

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**OTOBÜSLERDE KULLANILAN YAKIT TANKLARININ YORULMA
ANALİZLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sena AYHÜN

Uçak ve Uzay Mühendisliği Anabilim Dalı

Uçak ve Uzay Mühendisliği Programı

MAYIS 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**OTOBÜSLERDE KULLANILAN YAKIT TANKLARININ YORULMA
ANALİZLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Sena AYHÜN
(511111137)**

Uçak ve Uzay Mühendisliği Anabilim Dalı

Uçak ve Uzay Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Vedat Ziya DOĞAN

MAYIS 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 511111137 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Sena AYHÜN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **“OTOBÜSLERDE KULLANILAN YAKIT TANKLARININ YORULMA ANALİZLERİ”** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Vedat Ziya DOĞAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Zahit MECİTOĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ahmet ERGİN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **04 Mayıs 2015**

Savunma Tarihi : **29 Mayıs 2015**

Aileme,

ÖNSÖZ

Bu çalışma Teknoloji, Bilim ve Sanayi Bakanlığının desteği 0488.STZ.2013-2 numaralı San-Tez projesi olarak Mercedes Benz Türk A.Ş ve İstanbul Teknik Üniversitesi'nin işbirliği ile gerçekleştirilmiştir. Proje kapsamında yakıt tankının çelik malzemeden plastik malzemeye geçiş sürecinde statik, dinamik, yorulma analizleri gerçekleştirilmiş; plastik malzeme özellikleri belirlenmiştir. Bu tez kapsamında plastik malzeme özellikleri belirlenmiş, yorulma analizleri gerçekleştirilmiştir.

Çalışma süresince her zaman destek olan tez danışmanım Sayın Prof.Dr.Vedat Ziya DOĞAN'a, proje danışmanlığımızı yapan Sayın Prof.Dr.Zahit MECİTOĞLU ve Sayın Prof.Dr.Halit Süleyman TÜRKMEN'e , proje ekibi Gökay SİMİTÇİOĞLU, Sedat Süsler, Erdem AKAY ve Müslüm ÇAKIR'a ve başta Sayın Dr. Serter ATAMER ve Burak USTAOĞLU olmak üzere Mercedes Benz Türk A.Ş Otobüs Geliştirme CEA ekibine her türlü destek ve yardımları için teşekkürlerimi sunarım.

Bu güne kadar her zaman her koşulda sonsuz destekleriyle yanımda olan aileme, başta Hare DURSUN, Jansinem TÜZEMEN, Mine SARAÇ ve Barış Can YALÇIN olmak üzere yanımda olan arkadaşlarıma teşekkür ederim, onların desteği olmadan bu çalışma mümkün olmazdı.

MAYIS 2015

Sena AYHÜN
(Makine Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
SEMBOLLER	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	1
1.2 Literatür Araştırması	1
1.3 Malzeme Özellikleri.....	10
1.3.1 Termoplastikler	10
1.3.1.1 Polietilen	10
2. OTOBÜSLERDE KULLANILAN YAKIT TANKLARI	13
2.1 Genel Bilgi	13
3. POLİETİLEN MALZEME TESTLERİ.....	17
3.1 Çekme Testi	17
3.2 Basma Testi	24
3.3 Isıl Genleşme Katsayısı Testi.....	29
3.4 Yorulma Testi.....	30
4. YORULMA TEORİSİ.....	37
4.1 Yorulma Türleri	37
4.1.1 Çatlaksız malzemelerde yorulma	37
4.1.2 Çatlaklı malzemelerde yorulma	38
4.2 Malzemelerin Yorulma Davranışına Çeşitli Koşulların Etkisi	38
4.2.1 Sıcaklığın etkisi.....	38
4.2.2 Korozyonun ve yüzey temasının etkisi	39
4.3 Yorulma Ömrü	40
4.3.1 Statik yüklemeye göre tasarım konsepti (konvansiyonel tasarım).....	40
4.3.2 Tekrarlı dinamik yüklemeye göre tasarım kavramı	41
4.3.2.1 S-N (toplam ömür) yöntemi	42
4.3.2.2 Çatlak başlangıcı yöntemi	42
4.3.2.3 Çatlak gelişimi yöntemi	42
4.3.3 Ön gerilme etkisi	44
4.3.4 Ön gerilme etkileşim eğrileri	45
4.3.4.1 GOODMAN - SODERBERG etkileşim eğrisi	46
5. YORULMA ANALİZLERİ	49
5.1 FEMFAT (Finite Element Analysis/ Fatigue).....	49
5.2 Yorulma Analizi Adımları	51
5.2.1 Statik ve dinamik analizler ile gerilmelerin elde edilmesi.....	51
5.2.2 Malzeme dosyasının oluşturulması	52
5.2.3 Haigh diyagramı.....	54
5.2.4 Yağmur akış dönüşümü	55
5.2.5 7 mm kalınlığındaki yakıt tankı için yorulma analizleri	56
5.2.5.1 Tam dolu tank için yorulma analizleri	59

5.2.5.2 3/4 dolu tank için yorulma analizleri.....	60
5.2.5.3 2/4 dolu tank için yorulma analizleri.....	60
5.2.5.4 1/4 dolu tank için yorulma analizleri.....	61
6. SONUÇLAR	65
6.1 Optimizasyonu Yapılmış Yakıt Tankının Yorulma Analizleri	65
6.1.1 9 mm Kalınlığındaki Tankın Yorulma Analizleri	65
6.1.2 9 mm kalınlığa sahip tank için tam dolu durumda yorulma analizi sonuçları.....	67
6.1.3 9 mm kalınlığa sahip tank için 3/4 dolu durumda yorulma analizi sonuçları.....	68
6.1.4 9 mm kalınlığa sahip tank için 2/4 dolu durumda yorulma analizi sonuçları.....	68
6.1.5 9 mm kalınlığa sahip tank için 1/4 dolu durumda yorulma analizi sonuçları.....	69
6.2 Geometrik Optimize Edilmiş Tankın Yorulma Analizleri	70
6.2.1 Geometrik optmizasyonu gerçekleştirilmiş tankın yorulma analizi sonuçları.....	71
KAYNAKLAR.....	73
ÖZGEÇMİŞ	75

KISALTMALAR

ASTM	: American Society for Testing and Materials
CAD	: Computer Aided Design
CAE	: Computer Aided Engineering
FEM	: Finite Element Method
MDPE	: Middle Density Polyethylene
MPa	: Megapascal
HDPE	: High Density Polyethylene
PE	: Polyethylene
RMS	: Root Mean Square
S-N	: Stress – Number of Cycles to Failure
VOF	: Volume of Fluid Method

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Kullanılan Malzemelerin Özellikleri.....	3
Çizelge 1.2 : Tasarım spektrumunu oluşturan veriler.....	7
Çizelge 1.3 : Yakıt seviyesine göre arka kayış yorulma ömrü değişimi	8
Çizelge 2.1 : Eleman malzeme özellikleri	14
Çizelge 3.1: Oda sıcaklığında çekme testi sonuçları	18
Çizelge 3.2: Oda sıcaklığında %1 ve %1.5 ofset ile çekme testi normalize edilmiş akma gerilmeleri	20
Çizelge 3.3: Soğuk ortam şartlarında normalize edilmiş çekme testi sonuçları	21
Çizelge 3.4: Soğuk ortam şartlarında normalize edilmiş çekme testi sonuçları	22
Çizelge 3.5: Sıcak ortam şartlarında normalize edilmiş çekme testi sonuçları	22
Çizelge 3.6: Sıcak ortam şartlarında normalize edilmiş akma gerilmesi sonuçları ...	23
Çizelge 3.7: Oda sıcaklığında, normalize edilmiş basma testi sonuçları.....	25
Çizelge 3.8: Soğuk ortam şartlarında normalize edilmiş basma testi sonuçları	27
Çizelge 3.9: Sıcak ortam şartlarında normalize edilmiş basma testi sonuçları.....	28
Çizelge 3.10: Üç nokta eğilme testi normalize edilmiş malzeme değerleri	33
Çizelge 3.11: %1 ve %1.5 ofset ile eğilme testi normalize edilmiş akma gerilmeleri	33
Çizelge 3.12: Yorulma testi gerilme-çevrim normalize edilmiş değerleri	36
Çizelge 5.1: Yorulma Testi Sonuçları	53
Çizelge 5.2: 7 mm kalınlığındaki tank için farklı doluluk oranlarındaki 1 çevrim için hasar değerleri	62
Çizelge 6.1: 9 mm kalınlığındaki tank için farklı doluluk oranlarındaki 1 çevrim için hasar değerleri	70

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Polietilen kristal yapısı ve kırılma modları..	4
Şekil 1.2 : Yorulma kırılmasını etkileyen faktörler	5
Şekil 1.3 : Yakıt tankı kayışının gerinim değerlerinin iki farklı yakıt seviyesi için karşılaştırılması.	8
Şekil 2.1 : Seyahat otobüsündeki yakıt tanklarının araç içinde yerleşimi	14
Şekil 3.1 : Çekme numunesi testi.	18
Şekil 3.2 : %0.2 ofset yöntemi ile akma gerilmesi bulunması.....	19
Şekil 3.3 : Oda sıcaklığında çekme testi yapılmış numuneler	19
Şekil 3.4 : Oda sıcaklığında akma gerilmesi sonuçları (ekstensometre)..	20
Şekil 3.5 : Soğuk ortam şartlarında çekme testi gerilme-eksenel birim uzama grafiği.	21
Şekil 3.6 : Sıcak ortam şartlarında çekme testi gerilme-eksenel birim uzama grafiği... ..	23
Şekil 3.7 : Basma testi numunesi	24
Şekil 3.8 : Oda sıcaklığında basma testi yapılmış numuneler..	25
Şekil 3.9 : Oda sıcaklığında basma testi gerilme-eksenel birim uzama grafikleri....	26
Şekil 3.10 : Soğuk ortam şartlarında basma testi gerilme - birim uzama grafiği. ...	27
Şekil 3.11 : Sıcak ortam şartlarında basma testi gerilme-eksenel birim uzama grafiği.	29
Şekil 3.12 : Polietilen ve referans malzeme birim uzama-zaman grafikleri.	30
Şekil 3.13 : 3 nokta eğilme testi numunesi ve yerleşimi	31
Şekil 3.14 : 3 nokta eğilme testi gerilme-birim uzama grafiği	31
Şekil 3.15 : 3 nokta eğilme testi deplasman-birim uzama grafiği.	32
Şekil 3.16 : 3 nokta eğilme testi kuvvet-deplasman grafiği	32
Şekil 3.17 : Eğilme-yorulma testi.	34
Şekil 3.18 : Yorulma testi numunesi ve yerleşimi	34
Şekil 4.1 : Zorlanma hikayesi. (a) Dayanıklılık tasarımı. (b) Ömür tasarımı.	40
Şekil 4.2 : Konvansiyonel tasarım.	40
Şekil 4.3 : Wöhler eğrisi.	43
Şekil 4.4 : Logaritmik Wöhler eğrisi.	43
Şekil 4.5 : Ortalama gerilme.....	44
Şekil 4.6 : Soderbeg, Goodman, Gerber kriterleri ön gerilme etkileşim eğrileri....	46
Şekil 4.7 : SODERBERG etkileşim eğrisi.....	46
Şekil 4.8 : GOODMAN etkileşim eğrisi	47
Şekil 4.9 : Modifiye edilmiş GOODMAN etkileşim eğrisi	48
Şekil 5.1 : Yakıt tankı sonlu elemanlar modeli.	51
Şekil 5.2 : FEMFAT programı S-N eğrisi	52
Şekil 5.3 : S-N eğrisi tanımı	53
Şekil 5.4 : Haigh diyagramı çizimi	54
Şekil 5.5 : FEMFAT Haigh diyagramı	55
Şekil 5.6 : Yağmur akış döngüsü	55
Şekil 5.7 : Tam dolu durum için yağmur akış döngüsü.	56
Şekil 5.8 : Farklı doluluklarda 1 çevrim için hasar analizlerinin karşılaştırılması. ...	57
Şekil 5.9 : Mercedes Benz Türk A.Ş. - titreşim tablası.	59
Şekil 5.10 : Tam dolu durum 1 çevrim için hasar analizi.	59

Şekil 5.11 : 3/4 doluluk oranında 1 çevrim için hasar analizi.....	60
Şekil 5.12 : 2/4 doluluk oranında 1 çevrim için hasar analizi.....	61
Şekil 5.13 : 1/4 doluluk oranında 1 çevrim için hasar analizi.....	61
Şekil 5.14 : Test sinyali x eksenini (a_x - zaman).....	62
Şekil 5.15 : Test sinyali y eksenini (a_y - zaman).....	62
Şekil 5.16 : Test sinyali z eksenini (a_z - zaman).	63
Şekil 6.1 : Farklı doluluk oranlarında 9mm kalınlığındaki yakıt tankı için 1 çevrimdeki hasar analizlerinin karşılaştırılması	66
Şekil 6.2 : 9 mm'lik tankta tam dolu durumda 1 çevrim için hasar analizi sonuçları.	67
Şekil 6.3 : 9 mm'lik tankta 3/4 dolu durumda 1 çevrim için hasar analizi sonuçları.	68
Şekil 6.4 : 9 mm'lik tankta 2/4 dolu durumda 1 çevrim için hasar analizi sonuçları.	69
Şekil 6.5 : 9 mm'lik tankta 1/4 dolu durumda 1 çevrim için hasar analizi sonuçları.	69
Şekil 6.6 : Optimize edilmiş tank.....	70
Şekil 6.7 : Optimize edilmiş tankta tam dolu durumda 1 çevrim için hasar analizi sonuçları	71

SEMBOLLER

A	: Genlik oranı
a	: (1/8-1/5) aralığında bir sabit
b	: Ortalama genişlik
C₁	: Sabit sayı
C₂	: Sabit sayı
d	: Ortalama derinlik
d_i	: i. çevrimdeki hasar
E	: Elastisite modülü
k_f	: Yorulma çentik faktörü veya yorulma konsantrasyon faktörü
k_t	: Teorik veya geometrik konsantrasyon faktörü
L	: Mesafe
m	: Eğim
N	: Çevrim sayısı
N_f	: Kırılmaya kadar olan çevrim sayısı (yorulma ömrü)
N_i	: Uygulan i. gerilme için kırılmaya neden olan çevrim sayısı
n_i	: Uygulunan i. gerilmenin çevrim sayısı
P	: Kuvvet
R	: Gerilme oranı
S	: Gerilme
q	: Konstrüktif çentik faktörü
v	: Poisson oranı
α	: Isıl genleşme katsayısı
σ	: Gerilme
σ_a	: Gerilme genliği
σ_{ge}	: Mukavemet sınır değeri
σ_m	: Ön gerilme
σ_r	: Gerilme aralığı
σ_{max}	: Maksimum gerilme
σ_{min}	: Minimum gerilme
σ_z	: Eksenel gerilme
σ_{eğ}	: Eğilme gerilmesi
Δε_t	: Toplam birim şekil değiştirme aralığı
Δσ	: Gerilme aralığı
Δε_{pl}	: Plastik birim şekil değiştirme aralığı
ΔT	: Sıcaklık farkı
τ_t	: Burulma gerilmesi
τ_s	: Kesme gerilmesi

OTOBÜSLERDE KULLANILAN YAKIT TANKLARININ YORULMA ANALİZLERİ

ÖZET

Mercedes- Benz Türk A.Ş. Ar-ge Merkezi; Almanya, İspanya ve Türkiye’ de üretilen tüm Mercedes ve Setra marka otobüslerdeki yakıt tanklarının tasarım, geliştirme ve test sorumluluğunu üstlenmiştir. Önceleri yakıt tanklarında konvansiyonel çelik yakıt tankları kullanılıyorken, kolay şekil verilebilirliği, korozyon direnci gibi avantajları göz önünde bulundurularak plastik yakıt tanklarına geçiş yapılmasına karar verilmiştir. Bu geçiş sürecindeki Ar-Ge çalışmaları da Mercedes Benz Türk A.Ş Ar-Ge merkezinde yürütülmektedir. Malzeme değişikliğiyle birlikte plastik malzeme özelliklerinin belirlenmesi gerekliliği doğmuştur. Bu özelliklerin belirlenmesiyle birlikte ürün geliştirme aşamasındayken bir simülasyon metodolojisi ile tasarıma yön verilmesi planlanmaktadır. Böylelikle yakıt tankı dayanımının ölçüldüğü sarsma tablası ile yapılan test sayısı azaltılması ve zaman ile iş gücü kazanımı sağlanması hedeflenmiştir. Bu kapsamda üniversite-firma işbirliği yapılarak San-tez proje onayı alınmış ve bu kapsamda çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Plastik yakıt tanklarından alınan numuneler kullanılarak, malzemenin mekanik özellikleri İstanbul Teknik Üniversitesi Uçak Uzay Bilimleri Fakültesinde bulunan universal test makinasında yapılan kupon testleri ile elde edilmiştir. Plastik malzemeye ait çekme, basma değerleri, akma sınırı, Elastisite modülü, poisson oranı gibi malzeme özellikleri oda sıcaklığı, sıcak ortam ve soğuk ortam için testler yapılarak belirlenmiştir. Ayrıca yorulma analizlerinde kullanılan S-N eğrisini elde etmek amacıyla yorulma testleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bu malzeme özellikleri sonlu elemanlar analizlerinde kullanılmıştır.

Firma tarafından seçilen örnek yakıt tankının katı modeli CATIA kütüphanesinden alınıp sonlu elemanlar yazılımı olan MEDINA'ya transfer edilerek sonlu elemanlar çözüm ağı oluşturulmuş, Permas programı kullanılarak statik ve dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Proje kapsamında gerçekleştirilen bu analizin sonuçları kullanılarak bu tez kapsamında yorulma analizleri gerçekleştirilmiştir. İstanbul Teknik Üniversitesi’nde yapılan malzeme testlerinden elde edilmiş olan S-N eğrisi kullanılarak FEMFAT yorulma analizi programı ile hasar analizi yapılmıştır. Malzeme testleri ile elde edilen çekme, basma, eğilme test sonuçları ve S-N eğrisi kullanılarak malzeme dosyası oluşturulmuştur. S-N eğrisi için FEMFAT programına sonsuz ömür limiti (endurance cycle limit), S-N eğrisinin eğimi, sonsuz mukavemet değeri ve kırılmama olasılığı (survival probability) değerleri kullanılarak $R = -1$ için lineer S-N eğrisi elde edilmiştir. Analizlerde S-N toplam ömür yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem en çok kullanılan yöntemdir. Bu yöntemde genel kesitteki veya lokal bir bölgedeki elastik gerilme değeri toplam ömürle ilişkilendirilmektedir. Toplam ömür yöntemi elastik bölgede kompozitler, plastikler ve demir dışı metallere uygulanmış malzemeler

için de kullanılabilir. Bu yöntem ayrıca her türlü rastgele titreşim uyarılı yorulma problemlerinde kullanılabilir.

Hem analizlerde hem testlerde aynı kötü yol verisi kullanılmıştır. Yorulma analizleri her bir doluluk oranı için kötü yol verisinin uygulanmasıyla gerçekleştirilmiş ve 1 teste karşılık gelen hasar hesaplanmıştır. Toplam hasar Mercedes-Benz Türk A.Ş. test ekibinin kullandığı sarsma tablası test sayısı ile çarpılarak bulunmuştur.

Hasar analizleri gerçekleştirilirken öncelikle 7 mm kalınlığındaki tank için testlerle elde edilmiş olan malzeme sonuçları kullanılarak yorulma analizleri tam dolu, $\frac{3}{4}$, yarı dolu ve $\frac{1}{4}$ dolu olmak üzere 4 farklı doluluk oranı için gerçekleştirilmiştir. statik, dinamik ve yorulma analizleri sonuçları farklı doluluk oranlarına göre değerlendirilerek yakıt tankı üzerinde en iyileme çalışmaları yapılmıştır. Öncelikle 7 mm olan tank cidar kalınlığı 9 mm'ye çıkartılarak analizler tekrarlanmış ve sonuçlar irdelenmiştir. Optimizasyon sürecine öncelikle geometrik düzeyde başlanmayarak, tank cidar kalınlığı arttırımına gidilmiştir. Ardından ise geometrik olarak tank üzerinde değişimler yapılmıştır. 9 mm kalınlığındaki tank için dört doluluk oranları için hasar analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerin devamında proje kapsamında geometrik optimizasyon yapılmış olan tankın tam dolu durumu için yorulma analizi gerçekleştirilmiştir ve tez kapsamında sunulmuştur. 7mm ve 9mm kalınlığındaki tankların farklı doluluk oranlarındaki 1 çevrim için elde edilen hasar analizi sonuçları incelendiğinde, $\frac{1}{4}$ ve $\frac{2}{4}$ doluluk oranlarında dinamik ve yorulma analizlerinde çok düşük değerlerde hasar meydana gelirken, $\frac{3}{4}$ ve $\frac{4}{4}$ dolu durum kritik durumlar olarak ortaya çıkmıştır. Optimizasyon sürecinde kalınlığın artırılması ile gerilme ve RMS değerleri azalmış; buna bağlı olarak hasar değerlerinde de azalma meydana gelmiştir. 7 mm kalınlığındaki tank ile kıyaslandığında ön bölgedeki değerlerde azalma meydana geldiği görülmüştür.

Optimizasyonu yapılmış olan A1 tankının 1 test çevrimine karşılık gelen hasar analizi sonuçları incelendiğinde 7 mm kalınlığındaki tanka göre özellikle ön bölgede hasar azalmaktadır. Böylece tam dolu tank için 1 test çevrimdeki hasar; 7 mm için 0.0125, 9 mm tank için 0.011 ve optimize edilmiş A1 tankı için ise 0.00414 değerini almıştır. Böylece ön bölgedeki yorulma analizleri sonucuna göre geometrik iyileştirmelerle yapılan A1 tankı, yine 9 mm kalınlığındaki tanka göre 2.65 kat 'daha uzun ömürlü' bir tank olmuştur.

Bu çalışma Sanayi ve Çalışma Bakanlığı'nın 0488.STZ.2013-2 numaralı San-Tez projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. İstanbul Teknik Üniversitesi Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi ve Mercedes Benz Türk A.Ş. tarafından birlikte yürütülmektedir. Proje, nisan 2014 tarihinde başlamıştır ve devam etmektedir.

FATIGUE ANALYSIS OF FUEL TANKS USED IN BUSES

SUMMARY

Mercedes-Benz Turk Inc. R & D Center; Germany, Spain and Turkey is responsible for production, development, testing and design of the fuel tanks in all Mercedes Setra brand buses. In past, conventional steel fuel tanks were used, after that, with the changing material it began to change with the transition to plastic fuel tanks. R & D studies in this transition process is carried out in Mercedes Benz Turk AS R & D Center. In this context, the determination of the properties of materials and at the stage of product development with an simulation methodology are planned to provide direction to the design. Thus, the strength of the fuel tank made by the vibration table tests measured the number of the gain reduction and aimed at providing the workforce with time. In this context, university company cooperation was made and studies were performed with San-Tez approval.

The use of non-metallic materials has become increasingly common in recent years. In the beginning changes taking place in the parts which not require strength, with widespread use of composite materials at the region of needing resistance non-metallic material usage has become widespread. Because of advantages of lightweight, corrosion resistance, easy shapability and being inexpensive plastic is spreading day by day. These advantages are taking into consideration, transition is made from the steel fuel tanks to plastic fuel tanks. With this transition, determination of mechanical properties of the plastic material requirements was occurred.

Using samples taken from the plastic fuel tank, mechanical properties of the material at Istanbul Technical University Faculty of Aeronautics and Astronautics were obtained by universal testing machine made in coupon tests. Tensile, compression material testing of plastic material conducted in hot and cold environment conditions and material properties such as yield point of the material, modulus of elasticity, Poisson's ratio were determined. Thermal expansion coefficient of the material found. Also fatigue tests to obtain the S-N curve used in fatigue analysis were conducted. In the fatigue test was initiated as a push-pull test it was decided to be done on samples bending fatigue test due to the extreme to show ductile behavior of the material.

The main specification of a simple plastic material is not only being stable in the room temperature but also being able to get reshaped under some certain temperature and pressure values. Plastics are commonly used in the manufacturing process of daily consumption products & automotive industry. The main reason of this situation is that; plastics can easily be reshaped, in addition to this, mostly have softness, dielectricity, non-flammable features. These all are constructing the rational base that explains why “the demand” has been increasing during last few decades.

Fatigue for materials is recognized as changes of material's structures under variable stresses. Damage in fatigue exists by small cracks grow by time via the effect of variable stresses. There are several factors in order to affect fatigue behaviour of materials such as stress condition, structure and type of materials, effects of residual stresses, dimensional of internal defects in process of production, distribution of material load direction, grain size, corrosion/erosion conditions, higher/lower temperature.

Solid model of instance fuel tank chosen by company, taken from CATIA library and transferred to MEDINA which has finite elements software and finite elements network solutions created. Using the results of this analysis carried out under the project fatigue analysis was carried out within the scope of this thesis. Using S-N curve obtained from material tests done at the Istanbul Technical University, damage analysis was carried with fatigue analysis program FEMFAT. Material file has been created with using S-N curve and tensile, compression, flexural test results obtained by material tests.

FEMFAT is a software program which can perform fatigue analyses in combination with widely used finite element programs like NASTRAN, ABAQUS, ANSYS, I-DEAS, MEDINA, PATRAN, PRO/MECHANICA. At the beginning of the design process FEMFAT provides engineers with reliable information on the fatigue life of structures. By the help of the FEMFAT analysis program provides gaining time and cost consuming when tests are scheduled. Thus improving critical points and reducing the total weight can be done and it results in high-level prototypes and therefore leads to less tests. At the end of the analysis, the results can be taken as damage, safety factors of endurance or static load as well as stresses, ratio and multi axiality[22].

Endurance cycle limit, tangent of S-N curve, infinite strength, survival probability parameters are implemented into FEMFAT software while $R = -1$ for obtaining S-N curve. In the analysis that have been done in this work, S-N total duration method, which is the most popular one among the others, is used. By using this method, elastic stress values occurring on the whole intersection or on a local area are being related total endurance life. Total endurance life method can be used for both composites, plastics, metals except iron and only if they are on the elastic zone. In addition to these specifications, this method can also be used for fatigue problems that have random vibration excitations.

For both analysis and tests, same “bad-way data” is used. Fatigue analysis have been done by applying bad-way data for every rate of fullness and damage that is a result of a single test is calculated. Total damage is calculated by using vibration table that belongs to Mercedes Benz Turk.

Damage analysis have been done following these steps; firstly, material test results are obtained using the experiments for tank that has 7 mm thickness, secondly, by using the results that are obtained in the first step, fatigue analysis have been completed for full, $\frac{3}{4}$ of full, half of full and quarter of full tanks. Static, dynamic and fatigue analysis are evaluated in terms of different rate of fullness, and then, optimization techniques are discussed on how to improve these parameters. Thickness of tank is increased to 9 mm and the difference occurring on the test results are discussed. Optimization design is done using geometric perspective and final thickness is determined according to some geometric criterion. The analysis have been done for 9 mm thickness tank with four different rate of fullness. After these analysis, fatigue analysis has been done for the tank that is designed with geometric optimization method, and the results are

presented. After observing the damage analysis for 7 mm and 9 mm thickness tanks in one loop, it is concluded that, dynamic and fatigue analysis results have respectively less damage values for 1/4 and 2/4 rate of fullness, while critical situations occur for 3/4 and 4/4 rate of fullness cases. To sum up, increasing thickness gives a results that; stress and RMS values are getting decreased, hereby so are damage values.

The results obtained when damage analysis of optimized A1 tank in one loop is investigated are that; the one that has done with 7 mm are more prone to have damage on the front zone of tank. Therefore, the damage values for full tank in one loop can be expressed as follows; 0.0125 for 7 mm thickness, 0.011 for 9 mm thickness and the last one, it is 0.00414 for optimized A1 tank. As a results, A1 tank designed to optimize front zone fatigue results has 2.65 times more life endurance compared with 9 mm tank.

This work, which is a collaboration project of Mercedes Benz Turk A.Ş and İstanbul technical University, is supported by the Republic of Turkey, Ministry of Science, Industry and Technology under the project number [0488.STZ.2013-2] .

1. GİRİŞ

Almanya, İspanya ve Türkiye’de üretilen tüm Mercedes ve Setra marka otobüslerdeki yakıt tanklarının tasarım, geliştirme ve test sorumluluğunu Mercedes-Benz Türk A.Ş. (MBT) Ar-Ge merkezi üstlenmiştir. Mercedes Benz Türk A.Ş (MBT) Ar-Ge Merkezi ile birlikte yürütülen SAN-TEZ projesi kapsamında, otobüslerde kullanılan çelik yakıt tanklarından plastik yakıt tanklarına geçiş sürecindeki malzeme özelliklerinin belirlenmesi, statik, dinamik ve yorulma analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu tez kapsamında ise malzeme özellikleri ile yorulma analizleri incelenmiştir. Plastik yakıt tanklarından alınan numuneler kullanılarak, malzemenin mekanik özellikleri İstanbul Teknik Üniversitesi Uçak Uzay Bilimleri Fakültesinde bulunan universal test makinasında yapılan kupon testleri ile elde edilmiştir. İTÜ’de yapılacak malzeme testlerinden elde edilecek olan S-N eğrisi kullanılarak FEMFAT yorulma analizi programı ile hasar analizi yapılmıştır.

1.1 Tezin Amacı

Çelik yakıt tanklarından plastik yakıt tanklarına geçilmesiyle birlikte tankın malzeme özellikleri, tasarım, analiz ve üretim süreçlerinde bilinmezler artmıştır. Tez kapsamında plastik malzemenin malzeme özellikleri belirlenmiş ve dayanım analizleri gerçekleştirilmiştir.

1.2 Literatür Araştırması

Plastik yakıt tankları; günümüzde birçok araçta hafifliği, paslanmaz oluşu ve tasarım kolaylığı nedeniyle çelik tankların yerine kullanılmaya başlanmıştır. Plastik yakıt tankları 1972 yılında VW Passat’ın büyük araçlarında ilk kez kullanılmaya başlanmıştır. O günden sonra Avrupa’daki tüm büyük firmalar plastik tank kullanımını değerlendirmeye almışlardır. Üretimin ve malzemenin ucuzluğu, tasarıma uygunluğu, korozyona uğramaması, yüksek kapasiteli oluşu ve güvenlik gibi sebepler plastik yakıt tanklarının tercih edilmesine sebep olmuştur [1]. 1987 yılında yapılan bir çalışmada

çok katmanlı yakıt tankları üretilmiştir. Çalışmada yakıt geçirgenliği tanımlanmış ve çok katmanlı yakıt tanklarının yapısı ve reçine gelişimi tartışılmıştır [2]. Autolatina için yapılan bir çalışmada, kamyonlar için yüksek kapasiteli plastik yakıt tankları üretilmiştir. Çünkü daha önce kullanılan çelik yakıt tanklarında, Brezilya yakıtında bulunan suprum yüksekliğinden dolayı korozyon meydana gelmiştir ve bu motor enjeksiyon sisteminde hasara neden olmuştur. Araştırmacılar değişik tip malzemeleri; uyumluluk, güvenlik, maliyet, ağırlık, geri dönüşüm, yedek parça gibi özelliklere göre incelendikten sonra polietilen malzemeden yakıt tankı üretilmesini önermişlerdir [3]. 1998 yılında yapılan bir çalışmada ise çelik ve plastik yakıt tanklarının karşılaştırmalı yaşam döngüsünü değerlendirilmiştir. Federal standartlarına göre yakıt ekonomisini geliştirmek için otomotiv parçalarında hafif parçaların kullanılması gerekmektedir. Bununla birlikte çevreye duyarlı parçaların üretimi de ön planda tutulmaktadır. Malzeme üretim aşamasındayken, çelik için katı atık üretimi plastiğe (HDPE) göre fazladır. Ancak üretim aşamasındaki enerji tüketimi yüksek yoğunluklu polietilende çeliğe göre daha fazladır. Kullanım aşamasında enerji tüketimi de önemlidir. Bu durumda da yüksek yoğunluklu polietilen, çelikten avantajlıdır. Üretim aşaması incelendiğinde yüksek yoğunluklu polietilenin çevreye çeliğe göre daha duyarlı olduğu görülmektedir. Kullanım sonunda ise çeliğin çevreye karşı daha duyarlı olduğu görülmektedir. Plastik malzemenin geri dönüşümünün olmayışı ise dezavantajdır [4]. Bu dezavantajı ortadan kaldırmak için geri dönüşümle ilgili bazı çalışmalar yapılmıştır. Yapılan bir çalışmada %27 geri dönüşüm içeren yüksek yoğunluklu polietilen malzemeden yakıt tankları üretilmiştir. Geri dönüşen malzemeler, kullanım ömrü dolmuş araçların yakıt tanklarından elde edilmektedir. Üretilen tankın malzeme özellikleri kabul edilebilir aralıktadır [5]. Plastik yakıt tanklarının üflemleri kalıpla üretim (blow moulding), döner kalıpla üretim (rotomoulding), hand lamination (el tabakalaması) olmak üzere üç üretim şekli vardır. Hand lamination tekniği kalitesinin zayıf olması sebebiyle en az kullanılan yöntemdir. Üflemleri kalıpla üretim ve döner kalıpla üretim yöntemleri yakıt tankı üretiminde tercih edilmektedir. [1]

Yakıt tanklarında karşılaşılan en büyük problem çalkantının etkisidir. Farklı doluluk oranlarındaki yakıt farklı çalkantılara sebep olmaktadır. Çalkantı malzemede yorulma oluşturmaktadır. Vytla ve Ando (2013) yaptıkları çalışmada frenlemeye maruz kalan kısmen dolu tankta çalkantıyı araştırmışlardır. Çalışmada, ağır ve hafif frenleme olmak üzere iki frenleme durumu; %53 ve %40 tank doluluk seviyesi olmak üzere iki doluluk

seviyesi kullanılmıştır. Yakıt yerine su kullanılmıştır. Ayrıca iki odalı tankın odalarının birinde yer alan bir düğüm noktasının (node) yer değiştirmesi incelenmiştir. Bu düğüm noktasının yer değiştirmesi değişen su seviyeleri ve verilen frenleme senaryosu için önemli bir değişiklik göstermediği saptanmıştır. Bu simülasyon, tank modelinin zamana bağlı düğüm deformasyonu hakkında bilgi vermektedir. Simülasyon ayrıca tank yapısındaki deformasyonun küçük olduğunu ve sıvının davranışı üzerinde etkisinin olmadığını göstermiştir. Problem katı-sıvı etkileşimi problemi olarak çözülmüştür, yapısal analiz çözücü olarak Abaqus, akış analizi için ise SC/Tetra programları kullanılmıştır. Analizde tankı içeren yapısal model ayrıca üzerinde fiziksel testlerin yapılacağı rijit çelik platformu da içermektedir. Tankın tüm parçaları yüksek yoğunluklu polietilenden üretilmiştir (HDPE) ve 6 mm kalınlığında kabuk (shell) eleman olarak modellenmiştir. Çelik kısım ise rijit olarak modellenmiştir ve bu yüzden deformasyon meydana gelmemiştir. Akış problemi (VOF) sıvı iki kısımda incelenmiştir. Katı-sıvı etkileşiminde çalkantıdan kaynaklı, kapta meydana gelen deformasyonlar göz ardı edilmektedir. Bu araştırmada kullanılan malzemelerin mekanik ve fiziksel özellikleri Çizelge 1.1’de gösterilmiştir[6].

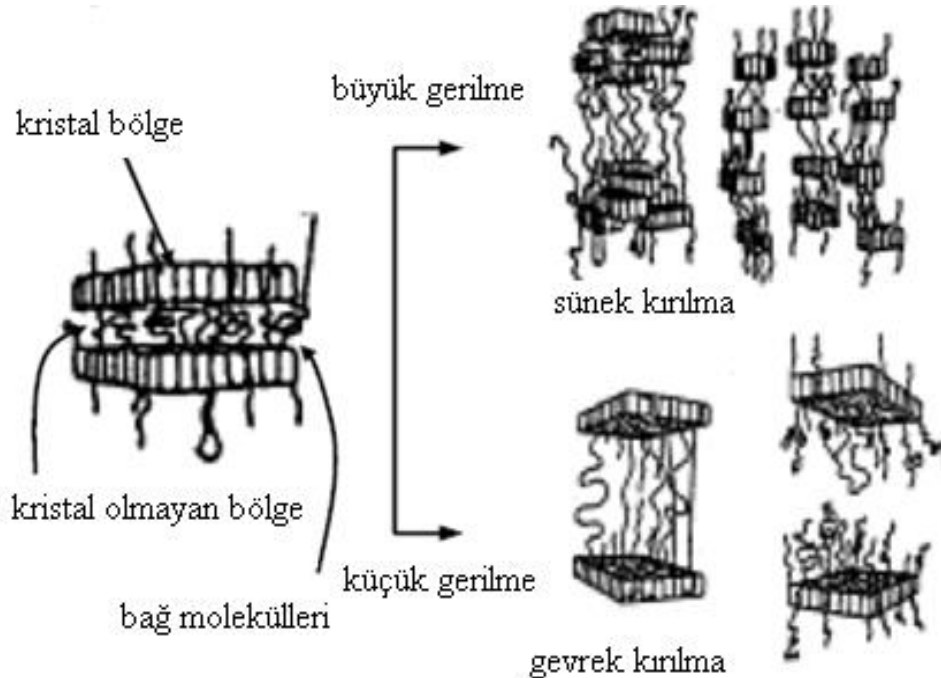
Çizelge 1.1. Kullanılan Malzemelerin Özellikleri[6].

	Su	Hava	HDPE (Plastik)	Çelik
Yoğunluk (kg/m³)	998,9	1,2	946	7900
Vizkozite (Pa.s)	1,1E-3	1,83E-5	-	-
Young Modülü (GPa)	-	-	1,05	210
Poisson Oranı	-	-	0,4	0,3

Yakıt tankında meydana gelen çalkantı aynı zamanda yakıt tankında yorulmaya sebep olmaktadır. Himeki, Kumagai ve Morohoshi (2006) yaptıkları çalışmada plastik yakıt tanklarının yorulma analizini ve yorulma mukavemeti değerlendirmesini yapmışlardır. Plastik yakıt tankları günümüzde hafifliği, kolay şekil verilebilirliği ve korozyon

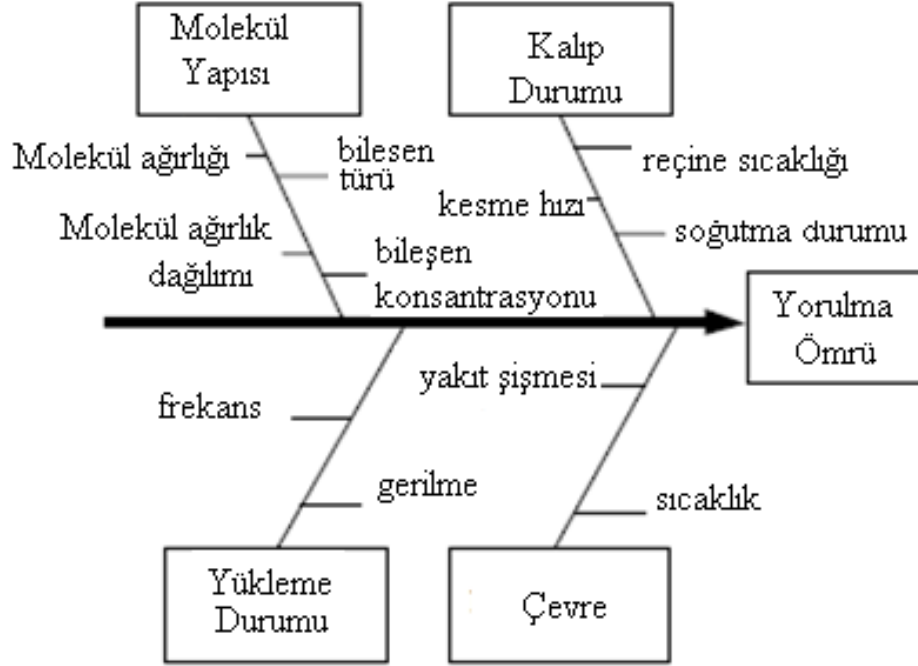
direnci gibi avantajları nedeniyle otomobil yakıt tanklarında kullanılmaya başlanmıştır. Bir otomotiv yakıt tankı, aracın ömrü boyunca birçok basınç dalgalanmasını yaşamaktadır. Bu değişimler, tekrarlanan ısıtma ve soğutma döngüleri sırasındaki buhar basıncından kaynaklandığı gibi vakum kuvvetinden de kaynaklanmaktadır. Yüksek yoğunluklu polietilenin yorulma davranışı, düşük seviyeli tekrarlı yükleme altında analiz edilmiştir. Günümüzde yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) malzeme, sıcak ve soğuk şoklara direncinin yüksek olması, kimyası ve mükemmel biçimlendirilebilirliği nedeniyle otomobil yakıt tankı üretiminde tercih edilmektedir.

Yüksek yoğunluklu polietilen malzemenin kristal yapısı ve kırılma modları Şekil 1.1’de incelenmektedir. Şekilde bu polietilen malzemenin kristal bölgesi, kristal olmayan bölge ve bağ molekülleri görülmektedir. Yükleme altındaki polietilenin kırılması (failure) iki moda bölünebilir. Bunlardan biri, şekilde gösterildiği üzere sünek kırılma. Sünek kırılma, büyük gerilmeler altında oluşmaktadır, kristal bölgeleri gerilmekte ve bozulmaktadır. Diğer kırılma türü ise gevrek kırılma. Gevrek kırılma modu, Şekil 1.1’den de görülebileceği gibi düşük seviyedeki gerilmeler durumunda meydana gelmektedir.



Şekil 1.1 : Polietilen kristal yapısı ve kırılma modları[7].

Yorulma kırılmasına etkiyen faktörler Şekil 1.2’de gösterilmektedir. Yorulma ömrüne etkiyen önemli faktörler şu şekildedir: Çevresel koşullar (sıcaklık ve yakıt şişmesi), yükleme koşulları (gerilme ve frekans), moleküler yapı (moleküler ağırlığı, molekül dağılımı, bileşenin türü ve konsantrasyonu) ve kalıplama koşulları (reçine sıcaklığı, kesme hızı ve soğutma durumu). Makalede plastik yakıt tanklarının yorulma dayanıklılığı değerlendirilirken bu faktörler arasında sadece gerilme, frekans ve sıcaklık etkisi göz önüne alınmıştır.



Şekil 1.2 : Yorulma kırılmasını etkileyen faktörler[7].

Gerilme-yorulma ömrü için yapılan test sonuçları incelendiğinde kırılma çevrimi sayısının beklendiği gibi artan gerilme ile azaldığı görülmektedir. Kırılma modu mevcut gerilme aralığı için gevrek kırılma şeklinde olmaktadır. Yapılan testler çentikli deney parçaları üzerinde yürütülmüştür ve gerilmeler çentikli bölgede yığılmıştır. Bu eğilimi düzelterek veri elde etmek için, testler bir de çentiksiz test parçaları üzerinde gerçekleştirilmiştir. Yorulma ömrü için yapılan test sonuçlarına göre:

- Frekans Faktörü: Frekansın artmasıyla kırılmaya neden olan çevrim sayısının arttığı görülmektedir. Yüksek frekansta yapılan testlerde hata artmaktadır.
- Sıcaklık Faktörü: Sıcaklığın artmasıyla kırılmaya neden olan çevrim sayısının azaldığı görülmektedir.

Bu çalışmada yakıt tankında basınç değişimi benzeşimi yapılmıştır. Gerilme, sıcaklık ve frekans faktörleriyle yorulma ömrü arasındaki korelasyon, test numuneleri için yorulma test verileri kullanılarak nicel olarak ifade edilmiştir. Bu ifade daha sonra plastik yakıt tankları üzerinde yapılan yorulma testleri ile doğrulanmıştır. Plastik yakıt tanklarının yorulma ömrü tahmini için kullanılan denklemlerin geçerliliği böylece teyit edilmiştir. Yapılan testler, analitik çözümler ve yapılan sonlu eleman simülasyonları uyumlu sonuçlar vermiştir. Sonuç olarak; tasarım aşamasında yorulma mukavemetini değerlendirmek için, yorulma ömrü denklemleri ve sonlu elemanlar metodları (FEM) birlikte kullanılabilir [7].

Yay ve Ereke (2004) yaptıkları çalışmada, bir kamyon gövdesinin sanal yol verisi yardımıyla S-N yorulma ömrü analizini yapmışlardır. Günümüzde değişen teknolojiye uygun, daha konforlu, daha estetik, daha az yakıt tüketen ve çevreye dostu araçları tasarlayabilmek için birçok yeni yaklaşımlar kullanılmaya başlanmıştır. Taşıt gövde ve parçalarının tasarımında, yorulma ve ömür, ürün geliştirmede ön plana çıkmıştır. Taşıtlar hareket halindeyken dinamik yüklemeler meydana gelmekte bunun sonucunda da yorulmaya bağlı hasarlar oluşmaktadır. Bu durum öngörülen kullanım ömrünü azaltmaktadır. Yorulma analizlerinde kullanılacak yüklerin belirlenmesi için gerçek yol ve kullanım şartlarında parçaya etki eden yüklerin bilinmesi gerekmektedir. Genellikle taşıtların yorulmadan kaynaklanan ömürlerinin belirlenmesi amacıyla iki yöntem bulunmaktadır. Birincisi belirlenen yolda öngörülen kilometre kadar yol katederek test etmektir. İkincisi ise belirli bir yol kalitesindeki özel pistlerde test etmektir.. Bu çalışmada ise ilk kez sanal olarak yol datası üretilmiştir. Bu yol dataları laboratuvar ortamında kamyon gövdesinin bağlı olduğu hidro-puls cihazında kullanılmış ve simülasyon sırasında gövde üzerine yerleştirilmiş olan gerinim ölçerlerden (strain-gauge) toplanan gerinimler(strain) kullanılarak gövdeye ait yorulma ömür analizi yapılmıştır. Bir aracın yorulmadan kaynaklanan ömrünün hesaplanabilmesi için ilk önce taşıtın normal işletme koşullarını tamamlayarak tasarım spektrumunun oluşturulması gerekmektedir. Taşıtların istatistiksel olarak %50 iyi, %25 orta ve %25 kötü yol kalitesinde çalıştığı hesaba katılarak tasarım spektrumu elde edilmiştir. Tasarım spektrumu; araç hızları, yol pürüzlülüğü spektrum yoğunluğu ve kat edilecek mesafelerden oluşmaktadır ve Çizelge 1.2’de bu veriler gösterilmektedir.

Çizelge 1.2 : Tasarım spektrumunu oluşturan veriler[8].

Tasarım Spektrumu	Yol Kalitesi (ISO 8608)	V_{yol} (km/saat)	$\phi_h(\Omega_0)$ $W=2 \text{ cm}^3$	L_{yol} (km)
$D_{\%50}$	İyi	75	2	150.000
$D_{\%25}$	Orta	50	8	75.000
$D_{\%25}$	Kötü	35	32	75.000

Yapılan ölçümlerde araç şasisi kullanılmıştır. Şaşı üzerine yerleştirilen gerinim ölçerlerden (strain-gauge) gerinim sinyalleri elde edilmiştir. Bu sinyaller rainflow sayma işlemine tabi tutularak aracın hangi gerilme genliklerine ne kadar sıklıkla maruz kaldığı bulunmuştur. Sınıflandırılan gerilme genlik değerleri, Palmgren-Miner yöntemine göre hasar hesabında kullanılmaktadır.

Şasi malzemesi olarak St 42 çeliği kullanılmıştır. S-N eğrisi malzemeye ait bir özelliktir. Bu çalışmada teorik bir S-N eğrisi kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda gerinim ölçerlerle şasi üzerinde veriler elde edilmiştir ve bu veriler Seviye Geçme Sayımı (Level Crossing Counting) ve Yağmur akış Sayımı (Rainflow Counting) yöntemleri ile işlenmek suretiyle aracın maruz kaldığı iyi, orta ve kötü yol şartlarındaki değerleri bulunmuştur. Bu yol şartlarında aracın şasisinde oluşan gerinim ve bu gerinimlerin kaç kez oluştuğu Seviye Geçme Sayımı yöntemiyle ve farklı çevrim sayıları da Yağmur akış sayımı ile elde edilmiştir [8].

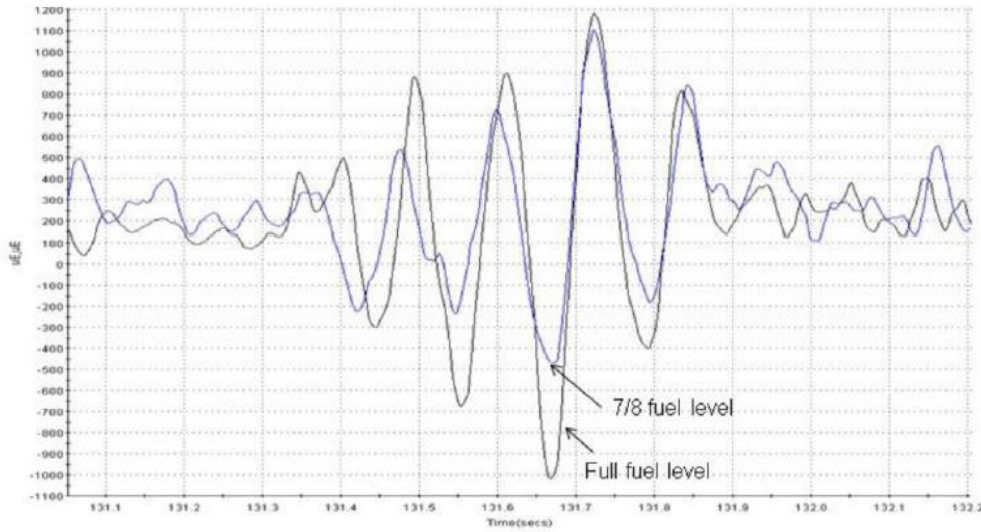
Lin ve arkadaşları (2014) yakıt seviyesi değişimi ve faydalı yük (payload) değişimi altında yakıt tankı askılarının yorulma duyarlılığı çalışması yapmışlardır. Yakıt tankı askıları için sarsma tablası testi, yol testi simülatör araç testi ve kötü yol araç testi gibi çeşitli tiplerde dayanıklılık testlerinden, farklı yorulma test sonuçları elde edilebilmektedir. Bir test prosedürü iyi dayanıklılık sonuçları verebilmekte iken diğer test bazı dayanıklılık riskini gösterebilir. Bu özel çalışma, bu tutarsızlığı gidermek için yapılmıştır. Yakıt tankı doluluk seviyesinin yakıt tankı askı dayanıklılığında önemli rol oynadığı bulunmuştur. Yüksek yakıt seviyesinde askılara daha fazla yük gelmektedir ve yorulma ömrü düşmektedir. Bu makalede yakıt tankı askısı CAE

modeli kullanılmaktadır ve yakıt tankı kayış dayanıklılığına yakıt seviyesinin etkisini incelemek için zemin kayış yük verileri kullanılmıştır. Yakıt tankı arka askı kayışının yorulma ömrü tam dolu, $\frac{3}{4}$ 'ü dolu, yarı dolu ve çeyrek dolu olmak üzere dört durum için incelenmiştir ve sonuçlar Çizelge 1.3'de gösterilmektedir.

Çizelge 1.3 : Yakıt seviyesine göre arka kayış yorulma ömrü değişimi[9].

Yakıt Seviyesi (Tank)	Normalize Edilmiş Yorulma Ömrü
4/4	1.0
3/4	10.0
2/4	120
1/4	1,140

Şekil 1.3'de tam dolu durum ve 7/8 dolu durumda yakıt tankı kayışında meydana gelen gerilmeler karşılaştırılmaktadır.



Şekil 1.3 : Yakıt tankı kayışının gerinim değerlerinin iki farklı yakıt seviyesi için karşılaştırılması[9].

Yakıt seviyesi 7/8 iken en büyük gerinim 1600 mikro strain, tam dolu seviyede ise en büyük gerinim 2300 mikrostraine düzeyindedir. Yakıt seviye farkı % 15 olmasına karşın, en büyük gerinim farkı % 40 olmuştur.

Sonuçlar incelendiğinde, yakıt seviyesindeki değişikliğin etkisinin büyük olduğu görülmüştür. 32 galonluk yakıt tankında CAE sonuçlarına göre yakıt tankı askısı yorulma ömrünün büyüklük sırasına göre ya da her çeyrek yakıt seviyesi azalması için 10 kat arttığı görülmektedir. Yakıt seviyesine ek olarak, yük etkisi de incelenmiştir. Araç yüklerinin bazı olumlu etkilerinin olduğu görülmektedir. Tam yük test durumu, yükleme olmaması durumuyla kıyaslandığında yakıt tankı askısı yorulma ömrünü 3 kat artırdığı bulunmuştur [9].

Abu-Isa, Khalid ve DeBarr (2006) yaptıkları çalışmada plastik yakıt tankları kullanılan polimerlerin mekanik, ısı ve reolojik özelliklerini incelemişlerdir. Bu makalede plastik malzemenin darbe dayanımı davranışları incelenmiştir. Darbe mukavemet ölçümleri, özellikle düşük sıcaklıklarda yakıtlı tanklarının iyi bir performans sağlaması için kullanılmaktadır. Izod darbe testleri ve Charpy darbe testleri yapılmıştır. Tüm polimerlerin oda sıcaklığında üstün darbe mukavemetine sahip olduğu bulunmuştur [10].

Veera Venkata Sunil Vytla ve Yuya Ando (2013) yaptıkları çalışmada frenlemeye maruz kalan kısmen dolu tankta çalkantıyı araştırmışlardır. Çalışmada, ağır ve hafif frenleme olmak üzere iki frenleme durumu; %53 ve %40 tank doluluk seviyesi olmak üzere iki doluluk seviyesi kullanılmıştır. Yakıt yerine su kullanılmıştır. Çalışmada yakıt deposunun üzerine etkiyen kuvvetler karşılaştırmıştır ve bu kuvvetlerin çalkantıyı tetikleyen mekanizma ile aynı eğilime sahip olduğu bulunmuştur. Ayrıca iki tank odalarının birinde yer alan düğümün (node) deformasyonu karşılaştırılmıştır ve tank üzerindeki düğüm deformasyonunun değişen su seviyeleri ile verilen frenleme senaryosu için fazla bir değişiklik göstermediği saptanmıştır. Gürültü analizinde de kullanılabilecek simülasyon, tank modelinin zamana bağlı düğüm deformasyonu hakkında bilgi vermektedir. Simülasyon ayrıca yapıdaki deformasyonun küçük olduğunu ve sıvının üzerinde etkisi olmadığını göstermiştir. Problem katı- sıvı etkileşimi problemi olarak çözülmüştür, yapısal analiz çözümü olarak Abaqus, akış analizi için SC/Tetra programları kullanılmıştır. Analizde tankı içeren yapısal model ayrıca üzerinde fiziksel testlerin yapılacağı rijit çelik platformu da içermektedir. Ayrıca tank modeli dış yüzeyinde 6 panel içermektedir. Tankın tüm parçaları yüksek yoğunluklu polietilenden üretilmiştir(HDPE) ve 6 mm kalınlığında shell (kabuk) eleman olarak modellenmiştir. Çelik kısım ise rijit olarak modellenmiştir ve bu yüzden deformasyon meydana gelmemiştir. Akış problemi (VOF) sıvı iki kısımda incelenmiştir. Yapı- sıvı etkileşiminde çalkantıdan kaynaklı, kapta meydana gelen deformasyonlar gözardı edilmektedir [11].

1.3 Malzeme Özellikleri

Plastikler, çevre sıcaklıklarında kararlı olmakla birlikte yapılarındaki belli bir kademesinde plastik olan ve bu durumda ısı ve basınç uygulanarak şekillendirilebilen malzemelerdir. Plastik parçalar dayanıklı tüketim malzemeleri yapımında ve otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Plastiklerin kolay şekillendirilebilme, hafiflik, elektrik izolasyon özelliği ve bazı katkı maddeleri yardımı ile yanmazlık özelliği kazanabilmeleri nedeniyle birçok dayanıklı tüketim mallarında, elektrik ve elektronikte sıkça kullanılmaya başlanmıştır. Benzer sebeplerden dolayı plastikler, otomotiv sektörü için de vazgeçilmez malzemeler olmuş, özellikle ülkemizde son yıllarda hızla artan otomobil üretimi bu konudaki talebi artırmıştır.

1.3.1 Termoplastikler

Termoplastikler, plastiklerin bir alt grubu olarak sınıflandırılmaktadırlar. Isıtıldığı zaman eriyebilen düz ya da dallanmış polimerlerdir. Isıtma ve soğutma işlemleri ve uygun işleme teknikleriyle istenilen şekle tekrar tekrar getirilebilirler. Çarpaz bağların olmaması nedeniyle ısıtıldıklarında polimer zincirleri arasındaki zayıf kuvvetler ortadan kalkar ve malzeme akışkan bir hal alır. Soğutulduğunda ise kalıplamayla istenilen şekli almaktadır.

1.3.1.1 Polietilen

Polietilen; termoplastik türlerinden biridir. Petrol kimyalarının en önemlilerinden olan etilen molekülleri çeşitli tekniklerle birbirine eklenerek polimerleştirilebilir ve bunun sonucunda düşük molekül ağırlıklı mumlardan molekül ağırlığı çok yüksek olan kristal yapılı, yüksek yoğunluklu polietilene kadar çok çeşitli ürünler elde edilebilir. Genellikle bütün polietilenler dayanıklı, bükülebilir malzemelerdir. Kimyasal dirençleri yüksektir ancak düşük sıcaklıklarda yumuşamaya başlayarak mekanik özelliklerini kaybederler ve bu sebeple 60°C nin üzerindeki sıcaklıklarda kullanılmamalıdır. Üretim sırasında ise 290°C nin üzerindeki sıcaklıklarda kimyasal bozulma başlanabileceğinden dikkat edilmelidir.

Polietilenler; düşük ve yüksek yoğunluklu olmak üzere ikiye ayrılabilir. Düşük yoğunluklu polietilenler esnek, yarı ışık geçirgenliğine sahip, mumsu yapıda, düşük sıcaklıklara dayanıklı ve ucuzdurlar. Dallanmış polimer zincirlerine sahiptirler ve bu da mukavemetin azalmasına sebep olmaktadır. Yüksek yoğunluklu polietilenlerde ise

zincirler dallanma göstermemektedir ve daha yoğun halde istiflenebilmektedirler. Bu sayede zincirler arasında etkileşim daha kuvvetli olmaktadır, ayrıca yoğun ve mukavemeti daha yüksek polimer elde edilmektedir. Yüksek yoğunluklu polietilenler, yarı sert, yarı ışık geçirgenliğine sahip, mukavemeti yüksek, kimyasallara dayanaklı, düşük su absorblama özelliklerine sahiptirler ve aynı zamanda ucuzdurlar. Yakıt depolarında kullanılmaktadırlar[12, 13].

2. OTOBÜSLERDE KULLANILAN YAKIT TANKLARI

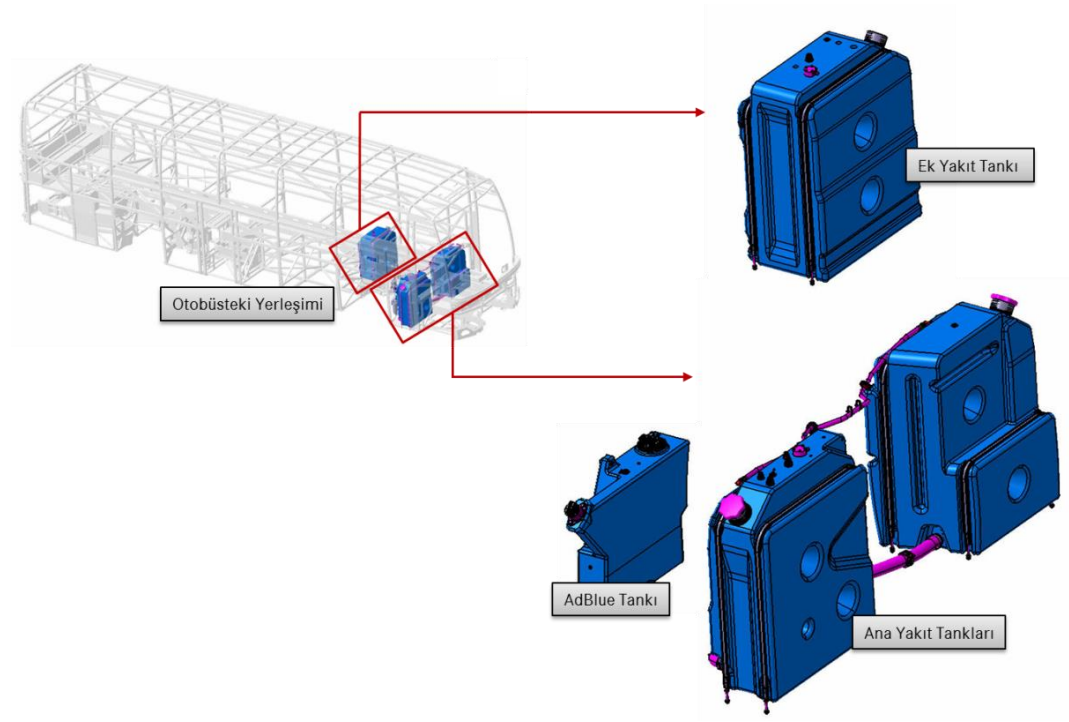
2.1 Genel Bilgi

Motorların çalışması için gerekli olan enerjiyi sağlamaya yarayan yakıt tankları, yakıt depolamak için kullanılmaktadır. Her otobüste iki ya da üç tane yakıt tankı bulunmaktadır. Yakıt tanklarının otobüsler içerisinde kaplayacağı hacim çok önemli olduğu için bu tanklar otobüslerde polietilen malzemeye şekil verme kolaylığı da kullanılarak farklı tipte ve farklı boyutlarda üretilmektedirler.

Otobüslerde kullanılmakta olan yakıt tanklarının yerleşimleri incelendiğinde, şehir içi otobüslerde koltukların altındaki bölgede tasarım boşluklarını dolduracak şekilde tasarlanmış iken çift katlı araçlarda ise taban seviyesinin alçak olduğu göz önünde bulundurularak sığ enine olarak tasarlanmıştır. Seyahat otobüsleri incelendiğinde ise yakıt tanklarının dik ve yüksek boyutlarda olduğu görülmektedir. Seyahat otobüslerinde, şehir içi otobüslerinden farklı olarak, bagaj odasına yerleştirilmiş olan sağda ve solda olmak üzere iki adet yakıt tankı kullanılmaktadır. Ayrıca AdBlue sıvısını içeren bir yakıt tankı daha bulunmaktadır. AdBlue sıvısı, zehirli gazların temizlenmesi sağlanmaktadır ve bu sıvı egzoz gazına püskürtülmektedir.

Otobüslerde kullanılan yakıt sistemleri; yakıt tankıları, yakıt bağlantı hortumu, basınç dengeleme hortumu, gergi bantları, devrilme valfi ve yakıt tankı kapaklarından oluşmaktadır.

San-tez projesi kapsamında gerçekleştirilen bu çalışmada incelenen yakıt tankı, Mercedes Benz Türk A.Ş. tarafından Türkiye’de üretilen Travego RHD ailesi otobüslerinde ve EvoBus tarafından Almanya’da üretilen ComfortClass 500 ailesi otobüslerinde kullanılmakta olan ana yakıt tanklarından sol tarafında bulunan tanktır ve Şekil 2.1’de gösterilmektedir. Ayrıca bu şekilde seyahat otobüslerinde bulunan ana yakıt tankları, ek yakıt tankı, AdBlue tankı ve bu tankların otobüs içerisindeki yerleşimi gösterilmektedir [14].

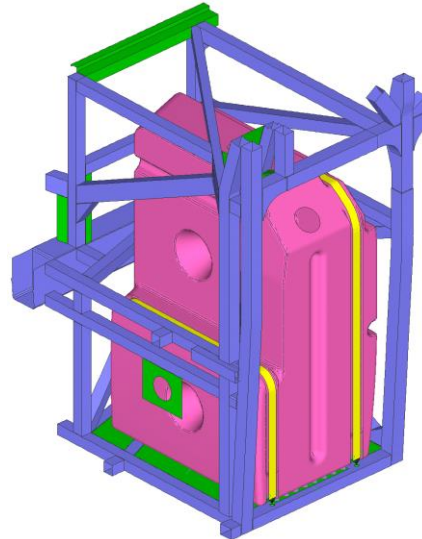


Şekil 2.1 : Seyahat otobüsündeki yakıt tanklarının araç içinde yerleşimi[14].

Çizelge 2.1’de yakıt tankında ve yakıt tankını korumaya yarayan karoseri kısmında kullanılan malzemeler gösterilmektedir. Yakıt tanklarının montajında tankı sabitlemek için kullanılan gergi bantları S420MC isimli yüksek mukavemetli çelik malzeme kullanılarak, yakıt tankını taşıyan otobüs karoserisi imalatında kullanılan dikdörtgen kesitli profiller genellikle M16 ismi verilen özel bir malzeme ile ve karoseri imalatında kullanılan saçlar ise genellikle StW24H isimli malzeme kullanılarak üretilmektedir[14].

Çizelge 2.1 : Eleman malzeme özellikleri[14].

Malzeme Adı	Renk
Çelik - M 16	Blue
Çelik - StW24H	Green
Çelik - S420MC	Yellow
Polietilen	Pink



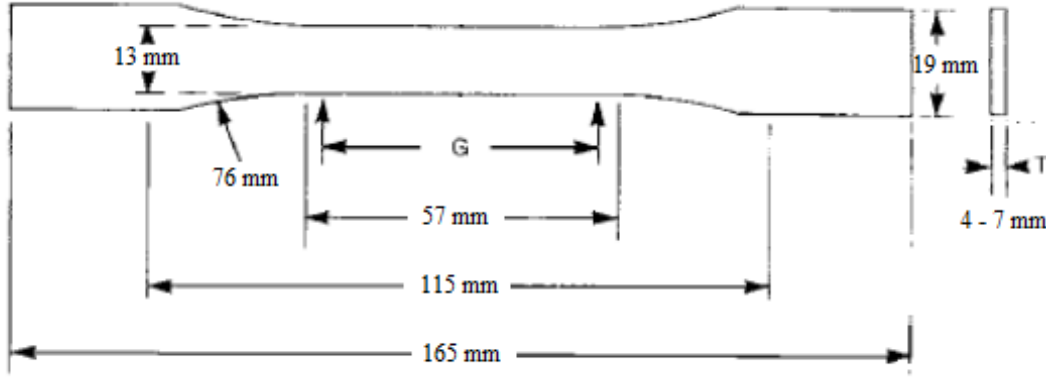
Günümüzde yakıt tankları elik ve alimünyum gibi metal malzemelerden ve plastik malzemelerden üretilebilmektedir. Son yıllarda; plastik malzemelerin hafif oluşu, düşük emisyon oranına sahip olmaları, uzun parça ömrü, yakıt geçirgenliği, korozyona uğramayışı, güvenlik ve maliyet gibi avantajları göz önünde bulundurularak yüksek yoğunluklu polietilen malzemedен üretilen yakıt tanklarının kullanımı artmıştır.

3. POLİETİLEN MALZEME TESTLERİ

Otomotiv sanayisinde metal dışı malzemelerin kullanımı son yıllarda artış göstermiştir. Başlarda dayanım gerektirmeyen parçalarda metal dışı malzeme kullanımı gerçekleşirken kompozit malzemelerin yaygınlaşmasıyla dayanımın önemli olduğu bölgelerde de bu malzemelerin kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Hafiflik, korozyon direnci, kolay şekil verilebilirlik ve ucuz olması gibi avantajları nedeniyle plastik malzemelerin kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Bu gibi avantajlar göz önüne alınarak otobüslerde çelik yakıt tanklarından plastik yakıt tanklarına geçiş yapılmıştır. Bu geçiş ile birlikte plastik malzemenin mekanik özelliklerinin belirlenmesi gerekliliği doğmuştur. Yakıt tankında kullanılmakta olan orta yoğunluklu polietilen malzemenin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla farklı sıcaklıklarda çekme, basma testleri yapılmış ve ısıl genleşme katsayısı bulunmuştur. Ayrıca yorulma analizlerinde kullanılmak üzere malzemenin S-N eğrisi elde edilmiştir.

3.1 Çekme Testi

Numunelerin kopana kadar tek ekseninde çekme kuvvetlerinin uygulandığı testlere çekme testleri denmektedir. Mercedes-Benz Türk A.Ş. tarafından ürettirilen çekme testi numuneleri kullanılarak ASTM D638-10 standardı [15] ile malzemenin çekme mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla; oda sıcaklığında, sıcak ortam (+60 °C) ve soğuk ortam (-40 °C) şartlarında kupon testleri yapılmıştır. Standartta belirtilen numune boyutları dikkate alınarak çekme testleri için gerekli numuneler hazırlanmıştır. Şekil 3.1’de çekme testi numunesinin şekli ve boyutları gösterilmektedir. Testler, İstanbul Teknik Üniversitesi Uçak ve Uzay Fakültesi Kompozit ve Yapı Laboratuvarı’nda bulunan MTS universal test cihazı kullanılarak yapılmıştır. Hesaplamalarda kullanılacak olan kuvvet değerleri yük hücresi kullanılarak elde edilmiştir. Birim uzama değerleri ise, numune üzerine yapıştırılan gerinim ölçer (strainage) ve numune üzerine takılan ekstansometre yardımıyla ölçülmüş ve bir veri toplama cihazı ile kaydedilmiştir.



Şekil 3.1 : Çekme testi numunesi.

Oda sıcaklığındaki testler kapsamında 6 numune test edilmiştir. Çekme dayanımı, % 0.2 ofset ile akma gerilmesi, çekme elastisite katsayısı ve çekme Poisson oranı özelliklerine ait numune bazında elde edilen değerler ve tüm numunelerin ortalama değerleri Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1: Oda sıcaklığında çekme testi sonuçları.

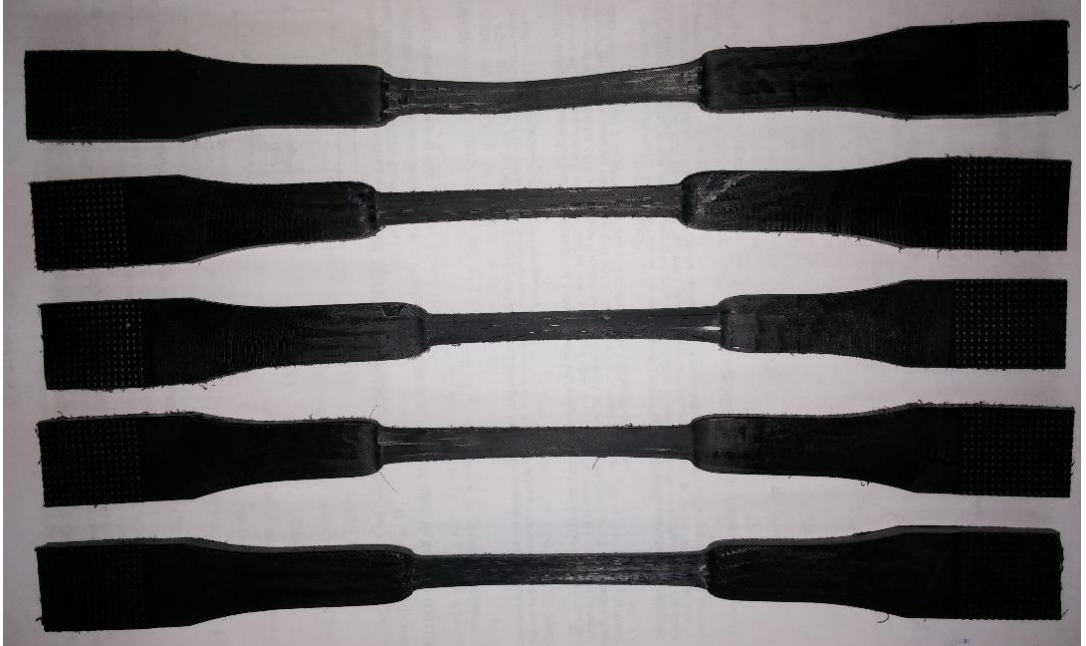
Numune No	Çekme Dayanımı (MPa)	%0.2 Ofset ile Akma Gerilmesi (MPa)	Çekme Elastisite Katsayısı (MPa)	Çekme Poisson Oranı
T-1-RTD	15.5	8.2	890.16	0.43
T-2-RTD	16.1	7.5	885.18	0.42
T-3-RTD	15.3	8.9	1001.07	N/A
T-4-RTD	15.1	N/A	N/A	0.4
T-5-RTD	16.2	8.6	990.07	0.46
T-6-RTD	15.4	7.5	810.44	0.43
Ortalama	15.6	8.1	915.38	0.43

Şekil 3.2’de eksenel gerilme- birim uzama grafiğinde akma gerilmesinin %0.2 ofset yöntemi ile bulunması “T-3-RTD” numunesi verileri temel alınarak örnek olarak gösterilmiştir. Şekil 3.3’de MTS universal test cihazı limitlerine kadar çekilen numuneler gösterilmiştir. Testler sonucunda, Çizelge 3.1’deki malzeme özelliklerini elde ettikten sonra, yüksek uzama yeteneğine sahip bir ekstensometre kullanılarak, ilave 5 numuneye daha çekme testi uygulanmış ve %40 birim uzamaya kadar

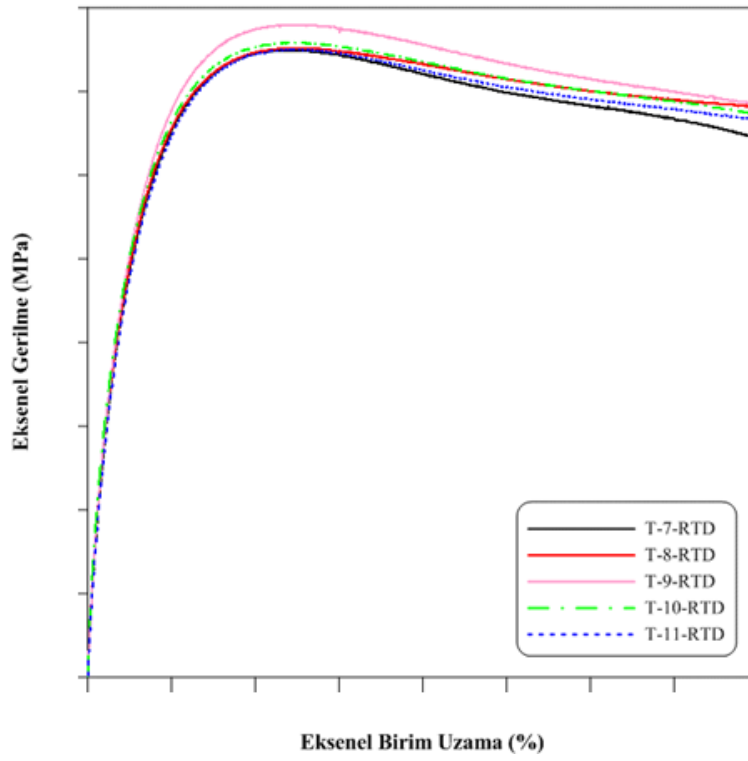
numuneler çekilerek Şekil 3.4'teki gerilme-birim uzama grafikleri elde edilmiştir. Ayrıca, Çizelge 3.2'de ekstensometre ile elde edilen oda sıcaklığında %1 ve %1.5 ofset ile akma gerilmesi değerleri gösterilmiştir.



Şekil 3.2 : %0.2 ofset yöntemi ile akma gerilmesi bulunması.



Şekil 3.3 : Oda sıcaklığında çekme testi yapılmış numuneler.



Şekil 3.4 : Oda sıcaklığında akma gerilmesi sonuçları (ekstensometre).

Çizelge 3.2 : Oda sıcaklığında %1 ve %1.5 ofset ile normalize edilmiş çekme testi akma gerilmeleri

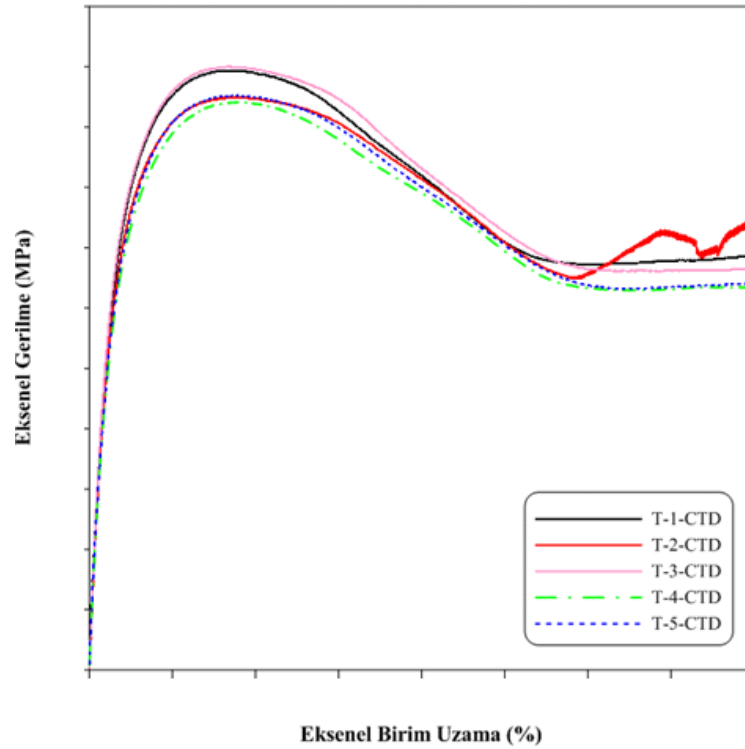
Numune No	%1 Ofset ile Akma Gerilmesi (MPa)	%1.5 Ofset ile Akma Gerilmesi (MPa)
<i>T-7-RTD</i>	<i>0,89</i>	<i>1</i>
<i>T-8-RTD</i>	<i>0.87</i>	<i>0.98</i>
<i>T-9-RTD</i>	<i>0.909</i>	<i>1</i>
<i>T-10-RTD</i>	<i>0.87</i>	<i>0.98</i>
<i>T-11-RTD</i>	<i>0.87</i>	<i>0.98</i>
Ortalama	0.88	0.99

Soğuk ortam şartlarında 5 adet numune test edilmiştir. Çekme dayanımı, %0.2 ofset ile akma gerilmesi, çekme elastisite katsayısı ve çekme Poisson oranı özelliklerine ait numune bazında elde edilen değerler ve tüm numunelerin ortalama değerleri Çizelge 3.3’te gösterilmiştir.

Çizelge 3.3: Soğuk ortam şartlarında normalize edilmiş çekme testi sonuçları.

Numune No	Çekme Dayanımı (MPa)	%0.2 Ofset ile Akma Gerilmesi (MPa)	Çekme Elastisite Katsayısı (MPa)	Çekme Poisson Oranı
T-1-CTD	0.995	0.59	0.9625	1
T-2-CTD	0.95	0.51	0.9799	1
T-3-CTD	1	0.555	1	0.9534
T-4-CTD	0.94	0.485	0.89	0.9767
T-5-CTD	0.955	0.505	0.9516	0.9767
Ortalama	0.97	0.53	0.9516	0.9767

Soğuk ortam şartlarında, numunelerin %40 birim uzamaya kadar çekilerek, ekstensometre yardımıyla elde edilen gerilme-birim uzama grafikleri Şekil 3.5'te gösterilmiştir. Çizelge 3.4'te ise soğuk ortam şartlarında ekstensometre ile elde edilen %1 ve %1.5 ofset ile elde edilen akma gerilmesi değerleri gösterilmektedir.



Şekil 3.5 : Soğuk ortam şartlarında çekme testi gerilme-eksenel birim uzama grafiği.

Çizelge 3.4: Soğuk ortam şartlarında normalize edilmiş çekme testi sonuçları

Numune No	%1 Ofset ile Akma Gerilmesi (MPa)	%1.5 Ofset ile Akma Gerilmesi (MPa)
<i>T-1-CTD</i>	<i>0.78</i>	<i>0.84</i>
<i>T-2-CTD</i>	<i>0.73</i>	<i>0.795</i>
<i>T-3-CTD</i>	<i>0.775</i>	<i>0.84</i>
<i>T-4-CTD</i>	<i>0.705</i>	<i>0.77</i>
<i>T-5-CTD</i>	<i>0.725</i>	<i>0.79</i>
Ortalama	0.745	0.805

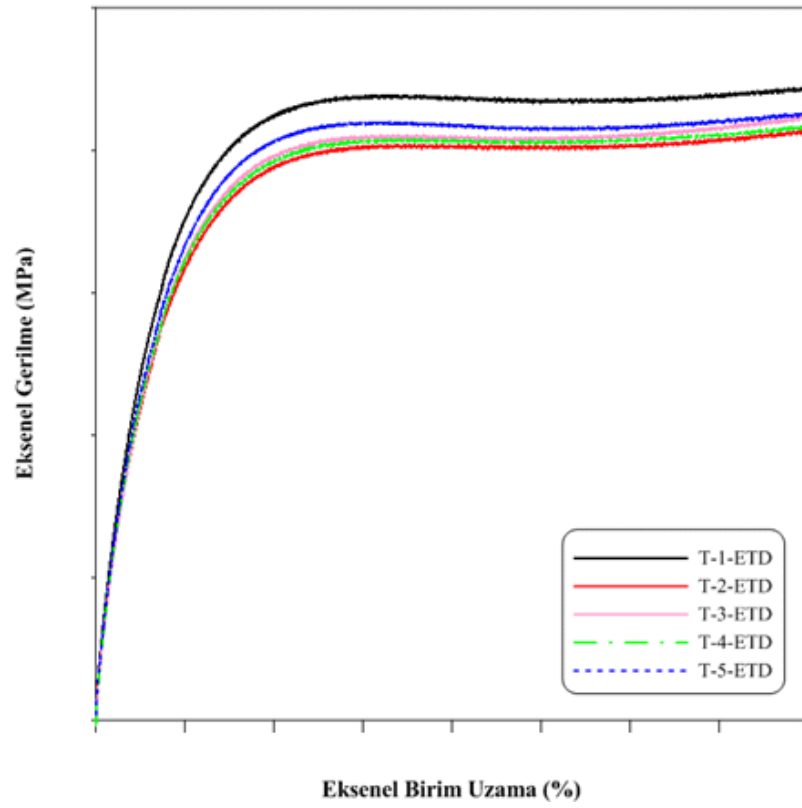
Sıcak ortam şartlarında 5 adet numune test edilmiştir. Çekme dayanımı, %0.2 ofset ile akma gerilmesi, çekme elastisite katsayısı ve çekme Poisson oranı özelliklerine ait numune bazında elde edilen değerler ve tüm numunelerin ortalama değerleri Çizelge 3.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.5: Sıcak ortam şartlarında normalize edilmiş çekme testi sonuçları

Numune No	Çekme Dayanımı (MPa)	%0.2 Ofset ile Akma Gerilmesi (MPa)	Çekme Elastisite Katsayısı (MPa)	Çekme Poisson Oranı
<i>T-1-ETD</i>	<i>1</i>	<i>N/A</i>	<i>0.94</i>	<i>1</i>
<i>T-2-ETD</i>	<i>0.932</i>	<i>0.365</i>	<i>0.889</i>	<i>0.975</i>
<i>T-3-ETD</i>	<i>0.955</i>	<i>0.398</i>	<i>0.884</i>	<i>1</i>
<i>T-4-ETD</i>	<i>0.944</i>	<i>N/A</i>	<i>1</i>	<i>1</i>
<i>T-5-ETD</i>	<i>0.955</i>	<i>N/A</i>	<i>0.885</i>	<i>0.975</i>
Ortalama	0.955	0.382	0.922	1

Soğuk ortam şartlarında olduğu gibi sıcak ortam şartları için de numunelerin %40 birim uzamaya kadar çekilerek, ekstensometre yardımıyla elde edilen gerilme-birim uzama grafikleri Şekil 3.6’da gösterilmiştir. Ayrıca, Çizelge 3.6’da sıcak

ortam şartlarında ekstensometre ile elde edilen %1 ve %1.5 ofset ile akma gerilmesi değerleri gösterilmiştir.



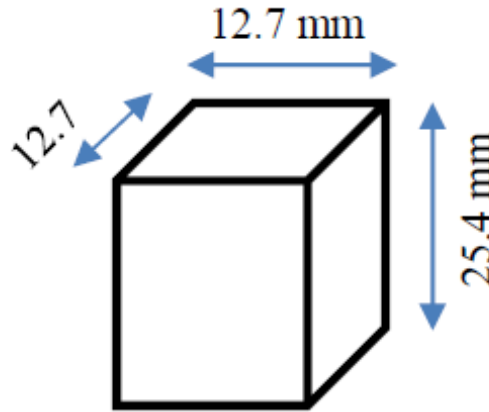
Şekil 3.6 : Sıcak ortam şartlarında çekme testi gerilme-eksenel birim uzama grafiği.

Çizelge 3.6 : Sıcak ortam şartlarında normalize edilmiş akma gerilmesi sonuçları.

Numune No	%1 Ofset ile Akma Gerilmesi (MPa)	%1.5 Ofset ile Akma Gerilmesi (MPa)
<i>T-1-ETD</i>	<i>0.573</i>	<i>0.663</i>
<i>T-2-ETD</i>	<i>0.528</i>	<i>0.606</i>
<i>T-3-ETD</i>	<i>0.539</i>	<i>0.618</i>
<i>T-4-ETD</i>	<i>0.516</i>	<i>0.595</i>
<i>T-5-ETD</i>	<i>0.55</i>	<i>0.629</i>
Ortalama	0.548	0.618

3.2 Basma Testi

Malzemenin mekanik özelliklerini belirlemek için çekme testine ek olarak farklı sıcaklıklarda basma testleri gerçekleştirilmiştir. Basma testi, çekme testinin tersi olarak kabul edilmektedir. Mercedes-Benz Türk A.Ş. tarafından üretilen test numuneleri kullanılarak malzemenin basma mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, ASTM D695-10 standardı [16] ile oda sıcaklığında, sıcak ortam ve soğuk ortam şartlarında basma testleri yapılmıştır. Standartlardan alınmış numune boyutlarına göre Şekil 3.7’de de görülen şekil ve boyutlarda test numuneleri hazırlanmıştır. İstanbul Teknik Üniversitesi yapı ve kompozit laboratuvarında bulunan MTS universal test cihazı kullanılarak farklı sıcaklıklarda basma testleri yapılmıştır. Bu testlerde, hesaplamalarda kullanılacak kuvvet değerleri yük hücresi kullanılarak elde edilmiştir. Birim uzama değerleri ise, çekme testinde olduğu gibi, numune üzerine yapıştırılan gerinim ölçer (straingage) yardımıyla ölçülmüş ve elde edilen birim uzama değerleri bir veri toplama cihazı ile kaydedilmiştir.



Şekil 3.7 : Basma testi numunesi

Oda sıcaklığında gerçekleştirilen testler kapsamında 5 adet numune test edilmiştir. Basma dayanımı, basma elastisite katsayısı ve basma Poisson oranı özelliklerine ait numune bazında elde edilen değerler ve tüm numunelerin ortalama değerleri Çizelge 3.7’de gösterilmiştir. Testler sırasında basma dayanımını elde edebilecek bir kopma hasarı görülemedi ve kuvvet sürekli arttığından maksimum kuvvet kaydedilememiştir. ASTM D695-10 standardının sadece rijid plastikler için geçerli olduğunu göz önüne alınarak, plastikler için benzer test metodunu kullanan başka bir standart araştırılmıştır.

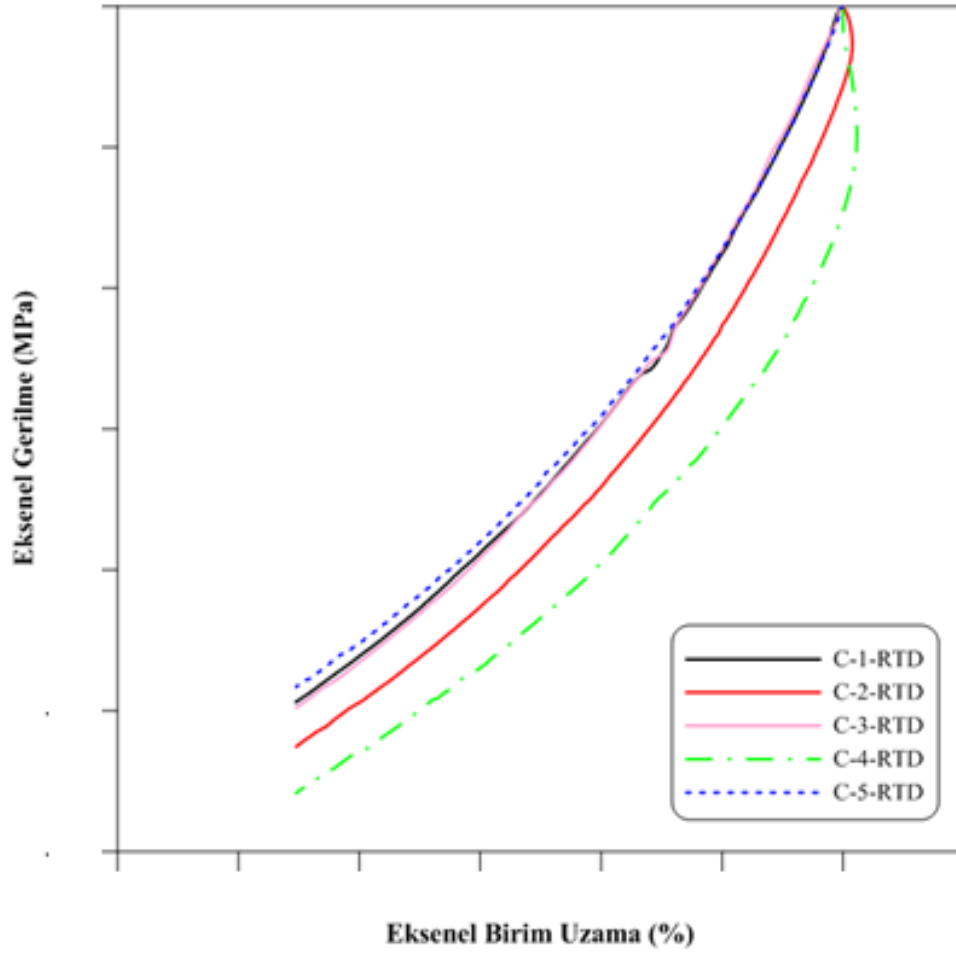
Çizelge 3.7: Oda sıcaklığında, normalize edilmiş basma testi sonuçları.

Numune No	Basma Dayanımı (MPa)	Basma Elastisite Modülü (MPa)	Basma Poisson Oranı
C-1-RTD	0,912	1	1
C-2-RTD	0,96	0,976729	0,978261
C-3-RTD	0,936	0,97704	0,978261
C-4-RTD	1	0,883985	0,978261
C-5-RTD	0,912	0,982621	0,891304

Plastik lumber (PL) için kullanılan ASTM D6108-13 standardı [3] incelendiğinde, kopma hasarı görülememesi durumunda, basma dayanımı için, %3 birim uzama yani 30000 mikrostrain değerine karşılık gelen kuvvet değeriyle elde edilen gerilme değerinin kabul edilebileceği belirtilmiştir [23]. Çizelge 3.8'deki basma dayanımı değerleri bu ölçüt temel alınarak bulunmuştur. Değerler normalize edilerek çizelgede gösterilmiştir. Testleri yapılmış beş adet basma numunesi Şekil 3.8'de gösterilmiştir. Tüm numunelerin yaklaşık gerinim ölçer limitlerine kadar elde edilen gerilme-eksenel birim uzama grafikleri Şekil 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3.8 : Oda sıcaklığında basma testi yapılmış numuneler.



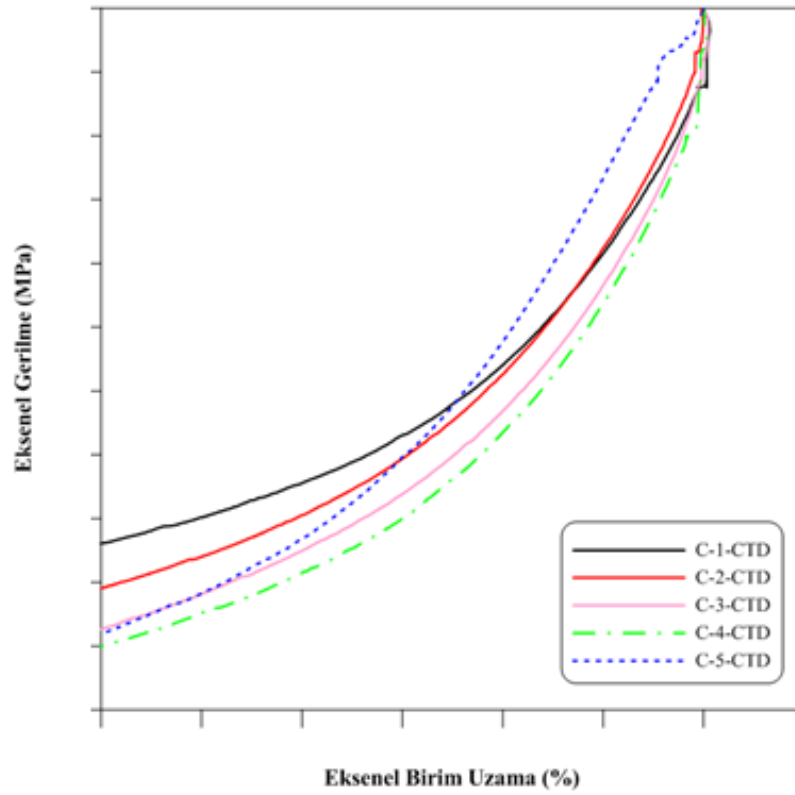
Şekil 3.9 : Oda sıcaklığında basma testi gerilme-eksenel birim uzama grafikleri.

Oda sıcaklığında gerçekleştirilen testlerin ardından soğuk ortam şartlarında da malzeme özelliklerinin belirlenmesi için basma testleri gerçekleştirilmiştir. Ortam sıcaklığı $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de olarak belirlenerek, beş adet numuneye basma testi uygulanmıştır. Çizelge 3.8'de basma dayanımı, basma elastisite katsayısı ve basma Poisson oranı özelliklerine ait $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ soğuk ortam şartlarında, numune bazında elde edilen değerler ve tüm numunelerin ortalama değerlerinin normalize edilmiş hali gösterilmektedir. Soğuk ortam şartlarında yapılan testlerde basma dayanımı için, oda sıcaklığı şartlarında yapılan testlerle aynı yöntem benimsenerek, %3 birim uzama değerine karşılık gelen gerilme değerleri kullanılmıştır.

Soğuk ortam şartlarında basma testleri yapılan beş adet numuneye ait eksenel gerilme-eksenel birim uzama grafikleri Şekil 3.10 'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.8: Soğuk ortam şartlarında normalize edilmiş basma testi sonuçları.

Numune No	Basma Dayanımı (MPa)	Basma Elastisite Modülü (MPa)	Basma Poisson Oranı
C-1-CTD	0,84	0,82	1,00
C-2-CTD	0,91	0,94	0,93
C-3-CTD	0,98	1,00	0,93
C-4-CTD	1,00	0,98	0,91
C-5-CTD	0,98	0,85	0,95
Ortalama	0,94	0,92	0,95



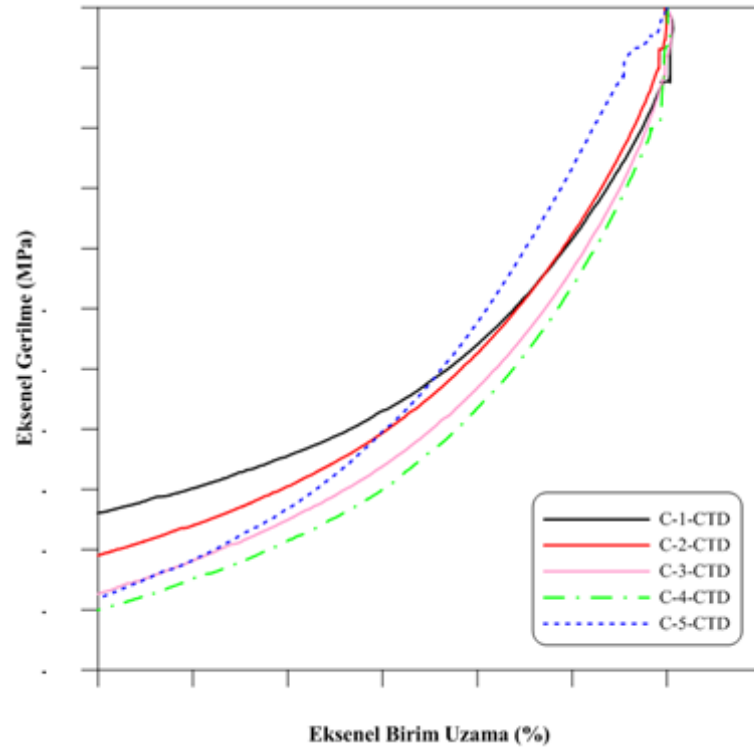
Şekil 3.10 : Soğuk ortam şartlarında basma testi gerilme-birim uzama grafiği.

Sıcak ortam şartlarında, 5 adet numuneye basma testi uygulanmıştır. Çizelge 3.9’da basma dayanımı, basma elastisite katsayısı ve basma Poisson oranı özelliklerine ait +60 °C sıcak ortam şartlarında, numune bazında elde edilen değerler ve tüm numunelerin ortalama değerleri gösterilmiştir. Basma dayanımı için, oda sıcaklığı şartlarındaki aynı yöntem benimsenerek, %3 birim uzama değerine karşılık gelen gerilme değerleri kullanılmıştır. +60 °C sıcak ortam şartlarında, gerinim ölçer (straingage) ile uygulanan siyanoakrilat yapıştırıcıdan kaynaklı dayanım sorunundan dolayı %3 birim uzama değerlerine kadar veri alınamamıştır. 2 adet numunede, %1.5 birim uzama, 3 adet numunede ise yaklaşık %2.5 birim uzama değerlerine kadar siyanoakrilat yapıştırıcı dayanmıştır. Elde edilen üç basma dayanımı değeri, %2.5 birim uzama değeri ile %3 birim uzama değeri arasında lineer interpolasyon sonucunda elde edilmiştir. Çizelge 3.9’da normalize edilmiş basma testi sonuçları gösterilmektedir.

Çizelge 3.9: Sıcak ortam şartlarında normalize edilmiş basma testi sonuçları.

Numune No	Basma Dayanımı (MPa)	Basma Elastisite Modülü (MPa)	Basma Poisson Oranı
<i>C-1-ETD</i>	<i>1</i>	<i>0,928912</i>	<i>0,960784</i>
<i>C-2-ETD</i>	<i>N/A</i>	<i>0,84299</i>	<i>0,823529</i>
<i>C-3-ETD</i>	<i>0,973</i>	<i>0,971228</i>	<i>1</i>
<i>C-4-ETD</i>	<i>N/A</i>	<i>0,918156</i>	<i>0,862745</i>
<i>C-5-ETD</i>	<i>0,986</i>	<i>1</i>	<i>0,843137</i>
Ortalama	0,973	0,932261	0,901961

Sıcak ortam şartlarında, beş numune için yapılan basma testlerine ait eksenel gerilme-eksenel birim uzama grafiği Şekil 3.11’de gösterilmiştir.



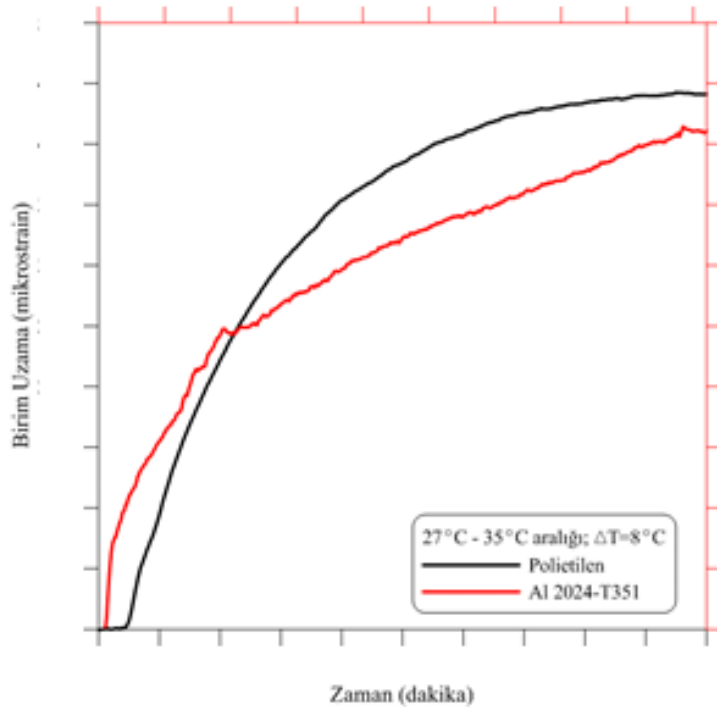
Şekil 3.11 : Sıcak ortam şartlarında basma testi gerilme-eksenel birim uzama grafiği.

3.3 Isıl Genleşme Katsayısı Testi

Malzemenin ısı genleşme katsayısını bulmak için, ASTM D696-08 standardı [17] kullanılmamıştır. Bu testi ASTM standardı ile yapmak için dilatometre cihazı laboratuvar envanterinde bulunmamaktadır. Bununla birlikte, katsayı değerini bulmak için, oldukça kullanışlı alternatif bir yöntem olan gerinim ölçer (strainage) ile ısı genleşme katsayısı bulma yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, bir standart olmamakla birlikte, çeşitli bilimsel yayınlarda ve gerinim ölçer (strainage) üretici firmalarının teknik notlarında yer almaktadır. Testlerde kullanılan gerinim ölçer (strainage) birim uzama ölçerlerin üretici firması Vishay'a ait TN-513-1 [18] teknik raporuna göre, başlangıç ve bitiş sıcaklıkları aynı olacak şekilde, havada düşey asılı olarak ısıtılacak düzgün şekilli iki ayrı malzemeden yapılmış numuneler kullanılmıştır. Numunelerin üzerine aynı koda sahip gerinim ölçer (strainage) yapıştırılmıştır. Malzemelerden bir tanesinin referans malzeme olarak tanımlanacak şekilde, ısı genleşme katsayısı kesin olarak biliniyorsa, diğer malzemeden yapılmış numunenin ısı genleşme katsayısı aşağıdaki formülle belirlenir:

$$\alpha - \alpha_R = \frac{\varepsilon - \varepsilon_R}{\Delta T} \quad (3.1)$$

Referans malzeme olarak, alüminyum 2024-T351 alaşımı kullanılmıştır. CRP Meccanica firmasına göre, Al 2024-T351 alaşımı oda sıcaklığı şartlarında $23.2 \mu\text{m/m-}^\circ\text{C}$ ısı genleşme katsayısı değerine sahiptir [19]. Yapılan test sonucunda, 8°C sıcaklık değişimi sonucunda elde edilen birim uzama-zaman grafikleri Şekil 3.12’de gösterilmiştir.



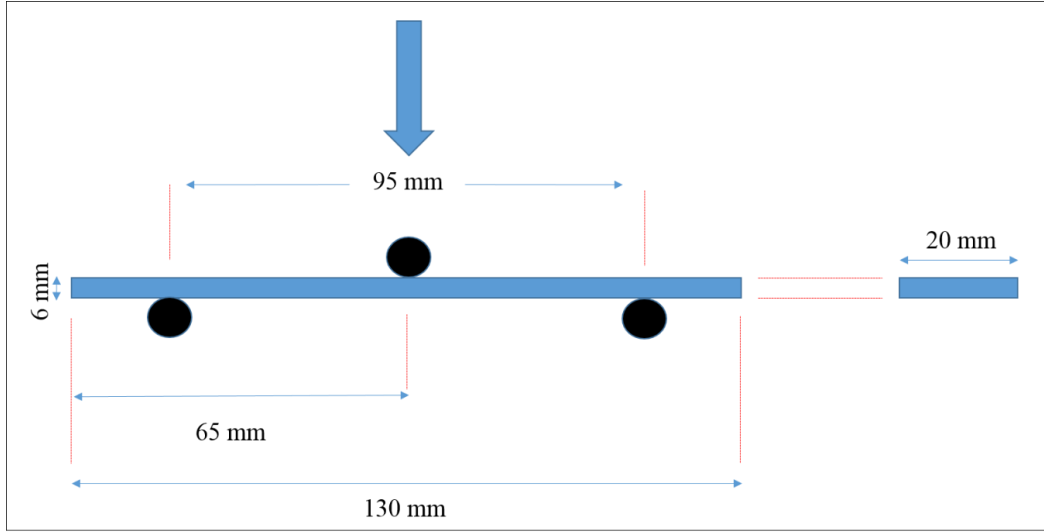
Şekil 3.12 : Polietilen ve referans malzeme birim uzama-zaman grafikleri.

Grafikten yararlanarak değerleri formülde yerine koyduğumuzda, yakıt tankında kullanılacak polietilen malzemenin ısı genleşme katsayısı hesaplanmaktadır, ancak firma bilgisi olduğu için sonuç paylaşılmamıştır.

3.4 Yorulma Testi

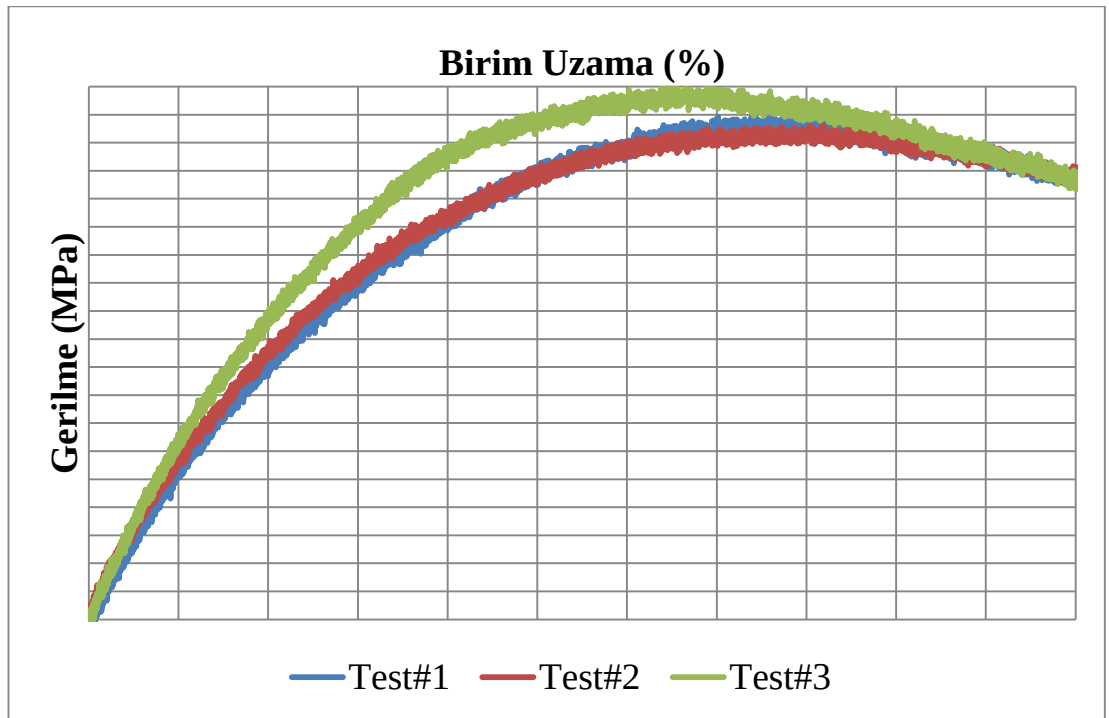
Eğilme-yorulma testlerine başlamadan önce, öncelikle polietilen malzemenin eğilmeye karşı davranışını görmek gerekir. Ayrıca, yorulma testlerinde ihtiyaç duyulacak lineer bölge sınırlarını aşmayacak gerilme, deplasman ve birim uzama değerlerini elde etmek gerekir. Bu yüzden, ASTM 790-10 standardı [20] kullanılarak 3 adet üç nokta eğilme testi oda sıcaklığında yapılmıştır. Standartta belirtilen numune

boyutları dikkate alınarak (Şekil 3.13), testler için gerekli numuneler Mercedes-Benz Türk A.Ş. tarafından üretilerek teslim edilmiştir. Üç nokta eğilme testi aparat yerleşimi Şekil 3.13’te gösterilmiştir.

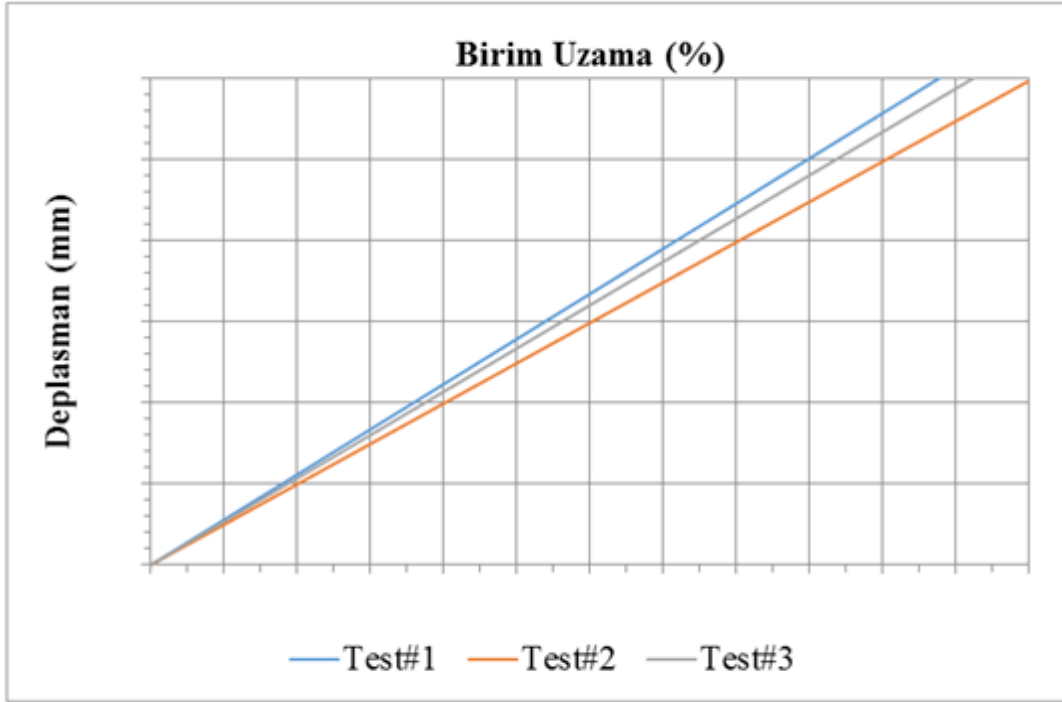


Şekil 3.13 : 3 nokta eğilme testi numunesi ve yerleşimi.

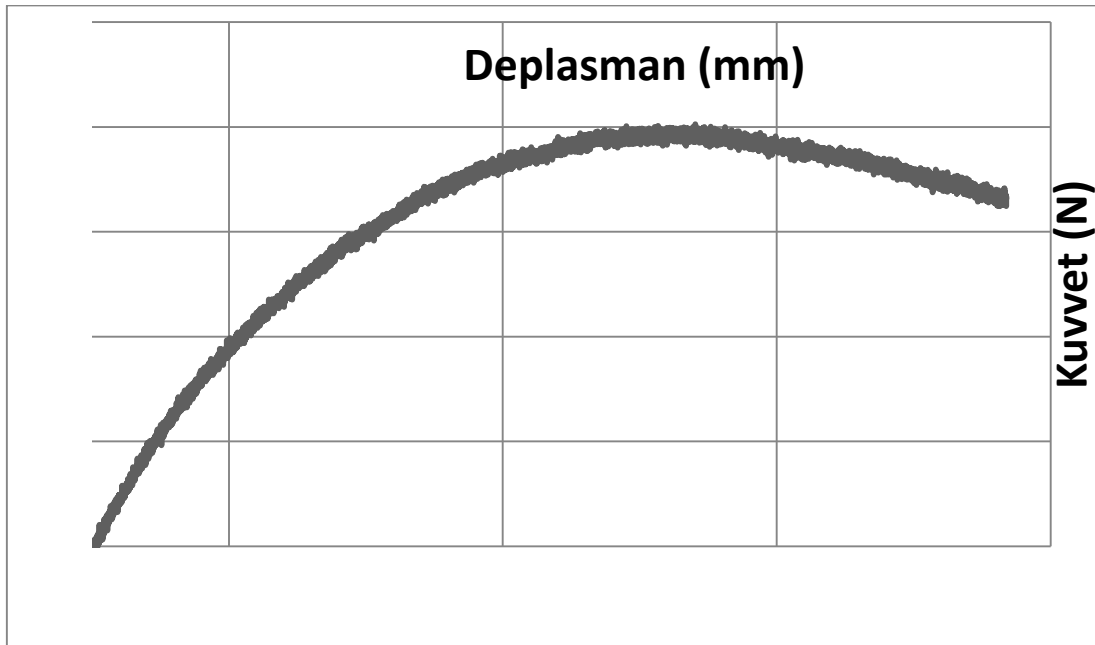
Elde edilen sonuçlar, Şekil 3.14, Şekil 3.15 ve Şekil 3.16’da gösterilmiştir. Ayrıca, yapılan 3 test ile elde edilen eğilme elastisite katsayısı, farklı ofset değerlerinde akma gerilmeleri ve eğilme dayanımı değerleri ile ortalama değerler Çizelge 3.10’da gösterilmiştir.



Şekil 3.14 : 3 nokta eğilme testi gerilme-birim uzama grafiği.



Şekil 3.15 : 3 nokta eğilme testi deplasman-birim uzama grafiği.



Şekil 3.16 : 3 nokta eğilme testi kuvvet-deplasman grafiği.

Çizelge 3.10: Üç nokta eğilme testi normalize edilmiş malzeme değerleri.

Numune No	Eğilme		Eğilme Dayanımı (MPa)
	Elastisite Katsayısı (MPa)	%0.2 Ofset ile Akma Gerilmesi (MPa)	
B-1	525.06	0,481481	0,952381
B-2	489.21	0,57672	0,931217
B-3	591.61	0,603175	1
Ortalama	535.3	0,555556	0,962963

Çizelge 3.11’de yapılan 3 test ile elde edilen farklı ofset değerlerindeki akma gerilmeleri ortalama değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.11 : %1 ve %1.5 ofset ile eğilme testi normalize edilmiş akma gerilmeleri.

Numune No	Eğilme	
	%1 Ofset ile Akma Gerilmesi (MPa)	%1.5 Ofset ile Akma Gerilmesi (MPa)
B-1	0,724868	0,798942
B-2	0,767196	0,830688
B-3	0,857143	0,920635
Ortalama	0,783069	0,851852

Eğilme-yorulma testleri için, ASTM 7774-12 standardı [6] kullanılmıştır.

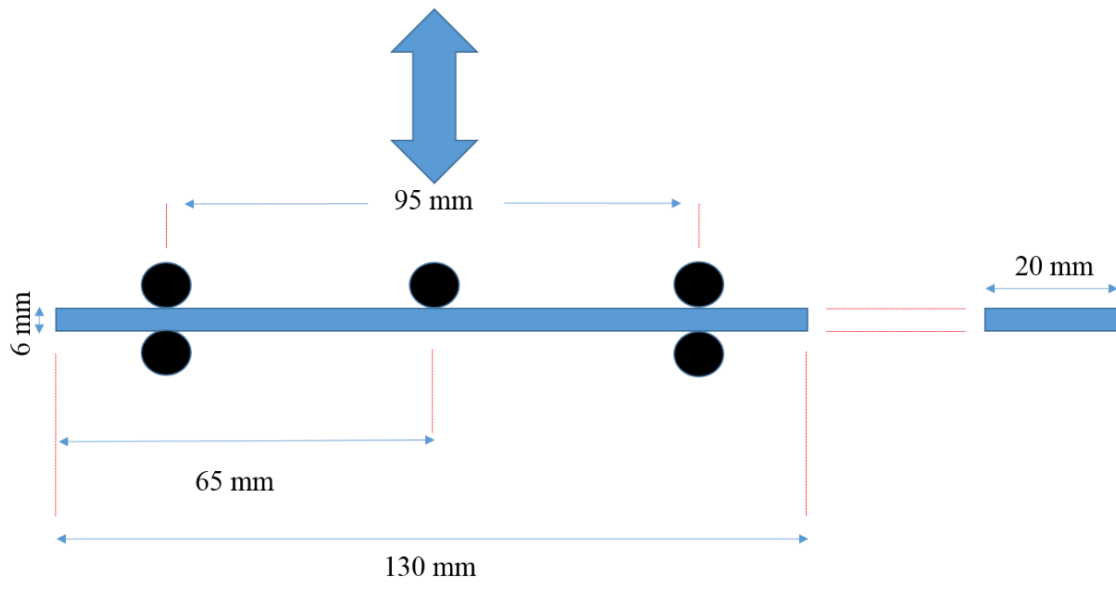
Çekme-Basma testi olarak başlatılan yorulma testlerinde malzemenin aşırı sünek davranış göstermesi sebebiyle, numuneler üzerinde eğilme yorulması testi yapılmasına

karar verilmiştir. Bu amaçla eğilme testi aparatı üretimi ve farklı boyutlardaki numunelerin üretimi gerçekleştirilmiştir. S-N eğrisini elde etmek amacıyla, 11 numune kullanılarak deplasman kontrollü 3 nokta eğilme-yorulma testleri yapılmıştır. Şekil 3.17’ de 8 mm deplasman için eğilme-yorulma testi yapımı gösterilmektedir.



Şekil 3.17 : Eğilme-yorulma testi.

Şekil 3.18’de yorulma testi numunesinin şekli, boyutları ve numunelerin yerleşimi gösterilmektedir.



Şekil 3.18 : Yorulma testi numunesi ve yerleşimi.

Deneylerde Universal Yorulma Test Sistemi kullanılarak deneylerde çevrim sayısı, deplasman ve kuvvet değerleri kaydedilmiştir. Ayrıca numunelerin üzerine yapıştırılan gerinim ölçer yardımıyla gerinim değerleri kaydedilmiştir. Elde edilen test verileri ile

deplasman - birim uzama grafiği çizilmiştir. Dikdörtgen kesit için Denklem 3.2 kullanılarak gerilme değeri MPa cinsinden hesaplanmıştır.

$$\sigma = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (3.2)$$

Denklemde,

σ = gerilme (Mpa)

P=kuvvet (N)

L= İki dirsek arası mesafe (mm)

b= Ortalama genişlik (mm)

d= Ortalama derinlik (mm) değeri göstermektedir.

Kullanılan test numunelerinde bu değeri;

L= 95 mm

b= 20 mm

d= 6 mm olarak ölçülmüştür.

Testler ile elde edilen kuvvet değeri de kullanarak gerilme değeri hesaplanmış (Şekil 3.16), gerinim ölçer ile ölçülen birim uzama değeriyle Şekil 3.14’ te görülen 3 nokta eğilme testi gerilme-birim uzama grafiği çizilmiştir. Deplasman değeri Şekil 3.15’deki grafik kullanılarak birim uzama değeri belirlenmiş; Şekil 3.14’teki grafikten ise bu birim uzama değeri için gerilme değeri okunarak gerilme değeri elde edilmiştir. Testlerden, deplasman değeri karşılık gelen çevrim sayısının kullanılmasıyla S-N eğri çizimi için gerekli olan tüm değeri elde edilmiştir.

Çizelge 3.12’de normalize edilmiş değeri gösterilen, yorulma testi ile elde edilen gerilme ve çevrim sayısı değeri kullanarak plastik malzeme için S-N eğri elde edilmiştir.

Çizelge 3.12: Yorulma testi gerilme-çevrim normalize edilmiş değerleri.

Deplasman	Birim Uzama	Gerilme	Çevrim
1	1	0,986688	0,000919
1	0,876923	0,989116	0,000803
1	0,880769	1	0,000834
0.625	0,536538	0,749288	0,002618
0.625	0,535	0,743135	0,01227
0.625	0,530769	0,711654	0,003748
0.3125	0,241538	0,416946	0,041557
0.3125	0,241538	0,416946	0,001893
0.3125	0,241538	0,416946	0,031688
0.3125	0,241538	0,416946	0,062259
0.125	0,084742	0,147321	1

4. YORULMA TEORİSİ

Malzemelerde yorulma; değişken gerilmelerin altında malzemenin iç yapısında meydana gelen değişimler olarak tanımlanmaktadır. Yorulmada meydana gelen hasar, malzemenin içinde meydana gelen küçük çatlakların, değişken zorlanmaların etkisiyle zamanla ilerleyerek çatlakların büyümesi sonucunda oluşmaktadır. Gerilme durumu, malzemenin geometrisi, kullanılan malzemenin türü, artık gerilmeler meydana getiren işlemlerin etkisi, malzeme üretiminde meydana gelen iç kusurların boyutları ve malzeme içinde dağılımı, yüklemenin doğrultusu, tane büyüklüğü, korozyon ve erozyon gibi çevre şartları ve yüksek ve düşük sıcaklıklar yorulmayı etkileyen faktörler olarak sayılabilir [25].

4.1 Yorulma Türleri

4.1.1 Çatlaksız malzemelerde yorulma

Çatlak olmayan malzemelerdeki kırılma, çatlakın meydana gelmesi ile kontrol edilmektedir. Çatlaksız malzemelerde çok çevrimli ve az çevrimli olmak üzere iki çeşit yorulma türü bulunmaktadır. Bu yorulma türlerinden çok çevrimli olan uzun ömürlü yorulma ve az çevrimli olanı ise kısa ömürlü yorulma olarak adlandırılmaktadırlar.

Bu yorulma türlerinden biri olan uzun ömürlü yorulma, akma noktasının altındaki gerilmelerde meydana gelmektedir ve bu yorulma türünde kırılmaya kadar olan çevrim sayısı 10.000'den büyük bir değerdedir. Uzun ömürlü yorulma deney sonuçları teorik olarak Denklem 4.1'de gösterilmiştir [21].

$$\Delta\sigma \cdot (N_f)^a = C_1 \quad (4.1)$$

Bu denklem Basquin kanunu olarak adlandırılmaktadır ve bu denklemde;

$\Delta\sigma$: Gerilme aralığını

N_f : Yorulma ömrünü

a : (1/8-1/5) aralığında bir sabit

C_1 : Sabit bir sayıyı ifade etmektedir.

Akma dayanımından daha büyük gerilme değerlerine sahip olan kısa ömürlü yorulmada, yorulma sırasında plastik deformasyon oluşmaktadır ve bu yorulma çeşidinde kırılmaya kadar olan çevrim sayısı 10.000'den küçüktür.

Bu yorulma türünde, sabit toplam birim şekil değiştirme aralığında ($\Delta\epsilon_t$) veya sabit birim şekil değiştirme genliğinde ($\Delta\epsilon_t / 2$) yapılan yorulma deneyleri ile yorulma özellikleri belirlenmektedir fakat malzemelerin yorulma özellikleri plastik birim şekil değiştirmeye ($\Delta\epsilon_{pl}$) bağlıdır. Kısa ömürlü yorulma deneyinin sonuçları teorik olarak Denklem 4.2'de gösterilmiştir.

$$\Delta\epsilon_{pl} \cdot (N_f)^b = C_2 \quad (4.2)$$

Bu denklemde C_2 değeri ve b değeri 0.5–0.6 aralığında bir sabittir. Bu teori Coffin–Manson kanunu olarak da adlandırılmaktadır [21].

4.1.2 Çatlaklı malzemelerde yorulma

Çatlak meydana gelmiş malzemelerde yorulma, çatlakın ilerlemesi ile kontrol edilmektedir. Özellikle büyük yapılar, kaynaklı yapılar çatlak içerdiğinden bu yapılarda yorulma olayı çok daha önemli bir duruma gelmektedir. Artık gerilmeler nedeniyle meydana gelen bu tip yapılardaki çatlakların ilk uzunluğu, yapının incelenmesi sonucu tespit edilen belirli bir uzunluktan kısa olmalıdır[21].

4.2 Malzemelerin Yorulma Davranışına Çeşitli Koşulların Etkisi

4.2.1 Sıcaklığın etkisi

Sıcaklık, malzemelerde genellikle dayanımı azaltıcı yönde etki etmektedir ve sıcaklığın artmasıyla dayanımın da azalması beklenmektedir. Yorulmada sıcaklığın etkisi iki açıdan ele alınabilir. Bunlar, yüksek sıcaklıktaki bir malzemenin yorulması ve sıcaklığın etkisiyle oluşan gerilmelerdir. Sıcaklık altında gerilmelerin malzemenin yorulma dayanımına olan etkisi, malzemeye dışarıdan uygulanan gerilmenin yaratacağı etkiyle neredeyse aynıdır.

Sıcaklığın azalmasıyla;

- Çentiksiz parçaların yorulma mukavemeti artmaktadır.

- Kritik çatlak boyunda azalma meydana gelmektedir ve malzeme daha gevrek hale gelmektedir.
- Düşük sıcaklıklardaki yorulma, daha küçük çatlaklarla oluşmaktadır.

Sıcaklığın artması bazı problemlere sebep olabilir. Bazı malzemelerin yapısında metalurjik değişimler meydana gelebilmektedir.

Sıcaklığın artmasıyla,

- Yorulma dayanım sınırı kaybolmaktadır.
- Isıl gerilmeler meydana gelmektedir.
- Gerilmeler artmaktadır.

Denklem 4.3'te sıcaklığın etkisiyle gerilme değişimi teorik olarak gösterilmektedir.

$$\sigma = \alpha \cdot E \cdot \Delta T \quad (4.3)$$

Burada;

σ : Gerilme

α : Isıl Genleşme Katsayısı

E : Elastisite Modülü

ΔT : Sıcaklık Farkını

göstermektedir.

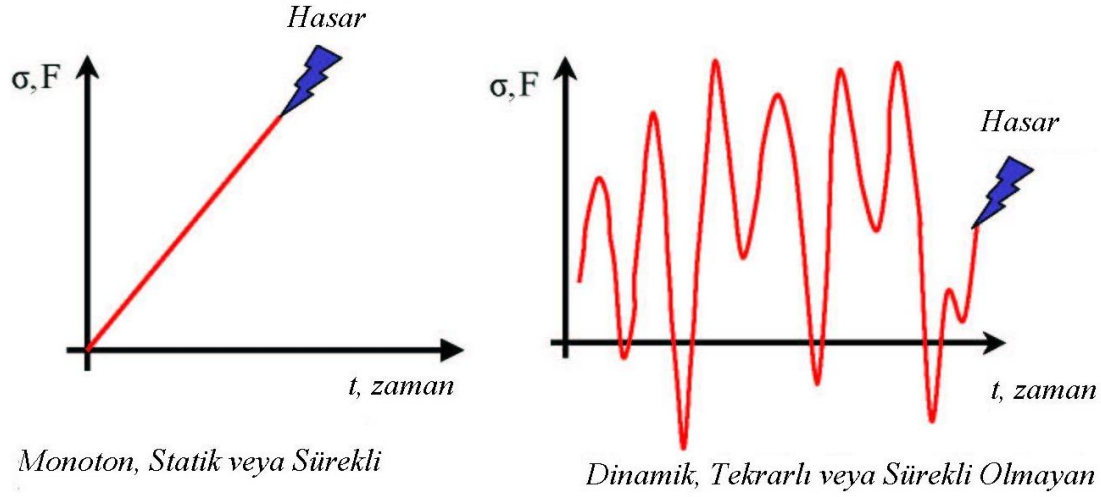
Parçada sıcaklık etkisinin meydana gelmesi için, bir parçanın tamamında sıcaklık değişiminin olması gerekmektedir. Parçanın belirli bir kısmının ısıtılması ya da belirli bir bölgenin soğutulması sonucunda çatlak oluşumu ve ısıl yorulma kırılması meydana gelebilir[21].

4.2.2 Korozyonun ve yüzey temasının etkisi

Korozyonlu yorulma olayında, korozyonun kimyasal etkisi ile yorulmanın mekanik etkisinin aynı anda oluşmaktadır. Malzemenin korozyona uğramasının, beklenildiği üzere yorulma dayanımında azaltıcı bir etkisi bulunmaktadır. Yüzey temasının yorulmaya olan etkisi incelendiğinde ise birbirine sürekli temas etmekte olan yüzeylerde temas yorulmasının meydana geldiği görülmektedir[21].

4.3 Yorulma Ömrü

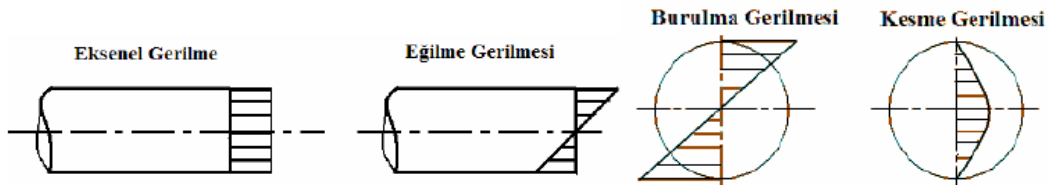
Makine parçalarının tasarımında zorlanma türünün statik veya dinamik zorlanma olması büyük önem taşımaktadır. Statik zorlanmalar dayanıklılık tasarımı olarak adlandırılmaktadır; dinamik zorlanmalar ise ömür tasarımı olarak tanımlanır (Şekil 4.1). Genellikle taşıtlarda meydana gelen zorlanmalar dinamik olmasına rağmen bazı koşullarda statik olarak da yüklenmektedirler[21].



Şekil 4.1 : Zorlanma hikayesi. (a) Dayanıklılık tasarımı. (b) Ömür tasarımı[21].

4.3.1 Statik yüklemeye göre tasarım konsepti (konvansiyonel tasarım)

Yavaş yüklemeye göre gerçekleştirilen tasarımda, kuvvet ve momentler statiktir. Malzeme mekanik dayanım değeri ise akma dayanımıdır. Zorlama türleri (çekme-basma, eğilme, burulma ve kesme zorlaması) ayrı ayrı, kısmen ya da birlikte etki edebilir. Kayma gerilmesi hipotezi (Mohr) ve şekil değiştirme enerjisi hipotezi (von Misses) ile eşdeğer gerilmeler hesaplanır. Şekil 4.2’de konvansiyonel tasarım gösterilmektedir.



Şekil 4.2 : Konvansiyonel tasarım[21].

Eşdeğer bileşke gerilme;

$$\sigma_x = \sigma_z + \sigma_{eğ} \quad (4.4)$$

σ_z : Eksenel Gerilme

$\sigma_{eğ}$: Eğilme Gerilmesi

$$\tau_x = \tau_t + \tau_s \quad (4.5)$$

τ_t : Burulma Gerilmesi

τ_s : Kesme Gerilmesi

denklemleri ile hesaplanmaktadır.

Von Misses,şekil değiştirme hipotezi :

$$\sigma_{eşd} = \pi \sigma_x^2 + 3 \tau_x^2 \quad (4.6)$$

Mohr,kayma gerilmesi hipotezi :

$$\sigma_{eşd} = \pi \sigma_x^2 + 4 \tau_x^2 \quad (4.7)$$

denklemleri ile hesaplanmaktadır[21].

4.3.2 Tekrarlı dinamik yüklemeye göre tasarım kavramı

Tekrar eden dinamik yükleme için yapılan tasarımda yorulma konusundaki gelişmelere bağlı olarak farklı amaçlarla kullanılan üç metod bulunmaktadır.

Bu yöntemler :

a) S-N (Toplam Ömür) Yöntemi

b) Çatlak Başlangıcı

c) Çatlak Gelişimidir [21].

4.3.2.1 S-N (toplam ömür) yöntemi

S-N toplam ömür yöntemi en çok kullanılan yöntemdir. Bu yöntemde genel kesitteki veya lokal bir bölgedeki elastik gerilme değeri toplam ömürle ilişkilendirilmektedir. Toplam  m r yöntemi elastik bölgede kompozitler, plastikler ve demir dışı metallerden yapılmış malzemeler için de kullanılabilir. Bu yöntem ayrıca her türlü rastgele titreşim uyarılı yorulma problemlerinde kullanılabilmektedir[24]. Tez kapsamında yorulma analizleri gerçekleştirilirken S-N toplam ömür yöntemi kullanılmıştır.

4.3.2.2 Çatlak başlangıcı yöntemi

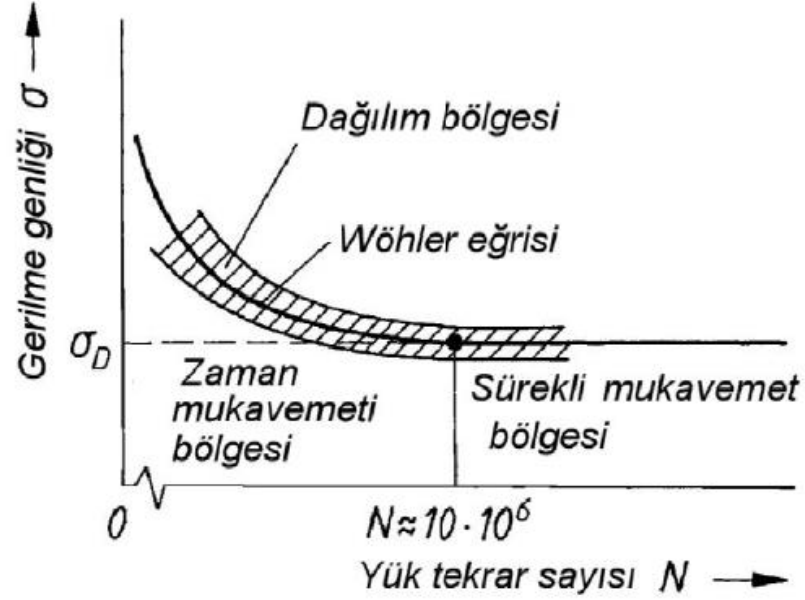
Bu yöntem, emniyet katsayısının çok yüksek olduğu, hata olmasının kesinlikle istenmediği komponentlerin analizinde kullanılmaktadır. Belirli bir yerde çatlağın başlayabileceği ve gelişebileceği durumlarda çatlak başlangıcı yöntemi kullanılabilir. Ayrıca, plastisitenin dominant olduğu, kısa ömür beklenen komponentlerde, yüzey şartlarının ve malzeme etkilerinin farklı olması durumunda bu etkilerin değerlendirilmesinde, gerilme- gerinim davranışı simetrik çevrimli, isotropik sünek malzemelerden oluşan komponentlerde çatlak başlangıcı yöntem uygulanabilmektedir[21].

4.3.2.3 Çatlak gelişimi yöntemi

Çatlak gelişimi yönteminde, gerilme yoğunluğu kullanılarak çatlağın ilerlemesi belirlenmektedir. Bu yöntem; gerilme-gerinim davranışı simetrik çevrimli, isotropik sünek malzemelerden oluşan komponentlerde, kaynaklı bölge gibi önceden çatlağın oluştuğu ya da oluşabileceği düşünülen durumlarda, çatlak başlangıcı olması halinde, çatlak başlangıcından itibaren geri kalan  mr n belirlenmesinde kullanılmaktadır.

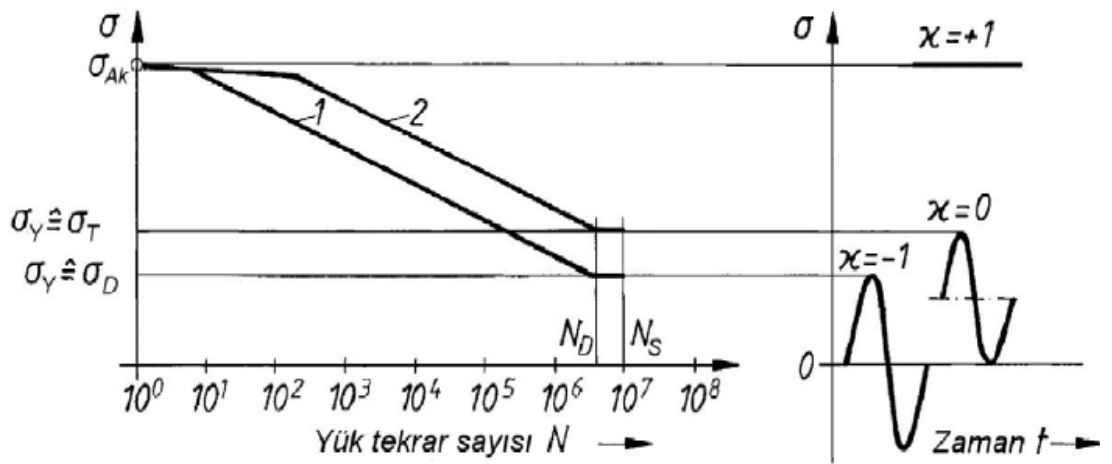
Tekrarlı dinamik yüklemeye maruz kalan yakıt tankı malzemesi de düşünüldüğünde en uygun durum olan S-N toplam ömür yöntemi seçilerek analizler yapılmıştır. Değişken zorlanmanın etkisinde olan parçanın tasarımı ömür esas alınarak yapılmaktadır. 1866 yılında, Wöhler tarafından ilk defa vagon aksları üzerinde değişken yükler altında malzeme davranışı incelenmiştir. Değişken gerilmenin genliğine bağlı olarak parçanın ömrü belirlenmiştir. Wöhler diyagramları kullanılarak, malzemenin kaç  evrim (N_f) sonra  atlayacağı veya kaç çevrimde kırılacağı

belirlenebilmektedir. Ömrü belirleyenin maksimum gerilmeden çok uygulanan gerilme aralığı olduğu belirtilmektedir.



Şekil 4.3 : Wöhler eğrisi[21].

Wöhler eğrisi incelendiğinde (Şekil 4.3), zaman mukavemeti bölgesinde ömür zaman ile sınırlanmaktadır. Şekil 4.3'te gösterildiği üzere σ_D değeri aşılmadığı takdirde malzemenin sonsuz ömre sahip olduğu düşünülmektedir. Bu değere, yorulma sınırı denilmektedir. Şekil 4.4'te, Wöhler eğrisinin logaritmik skalada çizilmiş hali gösterilmektedir.

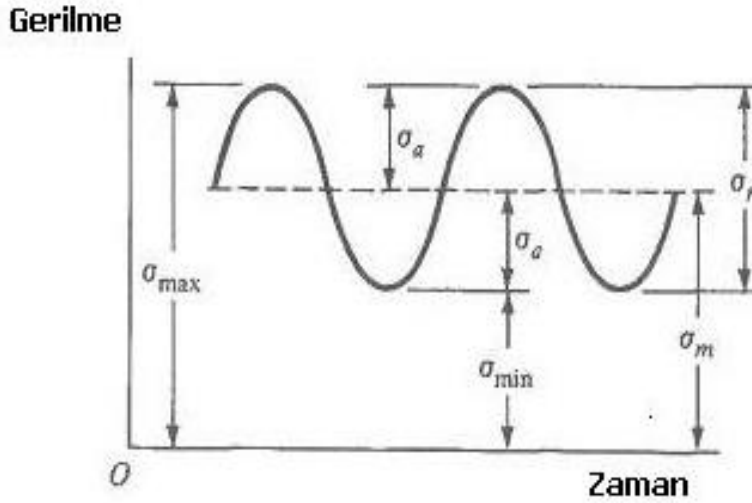


Şekil 4.4 : Logaritmik Wöhler eğrisi[21].

Yorulma eğrisi incelendiğinde, eğrinin iki kısımdan oluştuğu görülmektedir ve eğik olarak inen kısımdaki mukavemet değerlerine ‘zaman mukavemeti’ denilmektedir. Eğrinin yatay kısımindaki değerlere ise ‘sürekli mukavemet sınırı’ denilmektedir. Bu değer altında kalan gerilmeler sonsuz ömür olarak sayılmaktadır ve bu gerilmelerin yorulmaya bir etkisi yoktur[21].

4.3.3 Ön gerilme etkisi

Gerilmelerin en yüksek ve en düşük değerlerinin toplamının yarısı ön gerilme olarak adlandırılmaktadır ve Şekil 4.5’te ortalama gerilmeler gösterilmektedir. Gerilme aralığı, gerilme genliği, ön gerilme, gerilme oranı ve genlik oranı formülleri Denklem 4.8 - Denklem 4.12’de gösterilmiştir.



Şekil 4.5 : Ortalama gerilme[21].

Gerilme Aralığı

$$\sigma_r = \sigma_{max} - \sigma_{min} \quad (4.8)$$

Gerilme Genliği

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \quad (4.9)$$

Ön Gerilme

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \quad (4.10)$$

Gerilme Oranı

$$R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}} \quad (4.11)$$

Genlik Oranı

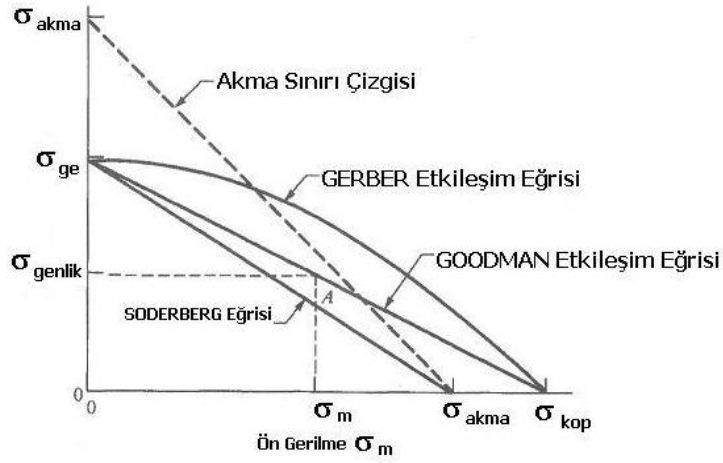
$$A = \frac{\sigma_a}{\sigma_m} \quad (4.12)$$

Minimum (σ_{min}), maksimum (σ_{max}) gerilmeler, maksimum gerilme ile minimum gerilme arasındaki fark olarak tanımlanan gerilme aralığı (σ_r), en yüksek gerilme değeri ile en düşük gerilme değeri arasındaki farkın yarısı alınarak elde edilen gerilme genliği (σ_a) ve minimum ile maksimum gerilmelerin toplamının yarısıyla elde edilen ön gerilme (σ_m) gerilme – zaman grafiği üzerinde gösterilmiştir [21].

4.3.4 Ön gerilme etkileşim eğrileri

Yorulma kontrolü için öncesinde gerçekleştirilen deneysel çalışmalar ile elde edilmiş olan veriler incelendiğinde, yorulma kontrolünün malzeme grupları ve yükleme tarzlarında, sadeleştirilmiş belirli sınırlar içerisinde belirli bir alanda gerçekleştirilebileceği görülmüştür. Malzeme özelliklerine göre bu alanları belirleyen çizgiler farklılık göstermektedirler. Örneğin gevrek malzemelerde doğrusal karakter gösteren bu çizgiler, sünek malzemelerde ise parabolik özellik göstermektedirler. (Şekil 4.6)

Ön gerilme etkisinin önemli olduğu durumlarda Soderbeg, Goodman, Gerber kriterleri kullanılabilir. Bu üç etkileşim eğrisi ve gösterdikleri karakteristik özellikler Şekil 4.6'da gösterilmektedir. Soderbeg, Goodman, Gerber kriterleri için başlangıç noktası σ_{ge} gerilme değeridir. Bu gerilme değeri, malzemenin sürekli mukavemet sınır değeri olarak belirlenmiştir. Bu eğrilerin üstünde kalan bölgeler sonlu ömür bölgesini gösterirken, eğrilerin altında kalan bölgeler ise sonsuz ömür bölgesini göstermektedir[21].



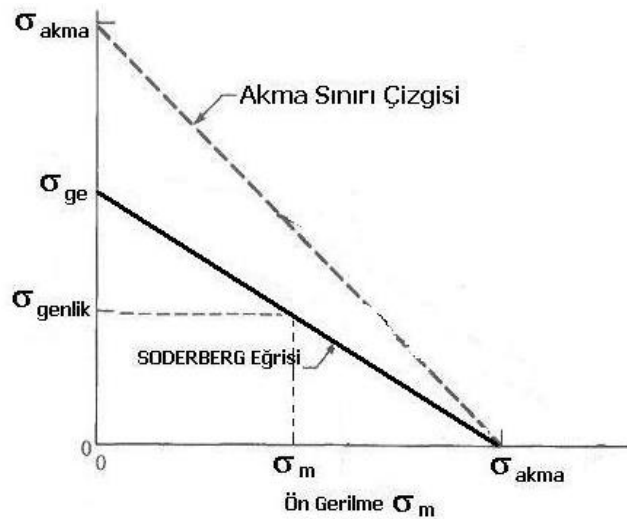
Şekil 4.6 : Soderbeg, Goodman, Gerber kriterleri ön gerilme etkileşim eğrileri[21].

4.3.4.1 GOODMAN - SODERBERG etkileşim eğrisi

Goodman- Soderberg etkileşim eğrisinin yatay ekseninde ortalama gerilme değeri ile statik mukavemet sınırında bulunan mukavemet değeri; dikey ekseninde ise gerilme genliği ve tam değişken gerilme ile elde edilen mukavemet sınırı değeri elde edilmektedir. Bu iki etkileşim eğrisi arasındaki fark incelendiğinde, Goodman doğrusunun gevrek malzemeler için kullanıldığı görülürken, Soderberg doğrusu genellikle sünek malzemeler için kullanılmaktadırlar [21].

SODERBERG etkileşim eğrisi

Soderberg eğrisi (Şekil 4.7), akma sınırı hesaba katılmadığında daha emniyetli bölgededir. Bu kriterde eğri, yatay eksenini akma mukavemeti noktasında kesmektedir.



Şekil 4.7 : SODERBERG etkileşim eğrisi[21].

$$\frac{k_f \sigma_{genlik}}{\sigma_{ge}} + \frac{\sigma_m}{\sigma_{akma}} = 1 \quad (4.13)$$

Bağıntıyı emniyet katsayısı formatında yazarsak:

$$\frac{k_f \sigma_{genlik}}{\sigma_{ge}} + \frac{\sigma_m}{\sigma_{akma}} = \frac{1}{s} \quad (4.14)$$

k_f = Yorulma Çentik Faktörü veya Yorulma Konsantrasyon Faktörü

q = konstrüktif çentik faktörü,

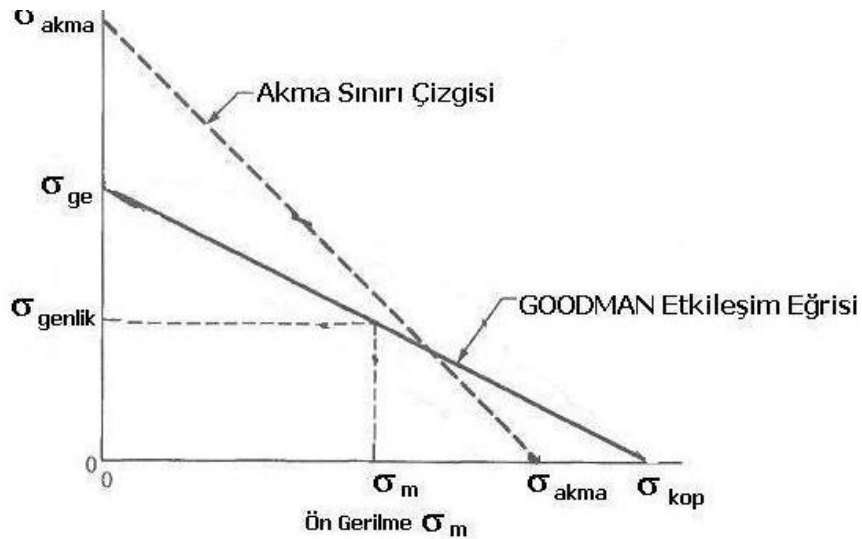
k_t = teorik veya geometrik konsantrasyon faktörü olmak üzere D

enklem 4.15'te gösterilen bağıntı ile hesaplanmaktadır [21].

$$k_f = 1 + q(k_t - 1) \quad (4.15)$$

GOODMAN etkileşim eğrisi

Goodman, Wöhler'in elde etmiş olduğu bulguları inceleyerek ortalama gerilmenin yorulma ömrüne olan etkisi hakkında ampirik bir formül geliştirmiştir. Soderberg eğrisinden farklı olarak akma sınırının bilinmesi halinde ve akmaya kadar izin verilmiş sonsuz ömür istenmesi halinde Şekil 4.8'de gösterilen Goodman eğrisi kullanılmaktadır. Bu eğri, kopma mukavemeti noktasında yatay ekseni kesmektedir [21].



Şekil 4.8 : GOODMAN etkileşim eğrisi[21].

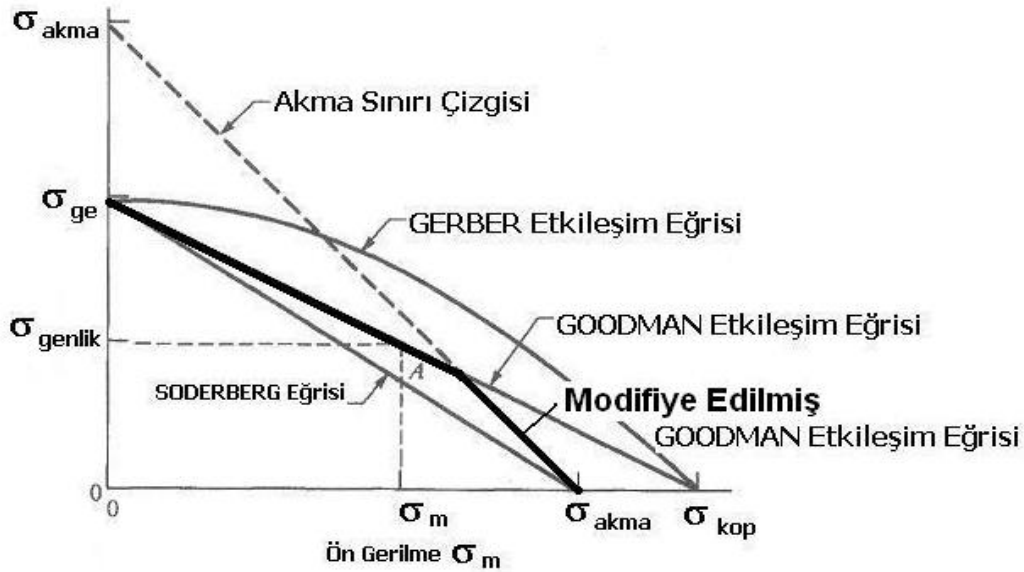
$$\frac{k_f \sigma_{genlik}}{\sigma_{ge}} + \frac{\sigma_m}{\sigma_{akma}} = 1 \quad (4.16)$$

Bağıntı emniyet katsayısı formatında yazıldığında Denklem 4.17'deki hale gelmektedir.

$$\frac{k_f \sigma_{genlik}}{\sigma_{ge}} + \frac{\sigma_m}{\sigma_{akma}} = \frac{1}{s} \quad (4.17)$$

Modifiye edilmiş GOODMAN etkileşim eğrisi

Modifiye edilmiş Goodman eğrisi, Goodman eğrisinin akma sınırı çizgisini kestiği noktadan akma mukavemetine indirilmiş çizgiyle oluşan eğridir. Modifiye edilmiş Goodman etkileşim eğrisi (Şekil 4.9) kopma mukavemetinin bilinmesi durumunda, akma sınırı başlangıcına izin veren sonsuz ömürün belirlenmesinde kullanılmaktadır[21]. Hasar analizi yapılırken modifiye edilmiş Goodman eğrisi kullanılmıştır.



Şekil 4.9 : Modifiye edilmiş GOODMAN etkileşim eğrisi[21].

5. YORULMA ANALİZLERİ

Testlerle elde edilen plastik malzeme özellikleri ve dinamik analizlerle elde edilen gerilmeler ile FEMFAT yorulma analizi paket programı kullanılarak 4/4, 3/4, 2/4 ve 1/4 doluluk oranları olmak üzere 4 farklı doluluk oranı için yorulma analizleri gerçekleştirilmiştir.

5.1 FEMFAT (Finite Element Analysis/ Fatigue)

FEMFAT yazılımı, günümüzde sonlu elemanlar analizlerinde sıklıkla kullanılan programlar ile birlikte çalışarak yorulma analizlerini gerçekleştirebilmektedir. Bu program, tasarım basamaklarının başlarında uzun süren ve maliyetli testler planlanmadan çok daha öncesinde yapıların yorulma ömürleri hakkında güvenilir bilgiler sağlamaktadır. Bu bilgiler ışığında, kritik olarak belirlenen noktalarda iyileştirilmeler yapılmakta ve ağırlığı azaltmak da mümkün olmaktadır. Analizler ve iyileştirilmeler sonucunda elde edilen prototipler daha kaliteli olmaktadır ve bu durum da test sayısını azaltmaktadır. Bu yorulma programı malzeme özellikleri, çentikler, ortalama gerilim, yüzey pürüzlülüğü, sıcaklık alanı, plastisite, mekanik ve/veya kimyasal yüzey işlemleri, parça boyutları, kaynak dikişlerinin özel davranışları, punto kaynaklar, kendinden ayrılmalı perçinler, çok eksenli yüklemeler ve önem arz eden daha birçok etken analizler sırasında hesaba katabilmektedir.

FEMFAT programından elde edilen sonuçlar FE post-processor aracılığı ile veya programın içeriğinde bulunan VISUALIZER modülü vasıtası ile konturlar halinde grafiksel olarak görüntülenebilmektedir. Analiz sonucunda hasar, dayanım güvenlik faktörleri, statik yüklemeler haricinde ayrıca gerilmeler, gerilme oranları ve çok eksenlilik gözlemlenebilmektedir. Ayrıca, oluşturulan çıktı kayıt dosyası ile bütün ilintili malzeme verisi, analiz parametreleri ve aşırı yüklenmiş düğüm noktalarının gerilme tensörleri ile birlikte detaylı yorulma sonuçları da gözlemlenebilmektedir.

FEMFAT programında 14 adet modül vardır. Bu modüllerden FEMFAT Basic, makina bileşenlerinin yorulma ömür/hasarını ve dayanım güvenlik faktörlerini belirlemede kullanılan sonlu elemanlar tabanlı yazılımdır ve bu modül kapsamlı sonlu elemanlar arayüzleri ile malzeme veritabanlarını içermektedir. Diğer bir modül FEMFAT Plast; lokal plastik deformasyonların olması halinde ortalama gerilmenin yeni dağılımının yorulma ömrü üzerindeki etkilerini hesaba katmaktadır. FEMFAT Max modülünde, gerilme durumlarının serilerinin veya yüklemelerin zaman tarihçesini kullanarak çok eksenli yüklenmiş makine bileşenlerinin yorulma analizleri gerçekleştirilmektedir. FEMFAT Weld modülünde, çentik gerilme yöntemi ile DIN 15018, EUROCODE 3 ve 9, BS 7608, IIW gibi standartları kullanılarak çelik ve alüminyum kaynak dikişlerinin yorulma analizleri gerçekleştirilmektedir. FEMFAT Spot modülü ise sonlu elemanlar kabuk yapılarda kullanılan punto kaynaklarının yorulma davranışını öngermeye yaramaktadır. FEMFAT Break, statik güvenlik faktörlerini belirlemek için kullanılan yazılım modülü iken FEMFAT Strain modülünde ölçülen gerilmelerden hasar değerlendirmesi yapılabilmekte ve sonlu elemanlar metodu ile testlerden elde edilen gerilmeler kıyaslanabilmektedir. FEMFAT Visualizer ile gerilme dağılımlarının animasyonlarını yapılabilmektedir. Ayrıca sonlu elemanlar modeli, yorulma sonuçları ve girilen (import) gerilmeleri görüntüleyebilmek için kullanılan hızlı, üç boyutlu bir post-processordür. FEMFAT Heat ise silindir kafaları veya egzoz manifoldları gibi termomekanik yorulmaya maruz kalan makina bileşenlerinin düşük çevrim yorulma analizlerini yapmada kullanılan modüldür. FEMFAT Fedis düğüm-noktasal eşleme gibi daha detaylı gerilme analizlerinde kullanılan bir sonlu elemanlar aracıdır. Diğer bir modül olan FEMFAT EHD modülünde rulman kaideli veya kaidesiz Elasto Hidro Dinamik sürtünmeli rulman analizi yapılabilmektedir. FEMFAT NVH ile akustik analizler hazırlanmakta ve ayrıca değerlendirilmektedir. Bu modül ile yüzey gürültüleri hesaplanabilmekte ve Campbell diyagramlarının görüntülenebilmesi mümkün olabilmektedir. FEMFAT Lab modülü ise ölçüm verilerinin işlenmesinde, test tezgahı kontrolünde ve sanal iterasyonlar için kullanılmakta olan modüldür. FEMFAT Calsa çoklu yük kombinasyonlarını analiz etmek ve mümkün olan en düşük dayanım güvenlik faktörleri ile birlikte çıktıları alabilmek için FEMFAT Basic modülüne otomatik olarak çalışma dosyaları oluşturmaya yarayan araçtır. Bu tez kapsamında yorulma analizlerini gerçekleştirmek için FEMFAT Channel Max modülü kullanılmıştır[22].

5.2 Yorulma Analizi Adımları

Şekil 5.1’de görülen yakıt tankı modelinde yaklaşık olarak 15735 düğüm noktası ve 16042 eleman bulunmaktadır. Yakıt tankı 1. Derece kabuk (shell) elemanlarla modellenmiştir. Tüm analizlerde FEMFAT programı kullanılmıştır.



Şekil 5.1 : Yakıt tankı sonlu elemanlar modeli.

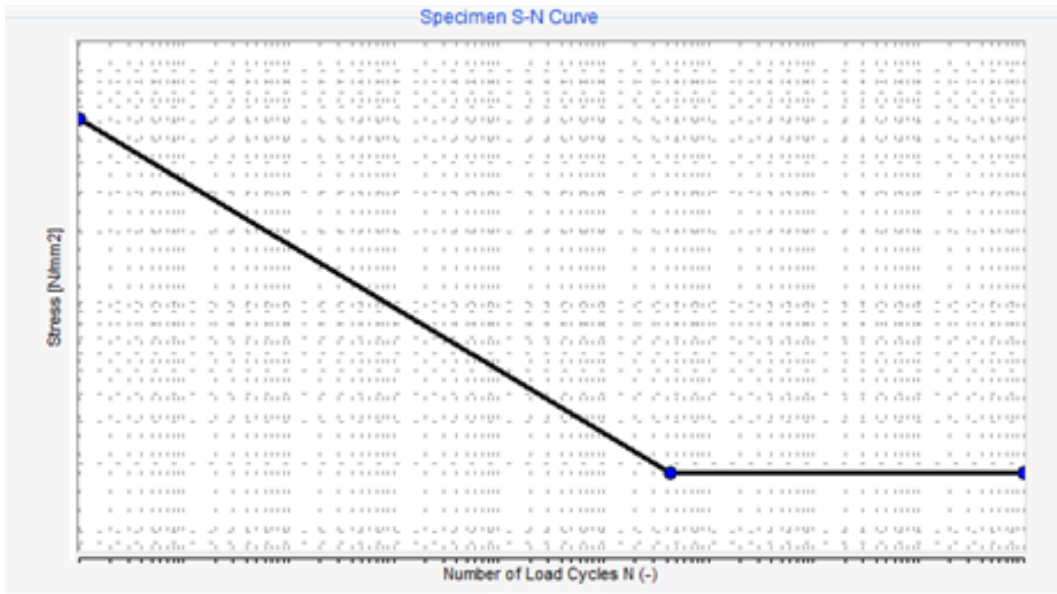
5.2.1 Statik ve dinamik analizler ile gerilmelerin elde edilmesi

San-tez projesi kapsamında amaç; çelik yakıt tanklarından plastik yakıt tanklarına geçiş sürecinde, yakıt tankı tasarım aşamasında iken tasarıma yön verecek bir analiz yönteminin geliştirilmesidir. Bu amaca yönelik olarak statik ve dinamik analizler için bir analiz yöntemi geliştirilmiştir. Bu kapsamda kütle-yay modelleri, katı-sıvı etkileşimi ve akustik modelleme yöntemleri incelenmiş ve Mercedes Benz Türk A.Ş yazılımları da göz önünde bulundurularak akustik modelleme yöntemi seçilmiştir. Catia kütüphanesinden alınan model, Medina programı kullanılarak modellenmiştir. Akustik analiz metodu ile yakıt modellenmiştir ve dinamik analizler için ‘modal transient analiz’ metodu kullanılmıştır. Bu yöntem ile sistemin doğal frekansları ve bunlara karşılık gelen modlar elde edilmiştir. Mercedes Benz Türk A.Ş’nin kullanmakta olduğu; dönüş, kasis, arnavut kaldırımlı yolda sürüş, frenleme ve hızlanma gibi yol koşullarını içeren bir pist kullanılarak kötü yol ivme verileri elde edilmiştir[14] ve bu veriler ile zorlanan sistemde deplasman ve gerilmeye olan katılımları bulunmuştur. Permas programı kullanılarak dinamik analizler gerçekleştirilmiş ve tankta oluşan gerilmeler ve gerilme RMS değerleri elde edilmiştir. Bu gerilme değerleri FEMFAT programına girilerek yorulma analizi gerçekleştirilmiştir.

5.2.2 Malzeme dosyasının oluşturulması

Analizlerde S-N toplam ömür yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, yorulma analizinde en çok kullanılan yöntemdir. Bu yöntemde genel kesitteki veya lokal bir bölgedeki elastik gerilme değeri toplam ömürle ilişkilendirilmektedir. Toplam ömür yöntemi elastik bölgede kompozitler, plastikler ve demir dışı metallere yapılmış malzemeler için de kullanılabilir. Bu yöntem ayrıca her türlü rastgele titreşim uyarılı yorulma problemlerinde kullanılabilir.

Malzeme testleri ile elde edilen çekme, basma, eğilme test sonuçları ve S-N eğrisi için gerekli veriler kullanılarak FEMFAT programında polietilen malzeme için bir malzeme dosyası oluşturulmuştur. S-N eğrisi için FEMFAT programına sonsuz ömür limiti (endurance cycle limit), S-N eğrisinin eğimi, sonsuz mukavemet değeri ve kırılmama olasılığı (survival probability) değerleri kullanılarak $R = -1$ için Şekil 5.2’de görülen lineer S-N eğrisi elde edilmiştir.

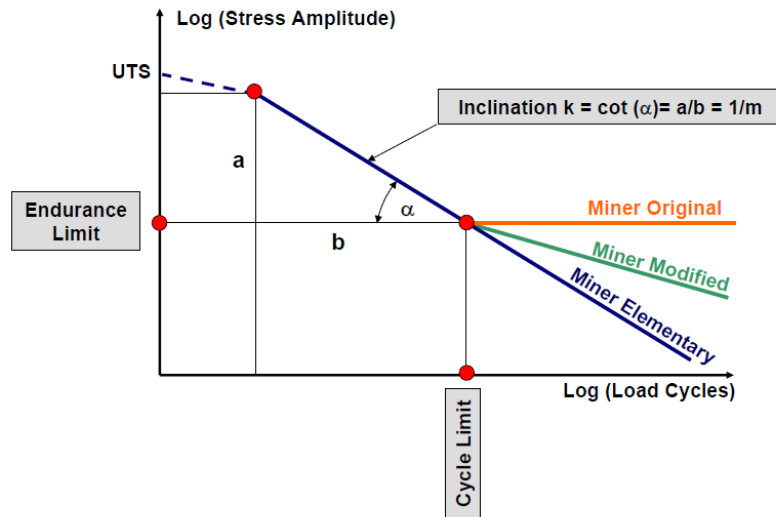


Şekil 5.2 : FEMFAT programı S-N eğrisi.

Programaya girilen veriler doğrultusunda FEMFAT analiz programı logaritmik skalada S-N eğrisi oluşturmaktadır. Çizelge 5.1’de deplasman, birim uzama, gerilme, çevrim sayısı ve gerilme ile çevrim sayısı değerlerinin logaritmaları alınmış hali normalize edilerek gösterilmektedir. Bu yorulma testi sonuçlarından gerilme ve çevrim değerlerinin logaritmaları alınarak S-N eğrisinin eğimi Denklem 5.1 kullanılarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.1: Yorulma testi sonuçları.

Deplasman	Birim Uzama	Gerilme	Çevrim	Log(S)	Log(N)
8	1	0,986688	0,000919	0,994597	0,542954
8	0,876923	0,989116	0,000803	0,995588	0,534161
8	0,880769	1	0,000834	1	0,536642
5	0,536538	0,749288	0,002618	0,883627	0,611412
5	0,535	0,743135	0,01227	0,880302	0,712371
5	0,530769	0,711654	0,003748	0,86285	0,634863
2,5	0,241538	0,416946	0,041557	0,647291	0,792107
2,5	0,241538	0,416946	0,001893	0,647291	0,590197
2,5	0,241538	0,416946	0,031688	0,647291	0,774386
2,5	0,241538	0,416946	0,062259	0,647291	0,818528
1	0,084742	0,147321	1	0,227836	1



Şekil 5.3 : S-N eğrisi tanımı[23].

$$\frac{1}{m} = \frac{\ln(N_{11}) - \ln(N_1)}{\ln(S_{11}) - \ln(S_1)} \quad (5.1)$$

Şekil 5.3'te tanımlanan eğim ve Denklem 5.2 kullanılarak S-N eğrisi eğimi hesaplanmıştır.

$$k = \cot(\alpha) = \frac{1}{m} \quad (5.2)$$

Burada,

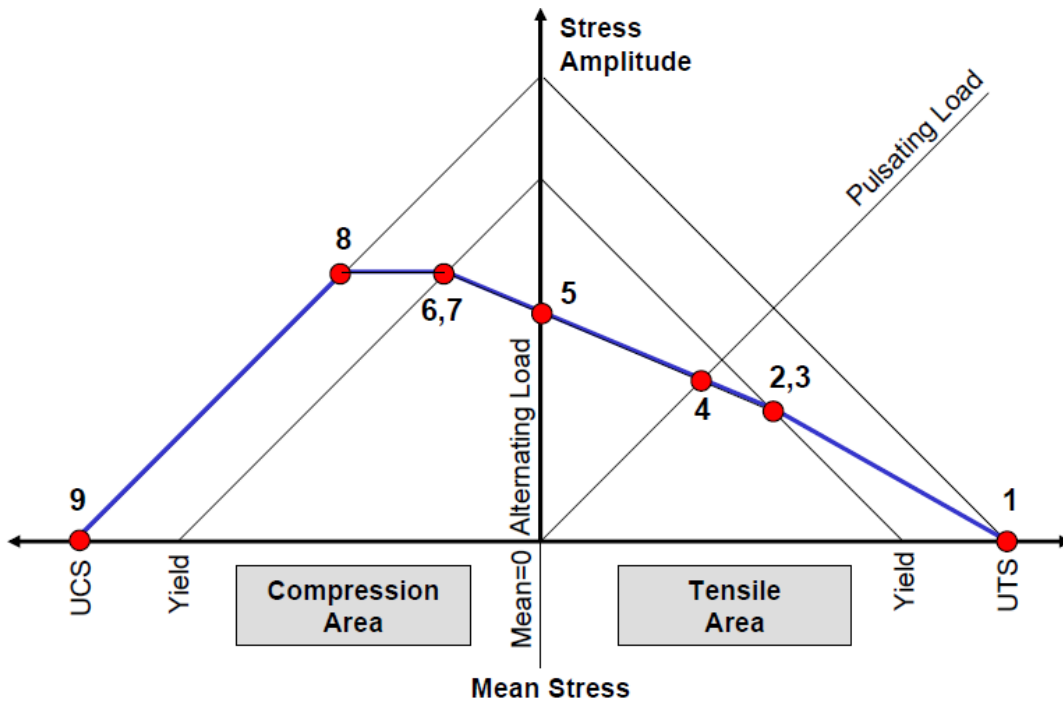
m = eğim

N = çevrim sayısı

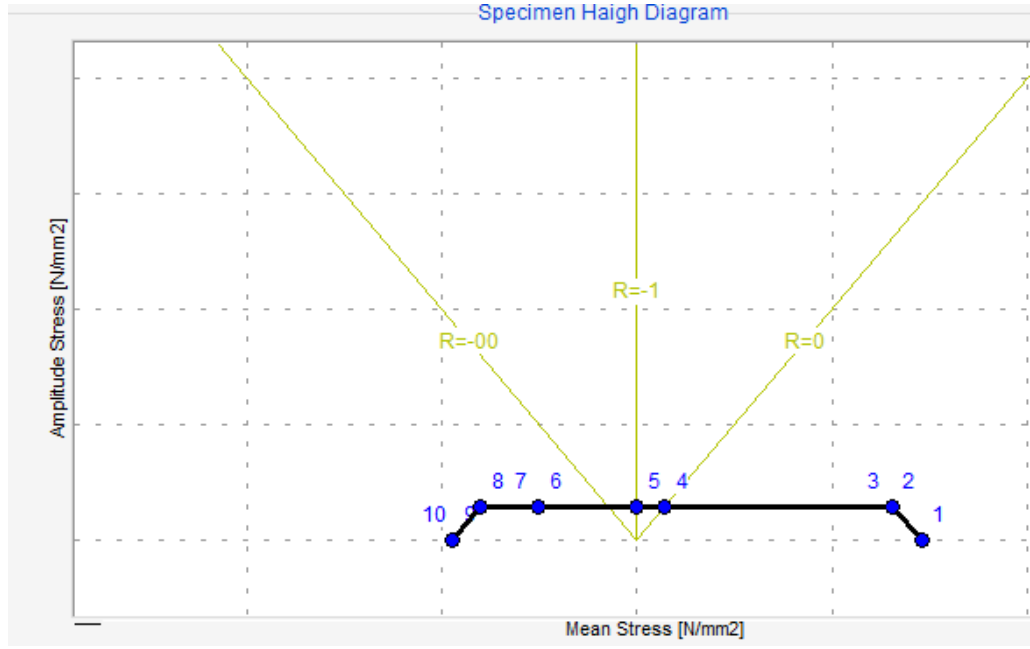
S = gerilme değerlerini göstermektedir.

5.2.3 Haigh diyagramı

Şekil 5.4'te Haigh diyagramının elde edilmesi gösterilmektedir. Çekme ve basma bölgelerinden oluşan diyagramda malzeme testleriyle elde edilmiş olan çekme dayanımı, akma dayanımı; basma dayanımı ve basma akma dayanımı verileri girilerek diyagram FEMFAT programında Şekil 5.5'te görüldüğü üzere elde edilmiştir.



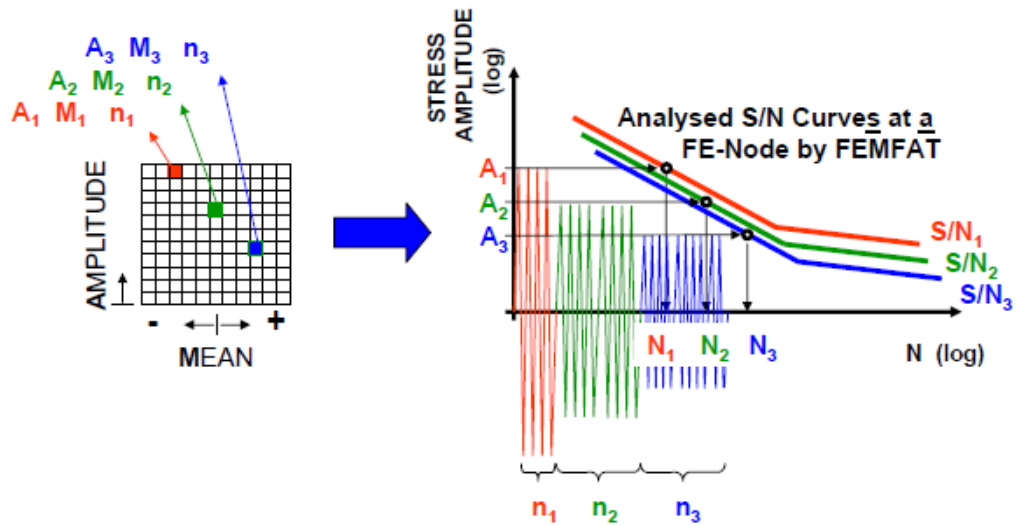
Şekil 5.4 : Haigh diyagramı çizimi [23].



Şekil 5.5 : FEMFAT Haigh diyagramı.

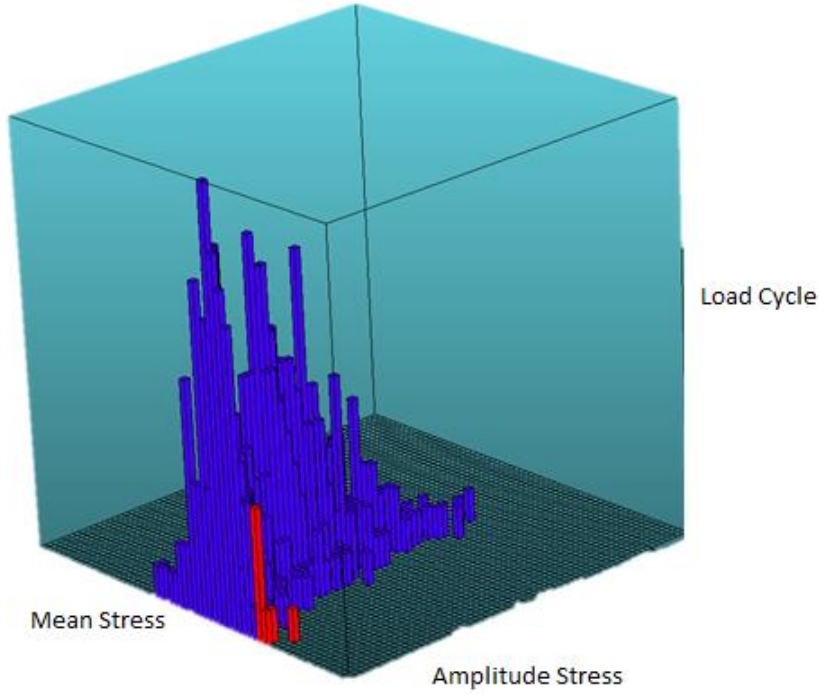
5.2.4 Yağmur akış dönüşümü

San-tez projesi kapsamında dinamik analizler gerçekleştirilmiş, kötü yol ivme verileri kullanılarak modal transient analiz yapılmış ve RMS değerleri elde edilmiştir. Yorulma analizleri gerçekleştirilirken bu gerilme değerleri kullanılmıştır. Değişken genlik, farklı tekrar sayılarındaki karmaşık yüklemeyi basit yüklemelere indirmek için yağmur akış döngüsü kullanılmaktadır. Rainflow karmaşık bir yüklemeyi genlik-ortalama-tekrar matrisine dönüştürmektedir. Şekil 5.6'da FEMFAT programında yağmur akışın (rainflow) gerçekleştirilmesi gösterilmektedir.



Şekil 5.6 : Yağmur akış döngüsü [23].

Şekil 5.7 'de ise yakıt tankının tam dolu durumu için 7 mm kalınlığındaki tankın yağmur akış döngüleri gösterilmektedir.



Şekil 5.7 : Tam dolu durum için yağmur akış döngüsü.

5.2.5 7 mm kalınlığındaki yakıt tankı için yorulma analizleri

7 mm tank için dinamik analiz sonuçları incelendiğinde en yüksek von Mises gerilme değerleri ve RMS değerlerinin tam dolu durum için olduğu görülmektedir. Yapılan yorulma analizleri sonucunda da tam dolu durum, en kritik durum olarak görülmektedir. Palmgren Miner yöntemi hasarları toplamaktadır. Toplam hasar 1 olduğunda parça kırılmış demektir.

Palmgren Miner - Ömür Analizi ;

$$d_i = \frac{n_i}{N_i} \quad (5.3)$$

Toplam Ömür:

$$D = \sum d_i = d_1 + d_2 + d_3 + \dots + d_n \quad (5.4)$$

$d_{\text{toplam}} = 1$ kırık başlangıcı

N_i : Uygulan i. gerilme için kırılmaya neden olan çevrim sayısı (S-N eğrisinden alınacak)

n_i : Uygulunan i. gerilmenin çevrim sayısı

d_i : i. çevrimdeki hasar

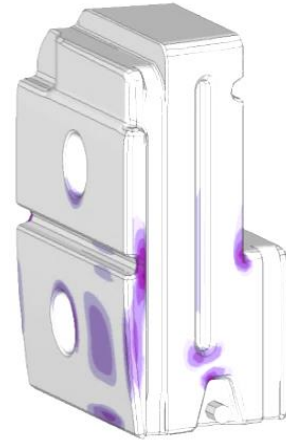
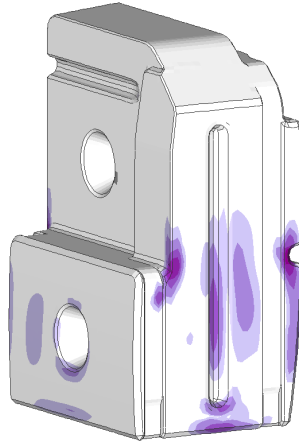
Şekil 5.3’de 7mm kalınlığındaki tank için farklı doluluk oranlarındaki hasar (damage) analizi sonuçları ön ve arka yüzeyler için gösterilmektedir. Şekil 5.3’te dinamik analiz sonuçlarına paralel olarak doluluk oranı azaldıkça tank üzerinde oluşan hasarın da azaldığı görülmektedir.

**Doluluk
Oranı**

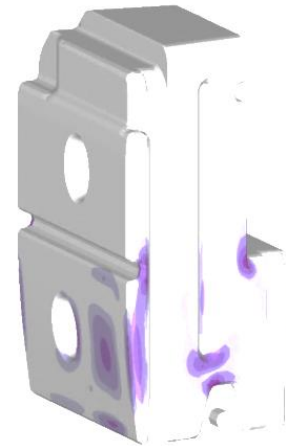
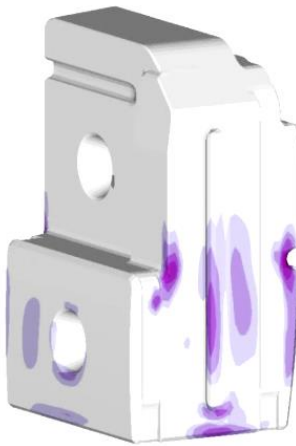
Önden Görünüm

Arkadan Görünüm

4/4

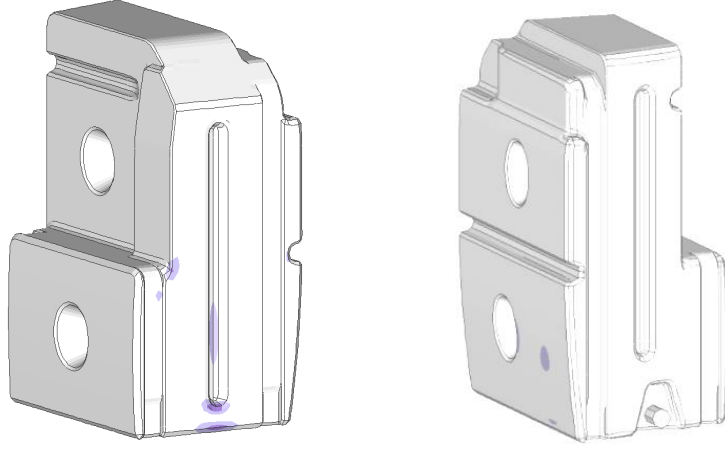


3/4

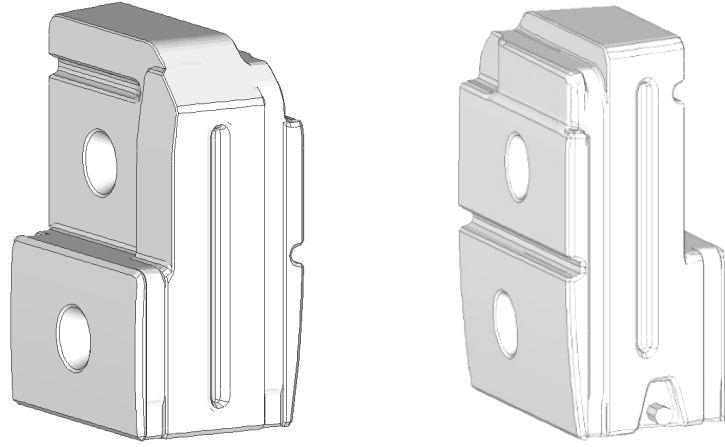


Şekil 5.8 : 1 çevrim için farklı doluluklarda hasar analizlerinin karşılaştırılması.

2/4



1/4



Şekil 5.8(devam): 1 çevrim için farklı doluluklarda hasar analizlerinin karşılaştırılması.

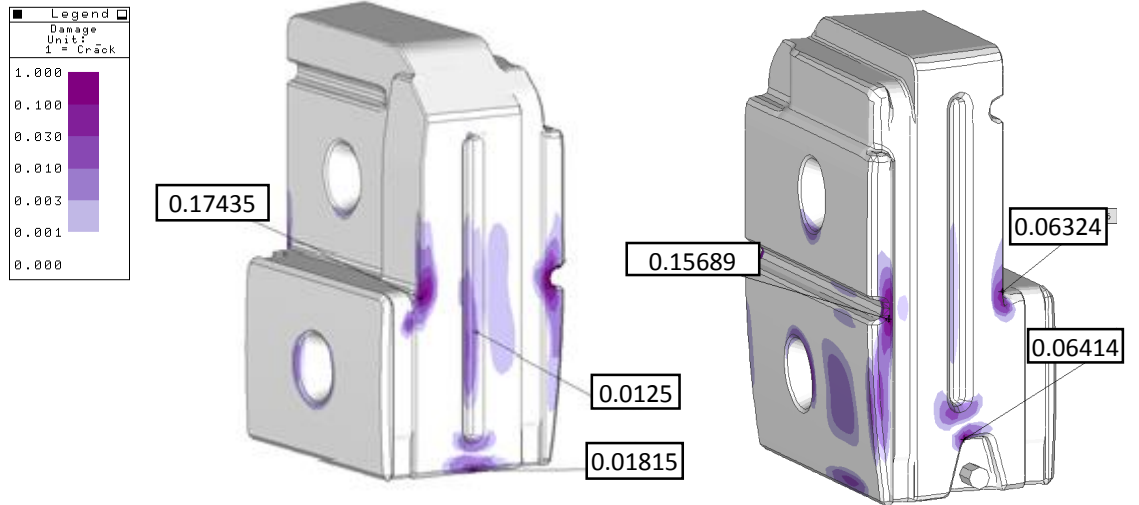
Her bir doluluk oranı için Mercedes Benz Türk test ekibinin kullandığı çevrim sayıları kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. 4/4 doluluk oranı için bu değer diğer doluluk oranlarının 2 katı olarak alınmıştır. Hem analizlerde hem testlerde aynı kötü yol verisi kullanılmıştır. Yorulma analizleri her bir doluluk oranı için kötü yol verisinin uygulanmasıyla gerçekleştirilmiş ve 1 teste karşılık gelen hasar hesaplanmıştır. Toplam hasar Mercedes Benz Türk test ekibinin kullandığı sarsma tablası test sayısı ile çarpılarak bulunmuştur. Şekil 5.9’da Mercedes Benz Türk A.Ş. Ar-Ge Merkezi Otobüs Geliştirme Test Kısımında bulunan titreşim tablasının fotoğrafı görülmektedir. 6 eksenli olan bu sarsma tablası, 3 adet dikey, 2 adet uzunlamasına, 1 adet boylamasına konumlandırılmış, toplam 6 adet hidrolik piston ile tahrik edilmektedir. Bu titreşim tablası sistemi kullanılarak tankların yorulma testleri gerçekleştirilmektedir[14].



Şekil 5.9 : Mercedes Benz Türk A.Ş. - titreşim tablası[14].

5.2.5.1 Tam dolu tank için yorulma analizleri

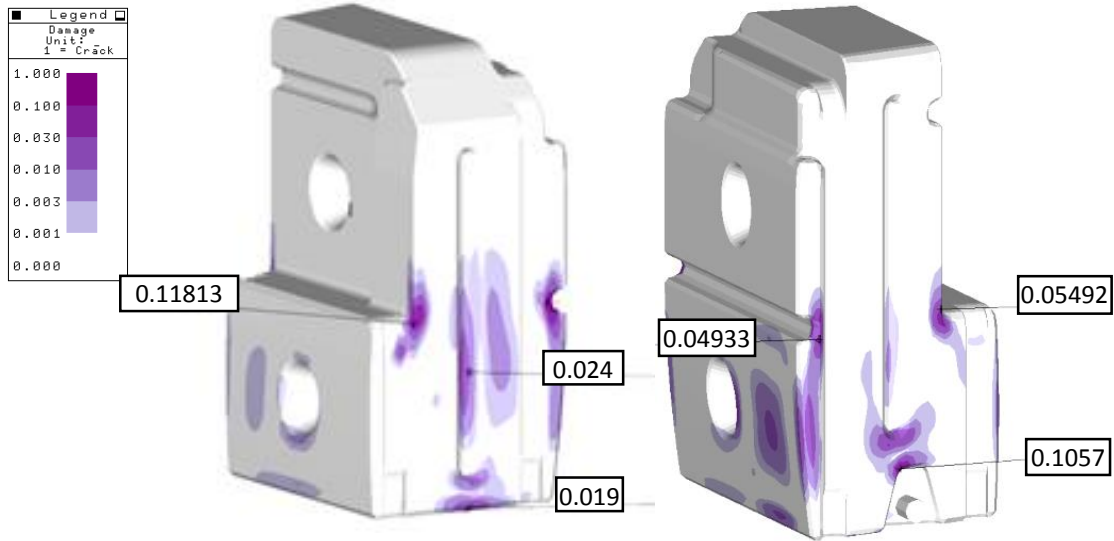
Şekil 5.10'da yakıt tankının tam dolu durumu için 1 çevrim analizi sonucunda elde edilen hasar analizi sonuçları gösterilmektedir. Tasarımda kıvrımların olduğu bölgelerde beklenildiği üzere hasar meydana gelme olasılığı daha fazladır. Yakıt tankları üretiminde döner kalıpla üretim yöntemi kullanılmaktadır. Bu üretim yönteminde kıvrım olan bölgelerde malzeme yığılması gerçekleşmektedir ve bu kısımlarda kalınlık daha fazladır. Sarsma tablası test sonuçları incelendiğinde kıvrım bölgelerinde dayanımın fazla olduğu görülmüştür. Bu sonuç doğrultusunda yakıt tankı hasar analizleri incelenirken ön bölge dikkate alınmıştır. Tam dolu durum için 1 çevrimde 0.0125 değerinde hasar meydana gelmiştir.



Şekil 5.10 : Tam dolu durum 1 çevrim için hasar analizi.

5.2.5.2 3/4 dolu tank için yorulma analizleri

Şekil 5.11’de 3/4 doluluk için yakıt tankının ön ve arka yüzeylerindeki hasar analizleri sonuçları gösterilmektedir. Tam dolu duruma göre değerlerde azalma olduğu görülmektedir. Yakıt tankında meydana gelen çalkantı tam dolu durum ve 3/4 doluluk durumunda daha fazladır ve bunun sonucu olarak bu iki doluluk oranı kritik durum olarak karşımıza çıkmaktadır. Analiz sonuçları tam dolu durum ve 3/4 dolu duruma göre incelenmiştir.

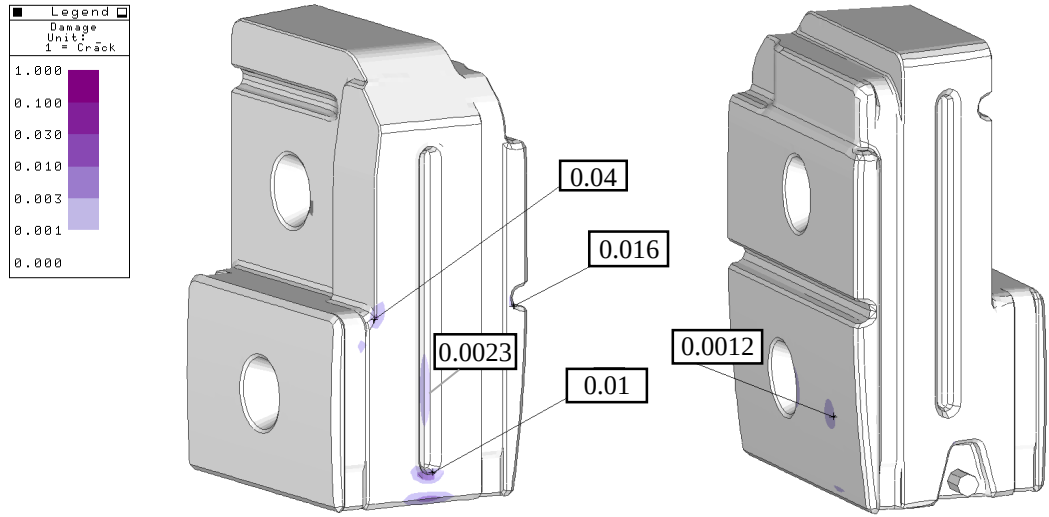


Şekil 5.11 : 3/4 doluluk oranında 1 çevrim için hasar analizi.

5.2.5.3 2/4 dolu tank için yorulma analizleri

7 mm kalınlığındaki tank için 2/4 doluluk oranında gerçekleştirilen yorulma analizinin sonuçları incelendiğinde 1 çevrim sayısı için hasar değerlerinde azalmanın meydana geldiği görülmektedir. Yarı dolu durumun hasara katkısı son derece azdır. Şekil 5.12’de 2/4 doluluk durumu için 1 çevrim sonundaki hasar analizi sonuçları görülmektedir.

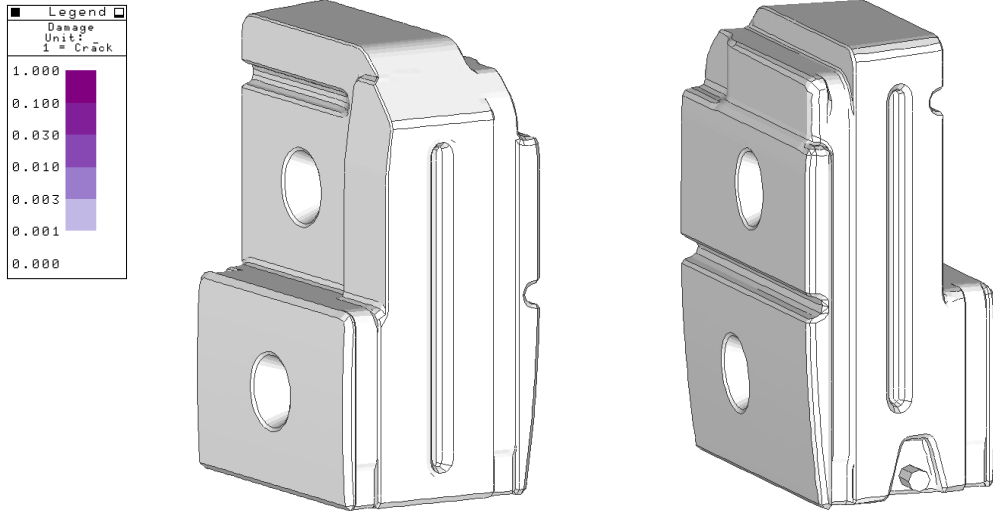
Doluluk oranının azalmasıyla dinamik analizlerle elde edilmiş olan gerilme değerlerinde de azalma görülmektedir. Bu duruma paralel olarak yarı dolu durumun hasara olan katkısının son derece az olduğu yapılan yorulma analizleri sonucunda da bulunmuştur.



Şekil 5.12 : 2/4 doluluk oranında 1 çevrim için hasar analizi.

5.2.5.4 1/4 dolu tank için yorulma analizleri

Doluluk oranı azaldıkça meydana gelen hasar da azalmaktadır. Şekil 5.13'te görüldüğü üzere 1/4 dolu durumun hasara katkısı yok denecek kadar azdır.



Şekil 5.13 : 1/4 doluluk oranında 1 çevrim için hasar analizi.

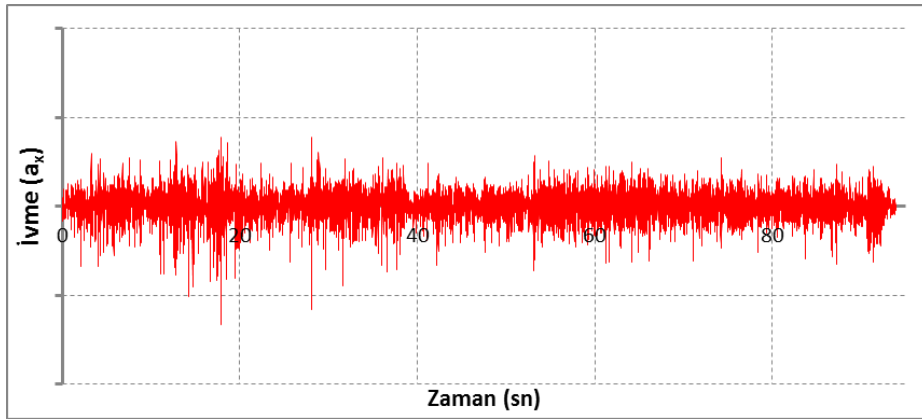
Çizelge 5.2'de yakıt tankının tam dolu durumu, 3/4 dolu durumu, yarı dolu durumu ve çeyrek dolu durumu için 1 çevrim sonucunda elde edilen hasar değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 5.2: 7 mm kalınlığındaki tank için farklı doluluk oranlarındaki 1 çevrim için hasar değerleri.

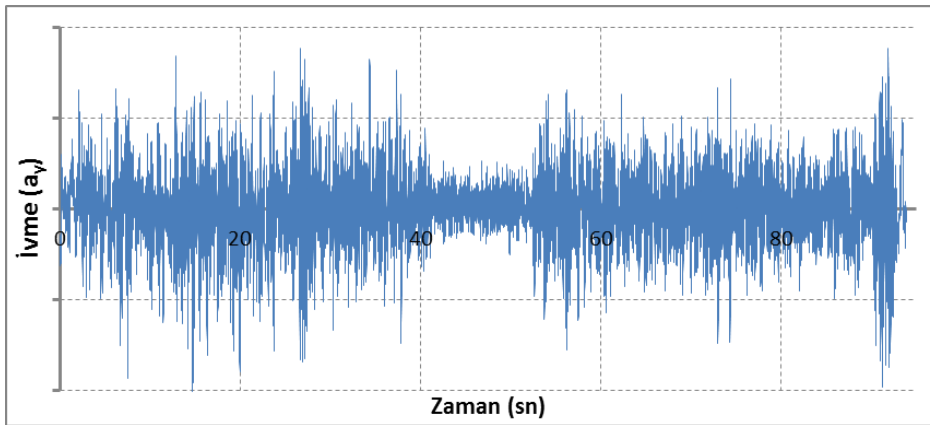
Doluluk Oranları	Hasar Değerleri	Çevrim Sayıları
1/4	0	X
2/4	0.0023	X
3/4	0.024	X
4/4	0.0125	2X

Her bir testin (kötü yol verisinin) karşılık geldiği kilometre yol mesafesi ve sarsma tablası test sayısı firma bilgisi olduğu için paylaşılmamıştır. 4/4 doluluk oranındaki sarsma tablası test sayısı, diğer doluluk oranlarının iki katı değerindedir.

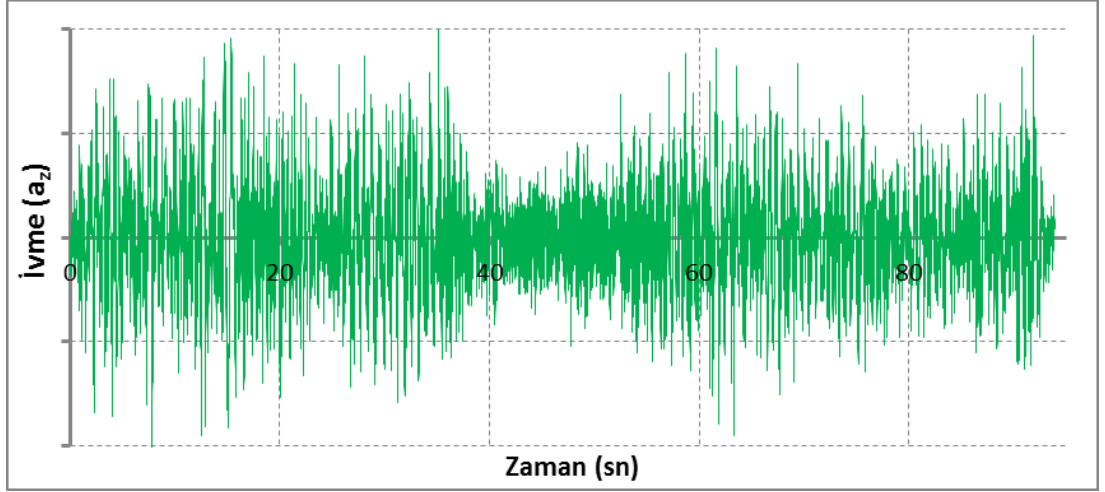
Titreşim tablası testlerinde kullanılan ivme-zaman sinyalinin Şekil 5.14'te x yönü, Şekil 5.15'de y yönü, Şekil 5.16'da da z yönü gösterilmiştir[14].



Şekil 5.14 : Test sinyali x eksenini (a_x - zaman)[14].



Şekil 5.15 : Test sinyali y eksenini (a_y - zaman)[14].



Şekil 5.16 : Test sinyali z eksen (a_z - zaman)[14].

Üç şekilde gösterilen ivme verileri kullanılarak dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Aynı şekilde yorulma analizleri gerçekleştirilirken de kötü yoldan toplanmış olan bu ivme verileri kullanılarak sarsma tablasında yorulma testleri gerçekleştirilmektedir.

6. SONUÇLAR

6.1 Optimizasyonu Yapılmış Yakıt Tankının Yorulma Analizleri

7 mm kalınlığındaki tankın San-tez projesi kapsamında gerçekleştirilen tüm statik, dinamik ve yorulma analizi sonuçları incelenerek tank üzerinde iyileştirme çalışmaları yapılmıştır. Tank üzerinde öncelikle kalınlık artırımına gidilerek 7 mm kalınlığındaki tank, önce 8 mm sonrasında 9 mm kalınlığa artırılmıştır. Kalınlığın artırılmasıyla gerilmelerin azaltılması ve tank dayanımının artırılması hedeflenmiştir. Tez kapsamında 9 mm kalınlığındaki tankın farklı doluluk oranları için yorulma analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizler sonucunda daha dayanıklı bir tank elde edilmiş ancak kalınlık artırımının yeterli olmadığına karar verilmiştir. Bunun sonucu olarak geometrik optimizasyon gerekliliğine karar verilmiştir. Tez kapsamında tam dolu durum için geometrik optimizasyonu yapılmış tank incelenmiştir.

6.1.1 9 mm Kalınlığındaki Tankın Yorulma Analizleri

Optimizasyon aşamasının ilk adımı olarak yakıt tankı kalınlığı 7 mm ‘den 9 mm kalınlığa artırılmıştır. Kalınlığın artırılmasıyla gerilme değerlerinde azalma olması beklenmektedir. Bunun sonucunda daha dayanıklı bir yakıt tankı elde etmek hedeflenmiştir.

7mm kalınlığındaki tank ile gerçekleştirilen yorulma analizleri 9 mm kalınlığındaki tank için tekrarlanmıştır. 9 mm kalınlığındaki tank için farklı doluluk oranlarındaki (4/4 dolu, 3/4 dolu, 2/4 dolu ve 1/4 dolu) 1 teste karşılık gelen hasar analizi sonuçları Şekil 6.1’de gösterilmektedir.

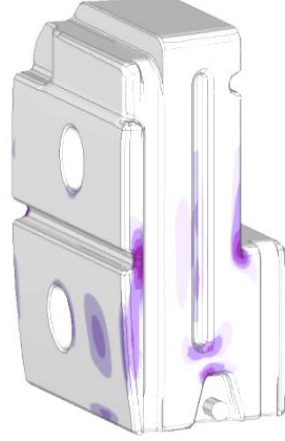
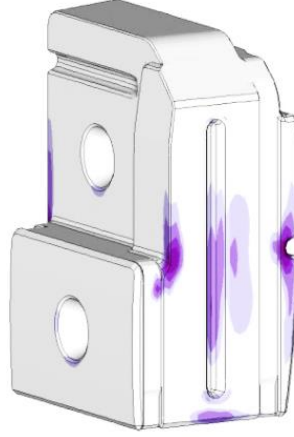
Doluluk oranı azaldıkça meydana gelen hasarın azaldığı görülmektedir. Her bir doluluk durumu için hasar analizi gerçekleştirilmiş ve bu analizler alt başlıklarda yakıt tankının önden ve arkadan görünümüne ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Doluluk Oranı

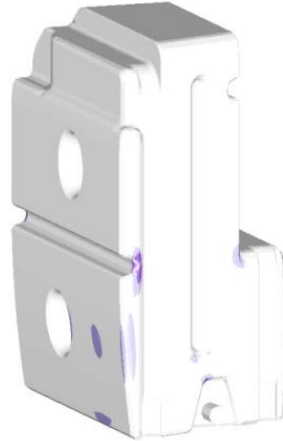
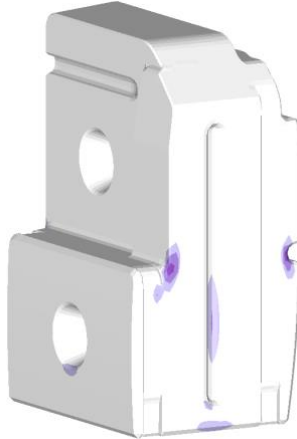
Önden Görünüm

Arkadan Görünüm

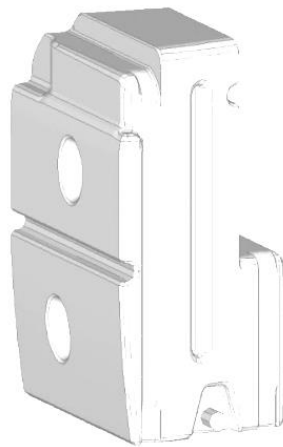
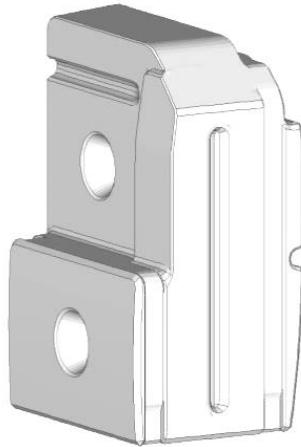
4/4



3/4

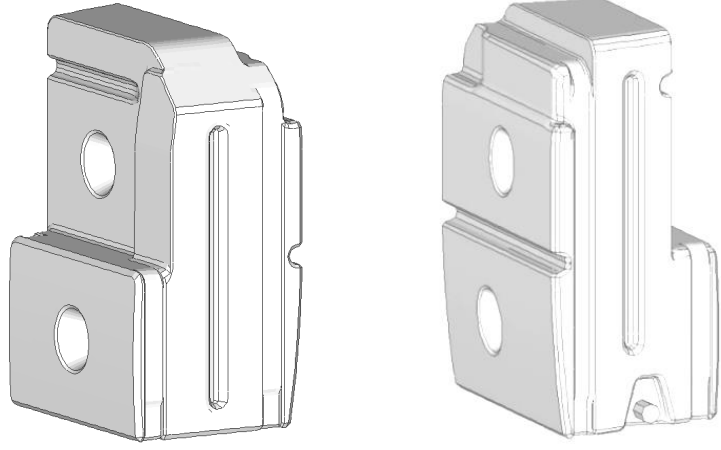


2/4



Şekil 6.1: Farklı doluluklarda 9mm kalınlığındaki yakıt tankı için 1 çevrimdeki hasar analizlerinin karşılaştırılması.

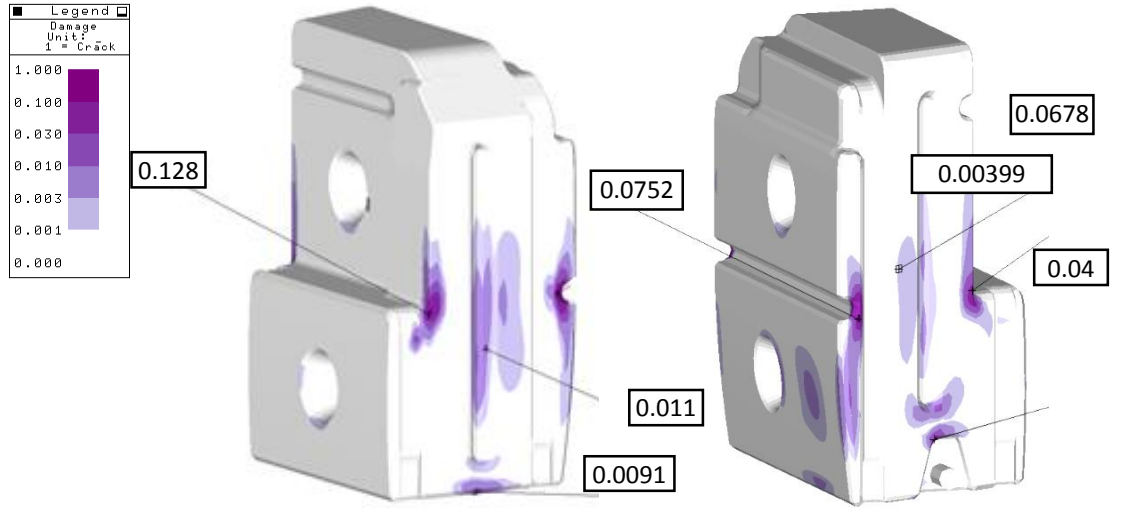
1/4



Şekil 6.1 (devam): Farklı doluluklarda 9mm kalınlığındaki yakıt tankı için 1 çevrimdeki hasar analizlerinin karşılaştırılması.

6.1.2 9 mm kalınlığa sahip tank için tam dolu durumda yorulma analizi sonuçları

Şekil 6.2’de optimizasyonu yapılarak kalınlığı 9 mm’ye artırılmış yakıt tankının tam dolu durumu için 1 çevrim sonucunda elde edilen hasar analizi sonuçları görülmektedir.



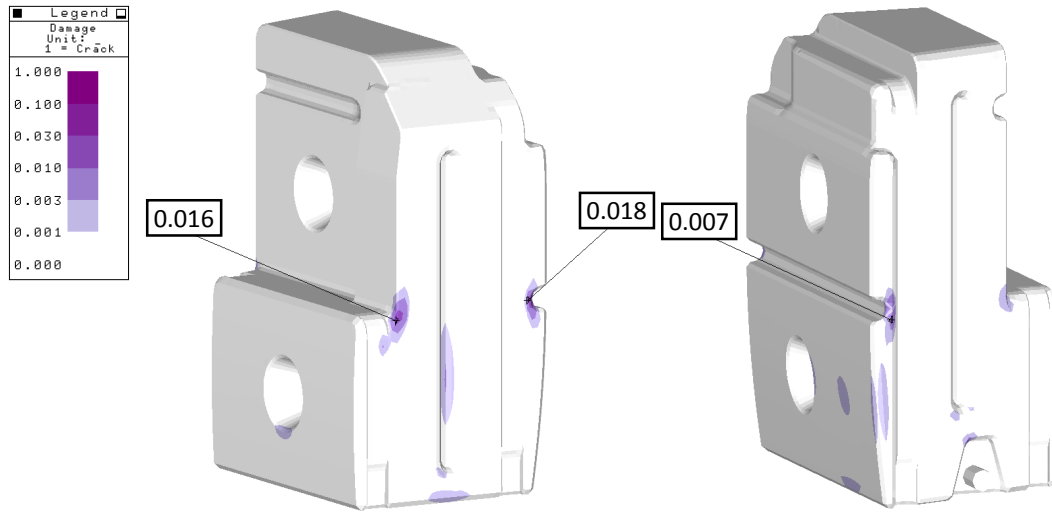
Şekil 6.2: 9 mm’lik tankta tam dolu durumda 1 çevrim için hasar analizi sonuçları.

Optimizasyon sürecinde kalınlığın artırılması ile gerilme ve RMS değerleri azalmış; buna bağlı olarak hasar değerlerinde de azalma meydana gelmiştir. 7 mm

kalınlığındaki tank ile kıyaslandığında özellikle ön bölgesindeki değerlerde azalma meydana geldiği görülmektedir.

6.1.3 9 mm kalınlığa sahip tank için 3/4 dolu durumda yorulma analizi sonuçları

Şekil 5.11 ve Şekil 6.3'den görüleceği gibi kalınlığın 7 mm'den 9 mm'ye artırılması ile 3/4 doluluk durumunda hasar değerlerinde azalma meydana gelmektedir. Ön bölgede meydana gelen hasarda ise azalma görülmüştür.

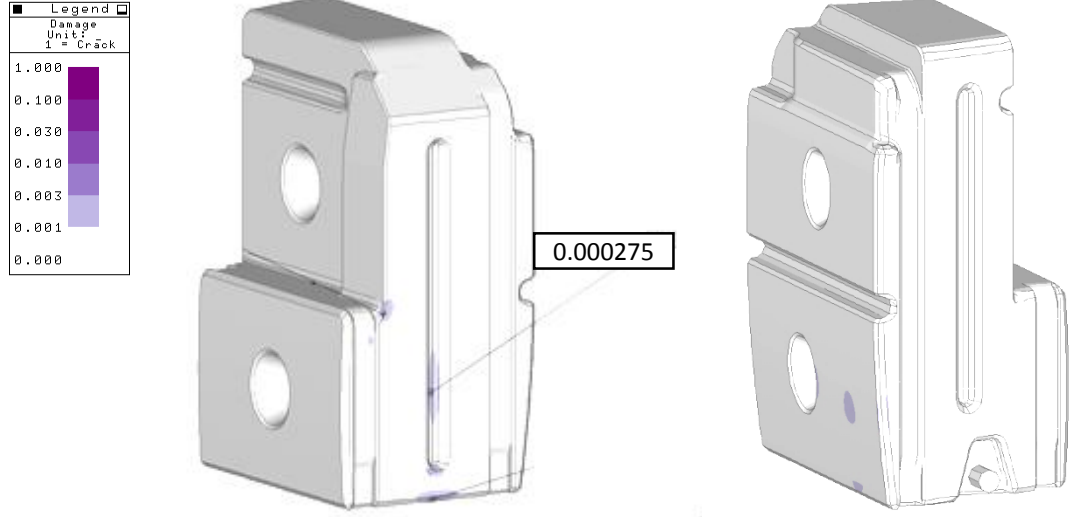


Şekil 6.3: 9 mm'lik tankta 3/4 dolu durumda 1 çevrim için hasar analizi sonuçları.

6.1.4 9 mm kalınlığa sahip tank için 2/4 dolu durumda yorulma analizi sonuçları

Şekil 6.4'te yakıt tankının yarı dolu durumu için 1 çevrim sonucunda elde edilen yorulma analizi sonuçları gösterilmektedir.

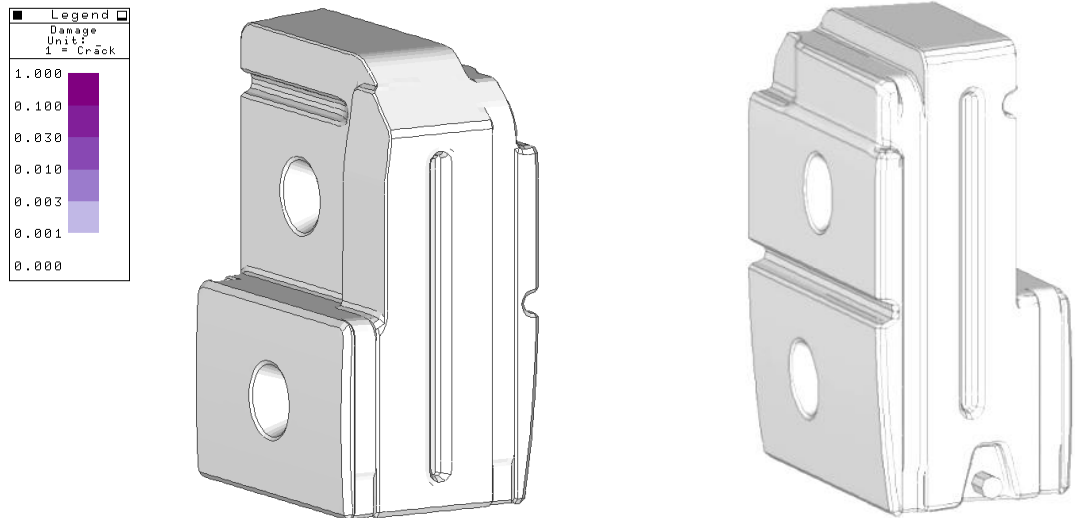
Tam dolu durum ile 3/4 dolu durum ile kıyaslandığında 1 çevrim sonucunda meydana gelen hasarda azalma görülmektedir. Ayrıca, 7 mm kalınlığındaki yakıt tankında olduğu gibi 9 mm kalınlığındaki tankta da 2/4 doluluk durumu için 1 çevrimde meydana gelen hasar çok azdır. 7mm kalınlığında yarı dolu durum için 1 çevrim sonucunda meydana gelen hasar 0.0023 iken 9 mm kalınlığında bu hasar 0.000275 değerine düşmüştür. Kalınlığın artmasıyla gerilme değerleri azalmış, tank daha dayanıklı hale gelmiştir.



Şekil 6.4: 9 mm'lik tankta 2/4 dolu durumda 1 çevrim için hasar analizi sonuçları.

6.1.5 9 mm kalınlığa sahip tankta 1/4 dolu durumda yorulma analizi sonuçları

Hasar analizi sonuçları irdelenirken yakıt tankının ön bölgesinde meydana gelebilecek hasar dikkate alınarak o nokta üzerinde yoğunlaşmıştır. ¼ doluluk durumunun analiz sonuçları incelendiğinde bu bölgede hasara herhangi bir katkısı olmadığı görülmektedir. Şekil 6.5'te kalınlığı 9 mm artırılmış tankın yorulma analizleri sonucu incelendiğinde, yakıt tankında herhangi bir hasara sebep olabilecek durumun meydana gelmediği görülmektedir. Çeyrek dolu durum için sonuçlar 7 mm kalınlığındaki tankın analiz sonuçlarıyla kıyaslandığında sonuçlar paralellik göstermektedir ve bu doluluk durumunun hasara herhangi bir katkısı bulunmamaktadır.



Şekil 6.5: 9 mm'lik tankta 1/4 dolu durumda 1 çevrim için hasar analizi sonuçları.

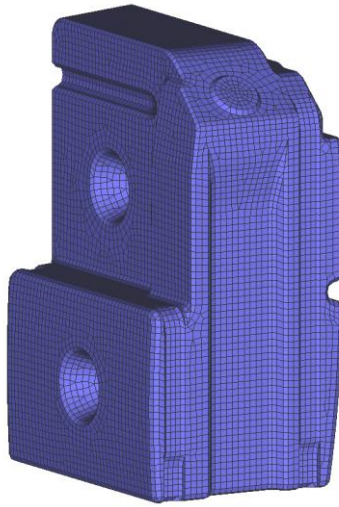
9 mm kalınlığındaki tank için 1 çevrim sonucunda hasar değerleri Çizelge 6.1' de gösterilmektedir. Bir çevrim sonucunda elde edilen değerler firma tarafından belirlenen bir çevrim sayısı ile çarpılmıştır. Bu çevrim sayısı firma bilgisi olduğu için paylaşılmamıştır ancak tam dolu durumdaki çevrim sayısı, Çizelge 6.1 de görüldüğü gibi diğer çevrim sayılarının iki katı olarak belirlenmiştir,

Çizelge 6.1: 9 mm kalınlığındaki tank için farklı doluluk oranlardaki 1 çevrim için hasar değerleri.

Doluluk Oranları	Hasar Değerleri	Çevrim Sayıları
1/4	0	X
2/4	0.00027	X
3/4	0.003	X
4/4	0.011	2X

Çizelge 6.1'de hasara en büyük katkının 4/4 ve 3/4 doluluk durumlarından geldiği aşıkardır. Test sayıları ile çarpılarak bulunacak toplam hasar değerlendirildiğinde tank kalınlığının 7 mm'den 9 mm'ye çıkarılmasıyla (Çizelge 5.1 ve 6.1) ön bölgede hasarda azalma olduğu görülmektedir.

6.2 Geometrik Optimize Edilmiş Tankın Yorulma Analizleri

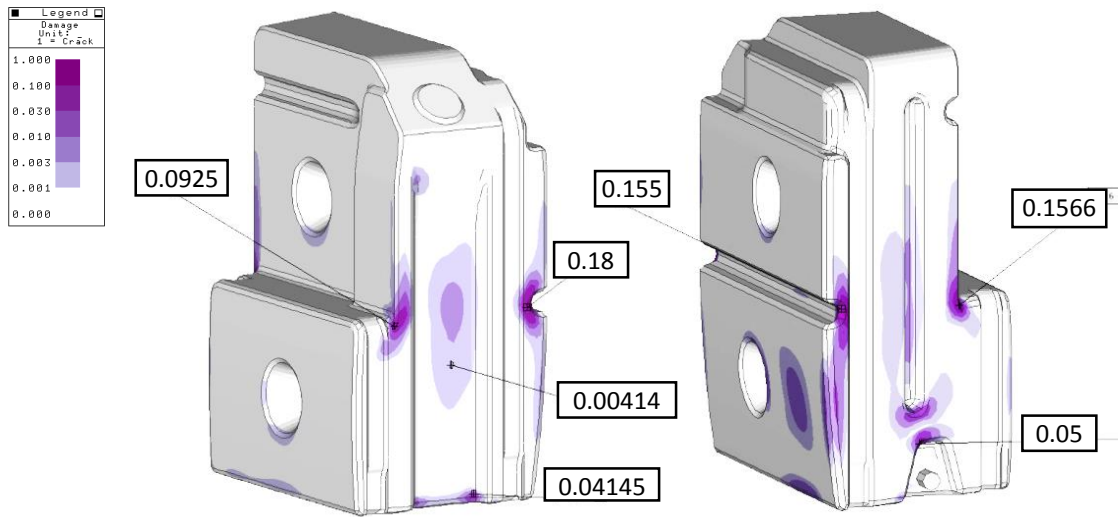


Şekil 6.6 : Optimize edilmiş tank

Geometrik optimizasyonun yapılma amacı, yakıt tankında meydana gelen gerilme değerlerinin plastik malzemenin mukavemet değerlerini geçmemesini sağlamaktır. Bu amaçla kalınlık artırımına ek olarak geometrik iyileştirmeler yapılmıştır. Şekil 6.6’da geometrik optimizasyonu yapılmış tank gösterilmektedir.

6.2.1 Geometrik optmizasyonu gerçekleştirilmiş tankın yorulma analizi sonuçları

Optimizasyonu yapılmış olan A1 tankının 1 test çevrimine karşılık gelen hasar analizi sonuçları incelendiğinde Şekil 6.7’de görüldüğü gibi 7 mm kalınlığındaki tanka göre özellikle ön bölgede hasar azalmaktadır.



Şekil 6.7 : Optimize edilmiş tankta tam dolu durumda 1 çevrim için hasar analizi sonuçları.

Yapılan analizler sonucunda tam dolu tank için 1 test çevrimdeki hasar; 7 mm için 0.0125, 9 mm tank için 0.011 ve optimize edilmiş A1 tankı için ise 0.00414 değerini almıştır. Böylece ön bölgedeki yorulma analizleri sonucuna göre geometrik iyileştirmelerle yapılan A1 tankı, yine 9 mm kalınlığındaki tanka göre 2.65 kat ‘daha uzun ömürlü’ bir tank olmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] **Liehr, K.-D.**(1988). Plastic Fuel Tanks in the Federal Republic of Germany and in Europe” *SAE Technical Paper Series*, 880686, International Congress and Exposition Detroit, Michigan February 29-March 4.
- [2] **Kurihara, Y., Nakazawa K., Ohashi, K., Momoo, S., Numazaki, K.** (1987).Development of Multi-layer Plastic Fuel Tanks for Nissan Research Vehicle-II, *SAE Technical Paper Series*, 870304, International Congress and Exposition Detroit, Michigan February 23-27.
- [3] **Pisciolaro, O., Comparini, F.H.** (1992). Development of a High Capacity Plastic Fuel Tank for Trucks , *SAE Technical Paper Series*, Mobility Technology Conference & Exhibit Slo Paulo, Brasil October 13-14.
- [4] **Stephens, R.D., Williams R.L., Keoleian, G.A., Spatari, S., Beal, R.** (1998). Comparative Life Cycle Assessment of Plastic and Steel Vehicle Fuel Tanks, *SAE Technical Paper Series*, 982224, Total Life Cycle Conference and Exposition Graz, Austria December 1-3.
- [5] **Graham, M. P., Yernaux, J. M., Dupont, S., DeCannière, J.** (2000).Post-Consumer Plastic Fuel Tank Recycling ,*SAE Technical Paper Series*, 2000-01-1093.
- [6] **Vytla, V. V. S., and Ando Y.** (2013). Fluid Structure Interaction Simulation of Fuel Tank Sloshing, *SAE International*, **2013-01-0641**
- [7] **Himeki, H., Kumagai, H., Morohoshi, K.**(2006). Fatigue Behavior Analysis and Durability Evaluation of Plastic Fuel Tank, *SAE Technical Paper*, **2006-01-0782**.
- [8] **Yay, K., ve Ereke M.İ.** (2004). Bir Kamyon Gövdesinin Sanal Yol Verisi Yardımıyla S-N Yorulma Ömrü Analizi, Otomotiv Teknolojileri Kongresi, Kongre Kitabı. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü.
- [9] **Lin, B., Gundle, M., Rowley, M., Aloe, A. et al.** (2014). Fuel Tank Strap Fatigue Sensitivity Study under Fuel Level Variation and Payload Variation, *SAE Technical Paper* 2014-01-0921, 2014, doi:10.4271/2014-01-0921.

- [10] **Abu-Isa, I. A., Khalid. S., DeBarr, G., Zhi, S.** (2006). Mechanical, Thermal and Rheological Properties of Polymers Used in Plastic Fuel Tanks , *SAE Technical Paper* **2006-01-0333**.
- [11] **Vytlá, V. V. S., and Ando Y.** (2013). Fluid Structure Interaction Simulation of Fuel Tank Sloshing, *SAE International*, **2013-01-0641**.
- [12] **Kıralp S., Özkoç G., Erdoğan S., Çamurlu P.,Doğan M. Baydemir T.** (2007). Modern Çağın Malzemesi Plastikler, Odtü Yayıncılık, Ankara.
- [13] **Evans Verney, (Çeviren) Çiğdemoğlu M.** (1970). Korozyona Karşı Plastikler, Makine Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara.
- [14] **Ustaoglu B.** (2015). Otobüslerde Kullanılan Yakıt Tankları Dayanımının Statik Ve Dinamik Analizlerle Doğrulanması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [15] ASTM D638-10 Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics.
- [16] ASTM D695-10 Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics.
- [17] ASTM D696-08 Standard Test Method for Coefficient of Linear Thermal Expansion of Plastics Between -30 °C and 30 °C with a Vitreous Silica Dilatometer.
- [18] Vishay Precision Group Tech Note TN-513-1 Measurement of Thermal Expansion Coefficient Using Strain Gages.
- [19] **URL-1** <<http://www.crpmeccanica.eu/PDF/aluminium-2024-t4-2024-t351.pdf>>, 4.04.2015
- [20] ASTM 790-10 Standard Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials
- [21] **Ereke, M.** (2013). Taşıtlarda Ömür Testleri ders notları, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [22] **URL-2** <<http://www.figes.com.tr/FEMFAT/index.php>> alındığı tarih: 5.04.2015
- [23] **URL-3** <www.FEMFAT.com> Frn Seminer Notes Magna steyr, alındığı tarih: 2005.
- [24] **URL-4**
<http://www.exen.com.tr/imgup/Yorulma_Baslangic_Egitimi_EKSEN.pdf > alındığı tarih: 8.03.2015.
- [25] **URL-5** < <http://web.itu.edu.tr/temizv/VTDN/Yorulma.pdf>> alındığı tarih: 10.04.2015.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Sena AYHÜN
Doğum Tarihi ve Yeri : 1988, Eskişehir
E-posta : senaayhun@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2011, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi,
Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği
- **Yükseklisans** : 2015, İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay
Mühendisliği Anabilim Dalı, Uçak ve Uzay Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- San-tez Projesi Proje Asistanı 2014 - 2015

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR:

- Ustaoglu H.B., Ayhün S., Simitcioğlu G., Süssler S., Akay E., Doğan V.Z., Mecitoğlu Z., Türkmen H.S., Atamer S. (2015). Static and Dynamic Analysis of Plastic Fuel Tanks Used in Buses, VAL2015, March 23-26, Prague, Czech Republic.