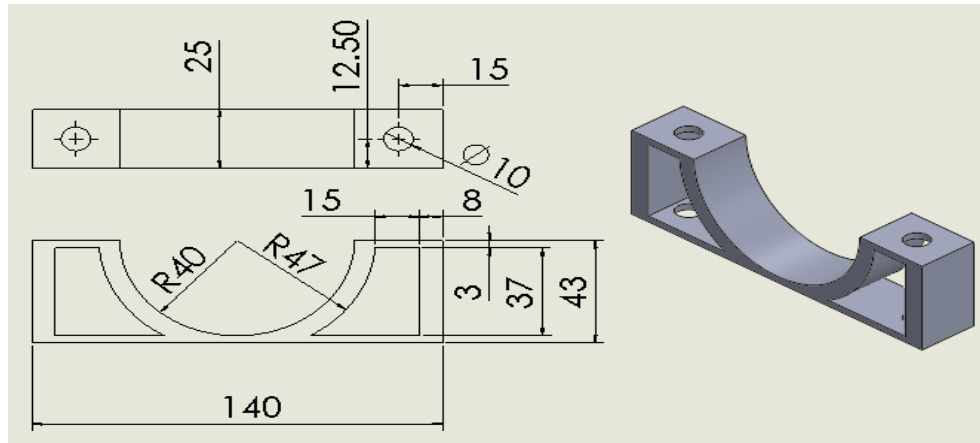
Levhanın direklere bağlantısını sağlayan kelepçe alt ve üst kısmı ayrı ayrı olarak tasarlanmış ve Şekil 3.3 ve Şekil 3.4’te ölçülendirilerek boyutlandırılmıştır.



Şekil 3.3. Kelepçenin üst parça geometrisi

3.1.3. Kelepçenin alt parçası

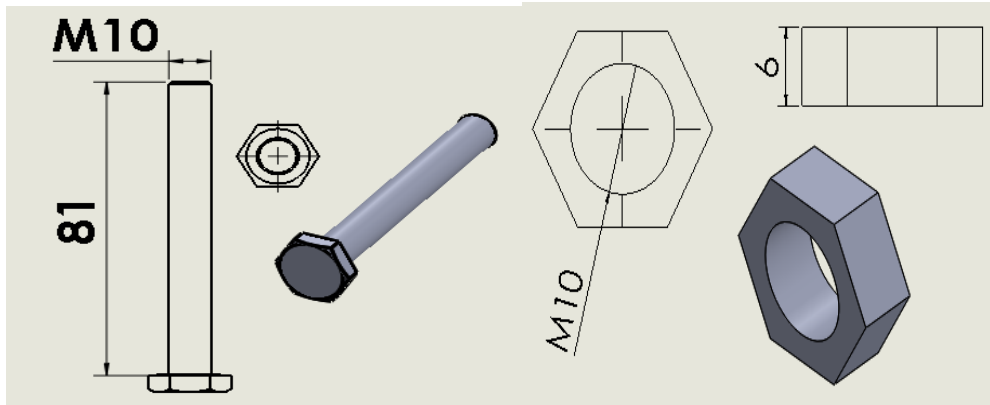
Levha direği ile kelepçenin üst parçasını bağlamak için kullanılan bu eleman Şekil 3.4'te görülmektedir.



Şekil 3.4. Kelepçenin alt parça geometrisi

3.1.4. Vida ve somun

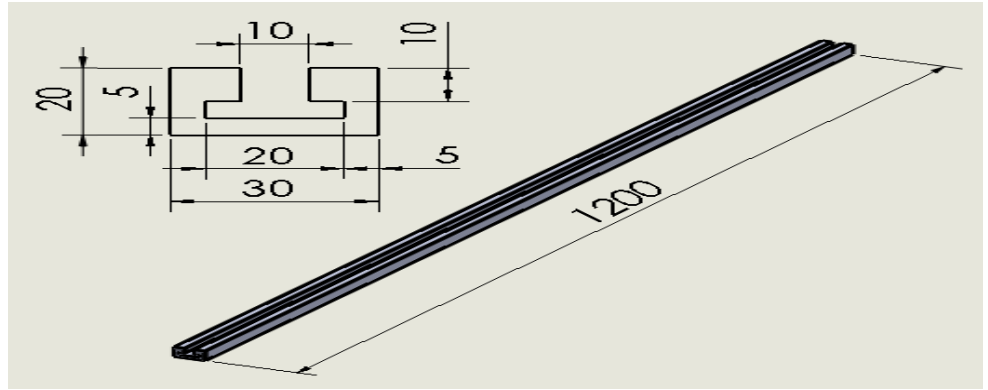
Levhanın direk ile bağlantısını sağlayan kelepçenin bağlantı vida ve somununun boyutları tasarlanarak Şekil 3.5'teki gibi ölçülendirilmiştir.



Şekil 3.5. Kelepçe bağlantı vida ve somunu

3.1.5. Levha kanalı

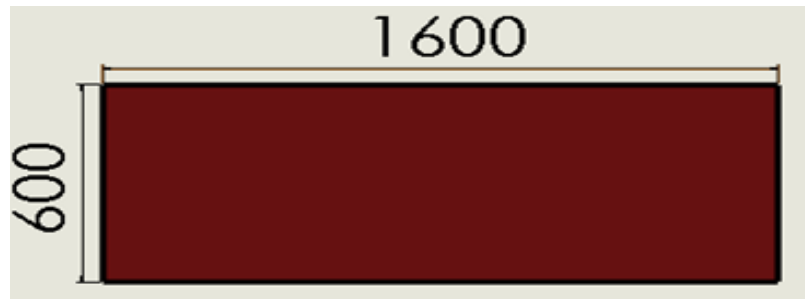
Levhanın üzerinde bulunan T kanal levhanın cıvata ve somun vasıtasıyla direğe bağlantısını sağlamakta olup Şekil 3.6’da olduğu gibi tasarlanarak boyutlandırılmış ve ölçülendirilmiştir.



Şekil 3.6. Levhanın üzerinde bulunan T kanal

3.1.6. Levhalar

Yazı ve trafik işaret sembollerinin 600x1600x2 mm ebatlarındaki levha üzerine uygulanması amacıyla tasarlanarak Şekil 3.7’deki gibi modellenmiştir.



Şekil 3.7. Levhanın ön görünüşü

3.2. Montaj İşlemi

3.2.1. Kanalla kelepçenin montajlanması

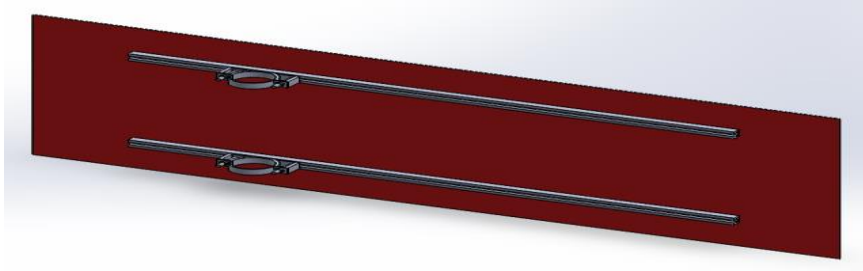
Kanal içerisine öncelikle bağlantı civatası geçirilmiş ve civatalara alt kelepçeler Şekil 3.8’de olduğu gibi bağlanmaktadır. Daha sonra üst kelepçeyle birlikte direğe montaja hazır hale getirilmektedir.



Şekil 3.8. Kelepçenin levha kanalına bağlantısı

3.2.2. Levhanın kanal bağlantısı

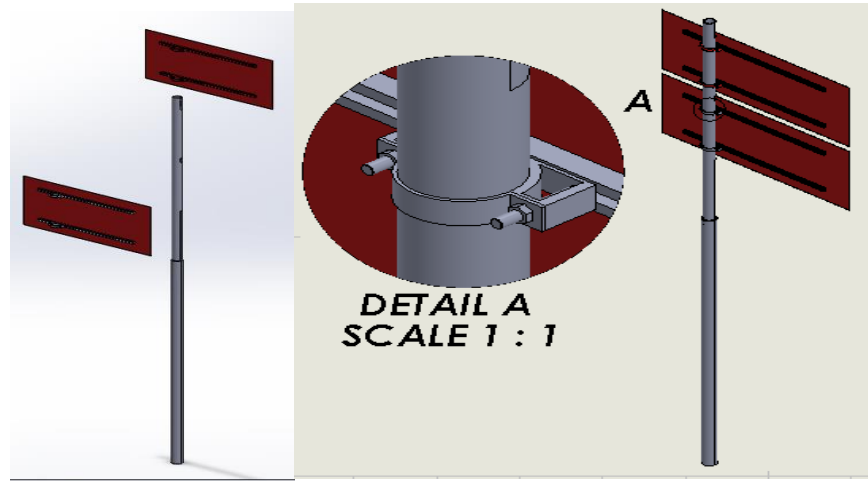
Levhalar üzerindeki iki kanal vasıtasıyla levhaların direğe bağlantısı sağlanmaktadır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Levha kanal bağlantısı

3.2.3. Levhaların direğe montajlanması

Her iki levha üzerinde bulunan kanallar sayesinde ve bağlantı kelepçeleriyle birlikte yukardaki işlem sırasına göre levhaların direğe montajı Şekil 3.10’da görüldüğü gibi sistemin bağlantısı tamamlanmaktadır.



Şekil 3.10. Levhaların direğe montajı

3.4. Modelin ANSYS Workbench’a Aktarılması

Solidworks dosyası x_t kayıt yapılarak daha sonra aşağıdaki sıralamaya göre ANSYS Workbench’a aktarılmıştır.

3.4.1. Malzeme özellikleri

Malzemelerin mekanik özellikleri programa **engineering data** kısmından girilmektedir. Direk malzemesi olarak 3 farklı malzeme seçilmiştir. Bunlardan ikisi alüminyum ve çelik olup, programın kendi kütüphanesinden seçilmiştir. Üçüncü malzeme cam elyaf takviyeli epoksi kompozitin malzeme özellikleri (%60 Camelyaf, %40 Epoksi malzeme) literatürden alınarak tanımlanmıştır. Levhanın diğer parçaları çelik olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 3.1. Malzemelerin özellikleri

Malzeme özellikleri	Çelik	Alüminyum	Cam/Epoksi
Elastisite modülü X ekseninde (GPa)	200	71	14.9
Elastisite modülü Y ekseninde (GPa)	200	71	44.5
Elastisite modülü Z ekseninde (GPa)	200	71	14.9
Kayma modülü (GPa)	76.9	26.6	4.33
Poisson oranı XY düzleminde	0.3	0.33	0.28
Poisson oranı YZ düzleminde	0.3	0.33	0.28
Poisson oranı XZ düzleminde	0.3	0.33	0.28
Özgül kütle (kg/m ³)	7850	2770	1850

3.4.2. Elemanlar arasındaki bağlar

Tüm elemanlar arasındaki bağlar ***bonded*** olarak kabul edilmiştir. Bu tanımlama ara yüzey boyunca, farklı bölgelere (parçalara) ait temastaki düğümlerin birbirlerine göre göreceli hareket yapamaması anlamına gelmektedir

3.4.3. Sonlu elemanlar modelinin oluşturulması

Ağ yapısı oluşturma işlemi (sonlu elemanlara bölme veya meşleme), SEY'inin en temel aşamasıdır. Bu işlem, yapılacak çalışmayı doğrudan etkileyerek, işleminin uygun yapılması, doğru ve güvenilir sonuçlara yaklaşılmasını sağlayacaktır. Dolayısı ile duruma göre belirlenecek eleman boyutları ile daha doğru sonuçlar elde etme imkânı doğacaktır. Meşleme işlemi önce otomatik olarak yapılmış, daha iyi sonuçlar almak için değişik meşler kullanılmış ve en küçük eleman boyutu 8 mm olarak seçilmiştir.

3.4.4. Rüzgar yükü hesabı

Çalışmada, rüzgâr etkisinden direğe gelen kuvvet ve onda meydana gelen gerilme ve şekil değiştirme (deformasyon) değerlerini belirlemek üzere, rüzgâr kuvveti aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır (TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi 2007).

$$F_D = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot C_D \cdot v^2 \quad (3.1)$$

Burada;

F_D : Rüzgârın alana uyguladığı bileşke kuvvet miktarı (N)

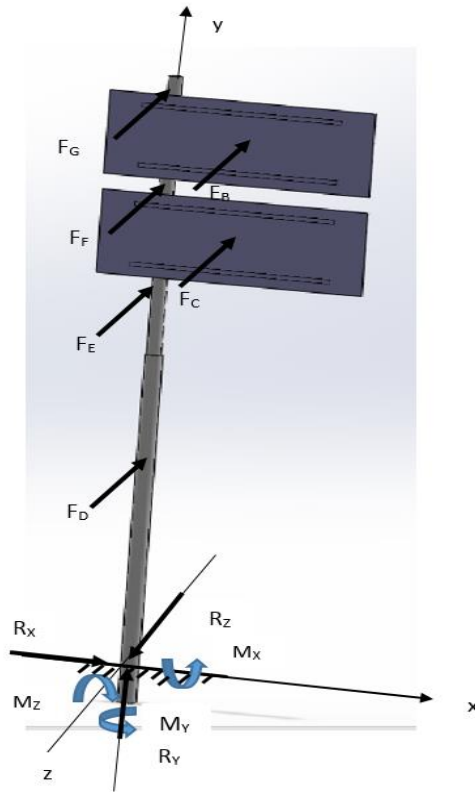
ρ : Havanın yoğunluğu (kg/m^3)

A : Rüzgâra maruz kalan projeksiyon alanı (m^2)

C_D : Sürüklenme katsayısı (şeklin geometrisine bağlı bir değer olup çalışmada 1 olarak kabul edilmiştir)

v : Rüzgar hızı (Türkiye’de en yüksek rüzgâr hızı 1 Ocak 1978 de Tokat’ta ölçülen hız 48.7 m/s olarak alınmıştır.)

Çalışmada, rüzgâr yükünün etkisini maksimize etmek için, rüzgârın levhaya dik olarak etki ettiği kabul edilmiştir. Böylece iki eş kuvvet levhalara ve dört adet kuvvet direğin boş kalan kısımlarına olmak üzere toplam altı adet kuvvet bulunmaktadır. Çizelge 3.2’de alanlar ve uygulanan kuvvetler gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Direğe ve levhalara rüzgâr kuvvetinin etkisi

Çizelge 3.2. Levha ve direk boyutları

Elemanlar	Ağırlık (N)	Alan (m ²)	Rüzgar kuvveti (N)
Levha (B)	-	0.96	1350
Levha (C)	-	0.96	1350
Direğin ayak bölümü (D)	-	0.25	353
Ayakla alt levha boşluğu (E)	-	0.048	68
İki levha arasında boşluk (F)	-	0.004	6
Direğin en üst kısmı (G)	-	0.012	17
Levhaların ve direğin toplam ağırlığı (W)	1351.32	-	-

3.4.5. Analizler

Analizlerde Von-Mises gerilmesi, direğin toplam eğilme miktarı ve aynı zamanda levhada toplam deformasyonu ele alınmıştır.

3.4.6. Von-Mises gerilmesi

Bu kriteri ilk kez 1865 yılında Maxwell formüle etmesine rağmen genellikle matematikçi Richard von Mises'e (1913) atfedilmektedir (Wikipedia 2007).

$\sigma_x = 0$, $\sigma_z = 0$, $\tau_{xz} = 0$ ve $\tau_{yz} = 0$ olduğu için, biçim değiştirme (çarpılma) enerjisi yoğunluğu;

$$U_g = \frac{1}{12G} \left[(\sigma_y)^2 + (\sigma_y)^2 + 6(\tau_{xy}^2) \right] \quad (3.2)$$

$$U_g = \frac{1}{6G} \left[(\sigma_y)^2 + 3(\tau_{xy}^2) \right] \quad (3.3)$$

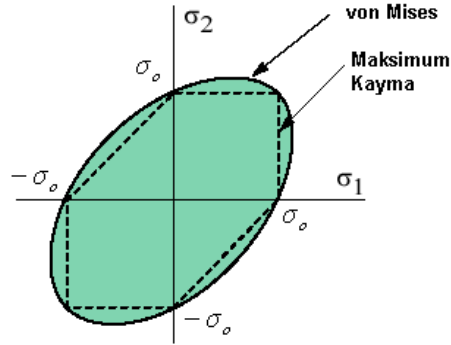
şeklinde yazılır. Bu kritere göre bir malzemenin akması, çarpılma enerjisinin tek eksenli haldeki çarpılma enerjisine ulaşmasıyla olur. Tek eksenli halde bu enerji aşağıdaki gibidir:

$$U_g = \frac{1}{6G} \sigma_0^2 \quad (3.4)$$

Cisimde akma; (3.3) denklemi (3.4) denklemine eşit olduğunda

$$(\sigma_{eş})^2 = (\sigma_y)^2 + 3(\tau_{xy}^2) \quad \text{veya} \quad (\sigma_{von})^2 = (\sigma_y)^2 + 3(\tau_{xy}^2) \quad (3.5)$$

meydana gelir. (3.5) denklemi Şekil 3.12’te görüldüğü gibi bir elips denklemdir.

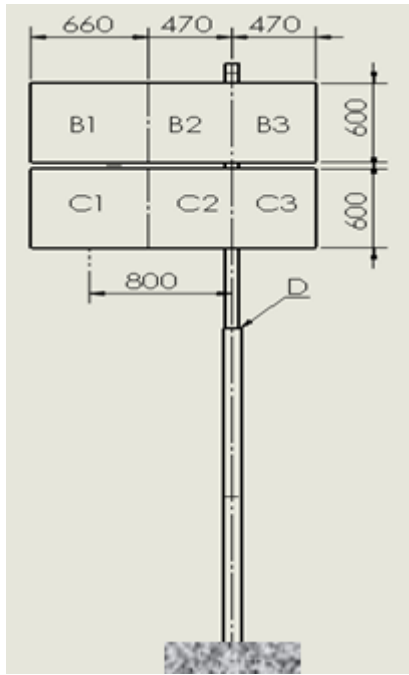


Şekil 3.12. Von Mises ve Maksimum kayma gerilmesi teorilerinin karşılaştırılması

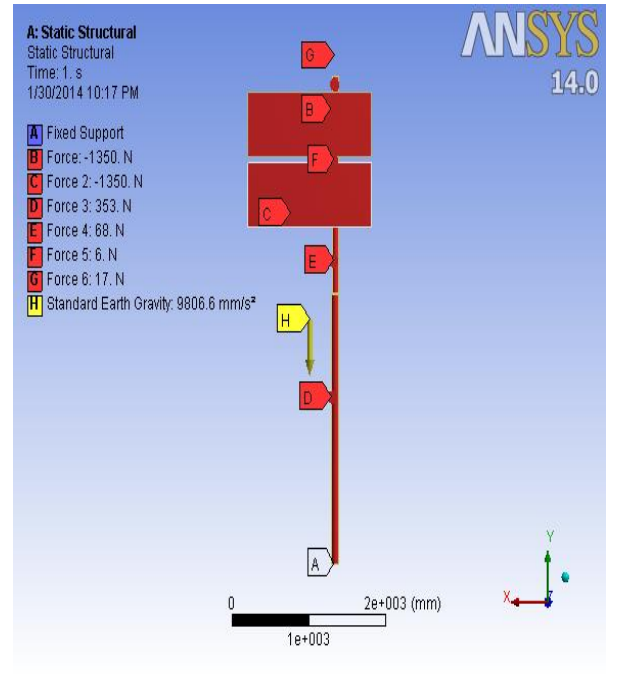
Bu elips maksimum kayma gerilmesi ile belirtilen köşe noktalardan geçmektedir. Üç boyutlu halde bu kriter bir silindirik yüzey gösterir ve yüzeye dik kesit bir dairedir. Sünek malzemeler için çok iyi sonuç veren bir kriterdir. Bu kriter hidrostatik basınç olayına açıklık getirebilmektedir ve plastisite teorisinde geniş ölçüde kullanılmaktadır.

3.4.7. ANSYS sonuçlarının teyidi

ANSYS programından elde edilen sonuçların doğruluğunu kontrol etmek için çelik direkte meydana gelen kayma gerilmeleri ve Von-Mises gerilmeleri elemanter mukavemet hesapları yapılarak karşılaştırılmıştır.



(a)



(b)

Şekil 3.13. (a) Levha ve direğin cepheden görünüşü (b) ANSYS analizinde kuvvetler

Rüzgâr kuvvetinden dolayı, levha direklerinde burulma momenti, eğilme momenti ve kesme kuvveti etkileri meydana gelmektedir (Şekil 3.11). Levhadan direğe gelen kuvvetleri bulmak amacıyla, levha eşdeğer alanlara bölünmüştür (Şekil 3.13). Elemanter mukavemet çözümlerine göre boru şeklindeki direkte, burulma momenti ve kesme kuvvetinden dolayı oluşan kayma gerilmesi aşağıda formülden hesaplanmaktadır (Beer Johnston):

$$\tau = \frac{4V}{3A} + \frac{Tc_2}{J} \quad (3.8)$$

Burada V rüzgâr yükünden dolayı direkteki kesme kuvvet miktarıdır. Direkte oluşan toplam kesme kuvveti aşağıdaki gibi bulunur:

$$V = F_E + F_C + F_F + F_B + F_G \quad (3.9)$$

$$V = 68 + 1350 + 6 + 1350 + 17 = 2791 \text{ N}$$

A direğin kesit alanı olup, dış ve iç yarıçaplar sırası ile $c_2 = 40 \text{ mm}$ ve $c_1 = 35 \text{ mm}$ alınarak aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$A = \pi(c_2^2 - c_1^2) \quad (3.10)$$

$$A = \pi(40^2 - 35^2) = 1177.5 \text{ mm}^2$$

Direğin polar atalet momenti aşağıdaki denklemden bulunur:

$$J = \frac{\pi}{2}(c_2^4 - c_1^4) \quad (3.11)$$

$$J = \frac{\pi}{2}(40^4 - 35^4) = 1.663 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

T ise, direğe levhalardan gelen burulma momenti olup aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$T = \sum F_i l_i = F_1 l_1 + F_2 l_2 \quad (3.12)$$

$l_1 = l_2 = 0.8 \text{ m}$ ve $F_1 = F_2 = 556.875 \text{ N}$ değerleri ile birlikte

$$T = 2(556.875 \cdot 0.8) = 891 \text{ Nm}$$

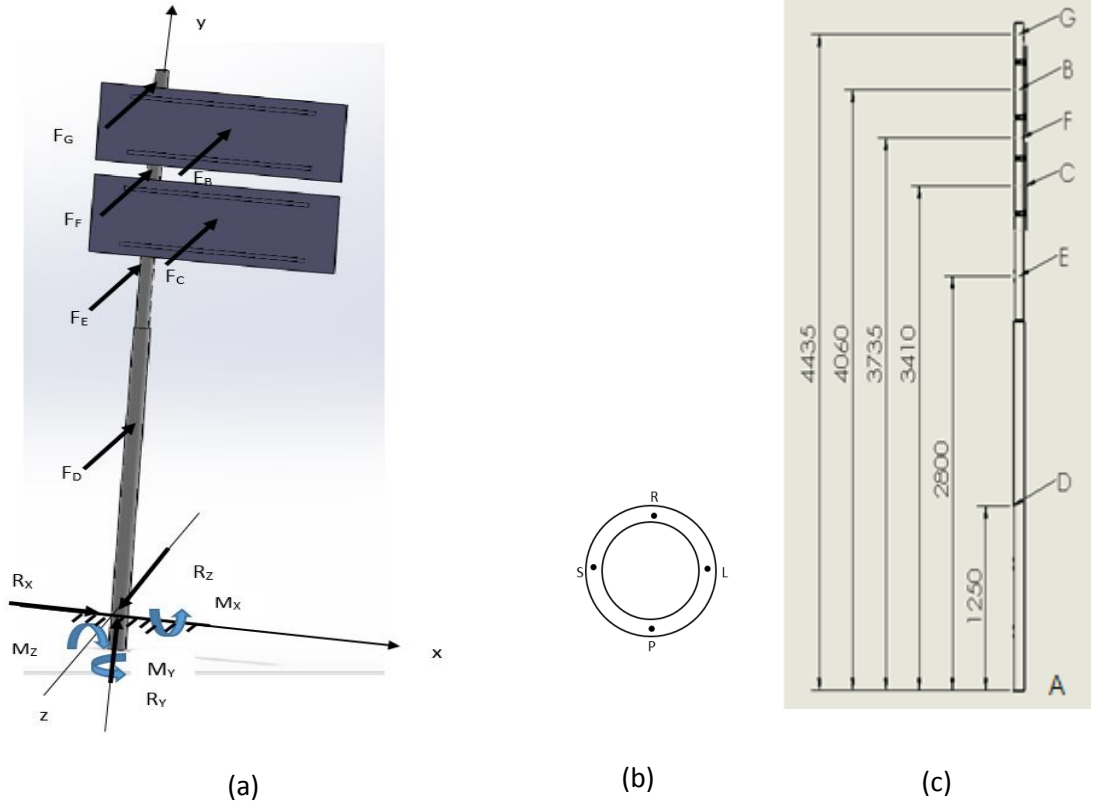
şeklinde hesaplanır.

Buna göre direkte meydana gelen kayma gerilmeleri Denklem (3.8) ile

$$\tau = \frac{4 \cdot 2791}{3 \cdot 1177.5} + \frac{891 \times 10^3 \cdot 40}{1.663 \cdot 10^6}$$

$$\tau = 24.55 \text{ MPa}$$

bulunur. Elde edilen bu sonuç ANSYS analizinden elde edilen 22.4 MPa'lık sonuçla karşılaştırıldığında %8.7'lik bir fark olduğu görülür. Bu ise nümerik sonucun analitik sonuca yakın olduğunu göstermektedir. Ayrıca ANSYS analizinden elde edilen sonuçlar, Von-Mises gerilmeleri hesaplanarak ta karşılaştırılmıştır. Şekil 3.14'te direk ve levhaya etki eden yükler gösterilmektedir.



Şekil 3.14. (a) Direğin serbest cisim diyagramı, (b) Direk kesiti (c) Direk ölçüleri

Direkteki maksimum normal gerilme aşağıdaki denklemden hesaplanmıştır:

$$\sigma_y = \frac{W}{A} + \frac{M_A c_2}{I} \quad (3.13)$$

Burada;

W levha ve direğin toplam ağırlığı olup çizelge 3.2 de hesaplanan:

$$W = 1351.32 \text{ N}$$

A direğin kesit alanı olup, dış ve iç yarıçaplar sırası ile $c_2 = 50 \text{ mm}$ ve $c_1 = 40 \text{ mm}$ alınarak aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$A = \pi(c_2^2 - c_1^2) \quad (3.14)$$

$$A = \pi(50^2 - 40^2) = 2826 \text{ mm}^2$$

M_A A noktasında rüzgâr etkisinden dolayı oluşan eğilme momenti olup aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$M_A = F_D \cdot L_D + F_E \cdot L_E + F_C \cdot L_C + F_F \cdot L_F + F_B \cdot L_B + F_G \cdot L_G \quad (3.15)$$

$$M_A = 353 \cdot 1.25 + 6 \cdot 2.8 + 1350 \cdot 3.41 + 6 \cdot 3.735 + 1350 \cdot 4.06 + 17 \cdot 4.435$$

$$M_A = 10818.96 \text{ N.m}$$

Direğin A noktasındaki atalet momenti aşağıdaki denklemden bulunur:

$$I = \frac{\pi}{4}(c_2^4 - c_1^4) \quad (3.16)$$

$$I = \frac{\pi}{4}(50^4 - 40^4) = 2896 \times 10^3 \text{ mm}^4$$

Direğin tabanında oluşan en büyük bası gerilmesi R noktasında oluşur ve (3.13) ile aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\sigma_y = \frac{1351.32}{2826} + \frac{10818.96 \times 10^3 \cdot 50}{2896 \times 10^3} = 187.27 \text{ MPa}$$

Direkte oluşan toplam kesme kuvveti aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$V = F_D + F_E + F_C + F_F + F_B + F_G = 353 + 68 + 1350 + 6 + 1350 + 17 = 3144 \text{ N}$$

Direğin polar atalet momenti aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$J = \frac{\pi}{2} (50^4 - 40^4) = 5793 \times 10^3 \text{ mm}^4$$

Direkte meydana gelen kayma gerilmeleri (3.8) denklemi ile aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$\tau_{xy} = \frac{4 \cdot 3144}{3 \cdot 2826} + \frac{891 \times 10^3 \cdot 50}{5793 \times 10^3} = 9.17 \text{ MPa}$$

Yukarıdaki gerilme bileşenleri dikkate alınarak, A noktasındaki Von-Mises eşdeğer gerilmesi aşağıdaki formülden hesaplanır:

$$(\sigma_v)^2 = (\sigma_y)^2 + 3(\tau_{xy}^2) \quad (3.17)$$

$$\sigma_v = \sqrt{(187.27)^2 + 3(9.17)^2} = 187.94 \text{ MPa}$$

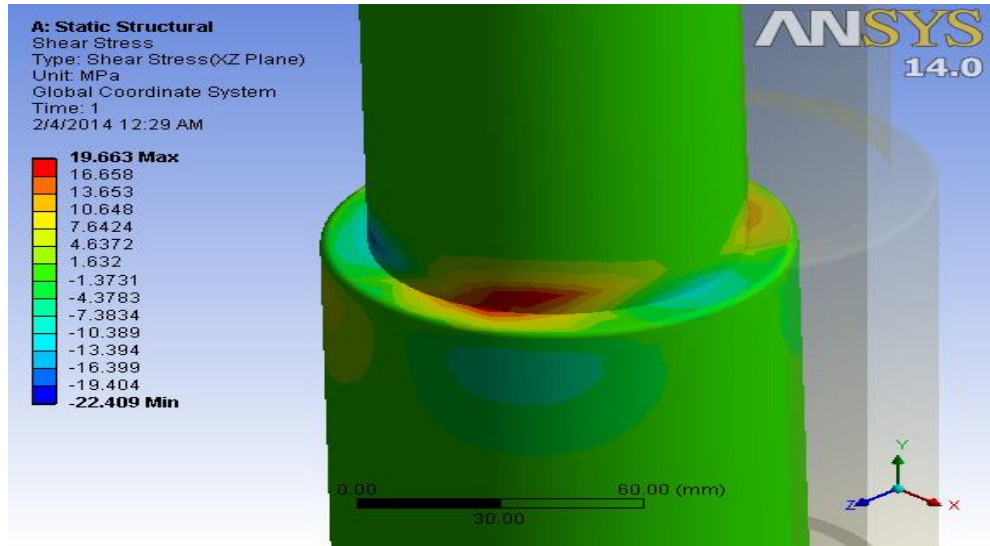
Elde edilen bu sonuç, ANSYS analizinden elde edilen 192.06 MPa'lık sonuçla karşılaştırıldığında %2.1'lik bir fark olduğu görülür. Bu ise nümerik sonucun analitik sonuca yakın olduğunu göstermektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

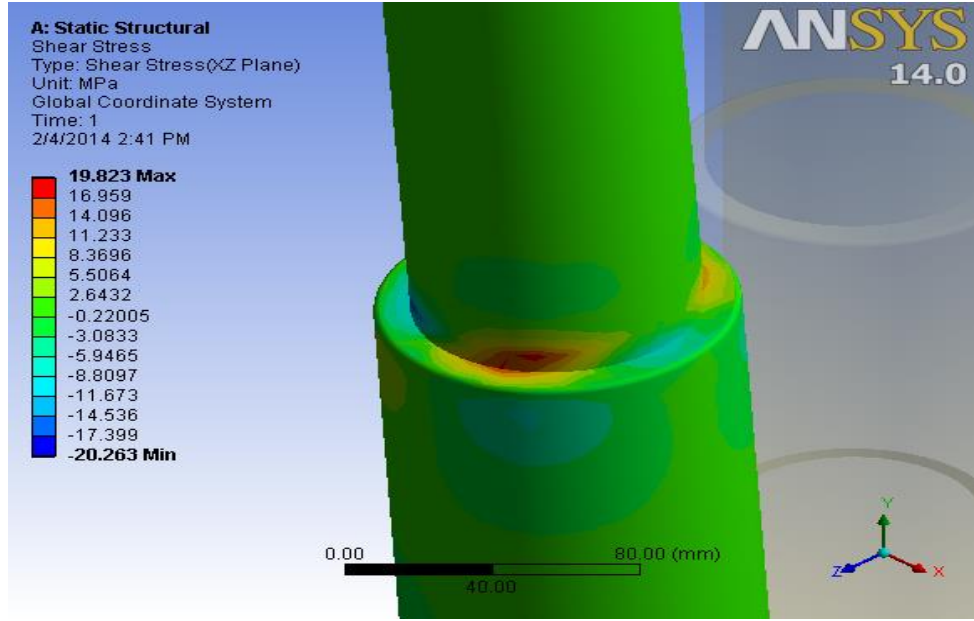
Trafik levha direği olarak tasarlanan modelin farklı malzemelerden üretilmesi sonucunda elde edilen normal gerilme, kayma gerilmesi, Von-Mises gerilmeleri ve direkte meydana gelen yanal deformasyon bulguları aşağıda değerlendirilmiştir.

4.1. Kayma Gerilmesi

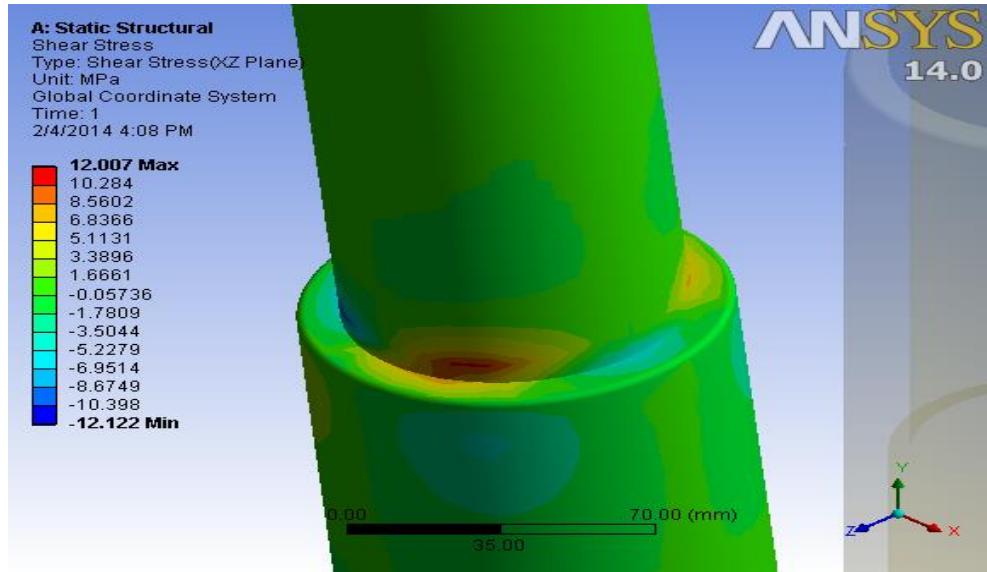
Çelik, alüminyum ve kompozit malzemelerden imal edilmiş direkler iki kademeli olarak tasarlanmıştır. Üst kısmın dış çapı ile alt kısmın iç çapları birbirlerine eşit olup, üst direğin alt direğe eklendiği bölgedir. Bu bölge, kayma gerilmelerinin yoğun olduğu bölgelerdir. Bu bölgedeki kayma gerilmeleri Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3'te görülmektedir. Şekil 4.4'te bu malzemelerde meydana gelen kayma gerilmeleri karşılaştırılmıştır.



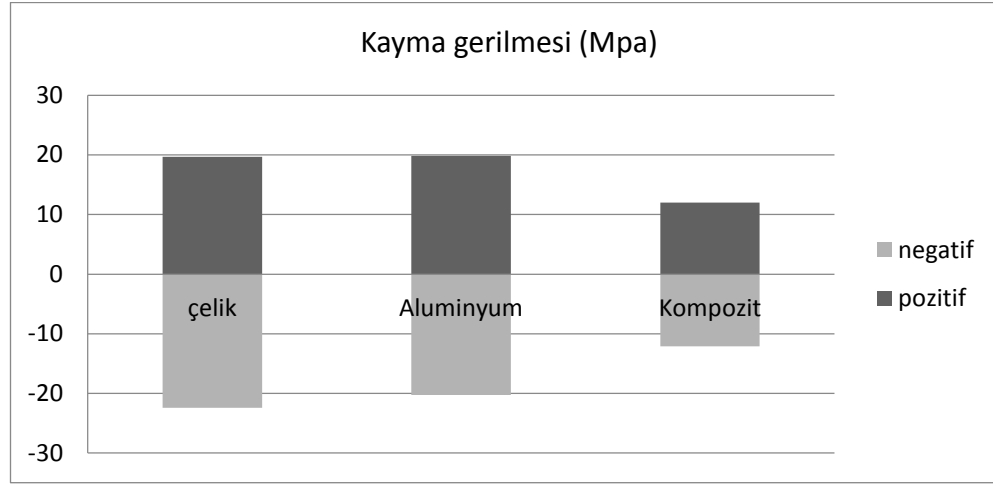
Şekil 4.1. Çelik direğin eklem bölgesindeki kayma gerilmesi dağılımı



Şekil 4.2. Alüminyum direğin eklem bölgesindeki kayma gerilmesi dağılımı



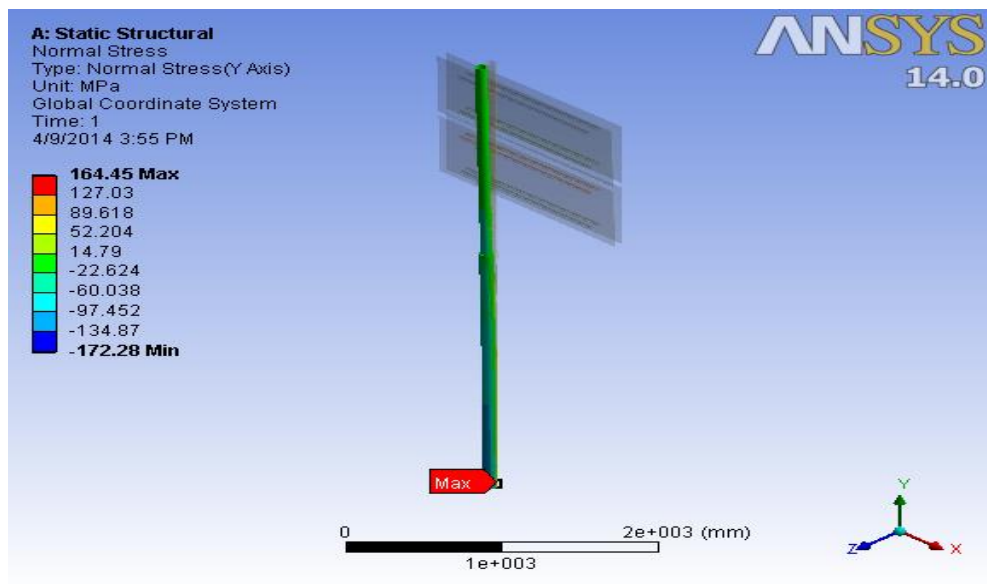
Şekil 4.3. Kompozit direğin eklem bölgesindeki kayma gerilmesi dağılımı



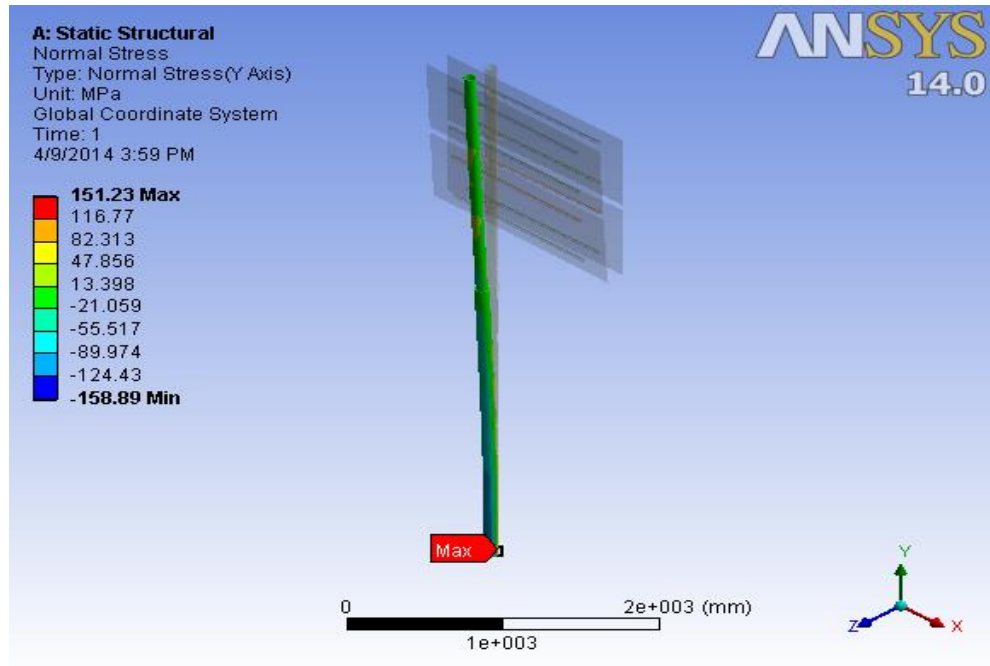
Şekil 4.4. Malzemelerde oluşan kayma gerilmelerinin karşılaştırılması

4.2. Normal Gerilme

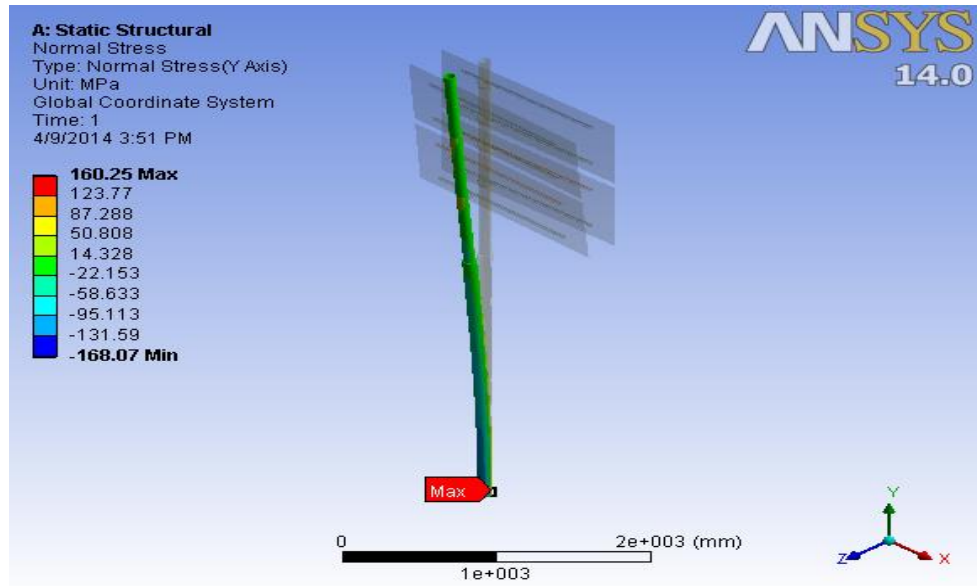
Çelik, alüminyum ve kompozit malzemelerden imal edilmiş direkler iki kademeli olarak tasarlanmıştır. Direğin tabandaki bölgede, normal gerilmelerinin yoğun olduğu bölgelerdir. Bu bölgedeki normal gerilmeleri Şekil 4.5, 4.6 ve 4.7’te görülmektedir. Şekil 4.8’te bu malzemelerde meydana gelen normal gerilmeleri karşılaştırılmıştır.



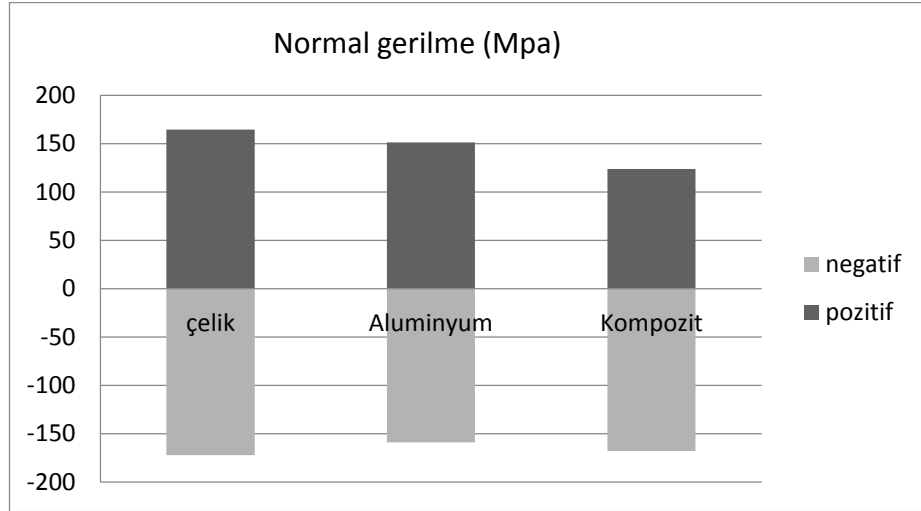
Şekil 4.5. Çelik direğin normal gerilmesi dağılımı



Şekil 4.6. Alüminyum direğin normal gerilmesi dağılımı



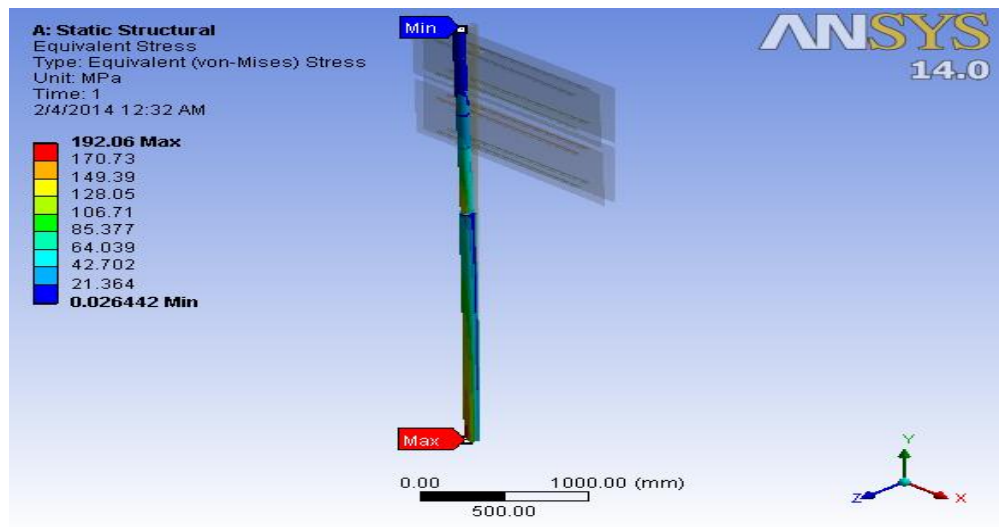
Şekil 4.7. Kompozit direğin normal gerilmesi dağılımı



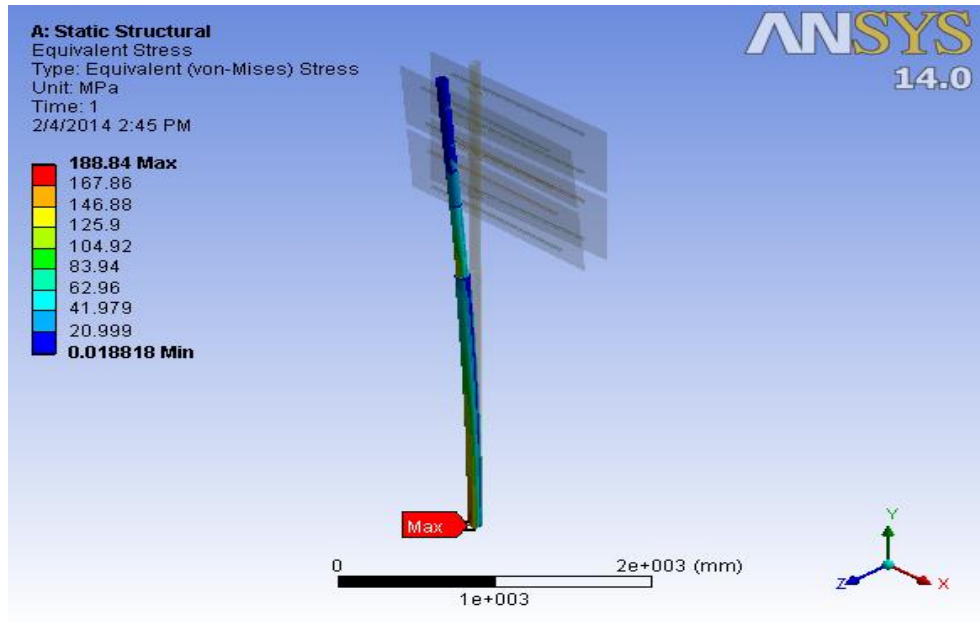
Şekil 4.8. Malzemelerde oluşan normal gerilmelerinin karşılaştırılması

4.3.Von-Mises Gerilme Dağılımı

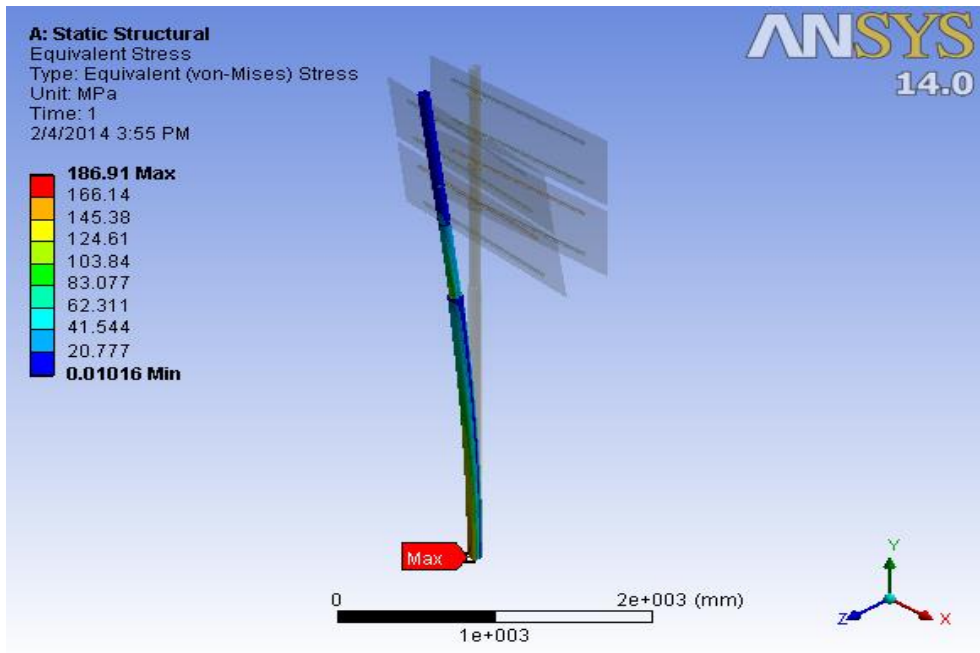
Çelik, alüminyum ve kompozit malzemelerden imal edilmiş direkler iki kademeli olarak tasarlanmıştır. Direğin tabandaki bölge, Von-Mises gerilmelerinin yoğun olduğu bölgelerdir. Bu bölgedeki Von-Mises gerilmeleri Şekil 4.9, 4.10 ve 4.11’de görülmektedir. Şekil 4.12’de bu malzemelerde meydana gelen Von-Mises gerilmeleri karşılaştırılmıştır.



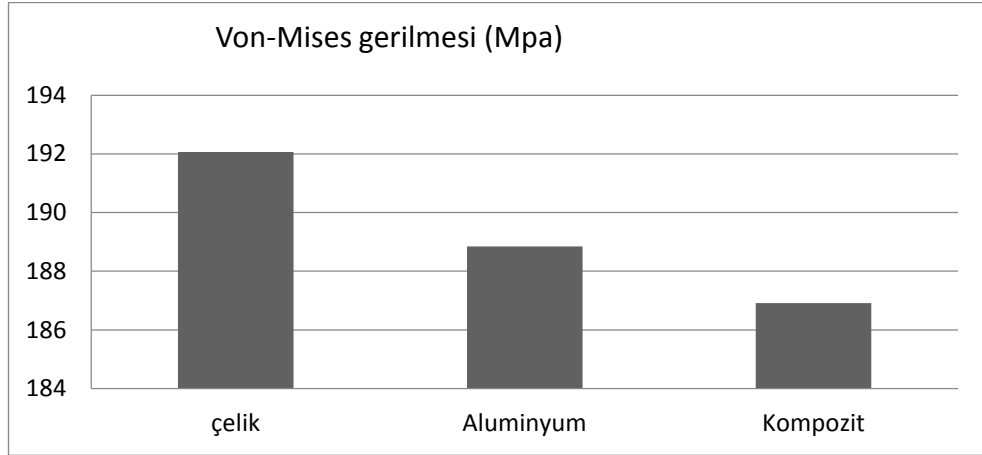
Şekil 4.9. Çelik direğin Von-Mises gerilmesi dağılımı



Şekil 4.10. Alüminyum direğin Von-Mises gerilmesi dağılımı



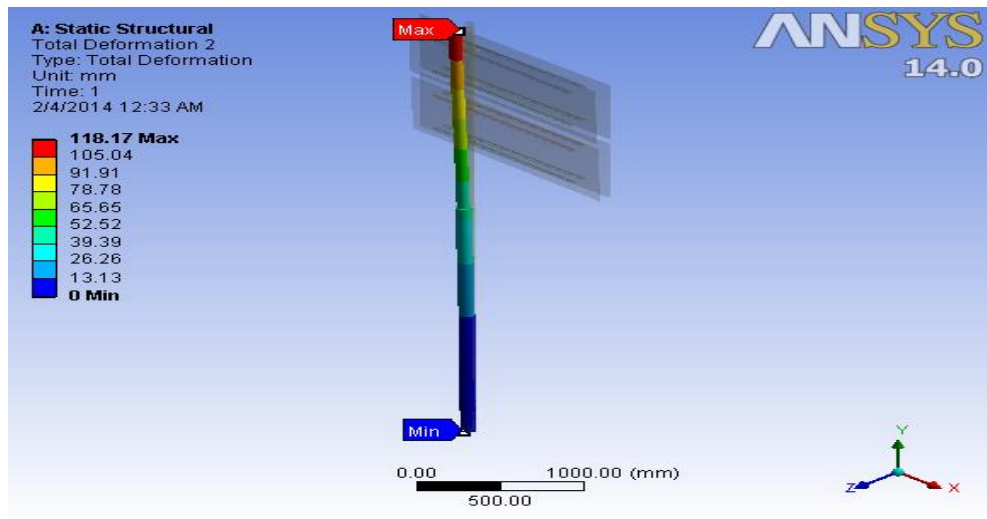
Şekil 4.11. Kompozit direğin Von-Mises gerilmesi dağılımı



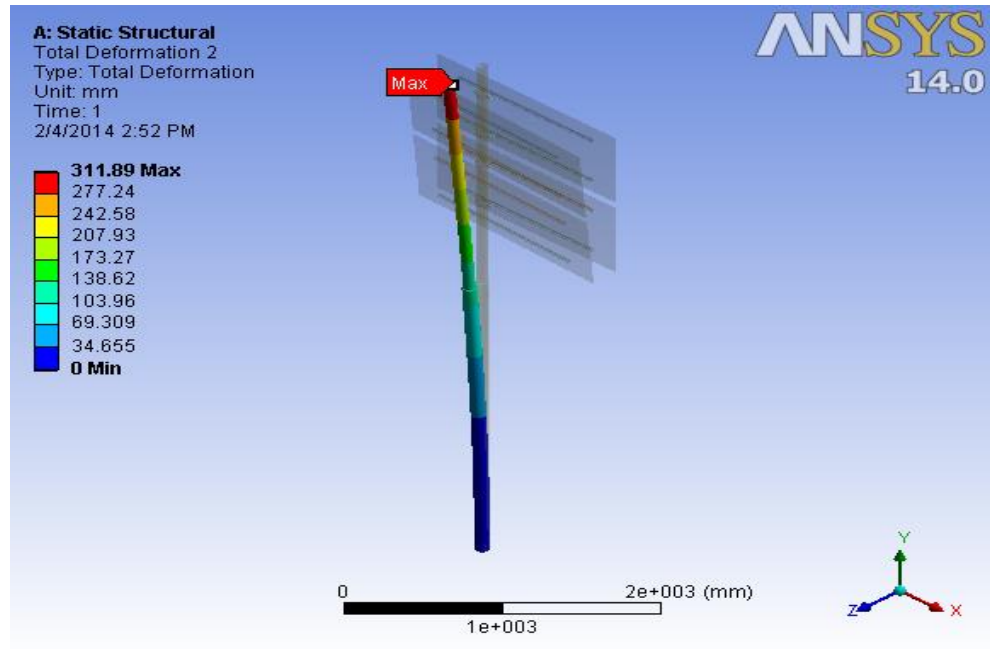
Şekil 4.12. Direkte meydana gelen Von-Mises gerilme değerleri

4.4. Direkte Meydana Gelen Sehim

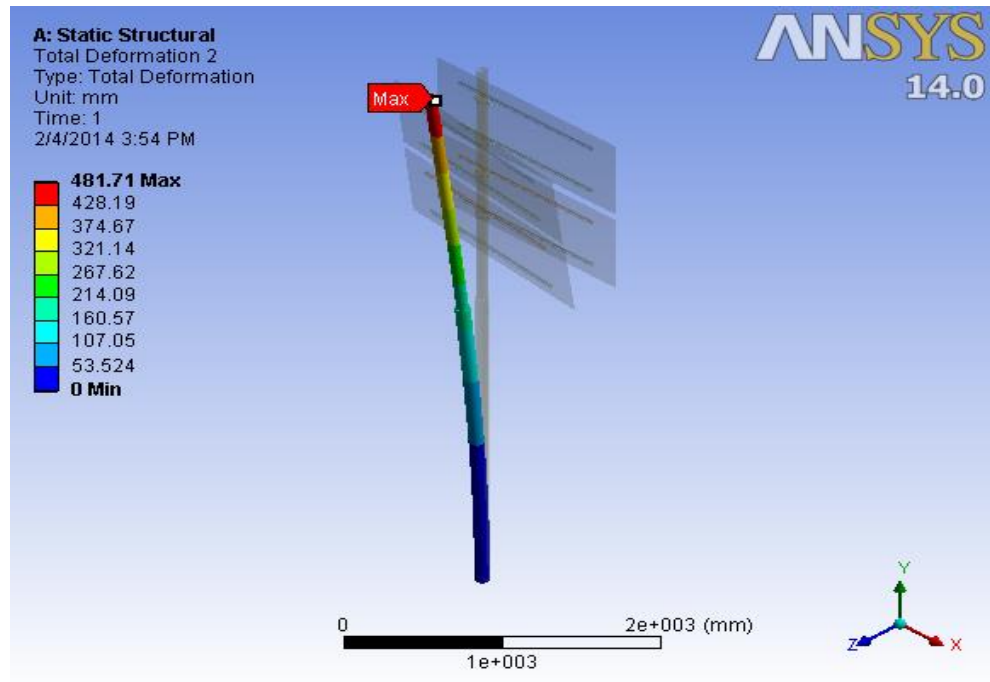
Levhalar ve direklere etkiyen rüzgâr yükü dolayısıyla, direklerde eğilmeler meydana gelmekte olup, direkteki eğilme deformasyonlarına **sehim** denilmektedir. Direğin en üst noktalarında sehim değerleri maksimum değerlerine ulaşmaktadır. Çelik, alüminyum ve kompozit malzemeden imal edilmiş direklerde meydana gelen sehim değerleri ANSYS ile hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.13, 4.14 ve 4.15'te verilmiştir. Şekil 4.16'da direklerde oluşan sehimler karşılaştırılmıştır



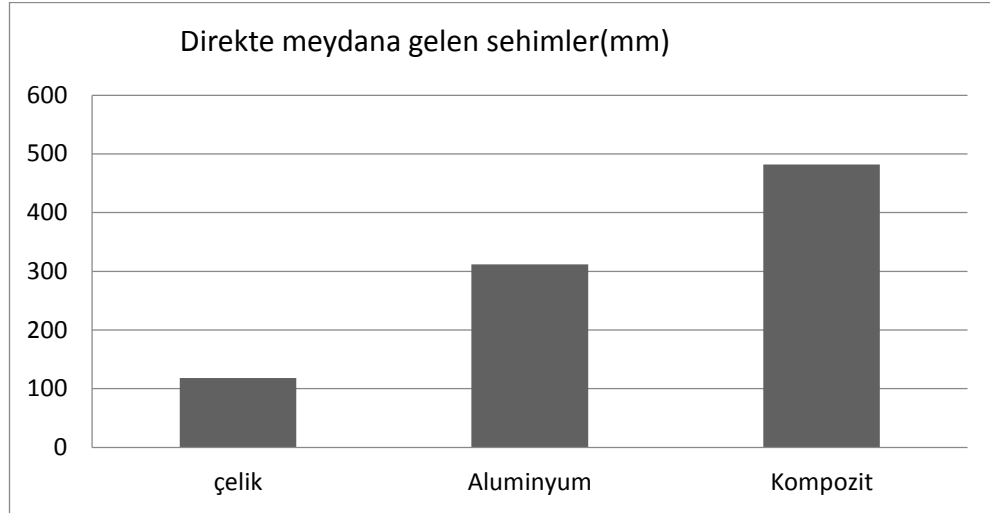
Şekil 4.13. Çelik direğin sehim



Şekil 4.14. Alüminyum direğin sehim



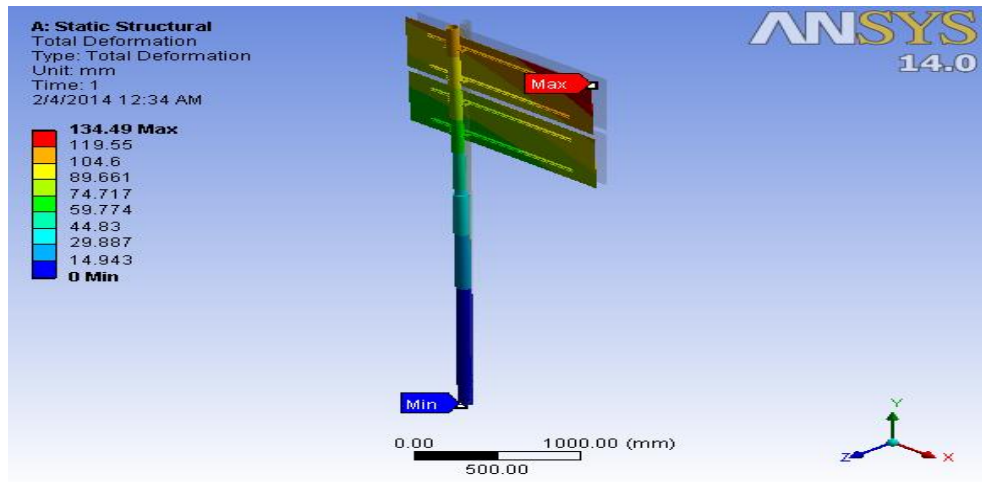
Şekil 4.15. Kompozit direğin sehim



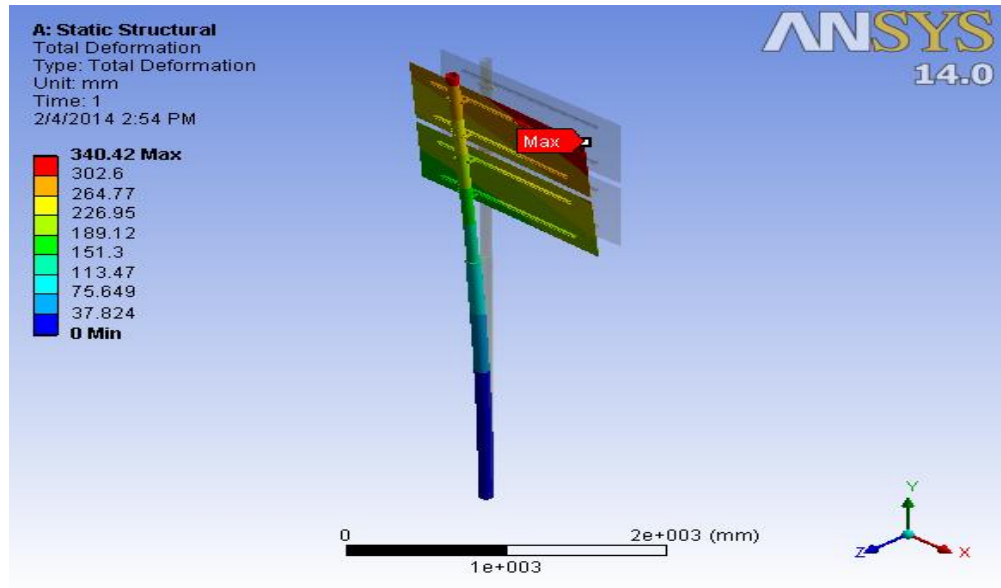
Şekil 4.16. Direklerde oluşan sehimlerin karşılaştırılması

4.5. Levhalarda Meydana Gelen Deformasyonlar

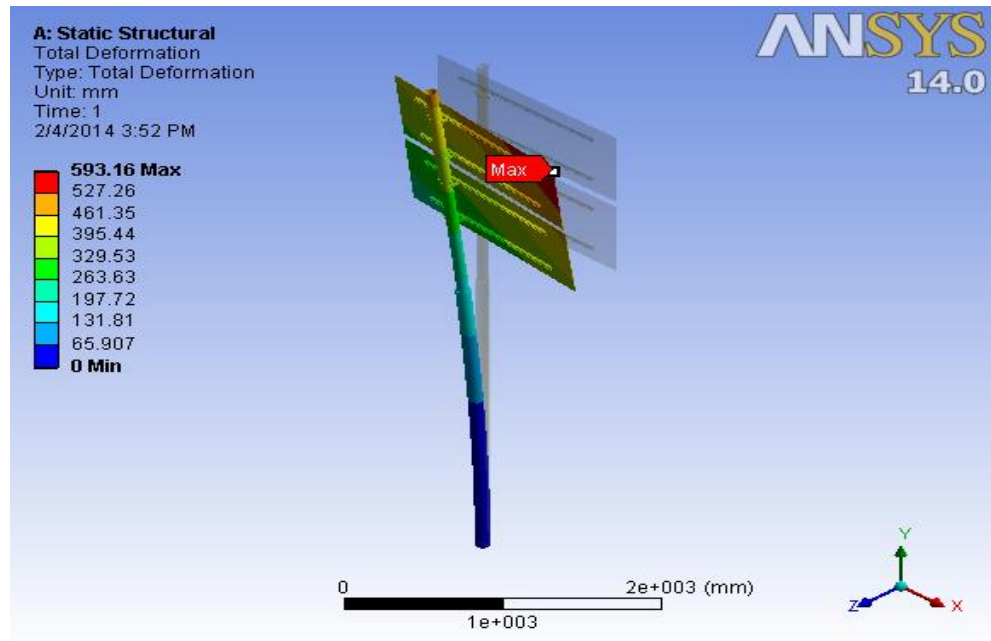
Direklere monte edilen trafik levhalarında da rüzgâr yüklerinden dolayı deformasyonlar (şekil değişimleri) meydana gelmektedir. Levhalardaki en büyük deformasyonlar, şekillerden de görüleceği üzere, üst levhanın en uç üst noktasıdır. Analizlerden elde edilmiş deformasyon değerleri Şekil 4.17, 4.18 ve 4.19’da görülmektedir. Şekil 4.20’de ise üç farklı direğe bağlanmış levhalarda meydana gelen en büyük deformasyon değerleri karşılaştırılmıştır.



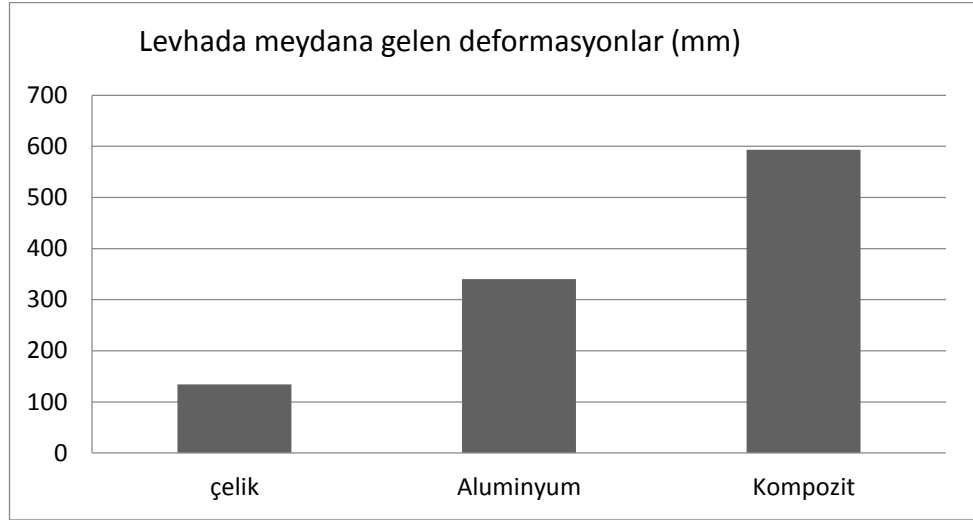
Şekil 4.17. Çelik direkteki levhada oluşan deformasyonlar



Şekil 4.18. Alüminyum direkteki levhada oluşan deformasyonlar



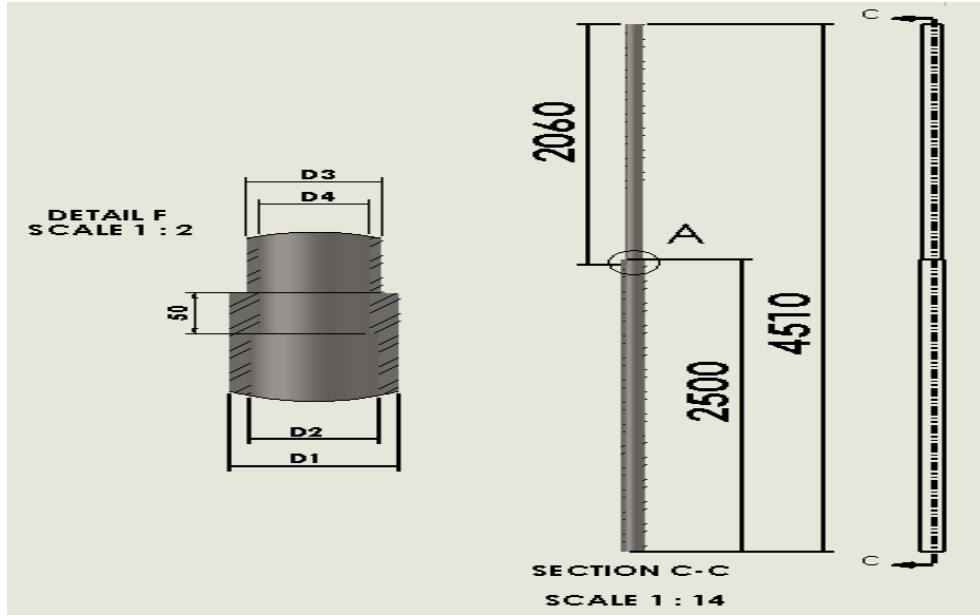
Şekil 4.19. Kompozit direkteki levhada oluşan deformasyonlar



Şekil 4.20. Levhalarda oluşan en büyük deformasyonların karşılaştırılması

4.6. Kompozit Direklerdeki Sehim Değerlerinin Cidar Kalınlığına Göre Değişimi

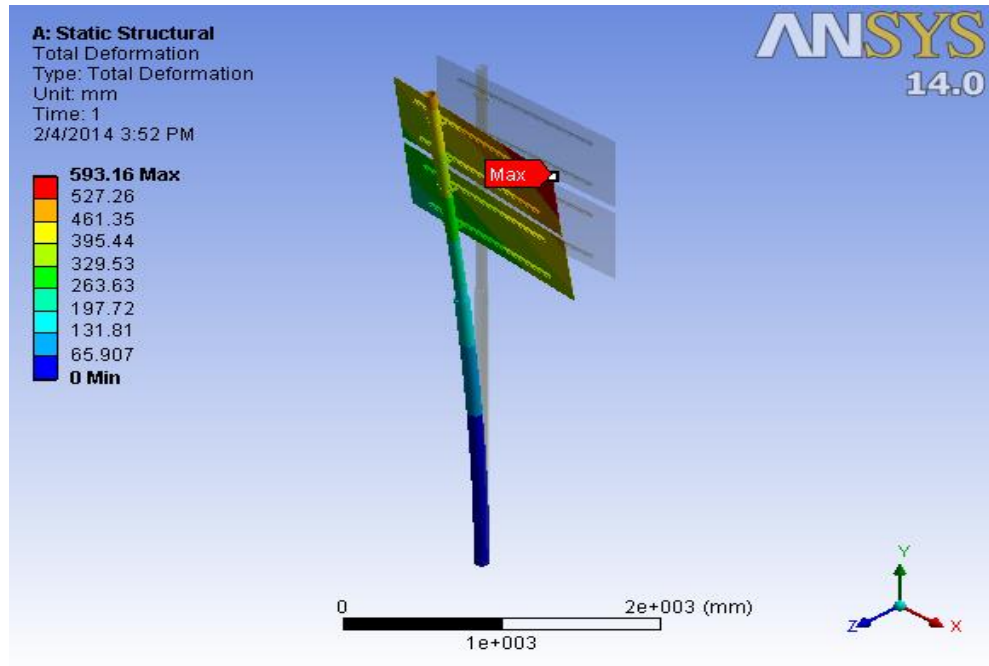
Gerilme değerleri açısından kompozit direklerde daha küçük gerilmeler meydana geldiği görülürken, Şekil 4.20'den anlaşılacağı üzere, en büyük deformasyonlar bu direklerde meydana gelmiştir. Bundan dolayı, kompozit direklerde cidar kalınları değiştirilerek, bu direklerde meydana gelen sehim değerlerinin azaltılmasına çalışılmıştır. Burada dış çaplar sabit tutularak, iç çaplar değiştirilmiştir. Şekil 4.21'de kompozit direğin geometrisi görülmektedir. Cidar kalınlığının değişimine bağlı olarak elde edilmiş sehim değerleri Çizelge 4.1'de verilmiştir. Ayrıca elde edilen sehim değerleri Şekil 4.22, 4.23, 4.24, 4.25 ve 4.26'da ayrıntılı olarak gösterilmiştir.



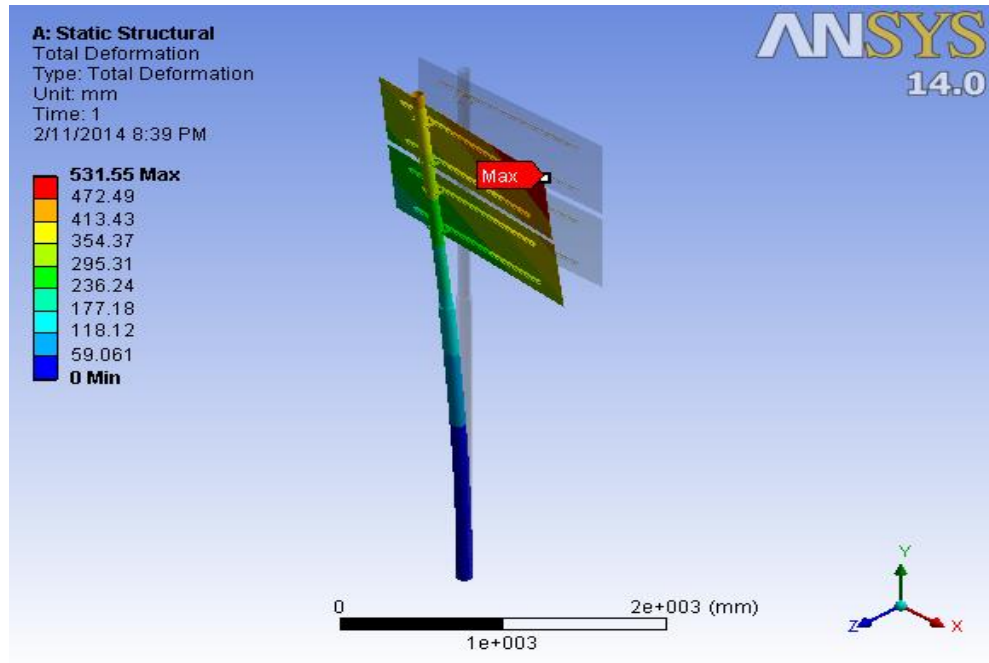
Şekil 4.21. Kompozit direğin geometrisi

Çizelge 4.1. Cidar kalınlıklarına göre sehım değerleri

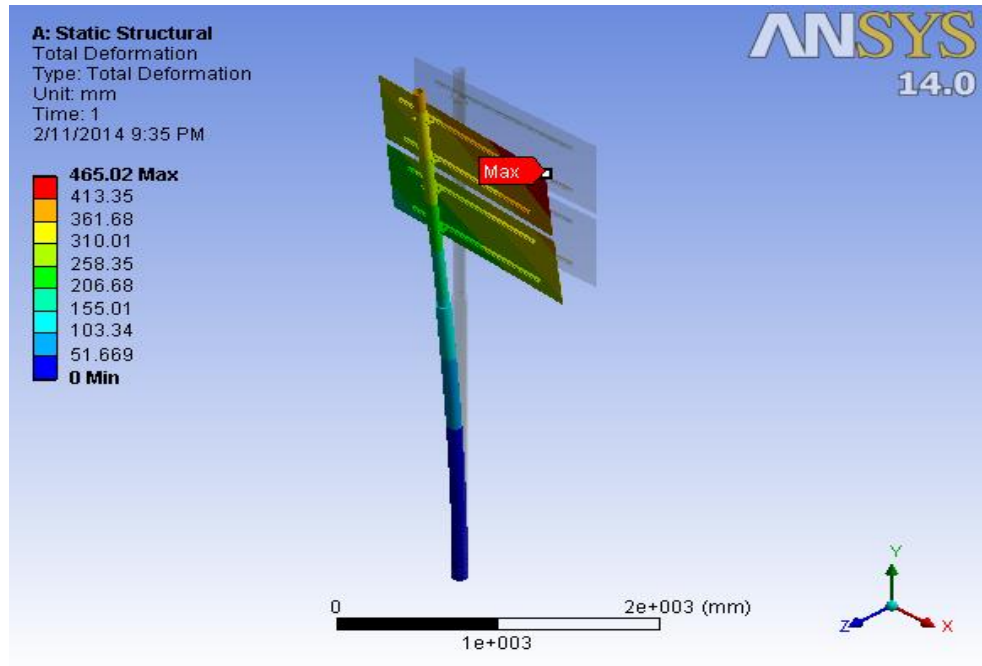
Direk No	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	D4 (mm)	Sehim değerleri (mm)
1	100	80	80	70	593.16
2	100	76	80	66	531.55
3	100	73	80	63	465.02
4	100	70	80	60	441.77
5	100	67	80	57	292.45



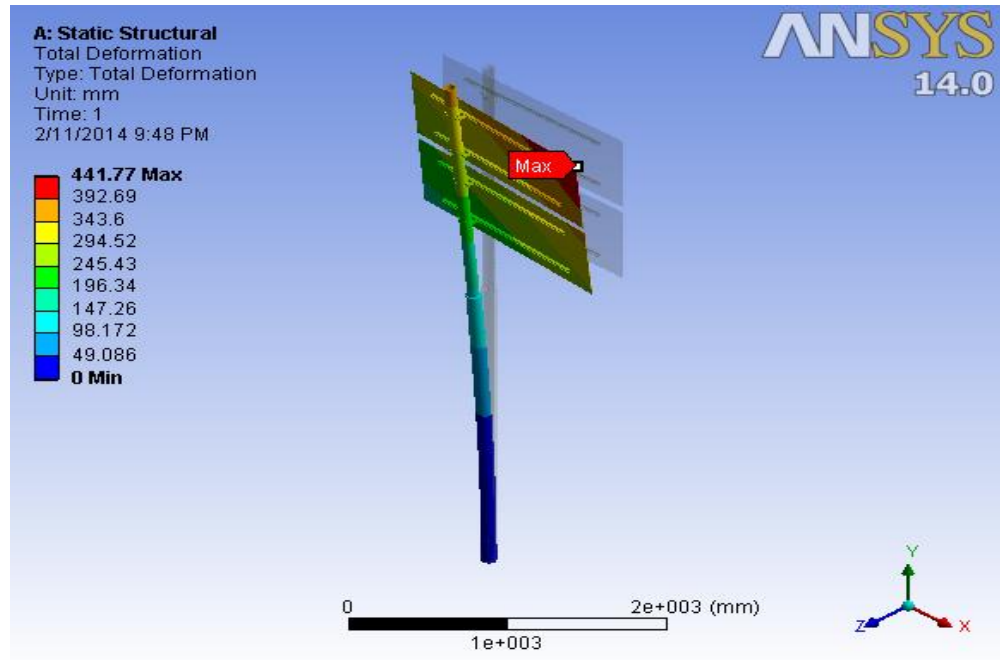
Şekil 4.22. 1 nolu kompozit direktteki sehim



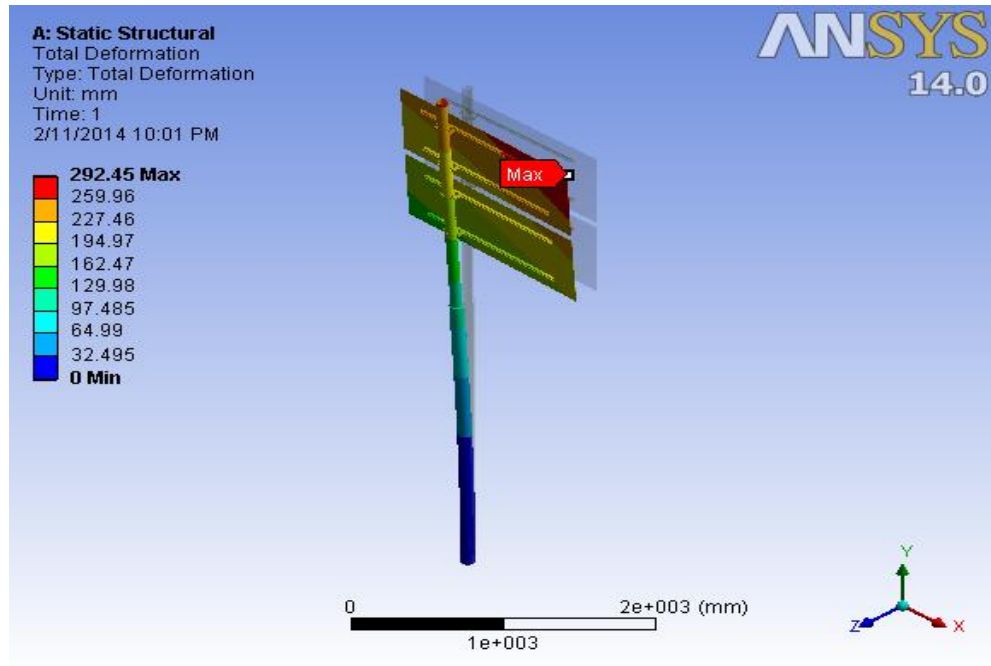
Şekil 4.23. 2 nolu kompozit direktteki sehim



Şekil 4.24. 3 nolu kompozit direktteki sehim



Şekil 4.25. 4 nolu kompozit direktteki sehim



Şekil 4.26. 5 nolu kompozit direktteki sehim

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, çelik, alüminyum ve kompozit malzemelerden imal edilmiş üç farklı direk tipinin, rüzgâr yükü altındaki mekanik davranışları araştırılmış olup, direklerde oluşan gerilmeler, şekil değiştirmeler (sehim değerleri) ve levhalarda meydana gelen deformasyon değerleri üzerinde çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlarla ilgili olarak aşağıdaki değerlendirmeler yapılmıştır:

Maksimum kayma gerilme değerinin çelik direkte 19.663 MPa, alüminyum direkte 19.823 MPa ve kompozit direkte ise 12 MPa olduğu belirlenmiştir. Kompozit direkte meydana gelen gerilme en az olup, diğerlerine göre yaklaşık %40 daha az olduğu görülmektedir.

Eğilme momentlerinden dolayı, direklerin tabanlarında meydana gelen maksimum normal gerilme değerleri, sırasıyla çelik direkte 172.28 MPa, alüminyum direkte 158.89 MPa ve kompozit direkte ise 168.07 MPa olarak belirlenmiştir. Kayma gerilmelerinin aksine, çelik direkte meydana gelen normal gerilme değeri, alüminyum direktinde daha büyüktür. Bunun nedeni, çelik direğin özgül ağırlığının daha fazla olması olarak düşünülmektedir.

Üç tip direkte hesaplanan von-Mises eşdeğer gerilme değerlerine bakıldığında, bu değerlerin çelik direkte 192.06 MPa, alüminyum direkte 188.84 MPa, ve kompozit direkte ise 186.91 MPa olduğu belirlenmiştir.

Ayrıca direklerin tepe noktalarındaki yanal deformasyonlar (sehimler) da hesaplanmıştır. Elde edilen sehim değerlerine bakıldığında, çelik direkte 134,49 mm, alüminyum direkte 340,42 mm ve kompozit direkte ise 593,16 mm olduğu görülmüştür. Gerilme değerlerinin aksine, kompozit direklerde oluşan sehim değerlerinin, çelik ve alüminyum direklerde oluşan sehim değerlerine oranla çok yüksek olduğu görülmüştür. Daha farklı kompozit malzeme kombinasyonları kullanılarak daha mukavim, daha rijit kompozit direkler üretilebilir.

Sonuç olarak, üç farklı malzemeden imal edilmiş trafik levha direkleri ile ilgili yapılan uygulamalarda, en büyük von-Mises eşdeğer gerilmeleri çelik direkte, en küçük kompozit direkte meydana gelmiştir. Ancak sehim değerlerine bakıldığında en büyük sehim değerlerinin kompozit direklerde olduğu görülmüştür.

Araştırmada ayrıca, kompozit direğin cidar kalınlığı artırılarak (direğin sadece iç çapı azaltılarak), bu direklerde oluşan sehim değerlerinin önemli ölçüde azaldığı görülmüştür. Kompozit direkteki bu cidar artışının, gerilmelerde de önemli ölçüde azalmaya yol açacağı açıktır.

KAYNAKLAR

- Akbulut, H., 2005. Teknik Not: Kompozit Malzemeler. Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- Akbulut, H., and Sayman O., 2001. An Investigation on Buckling of Laminated Plates with Central Square Hole Journal of Reinforced Plastics and Composites ,Vol. 20, 1112.
- Akbulut H. and Ural T., 2007. An Investigation on Buckling of Composite Laminated Plates with Corner Circular Notches Journal of Thermoplastic Composite Materials, Vol.20, No. 4, 371-387
- Akbulut H. and Şenel.M., 2010. Residual Stresses in Composite Plates with Central Filleted Hole Journal of Reinforced Plastics and Composites ,Vol. 29: 409
- Aricasoy, O., 2006. Kompozit Sektör Raporu. İstanbul Ticaret Odası, İstanbul
- Cam Elyaf Sanayi A.Ş., 2007. Cam Elyafı Takviyeli Plastik CTP. Teknik Yayın, İstanbul.
- Delibalta, A., 2005. Kompozit Levhalarda Analizler. Yüksek Lisans Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Demirbaş, K., 2007. TÜBİTAK Bilimsel ve Teknoloji Araştırma Yayınları.Teknik Yayın ,Ankara
- Ferdinand, P. B. and Johnston, E. R., 2013. Cisimlerin Mukavemeti. Beta Basım Yayın, 720s, İstanbul.
- Han,T.H.,Han,S.Y.,Kang,Y.J., 2007. Elastic Bucleing Behavior Characteristich of GFRP Pipe with Reinforced Ribs,Korea University
- Hur, S. H., Son H. J., Kweon J. H., Choi J., (2008). Postbucleing of composite cylinders under external hydrostatic pressure. Composite Structures.
- Hrennikoff. A., 1941. Solution of Problems of Elasticity by the Frame-Work Method ASME J. Appl. Mech. 8, A619–A715.
- Ho, B.P., Cheng S., 1963. “Some Problems in Stability of Heterogeneous aeolotropic cylindrical Shell under Combined loading”,AAPR 12,1603-7
- Kazanç, V., 2002. Kompozit malzemeler ve mekanik özellikleri. Isparta
- K.G.M., 2012. Bakım ve Onarım çalışmaları. Karayolları Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.
- Li, X . Zheng, J. Shi, J., Li, Y. Xu, P., 2010. “Experimental Investigation on Buckling of Plastic Pipe Reinforced by Winding Steel Wires Under External Pressure”. Journal of Thermoplastic Composite Materials,23,827.
- Onaran, K., 2003. Malzeme Bilimi. Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul.
- Özdemir, Ö., 2009. Sonlu elemanlar yöntemi ile yorulma mekaniği ve uygulamaları, Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği, İzmir.
- Sayman, O., 2007. Kompozit malzemeler ders notları, Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği, İzmir.
- Şahin, Y., 2006. Kompozit Malzemelere Giriş. Seçkin Yayınları, 424, Ankara.
- Tafresi, A., and Bailey C.G., 2007. Instability of imperfect composite cylindrical shells under combined loading .Composite structures 80,49-64
- Temiz, Ş., and Özel, A., and Aydın,M.D., 2002. FE Stress Analysis of Thick Composite Laminates with a Hole in Bending. 103,117
- Ural T., 2009. Silindirik Kapların Burkulma Analizi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum

- Vatangöl, E., 2008. Kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği, İzmir.
- Yalçın, H., Gürü, M., 2002. Malzeme Bilgisi. Palme Yayıncılık, 120s, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

1972 yılında Trabzon ili Araklı ilçesinde doğdu. İlk, orta ve lise tahsilini Araklı'da tamamladı. 1996 yılında Erzurum Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 1997–2001 yılları arasında özel sektörde Trabzon Çimento Fabrikasında Bakım Onarım Mühendisi olarak çalıştı. 2001 yılından itibaren Karayolları 12. Bölge Müdürlüğünde çeşitli birimlerde görevler yaptı. 2007 yılından itibaren aynı Bölge Müdürlüğünde Trafik Güvenliği Başmühendisi olarak görev yapmaktadır. 2003 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisans öğrenimine başladı. Ancak çeşitli sebeplerle öğrenimine devam edemedi. Ara vermiş olduğu Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisans öğrenimine 2011 yılında yeniden başladı. Evli ve iki çocuk babasıdır.