



**T.C.
BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**DİZEL MOTORLAR İÇİN PLASTİK MALZEMELER İLE TASARLANAN
YAĞ KARTERİNİN FARKLI SICAKLIK KOŞULLARINDAKİ DARBE
DAYANIMININ NÜMERİK OLARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Batuhan TÜRKOZÜ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Makine Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

ŞUBAT 2024

**T.C.
BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**DİZEL MOTORLAR İÇİN PLASTİK MALZEMELER İLE TASARLANAN
YAĞ KARTERİNİN FARKLI SICAKLIK KOŞULLARINDAKİ DARBE
DAYANIMININ NÜMERİK OLARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Batuhan TÜRKÖZÜ

(20212872126)

ORCID: 0000-0003-1890-5214

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Makine Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Emre DEMİRCİ

ORCID: 0000-0002-1968-0291

ŞUBAT 2024



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, Bursa Teknik Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

İNTİHAL BEYANI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belgelediğimi, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Batuhan TÜRKÖZÜ

İmzası:



Annem, babam ve kardeşime,

ÖNSÖZ

Tez konusunda ve yazım sürecinde her türlü deneyimini benimle paylaşan ve her zaman sorduğum sorulara cevap üreten danışmanım sayın Dr. Öğr. Üyesi Emre DEMİRCİ'ye ve teze konu olan parçanın tasarımında sektör bilgisini paylaşan sayın Makine Mühendisi Ümit KİRENCİ'ye teşekkürü borç bilirim.

Şubat 2024

Batuhan TÜRKÖZÜ
(Makine Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR	ix
SEMBOLLER	x
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xiv
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	2
1.2 Literatür Araştırması	3
1.2.1 Yağ karterleri	3
1.2.2 Otomotiv sektöründe kullanılan malzemeler	5
1.2.3 Termoplastikler	7
1.2.4 Plastik enjeksiyon yöntemi	11
1.2.5 Yağ karterleri darbe testi.....	12
2. MATERYAL METOT	15
2.1 Yağ Karteri Tasarımı.....	15
2.2 Yağ Karterinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi	17
2.2.1 Sonlu elemanlar modelinin oluşturulması.....	17
2.2.2 Malzeme modelleri	19
2.2.3 Taş çarpma koşulları	21
2.2.4 Birimler	23
3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	25
3.1 Durum 1 Analiz Sonuçları.....	25
3.2 Durum 2 Analiz Sonuçları.....	32
3.3 Durum 3 Analiz Sonuçları.....	38
3.4 Durum 4 Analiz Sonuçları.....	46
4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	53
KAYNAKLAR	55
EKLER.....	57
ÖZGEÇMİŞ.....	61

KISALTMALAR

PA	: Poliamid
PBT	: Polibütilen Tereftalat
PPA	: Poliftalamid
PPS	: Polifenilen Sülfid
SEY	: Sonlu Elemanlar Yöntemi



SEMBOLLER

$\epsilon_{\text{gerçek}}$	: Gerçek birim uzaması
$\epsilon_{\text{efektif plastik}}$	: Efektif plastik gerinimi
ρ	: Yoğunluk
$\sigma_{\text{gerçek}}$	: Gerçek gerilme
$\sigma_{\text{mühendislik}}$	: Mühendislik gerilmesi
E	: Elastisite modülü

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1 : Amorf ve yarı kristallerin karşılaştırılması.	8
Çizelge 1.2 : Otomotivde kullanılan cam elyaf takviyeli poliamidler.....	10
Çizelge 2.1 : Analizlerde kullanılan malzemelerin özellikleri.	16
Çizelge 2.2 : Kullanılan malzemelerin hesaplanan gerçek değerleri.....	21
Çizelge 2.3 : Taş darbe ve özellikleri.	22
Çizelge 2.4 : Birim sistemi.	24
Çizelge 3.1 : Yağ karterinin durum 1 senaryosunda malzeme ve sıcaklığa göre çökme miktarı ve hasar durumu.	31
Çizelge 3.2 : Yağ karterinin durum 2 senaryosunda malzeme ve sıcaklığa göre çökme miktarı ve hasar durumu.	38
Çizelge 3.3 : Yağ karterinin durum 3 senaryosunda malzeme ve sıcaklığa göre çökme miktarı ve hasar durumu.	45
Çizelge 3.4 : Yağ karterinin durum 4 senaryosunda malzeme ve sıcaklığa göre çökme miktarı ve hasar durumu.	52

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Kamyon dizel motorunun plastik parçaları.	6
Şekil 1.2 : Plastik malzeme piramidi.	8
Şekil 1.3 : Cummins motor termoplastik parçaları.	10
Şekil 1.4 : Plastik enjeksiyon yöntemi.	12
Şekil 2.1 : Termoplastik karter 3 boyutlu modeli.	15
Şekil 2.2 : Yağ karteri ağ yapısı.	18
Şekil 2.3 : Yağ karteri darbe bölgesi ağ yapısı.	18
Şekil 2.4 : Kartere küçük taş çarpma durumu.	22
Şekil 2.5 : Kartere büyük taş çarpma durumu.	22
Şekil 2.6 : Karterde analizi yapılan dört durum.	23
Şekil 3.1 : -40 °C sıcaklık durum 1 enerji emilim eğrileri.	25
Şekil 3.2 : -40 °C sıcaklık durum 1 darbe analizi sonrası karter üzerinde oluşan hasarlar.	26
Şekil 3.3 : 23 °C sıcaklık durum 1 enerji emilim eğrileri.	27
Şekil 3.4 : 23 °C sıcaklık durum 1 darbe analizi sonrası karter üzerinde oluşan hasarlar.	28
Şekil 3.5 : 100 °C sıcaklık durum 1 enerji emilim eğrileri.	29
Şekil 3.6 : 100 °C sıcaklık durum 1 darbe analizi sonrası karter üzerinde oluşan hasarlar.	30
Şekil 3.7 : -40 °C sıcaklık durum 2 enerji emilim eğrileri.	32
Şekil 3.8 : -40 °C sıcaklık durum 2 darbe analizi sonrası karter üzerinde oluşan hasarlar.	33
Şekil 3.9 : 23 °C sıcaklık durum 2 enerji emilim eğrileri.	34
Şekil 3.10 : 23 °C sıcaklık durum 2 darbe analizi sonrası karter üzerinde oluşan hasarlar.	35
Şekil 3.11 : 100 °C sıcaklık durum 2 enerji emilim eğrileri.	36
Şekil 3.12 : 100 °C sıcaklık durum 2 darbe analizi sonrası karter üzerinde oluşan hasarlar.	37
Şekil 3.13 : -40 °C sıcaklık durum 3 enerji emilim eğrileri.	39
Şekil 3.14 : -40 °C sıcaklık durum 3 darbe analizi sonrası karter üzerinde oluşan hasarlar.	40
Şekil 3.15 : 23 °C sıcaklık durum 3 enerji emilim eğrileri.	41
Şekil 3.16 : 23 °C sıcaklık durum 3 darbe analizi sonrası karter üzerinde oluşan hasarlar.	42
Şekil 3.17 : 100 °C sıcaklık durum 3 enerji emilim eğrileri.	43
Şekil 3.18 : 100 °C sıcaklık durum 3 darbe analizi sonrası karter üzerinde oluşan hasarlar.	44
Şekil 3.19 : -40 °C sıcaklık durum 4 enerji emilim eğrileri.	46
Şekil 3.20 : -40 °C sıcaklık durum 4 darbe analizi sonrası karter üzerinde oluşan hasarlar.	47

Şekil 3.21 : 23 °C sıcaklık durum 4 enerji emilim eğrileri.....	48
Şekil 3.22 : 23 °C sıcaklık durum 4 darbe analizi sonrası karter üzerinde oluşan hasarlar.	49
Şekil 3.23 : 100 °C sıcaklık durum 4 enerji emilim eğrileri.....	50
Şekil 3.24 : 100 °C sıcaklık durum 4 darbe analizi sonrası karter üzerinde oluşan hasarlar.	51



DİZEL MOTORLAR İÇİN PLASTİK MALZEMELER İLE TASARLANAN YAĞ KARTERİNİN FARKLI SICAKLIK KOŞULLARINDAKİ DARBE DAYANIMININ NÜMERİK OLARAK İNCELENMESİ

ÖZET

Günümüzde gelişen teknoloji ile araç tarafında hem emisyon hem de yakıt tüketimi olarak kısıtlamalar sürekli olarak artmaktadır. Bu kapsamda geliştirilen emisyon sistemleri dışında araç tarafındaki hafifletme gereksinimlerinin karşılanması önemli bir rol oynamaktadır.

Araç ağırlığının azaltılması, aracın kullanım süresinde, daha iyi yakıt ekonomisi elde etmenin bir yoludur. Araç üzerinde en ağır bileşenlerden biri olan içten yanmalı motorlar, ağırlık iyileştirmesi yapılması için önemli bir parçadır. Ağırlık olarak dökme demirden önemli ölçüde hafif olan alüminyum ile motor parçaları tarafında önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Bununla birlikte dökme demir ve çeliğin, alüminyum ve plastik gibi daha hafif malzemelerle değiştirilmesi; maliyet, performans ve çevresel etki olmak üzere birçok faktörde olumlu yönde ilerleme sağlamaktadır.

Bu çalışmada içten yanmalı motorlarda hem yataklarda hem de yağlama kanallarında dönen motor yağını muhafaza eden ıslak tip yağ karteri için termoplastik malzemeden enjeksiyon kalıplamaya uygun tasarım yapılmıştır. Bu tasarımla beraber, içten yanmalı motorlarda genellikle alüminyum ve imalat çeliği parçalarından yapılan yağ karterinde yüksek derecede hafifletme söz konusu olmuştur. Sonlu elemanlar analizi yazılımı olan Hypermesh kullanılarak PA6-GF30, PA66-GF30, PPA-GF30, PBT-GF30 ve PA9T-GF30 malzemeleri ile modellenen yağ karterinin farklı taş çarpma senaryolarına göre dayanımları incelenmiştir. Malzemelerin farklı sıcaklıklardaki davranışının yağ karteri davranışına etkisinin incelenebilmesi için -40°C, 23°C ve 100°C sıcaklıklardaki gerilme – gerinim eğrileri verileri kullanılmıştır. İki farklı tip taş modeli yağ karterine farklı açı ve hızlarda çarptırılarak meydana gelen hasar durumları tespit edilmiştir. Darbe bölgesinde oluşan çökme miktarları ve yağ karteri tarafından darbe anında emilen enerji değerleri irdelenmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak yağ karteri tasarımı için PA6-GF30 ve PA66-GF30 malzemelerinin diğer malzemelere göre daha uygun olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Dizel motor, Plastik karter, Darbe analizi, Plastik enjeksiyon.

NUMERICAL INVESTIGATION OF THE IMPACT STRENGTH OF AN OIL PAN DESIGNED WITH PLASTIC MATERIALS FOR DIESEL ENGINES UNDER DIFFERENT TEMPERATURE CONDITIONS

SUMMARY

Restriction on the vehicle side in terms of both emission and fuel consumption are continuous increase nowadays with the developing technology. Apart from the emission systems developed in this context, lightening requirements on the vehicle side are important.

Better fuel economy is achieved during the operating time of the vehicles by weight reduction. Internal combustion engines which one of the heaviest components on the vehicle are an important part for weight reduction. Significant progress was made in engine parts with aluminum that is lighter than cast iron. Replacing cast iron and steel with lighter materials such as aluminum and plastics; it provides positive progress like performance, environmental impact, and expense.

In this study, a design suitable for injection molding was made from thermoplastic material for the wet type of oil sump, which preserves the engine oil rotating in both bearings and lubrication channels in internal combustion engines. With this design, a high degree of lightening has been achieved in the oil pan, which is generally made of aluminum and manufacturing steel parts in internal combustion engines. Using the finite element analysis software Hypermesh, the strength of the oil pan modeled with PA6-GF30, PA66-GF30, PPA-GF30, PBT-GF30 and PA9T-GF30 materials was examined according to different stone impact scenarios. In order to examine the effect of the behavior of materials at different temperatures on the behavior of the oil pan, stress-strain curve data at temperatures of -40°C, 23°C and 100°C were used. Damage caused by two different types of stone models hitting the oil pan at different angles and speeds was observed. The amount of collapse occurring in the impact area and the energy values absorbed by the oil pan at the time of impact were examined and the results were compared. As a result, it has been determined that PA6-GF30 and PA66-GF30 materials are more suitable for oil pan design than other materials.

Keywords: Diesel engine, Plastic oil pan, Impact analysis, Plastic injection.

1. GİRİŞ

Yakıt tüketimi ve egzoz emisyonu azaltılması son yıllarda motor geliştirme süreçlerinde gittikçe önemli bir hale gelmektedir. Bir içten yanmalı motorda CO₂ emisyonu doğrudan yakıt tüketimi ile alakalıdır. Ayrıca yakıt bileşenlerinden de etkilenir. Artan karbon içeriği ve yüksek yoğunluğu nedeniyle dizel yakıtın benzinle kıyaslandığında yaklaşık %10 daha yüksek CO₂ emisyonuna yol açar. Yağ karterlerinde malzemeye bağlı olarak işlevsel entegrasyon ve bileşen ağırlığının azaltılması, CO₂ emisyonlarının azalmasında katkıda bulunur (Jessberger ve diğ., 2008).

Parçalarda hafifletmenin amacı, bir ürünün toplam ağırlığını azaltırken aynı zamanda ürünün işlevselliğini korumak ve hatta genişletmektir. Kütlenin azaltılmasına yönelik mevcut yaklaşımlar arasında kompozit malzemeler gibi daha az yoğun malzemelerin kullanımı veya temel yapısal bileşenlerde duvar kalınlıklarını azaltarak malzeme hacminde azaltma yapılması durumu mevcuttur. Fiber takviyeli termoplastik malzemelere dayalı teknolojiler, hafif kompozit yapılar için üretim sürecine entegre edilebilir. Geliştirilmiş performansla birlikte parçalardaki önemli ölçüde oluşan ağırlık azaltımı ile daha az yakıt tüketimi ve CO₂ emisyon değerleri sağlanmaktadır. Ağırlık azaltılmasına ek olarak, kompozit malzemeler gürültü ve titreşim azaltma, darbe direnci ve enerji emme kapasitesi açısından tutarlı potansiyel avantajlar sunar (Njuguna, 2016).

Otomotiv endüstrisinde plastik ve kompozit malzemelerin kullanımı; daha hafif ve düşük yakıt tüketimli araçlar için tüketici talepleri nedeniyle son yıllarda artmaktadır. Bazı durumlarda, plastikler çelik malzemelerin yerini alırken; diğer durumlarda, tüketici konforu amacıyla plastikler ve kompozitler eklenmektedir. Bu malzemeler hafif olmasının yanı sıra dayanıklı ve kolayca kalıplanabilir durumdadır. Daha ağır malzemelerin plastiklerle değiştirilmesi, genel bir ağırlık azalmasına yol açar (Fentahun ve Savaş, 2018).

Plastik olarak da adlandırılması yapılan termoplastikler, ısıtıldığı zaman eriyip şekillendirilebilen polimerlerdir. Bir kere eritildikten sonra enjeksiyon kalıplama ve ekstrüzyon gibi tekniklerle kalıplanabilirler. Termoplastikler ısıtıldıklarında yumuşarlar (ve sonunda sıvılaşır) ve soğutulduklarında sertleşirler. Bu işlemler tersine çevrilebilen ve tekrarlanabilen işlemlerdir. Ayrıca, termoplastikler nispeten yumuşaktır. Özellikle enjeksiyon kalıplama ile üretilen termoplastik elastomer parçalarının seri üretimi hızlı ve ekonomiktir (Url-1).

Analiz programları kullanılarak yapılan tasarımlar üzerinde, parça kullanımı uygunluğu tarafında hızlı çözüm imkanları sunmaktadır. Analiz çıktıları doğrultusunda parça üzerinde gerekli dayanım ve optimizasyon geliştirmeleri yapılabilmektedir. Yapılan geliştirmeler sonrasında nihai parçanın üretimi gerçekleştirilip test ya da uygulama bazlı çalışmaları yapıp geliştirme süreçleri sonlandığında final parça elde edilmiş olmaktadır. İlk iterasyonlar analiz programları sayesinde yapıldığı için parçanın imalatı daha düşük maliyetlerle yapılabilmektedir.

1.1 Tezin Amacı

Teknolojinin gelişmesi ve dönemimizde emisyon tarafındaki isterler doğrultusunda otomotiv sektöründe hafifletme konusu önemli bir konuma gelmiştir. Araç motorlarında dökme demir olarak imal edilen motor blokları yerine alüminyum ve alaşımları kullanılarak imal edilenleri mevcuttur. Bir diğer taraftan imalat çeliği ve alüminyum olarak imal edilen yağ karterleri termoplastik malzemeden plastik enjeksiyon imal yöntemi ile üretilmektedir. Böylelikle araç motorları tarafında yüksek oranda hafifletme çalışması yapılmış olmaktadır.

Termoplastik malzemeler, metaller kullanılarak tasarlanamayan; birçok bileşenden oluşan düzeneklerde, karmaşık parçaların yeni tasarımına olanak tanır. Birkaç işlevsel bileşenin tek bir plastik parçaya entegre edilmesiyle sağlanan hafifletmeden dolayı, termoplastiklerin geleneksel malzemeler yerine geçmesinde itici bir güçtür (Mouti, 2012).

Bu tez çalışmasında, araçtaki motorlarda hafifletme yapılarak araç üzerinde hem yakıt hem de emisyon tarafında gelişmelerin sağlanabilmesi amaçlanmıştır. Alüminyum, dökme demir veya imalat çeliğinden üretilen yağ karteri termoplastik malzemeden, plastik enjeksiyon ile üretilecek şekilde tasarımı yapılmıştır. Dökme demir ve çelik

malzeme yerine plastik malzemenin kullanılması durumunda parça dayanımını belirleyebilmek için taş darbeleri sonucunda oluşan deformasyon miktarları ve parça üzerinde absorbe edilen enerji değerleri incelenmiştir. Bu tasarımda, yağ karteri tarafında kullanımı uygun olan poliamid 6 (PA6), PA66, PA9T, polibütilen tereftalat (PBT) ve poliftalamid (PPA) malzemeleri atanarak analiz çalışmaları yapılmıştır. Yapılan analiz çalışmaları doğrultusunda taşın kartere üç farklı bölgede çarpması değerlendirilmiştir. Birinci bölgede taş tam olarak rib geometrisi üzerine çarpmaktadır. İkinci bölgede taş iki rib arasına gelerek, büyük taş olma durumunda her iki ribe çarpmaktadır. Üçüncü bölgede ise taşın rib olmayan kısma çarpma durumu değerlendirilmiştir. Belirtilen üç taş çarpma senaryosu farklı açı durumları ile kombine edilerek dört farklı durumda kartere darbe sonuçları incelenmiştir. Karter malzemesi ve malzemelerin farklı çalışma sıcaklık durumu ile kombinasyon edilerek hangi malzemenin yağ karterinde kullanılmasının uygun olduğu belirlenmiştir. Genel et kalınlığı ve rib yerleşimi karar verilen tasarım doğrultusunda analiz çıktıları incelenmiştir. Böylece taş çarpma senaryolarına uygun malzeme tipinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

1.2 Literatür Araştırması

Tez çalışması kapsamında otomotiv sektöründe yapılan hafifletme çalışmaları, araç motor komponentleri özelinde incelenip açıklanmıştır. Açıklamalar doğrultusunda yapılan geliştirmelerin önemi üzerinde durulmuştur. Teze konu olan termoplastik malzeme üzerinde de yapılan darbe ve geliştirme çalışmaları irdelenmiştir. Bu araştırmalardan yola çıkılarak yağ karterinde kullanılacak malzemeler sebepleri ile belirlenmiştir. Daha öncesinde deneysel ve teorik olarak yapılan çalışmalar referans alınarak, yağ karterine olan taş darbe hızı ve doğrultusu belirlenmiştir. Analiz çalışmaları ile farklı malzemeler arasındaki dayanım ve hasar değerleri incelenerek, uygun malzeme seçimi sağlanmıştır.

1.2.1 Yağ karterleri

Günümüzde binek motorların çoğunda yağ beslemesi, ıslak karter yağlama tasarımı ile sağlanmaktadır. Bu tür motorlarda yağ karteri, motor bloğunun alt tarafını oluşturur. Yağ karterinin tasarımı ve yapısı, araç paket durumu ile güçlü bir iletişim içindedir. Belirli koşullar altında, aynı motorlar, uzunlamasına veya enine yönde takılmalarına

bağlı olarak farklı yağ karterlerine sahip olabilir. Yağ karterlerinin işlevleri şu şekilde belirtilebilir (Van Basshuysen ve Schäfer, 2004).

- Yağın muhafaza edildiği hem yataklardan hem de yağlama kanallarından dönen motor yağı için toplama havuzu görevi görür.
- Krank yataklarını çevreleyerek özel tasarım yağ karteri tiplerinde aynı zamanda motor ve şanzıman kompleksinin daha rijit olmasını sağlar. Bu, düşük frekans aralığında motor ve şanzıman grubunun akustik davranışını iyileştirir.
- Yağ tahliye tapası, yağ çubuğu kılavuz borusu ve genellikle ek olarak araçtaki yağ doluluğunu gösteren bir yağ seviye göstergesini muhafaza eder.

Kuru karterle yağlamada ise ıslak karterden farklı olarak, yağın depolandığı bir yağ deposu mevcuttur. Islak karterle motorlarda yağ, karterde muhafaza edilir. Kuru karter yağlama sistemi genelde yüksek performans isteri olan motorlarda ve motosikletlerde kullanılır. Motorun altında yağ depolayan derin bir karter bulunmaz. Motor yağı sürekli olarak yağ pompası ile depodan motora basılır ve devir daim işlemi gerçekleşir.

Yağ karteri, tipik olarak otomotiv ve diğer benzer uygulamalardaki içten yanmalı motorların alt tarafını kapatan bir bileşendir. Ana amacı motor blokunun en alt kısmını oluşturmak ve motor yağını motor içinde dolaşmadan önce ve sonrasında muhafaza etmektir. Bir yağ karteri çıkarıldığında ortaya çıkan bazı bileşenler arasında genellikle yağ emme borusu ve yağ çubuğunun alt ucu bulunur. Bazı yağ karterleri ayrıca, yağ filtresini tıkamaması ve motora zarar vermemesi için küçük metal parçalarını yakalamak amacıyla tasarlanmış bir veya daha fazla mıknatıs içerir (Kamalakar, 2014).

Karterdeki yağ miktarı, motordaki dönen parçalar için gereken toplam yağ akış hızı ve yağın sistem içinde kaç kez devridaim edilmesi gerektiğini içeren ampirik ilişkilerden elde edilir. Genel olarak ağır hizmet tipi dizel motorlar, uzun yağ değiştirme aralıklarını karşılayabilmek için büyük karter kapasitesi gerektirir (Url-2).

Yağ karterleri motor sesini yükseltebilir, bu nedenle çoğunlukla gürültüyü en aza indirecek şekilde tasarlanırlar. Lamine çelikler, motor gürültüsünü etkili bir şekilde azaltır ve ayrıca bir yağ karterini daha dayanıklı hale getirir. Yağ karteri, yağlama yağı ısısının atmosfere aktarılmasında da rol oynar. Bu rolün etkinliğinin açıkça üretildiği malzemeye çok ilgisi vardır. Daha yeni model dizel motorlarda, yağlama sistemindeki

yağ, motorun soğutulmasında daha büyük rol oynamaktadır. Bu nedenle yağ karteri ve malzemeleri çok önemlidir (Bennett, 2012).

Yağ karterlerinde; AlSi, AlSiMg ve AlSiCu alaşımlarından alüminyum ve gri dökme demir malzemeden döküm, S235JR/S355J2 (St37/52) malzemelerinden çelik sac konstrüksiyonlar kullanılmaktadır. Plastikler (cam elyaf takviyeli polimerler) ayrıca araç motorlarındaki yağ karterlerinin imalatında kullanılmaktadır.

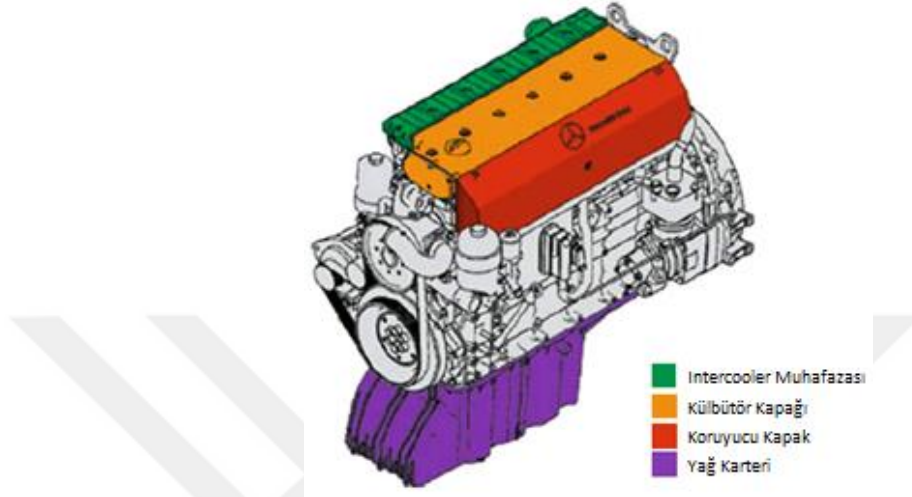
Chrysler 5.7 litre Hemi motorlar için preslenmiş çelik ve alüminyum dökümün yerini alan %35 cam takviyeli Ultramid PA6 malzemeden üretilmiş olan yağ karteri ile parçanın ağırlığı %41 azaltılmış, takımlama maliyetlerinden %50 tasarruf sağlanmıştır. 2011 model Jeep Cherokee markası SUV araç sınıfı motorlarında, ilk kez külbütör kapağı PA66-GF35 malzemesi ile üretilmiştir. Böylelikle alüminyum döküm malzemenin yerine geçerek parçada 2,2 kg hafifletme sağlayarak %25 malzeme maliyetinden tasarruf sağlamıştır (Stewart, 2011).

1.2.2 Otomotiv sektöründe kullanılan malzemeler

Hafiflik, araç güvenliğini ve sürüş performansını iyileştirmek, enerji tasarrufu sağlamak ve aynı zamanda yolcu konforunu sağlamak için temel teknolojilerden biridir. Elektrikli veya hibrit motorlu araçların seyir menzilinin artırılması için hafiflik özel bir öneme sahiptir. Bunların ötesinde, hafif bileşenler daha az kütle kullanır ve dolayısıyla bileşene gömülü olan birincil enerji gereksinimini azaltır. Bu nedenle hafiflik, geçmişte veya gelecekte otomotiv alanında her zaman merkezi bir konu ve önemli bir yön olmuştur. Hafiflik, gelişmiş yüksek dayanımlı çelikler, Al ve Mg alaşımları, karbon fiber takviyeli polimerler ve hibrit metal-polimer kompozitler gibi otomotiv bileşenlerini üretmek ve montajlamak için yenilikçi biçimlendirme ve birleştirme süreçleri gerektiren hafif malzemelerin artan uygulamalarının kullanımına teşvik eder. Araçların maksimum ağırlık azaltma, hizmet performansı ve maliyeti dengelemek için hafif tasarım süreçleri ve hafif malzemeleri kullanma felsefesine geçmişte olduğundan daha fazla ihtiyaç vardır (Tekkaya ve Min, 2020).

Otomotiv sektöründe kompozitlerin düşük ağırlık ve yakıt verimliliği sağlayan araçlar ile daha güvenli hale geldiği düşünülmektedir. Elyaf takviyeli kompozit, bir matris malzemesi (polimer ve metaller) ve yüksek mukavemetli bir elyaftan (karbon veya cam) oluşur. Farklı malzemeler ile kıyaslandığında daha iyi özellikler sağlayabilmektedir. Araç koltukları, tavanları, direksiyonlar, gösterge panelleri, araç

içi paspaslar, iç ve dış paneller, tekerlekler, külbütör kapakları ve yağ karterleri gibi birçok otomotiv parçası kompozit malzemelerden imal edilmektedir. Otomotiv sektöründe araç tarafında yoğun olarak kullanılan plastiklerin yanı sıra Şekil 1.1’de görüldüğü gibi dizel motorlarda da kullanımı mevcuttur (Mollenhauer ve Tschöke, 2010).



Şekil 1.1 : Kamyon dizel motorunun plastik parçaları.

Hafif kompozit yapıların üretim süreci için fiber takviyeli termoplastik malzemelere dayalı teknolojiler entegre edilebilir. Hafif malzeme uygulamaları için ana etmen ağırlık ve maliyet tasarrufudur. Geliştirilmiş performans önemli ölçüde ağırlık azalışı, daha az yakıt tüketimi ve CO₂ emisyonu anlamına gelmektedir. Taşımacılık endüstrisinde, müşterilerin çevre dostu ve düşük maliyetli taşımacılık için istekleri mevcuttur. Düşük maliyetli, çevre dostu ve güvenilir malzemeler kullanılarak hem müşteri hem de otomotiv endüstrisi için ekonomik yük azaltılacaktır. Daha iyi yakıt verimliliği ve azaltılmış emisyon taleplerinden dolayı AB mevzuatına uyabilmek için ağırlık azaltma talebi meydana gelmiştir. Kompozitler, yaygın olarak kullanımı olan çelik, demir ve alüminyum gibi malzemelerle kıyaslandığında; cam elyaf takviyeli kompozitler %15-25 ve karbon fiber takviyeli kompozitler %25-40’a kadar hafif olacak şekilde fayda sağlamaktadır (Patel ve diğ, 2018).

Motor bölmesinde çeşitli borular, muhafazalar ve kapaklar çoğunlukla mühendislik plastiklerinden üretilmektedir. Ancak daha spesifik bir uygulama Opel Insignia'daki motor takozlarıdır. Enjeksiyonla kalıplanmış PA6 parçaları, önceki alüminyum bileşenlere kıyasla %50 oranında ağırlık tasarrufu sağlamaktadır (Rau, 2009). Malzeme tedarikçileri poliamidlerin servis sıcaklıklarını 200 °C'ye

ıkarabildiklerinden yağ karteri gibi uygulamalar mümkün hale gelmiştir. Mercedes Benz Actros kamyonunda böyle bir yağ karteri kullanılmakta ve alüminyuma kıyasla parça başına yaklaşık 1,1 kg ağırlık tasarrufu sağlanmaktadır. Yağ karterleri için gereksinimler sadece yüksek sıcaklıklar değil, aynı zamanda yüksek darbe direnci (yoldan gelen taş darbeleri) ve sızdırmazlık olduğundan, bu alanda plastik kullanımı umut verici bir gelişmedir. Yüksek performanslı polimerlere yönelik uygulamalara bakıldığında yeni gelişmeler de mevcuttur. Örneğin Mercedes V6 ve V8 motorları için polifenilen sülfit (PPS) ve PA46 kombinasyonundan üretilen hava emme modülünü tanıtılmıştır. Plastik malzeme fiyatları metalle karşılaştırıldığında daha yüksek olmasına rağmen, toplam üretim maliyetleri %30 oranında azaltılabilir. Bu durum yüksek adetli kullanımlarda enjeksiyonlu kalıplama işlemiyle mümkündür (Reuschel ve Hess, 2009).

1.2.3 Termoplastikler

Bir polimerin yüksek sıcaklıklarda mekanik kuvvetlere tepkisi, onun baskın moleküler yapısı ile ilgilidir. Aslında, bu malzemeler için yükselen sıcaklıktaki davranışlarına göre sınıflandırılırsa, termoplastikler (veya termoplastik polimerler) ve termosetler (veya termoset polimerler) olarak iki alt başlık olarak incelenebilir (Callister, 2006).

Termoplastik malzemeler belirli sıcaklıklara kadar ısıtıldığında yumuşayıp şekil alan ve soğutulduğunda tekrardan katılaşma özelliğine sahip polimer malzeme grubudur. Termoplastik parçalar, polimer malzemelerde ayırt edici özelliklerden olan camsı geçiş sıcaklığına (bu sıcaklık değerinde malzeme viskoelastik özellik kazanır) kadar ısıtıldığında, parça şekillendirme kabiliyeti kazanır. Parçada gerekli şekillendirmeler sonrasında oda sıcaklığına geldiğinde tekrar katı özelliğe sahip olur.

Termoplastikler moleküler yapılarına göre incelendiğinde amorf ve yarı kristal olarak iki başlıkta incelenebilir.

Amorf termoplastikler, şekilsiz ve düzensiz bir moleküler yapıya sahiptir. Yüksek düzeyde dallanmış moleküler zincirlere sahip plastiklerdir. rnek olarak PS: Polistren PC: Polikarbonat PVC-U: Sert polivinil klorür verilebilir.

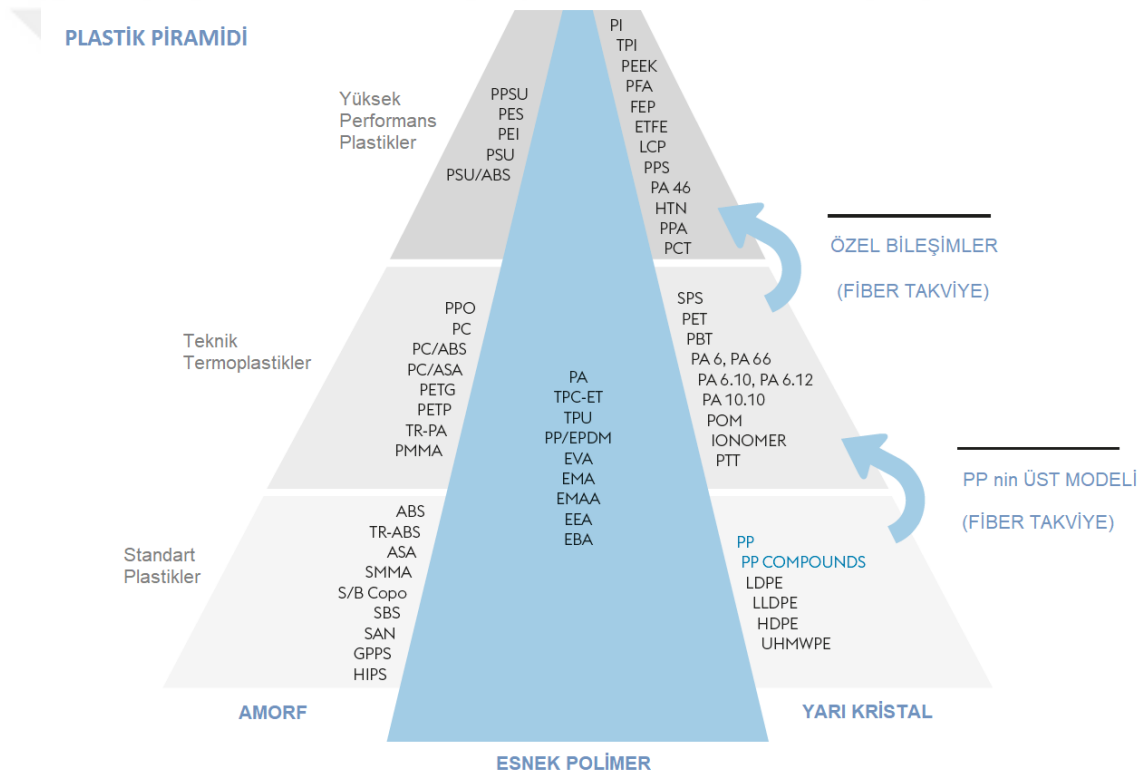
Yarı kristal termoplastikler düzenli bir moleküler yapıya sahiptir. Bazı moleküller birbirlerine karşı yeniden düzenlenir. Polimerin tüm bölgelerinden mükemmel bir kristalleşme meydana gelmez. Her zaman düzensiz veya amorf bölgeler vardır. Bu nedenle yarı kristal polimerler olarak adlandırılırlar. rnek olarak PA: Poliamid, PP:

Polipropilen, PET: Polietilen Tereftalat verilebilir. Amorf ve yarı kristal termoplastiklerin kıyaslaması Çizelge 1.1'deki gibidir (Valero, 2019).

Çizelge 1.1 : Amorf ve yarı kristallerin karşılaştırılması.

Amorf	Yarı Kristal
Şeffaf (her zaman değil)	Yarı saydam ve opak
Kalıplama çekmesi düşük	Kalıplama çekmesi yüksek
Orta mekanik direnç, düşük yorulma direnci	Yüksek mekanik direnç (özellikle yorulmaya karşı)

Ayrıca yarı kristal ve amorf malzemelere; teknik, yüksek performans ve standart olmak üzere üç ana kullanım alanında malzeme örnekleri Şekil 1.2'de plastik piramidinde verilmiştir (Url-3).



Şekil 1.2 : Plastik malzeme piramidi.

Cam elyaf takviyeli poliamidlerin mekanik performansı, elyaf ve matris arayüzünün bir kombinasyonundan kaynaklanır. Elyaf içeriği, çapı, yönelimi ve arayüzey kuvveti, enjeksiyonla kalıplanmış termoplastik kompozitlerin sergilediği özelliklerin nihai dengesi için önemli faktörlerdir (Thomason, 1999).

Termosetler ağ polimerleridir. Oluşumları sırasında kalıcı olarak sertleşirler ve ısıtıldığında yumuşamazlar. Ağ polimerleri, bitişik moleküler zincirler arasında kovalent çapraz bağlara sahiptir. Böylece malzemeler ısıtıldığında yumuşamazlar.

Yalnızca aşırı sıcaklıklara ısıtma, bu çapraz bağların kopmasına ve polimer bozulmasına neden olur (Callister, 2006).

Plastikler hem elastik katı hem de viskoz sıvı özellikleri olduğundan viskoelastik davranışa sahiptirler. Bir plastik, mukavemetini aşmayan bir baskı veya yük altındaysa uzar. Gerilme veya kuvveti kaldırırsak, malzeme orijinal uzunluğuna geri dönecektir. Bu kuvvetin zamanla kalması halinde, gerilme veya yükün ortadan kaldırılmasıyla plastik malzeme maruz kaldığı deformasyonun yalnızca bir kısmını geri kazanacaktır ve geri kalanı kalıcı bir deformasyona uğrayacaktır. Bu deformasyon anlık veya zaman içinde sürekli olabilir (Valero, 2019).

Plastiklerde, moleküller arası kuvvetler yapıyı tutar. Bir yük uygulandığında, plastik malzemenin düğümlenmiş ağısı yapısı gerilir. Belirli bir seviyeyi geçmeden kuvvet kesilirse düğümün şekli düzelir. Yük devam ederse, makromoleküller birbirine doğru kayar ve yük durduğunda bile uzama geri döndürülemez (Valero, 2019).

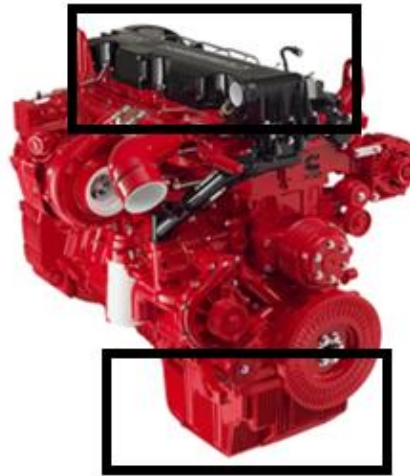
Termoplastiklerin elastomerlerden mekanik özellikler bakımından farklıdır. Eğer bir elastomerik malzeme gerilme kuvvetine maruz kalırsa (iki yandan çekilirse), malzeme uzar ve üzerindeki yük kalktığında da hızla ilk andaki konumuna geri döner. Termoplastikleri çektiğimizde ise malzeme belli bir noktaya kadar elastikiyetini korur ve daha sonra kalıcı şekil bozukluğuna (deformasyona) ya da kırılmaya uğrar. Elastomerler çekildiğinde hemen uzamaya başlamalarına rağmen, termoplastiklerin uzamasını sağlamak için çok yüksek kuvvetler uygulamak gerekir. Yani, termoplastik polimerlerin deformasyona karşı dirençleri elastomerlerden fazladır (Url-4).

Otomotiv sektörü, poliamidler için büyük bir pazardır. İlk poliamid uygulamaları arasında dişliler, ön cam silecek bileşenleri, kablo klipsleri, yataklar ve anahtar yuvaları vardır. Poliamidelerin otomotivde tercih edilmesinde en başta gelen sebeplerden birisi sağlamış olduğu hafiflik ve yakıt tüketimi verimlilik durumunun arttırılmasıdır. Ayrıca poliamidler ilk kalıp maliyeti sonrasında seri üretime uygunluğu ise bir diğer sebep olarak belirtilebilir. Çelik ve alüminyum parçaların yerine poliamid malzemeler geçmektedir. Çizelge 1.2’de, cam elyaf takviyeli poliamidlerin ana otomotiv uygulamalarını göstermektedir (Granowicz, 2011; Mouti, 2012; Url-5).

Çizelge 1.2 : Otomotivde kullanılan cam elyaf takviyeli poliamidler.

Malzeme	Özellikler	Kalıplama Yöntemi	Kullanım Alanları
PA66-GF30	Yüksek sertlik, hidrolize dayanıklı, yağa dayanıklı, yüksek ısıya dayanıklı, iyi akış	Enjeksiyon kalıplama ve üfleme kalıplama	Emme manifoldu, yağ karteri, külbütör kapağı, solenoid valf muhafazası, kablo ekleri
PA6-GF30	Yağa dayanıklı, yüksek ısıya dayanıklı, iyi akış	Enjeksiyon kalıplama	Manifoldlar, yağ karteri, dış gövde panelleri, dış kapı kolu, fan
PPA-GF30	İyi darbe direnci, iyi süneklik, kolay işlenebilirlik	Enjeksiyon kalıplama	Rezonatör, egzoz susturucusu, fan muhafazası, külbütör kapağı, yağ karteri
PA9T-GF30	Düşük su emme oranı, iyi ısıya dayanıklılık, iyi kimyasal direnç	Enjeksiyon kalıplama	Termostat yuvası, kablo tesisatı, araç far sistemindeki dişliler
PBT-GF30	Yüksek sertlik, yüksek mekanik dayanım, yüksek boyutsal kararlılık	Enjeksiyon kalıplama	Araç tamponları, araç kapı panelleri, yağ karteri

Cummins X12 tır ve otobüslerde kullanılan Euro 6 emisyon sistemiyle kullanılan motorda, hafifletme konusu doğrultusunda termoplastik karter ve külbütör kapağı kullanılmıştır. Belirtilen motora ait parçalar Şekil 1.3'te verilmiştir (Url-6).



Şekil 1.3 : Cummins motor termoplastik parçaları.

PA66, iyi bir erime noktasına, yüksek mukavemete ve sertliğe sahiptir. Güçlü asitler veya oksitleyici maddeler dışında çoğu solvante karşı dayanıklıdır. Cam elyaf takviyeli PA66, çoğu amorf plastik kadar sağlamdır. Yüksek yorulma ve darbe direncini koruyarak çatlamaya karşı dayanıklıdır.

PA6'nın özellikleri genel olarak PA66'ninkine benzer ancak PA6'nın erime noktası daha düşüktür. Nispeten daha yüksek çekme dayanımı ile darbe dayanımına ve daha düşük kopma uzamasına sahiptir. PA6'nın PA66'ya göre ana avantajı, işlenmesinin daha kolay olması ve daha düşük kalıp çekmesi sağlamasıdır. PA6'nın PA66'ya göre ana dezavantajı, daha düşük mukavemet, sertlik ve aşınma direncine sahip olmasıdır. PA66'nın PA6'ya göre ana avantajı, daha iyi düşük sıcaklık tokluğu ve iyi yorulma direncidir (Mouti, 2012).

PA6 ve PA66 kompozit malzemeleri 25 yılı aşkın bir süredir otomotivde kaput altı uygulamalarda tercih edilen malzemeler olmuştur. Özel plastikler PA46, PA6T ve PPA gibi daha pahalı alternatiflerin veya polietereterketon (PEEK) ve polisülfon (PSU) gibi yüksek performanslı termoplastiklerin aksine, işlenmesi kolaydır, sünektir ve darbelere dayanıklıdır (Granowicz, 2011).

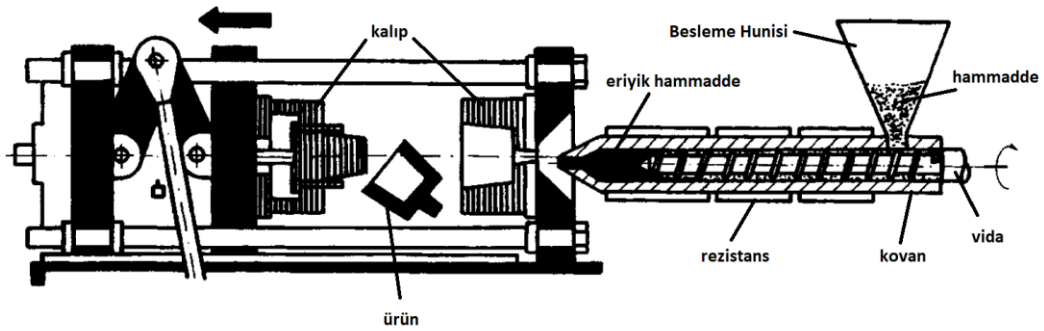
Hassan ve diğ. (2004) lif uzunluğundaki bozulmaları gözlemlemişler. Bileşik oluşturmada 3-6 mm'lik başlangıç uzunluğunda olan lifler, enjeksiyonla kalıplandıktan sonra parçada 0,2 – 0,4 mm aralığında bir ortalama elyaf uzunluğu olduğunu bulmuşlar. Uzun cam elyafları ile karşılaştırıldığında, kısa cam elyaflarının istatistiksel olarak daha fazla toplam elyaf uzunluğuna ve daha fazla toplam elyaf yüzey alanına sahip olması matris ara yüzey bağlanması açısından bir avantajdır. Bununla birlikte, uzun cam elyaf takviyeli PA66'nın gerilme mukavemeti ve modülü, kısa cam takviyeli PA66'dan daha üstündür (%20 – 30), yani tek elyafların kendisinin uzunluğunda da kompozit özelliklerin belirleyici bir parametresidir. Öte yandan, uzun fiber kompozitin kırılma gerilmesi, kısa fiber kompozite göre %20 daha düşük bulunmuş ve bunun matris hareketini kısıtlayan daha uzun fiberin varlığından kaynaklandığı düşünülmüştür. Ayrıca kırılma enerjisi ve tepe yükü açısından, elyaf hacim oranı ve elyaf uzunluğunun artmasıyla arttığını bulmuşlar (Hassan, 2004).

1.2.4 Plastik enjeksiyon yöntemi

Plastik enjeksiyon yöntemi geniş bir şekilde plastik malzemelerinin üretilmesindeki ekonomik ve yaygın yöntemlerden birisidir. Bu yöntemle araç ve motor parçaları gibi

ürünler üretilir. Bu ürünler plastik enjeksiyon yöntemi kullanılarak farklı ölçülerde ve farklı ihtiyaçlara uygun olacak şekilde seri üretim yoluyla üretilmektedirler. Bu yöntemle termoplastikler, termosetler ve bazı elastomerler kullanılıp imalat yapılabilir (Url-7).

Hammadde, eritileceği plastikleştirme ünitesine beslenir. Plastikleştirme ünitesi, vidanın hidrolik olarak çalıştırılan bir silindire eş eksenli olarak ileri geri hareket ettiği Şekil 1.4'te görüldüğü gibi vida kovan sistemidir (Menges ve diğ, 2001). Sürekli dönen vida, dönme ile ileri taşınan bir eriyik oluşturmak için hammaddeyi plastikleştirir. Plastikleştirme ünitesi tarafından sağlanan eriyik hammadde, kapalı kalıba enjekte edilmeden önce, plastikleştirme ünitesi kalıba doğru hareket eder. Plastikleştirme ünitesinin enjeksiyon nozulu kalıbın yolluk burcuna baskı yapmasına neden olur. Boşluk doldukça, içeride basınç oluşur. Bu, eriyiğin kalıp ayırma hatları yoluyla boşluktan dışarı kaçmasını önlemek için sıkıştırma ünitesini kalıba mümkün olduğu kadar çok sıkıştırma kuvvetiyle bastırarak giderilir.



Şekil 1.4 : Plastik enjeksiyon yöntemi.

Kalıp ile plastisite ünitesi arasındaki bağlantı, dolum işlemi tamamlanana kadar devam eder. Bununla birlikte, genellikle, boşluğun doldurulması, işlemin sonu anlamına gelmez çünkü eriyik, katılaşma sırasında hacmini değiştirir. Hacimdeki farkı telafi etmek için daha fazla eriyiğin içeri itilebilmesi veya eriyiğin kalıptan dışarı akmasını önlemek için eriyik kapıda donana kadar bağlantı sürdürülmelidir. Kalıplanmış parça (ürün) dış destek olmadan şeklini koruyabilecek kadar katılaştığında, sıkıştırma ünitesi kalıbı açar ve ürün iticiler tarafından boşluktan dışarı itilir (Menges ve diğ, 2001).

1.2.5 Yağ karterleri darbe testi

Günümüzde endüstriyel uygulama amaçlarında kompozitlerin mukavemet özelliklerini araştırmak için kompozitlerin darbe özellikleri üzerine yapılan

araştırmalar büyük ölçüde artmaktadır. Darbe iki veya daha fazla cismin çarpışmasıdır. Genel olarak düşük hız, yüksek hız, balistik ve hiper hız olmak üzere dört tip çarpma hızı vardır. Charpy ve Izod darbe testi, bir malzemenin darbe dayanımını ve tokluğunu belirleyen düşük hızlı darbe testi olarak kategorize edilir (Abidin ve diğ, 2019).

Darbe testinde, test numunesine sarkaç tipi bir eki ile darbe yapılır ve numuneyi kırmak için gereken enerjiden darbe değeri hesaplanır. Bu hesap çekicinin başlangıç pozisyonundaki yükseklikte potansiyel enerjisi ve son pozisyonundaki potansiyel enerjisi arasındaki fark ile hesaplanır. Darbe testi sonuçları darbe enerjisi (J/m) ya da darbe dayanımı (kJ/m²) olarak ifade edilir (Abidin ve diğ, 2019).

Youn ve diğ. (2016) alışmalarında transmisyon yağ karterinde darbe performansını etkileyebilecek çeşitli faktörleri test etmek için numune kalıbı geliştirilmiştir. PA6 yüksek darbe direncine ve PA 66 daha yüksek ısı direncine sahip olduğundan, polimerlerin uygun mekanik özelliğini dengelemek için karışım yapılarak çalışma yapılmıştır. Bu numuneler; yağ muhafaza edilen kısmın ribsiz, enine ribli, boyuna ribli ve hem enine hem boyuna ribli olacak şekilde dört farklı tip olarak belirlenmiştir. Bu dört tipte de plastik enjeksiyon ile tek eriyik akışı ve çift eriyik akışı olacak şekilde her bir ürün 2 farklı metotla üretilmiştir. Yapılan darbe testleri sonucunda tek eriyik akışı olan parçaların dayanımının, çift eriyik akışı olanlardan daha dayanıklı olduğunu belirlemişlerdir. Çift beslemeli parçalarda çatlağın kalıp ayrımını takip ettiğini tespit etmişlerdir. Hem enine hem boyuna rib olan tasarımıda, iki taraflı besleme olan parçada bile diğerlerine göre daha iyi darbe direnci sağlanmıştır. Numune zerinde PA66-GF35' te 3,4 J darbe dayanım enerjisi görülmüştür. Elde edilen PA6+PA66-GF35'te (2:8 oranlı) 3,7 J darbe dayanım enerjisi görülmüştür. Böylelikle yağ karteri tasarlanmış, darbe testi ve analiz sonuçlarına göre çatlak görülmemiştir. Plastik yağ karteri bu çalışma ile darbe dayanımı güvenilirliğine sahip olmuştur.

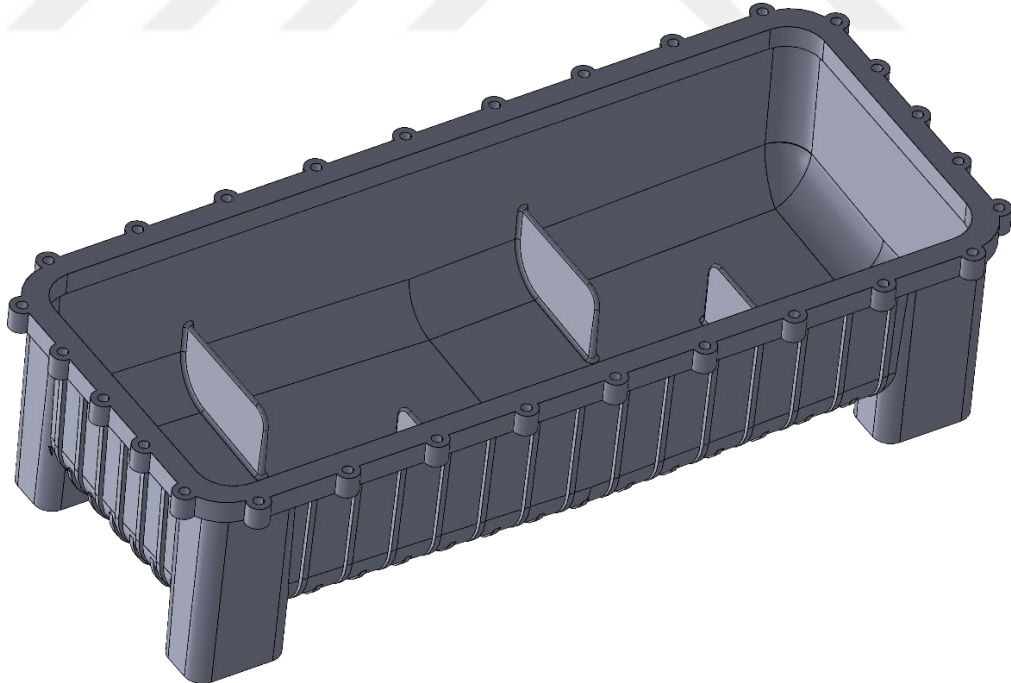
Mauti ve diğ. (2012) bir çalışmasında termoplastik malzemeden üretilen yağ karteri üzerindeki darbeleri incelemişlerdir. Çalışma sırasında yağ karterinin maruz kaldığı darbe yüklerini simüle etmek için bir gaz tabancası kullanmışlardır. Enjeksiyon kalıplama ile üretilen deneysel numunelerin malzemesi BASF şirketi tarafından üretilen Ultramid A3HG7 (PA66 GF-35)'dir. akıl taşlarını temsil etmesi için fırlatılacak nesneyi alüminyum malzemeden kullanmışlardır. Karter üzerinde 3 farklı darbe tipi uygulamışlardır. İlk darbe, 90°de ribin direkt üstüne gönderilmiş ve parça geldiği rib yüksekliğinin üçte birini parçalamıştır. Yağ muhafaza haznesi yüzeyi

hasarsız olarak kalmıştır. İkinci darbe, 90°de bir ribin kenarına deyip, karter yağ muhafaza haznesinden sekmiştir. Aşırı bir hasar görülmemiştir. Ribin kenarında küçük bir çentik ve aynı zamanda yağ muhafaza haznesinden yüzeysel bir çizik göstermiştir. Üçüncü darbe, 10 mm'lik rib aralığına sığmayacak şekilde 90°den vurulan iki paralel ribi içermiştir. Her iki rib, gelen parçadan hasar görmüştür ve modelin öne çıkan elastik özelliği göz önüne alındığında modeldeki deformasyonun arttığı gözlemlenmiştir. Sonlu eleman modellemesi için LS DYNA kullanmışlardır. Darbe noktasından, uzağa daire şeklinde yayılan şok dalgaları stres dağılımını analizle incelemişlerdir. Şok dalgası en geniş yayılımı üçüncü uygulanan darbeye gözlenmiştir. Ribler, gerilim yükünü tüm kiriş boyunca ve çok daha büyük bir yüzey alanına dağıtarak yağ muhafaza yüzeyinde hasar görme riskini azaltarak, olası darbelerin çoğuna karşı bir kalkan görevi görür. Sonuç olarak riblerin yapıyı sertleştirdiği ve bu nedenle yağ karterine boyutsal bir stabilite verdiği sonucuna ulaşılmaktadırlar.

2. MATERYAL METOT

2.1 Yağ Karteri Tasarımı

Tez konusu kapsamında üzerinde çalışılan termoplastik yağ karterin üç boyutlu görünümü Şekil 2.1’de verilmiştir. Parçanın üç boyutlu model tasarımı Solidworks programında yapılmıştır. Modelin genel boyutları 330x750x192 hacme sığacak şekilde bir karter tasarımı yapılmıştır. Yağ karterinin alt kısmında enine doğru 5 mm yükseklikte ve 5 mm genişliğinde olacak şekilde, boyuna doğru 9 mm yüksekliğinde ve 5 mm genişliğinde olacak şekilde ana gövdenin kenar radyusunun yarısına gelecek şekilde rib geometrisi oluşturulmuştur. Yağ karterinin yan kısımlarında ise 5 mm yükseklikte ve 5 mm genişliğinde, alt kısımdaki rib geometrilerin tam ortasına gelecek şekilde ana gövdenin kenar radyusunun yarısına kadar rib geometrisi oluşturulmuştur. Yağ karterinin teknik resmi EK-A’da verilmiştir.



Şekil 2.1 : Termoplastik karter 3 boyutlu modeli.

Yağ karterinin nominal et kalınlığı 4 mm olarak tanımlanmıştır. Genel et kalınlığı sahada çalışan motorlar ve termoplastik karterlerde yapılan test çalışmalarının

incelenmesi ile referans alınarak belirlenmiştir. Araç üstünde motorun çalışma durumu göz önüne alındığında, ani fren ve kalkış durumunda yağ çalkalanma durumunu azaltılması için yağ karteri içerisinde enjeksiyon kalıptan çıkacak şekilde dört adet dalga kıran geometrisi tasarıma dahil edilmiştir. Yağ karterinin dışardan gelen darbelere karşı dayanıklı olması için rib geometrisi ile parça dayanımında iyileştirme sağlanmıştır. Yapılan tez çalışması ile yağ karterinde darbenin rib üzerine veya ribsiz yüzeye gelmesi arasındaki fark üzerinde de durulmuştur. Parçaya atanan malzemelerde; motorun maksimum tork noktası, maksimum yük noktası ve rölanti devirlerinde oluşan yağ sıcaklıklarına dayanıklı olma durumu göz önünde bulundurulmuştur. Yağ karteri malzeme ve geometri detayları, motor yağ hacmine ve kullanıldığı alana (ağır hizmet, endüstriyel, jeneratör, marin, traktör vb.) göre farklılık gösterebilmektedir. Bu çalışmada yağ kapasitesi 20 litre olacak şekilde karter tasarımı yapılmıştır.

Tasarımı yapılan parçanın ayırım hattı bloka oturma yüzeyinde olacak şekilde tasarlanmıştır. Karteri blok bağlantı yüzeyindeki flanş kalınlığı 20 mm olarak belirlenmiştir. Cıvata torklaması sonucu bölgesel çatlama ve deformasyonun önüne geçen bir kalınlık değeridir.

Yağ karteri tasarımında, PA6-GF30, PA66-GF30, PBT-GF30, PA9T-GF30 ve PPA-GF30 olmak üzere otomotiv sektöründe kullanılan beş farklı termoplastik kompozit malzeme esas alınmıştır. Seçilen PA6-GF30 Ultramid B3WG6, PA66-GF30 Ultramid A3EG6, PPA-GF30 Ultramid T2300HG6, PA9T-GF30 Ultramid N3HG6 ve PBT-GF30 Ultradur B4406G6 malzemelerine ait özellikler Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1 : Analizlerde kullanılan malzemelerin özellikleri.

Malzemeler	Yoğunluk (kg/m ³)	Erime Sıcaklığı (MPa)	Çekme Modülü (MPa)	Kopma Gerilmesi (MPa)	Kopma Uzaması (MPa)
PA6-GF30 Ultramid B3WG6 (23°C)	1350	220	9800	185	3,5
PA66-GF30 Ultramid A3EG6 (23°C)	1360	260	10000	190	3
PPA-GF30 Ultramid T2300HG6 (23°C)	1390	310	10400	190	2,8
PA9T-GF30 Ultramid N3HG6 (23°C)	1370	300	10500	190	2,5
PBT-GF30 Ultradur B4406G6 (23°C)	1650	230	11300	145	2,3

2.2 Yağ Karterinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi

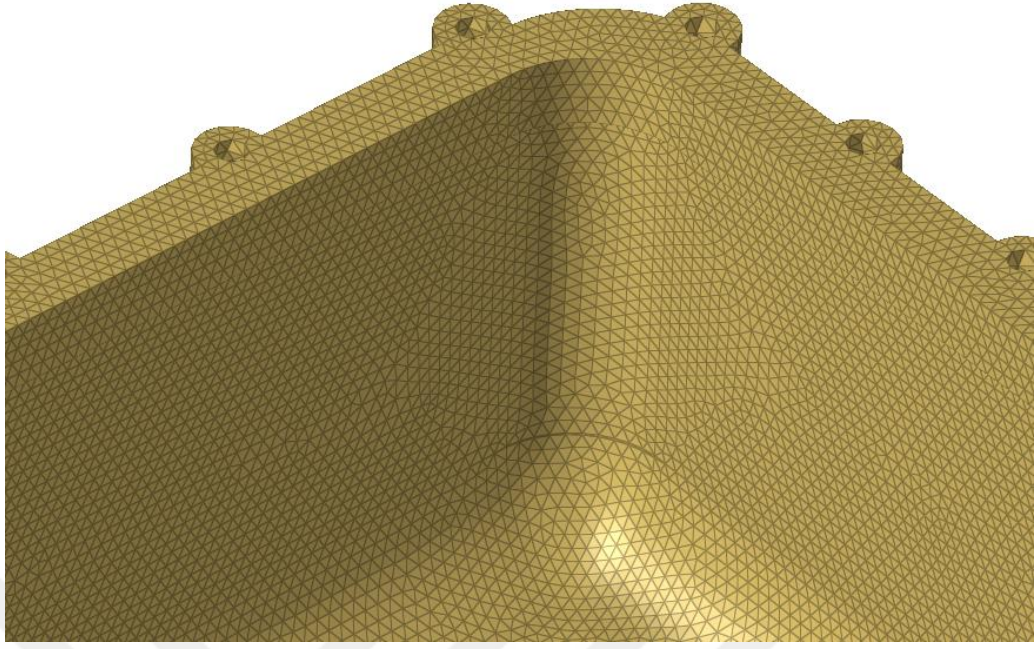
Sonlu elemanlar yöntemi (SEY), fikirlerin veya ürünlerin yapısal yükler ve koşullar altında performansını kapsamlı bir şekilde doğrulamak, onaylamak ve optimize etmek için çağlar boyunca geliştirilen araçlardan biridir. SEY, özellikle gerçek yükleme koşulları altında tasarımın sağlamlığını ve stabilitesini doğrulamak için çok faydalıdır. SEY, tasarımın statik, dinamik veya döngüsel yükler altındaki yapısal performansının değerlendirilmesine yardımcı olur. SEY yalnızca anlık hataları kontrol etmekle kalmaz, aynı zamanda dinamik koşullar altında hatanın başlangıcını, tasarımın tekrarlanan veya döngüsel yükleme koşulları altında tamamen hatalı olacağı durumlarda hatanın tamamlanmasına kadar geçen döngü sayısını da tahmin eder (Url-8).

Yapısal analizin temel amacı, tasarlanan bir parçanın emniyetli çalışması ve stabilitesini sağlamaktır. Mühendislikte, bir parçanın çeşitli yüklere ve kuvvetlere nasıl tepki vereceğini belirlemek için yapısal analizden yararlanılır. Mühendislikte bu koşullar altında parçanın davranışı analiz edilerek potansiyel sorunlar tespit edilebilir ve analiz edilen parçanın emniyetli ve dayanıklı olmasını sağlamak için gerekli tasarım değişiklikleri yapılabilir.

Değişken parametrelerle farklı konfigürasyonlardaki malzeme darbe direncinin değerlendirilmesi, parçaların mukavemet ve kırılma davranışlarına yaklaşım yapılması, kıyaslaması ve tahmin edilmesi için sonlu eleman simülasyonlarını kullanma ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi, bir sistem ya da parçanın çeşitli fiziksel koşullar altında nasıl davranabileceğini tahmin etmek ve anlamak için hesaplamaların, modellerin ve simülasyonların kullanılmasıdır. Bu sistem ya da parçalar elemanlara indirgenip nodlar aracılığı ile birbirine bağlanır. Bu yöntem problemlere yaklaşık bir çözüm sunar.

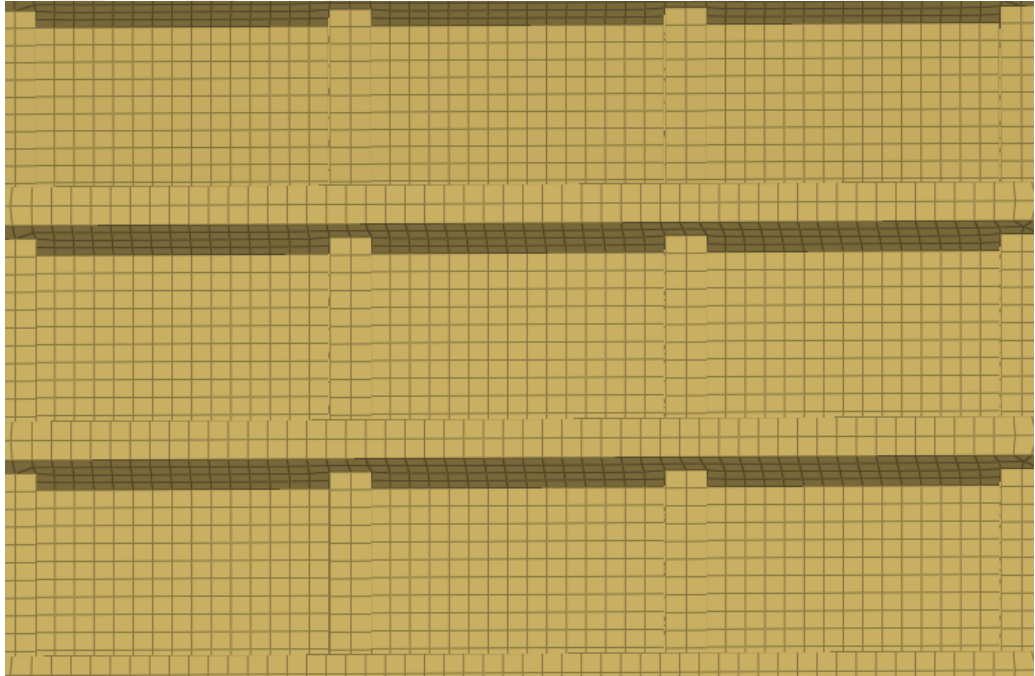
2.2.1 Sonlu elemanlar modelinin oluşturulması

Yağ karterinin sonlu elemanlar modelinde dört kenarlı ağ yapısı kullanılmıştır. Ağ yapısı boyutu 4 mm olarak modellenmiştir. Genel ağ yapısı Şekil 2.2’de verilmiştir. Kullanılan ağ yapısı ile parça üzerinde 98864 adet düğüm noktası elde edilmiştir.



Şekil 2.2 : Yağ karteri ağ yapısı.

Sonuçların daha hassas olarak elde edilebilmesi için parça genelinde 4 mm olarak modellenen ağ yapısı, darbe bölgesinde lokal olarak 2 mm boyutta olacak şekilde kullanılmıştır. Lokal olarak çalışılan bölgeye ait ağ yapısı Şekil 2.3’te verilmiştir.



Şekil 2.3 : Yağ karteri darbe bölgesi ağ yapısı.

Yağ karteri geometrisi, genel katı özellik setini tanımlamak için kullanılan P14_SOLID kartı ile analiz programına tanımlanmıştır.

Yağ karterinin motor blokuna montajlanma durumu değerlendirilerek 28 adet bağlantı deliğinin orta noktasına rijit eleman ataması yapılmıştır. Böylece parçanın 6 serbestlik derecesinde hareketi kısıtlanmıştır.

Taş modeli küre şeklinde rijit duvar olarak tanımlanmıştır. Küre ile karter arasındaki temas sürtünme katsayı değeri 0,25 olarak belirlenmiştir. Analizde genel temas tanımlaması olarak TYPE 7 temas kartı kullanılmıştır. TYPE 7 temas kartında bir dizi düğüm ile bir ana yüzey arasındaki her türlü etki simüle edilebilir. TYPE 7 arayüzü ile yüksek hızlı bir çarpışma sonucu meydana gelen etki gözlemlenebilir. Radioss yazılımında yapılan bu temas tanımlaması ile taş darbesi için modellenen küre yapısının yağ karterine darbesi sonucu içerisinde geçmesi engellenmiştir.

Temas tanımlaması ile yağ karterinin darbe sonucu, darbe bölgesindeki enerji emilim değeri, meydana gelen hasar durumu ve çökme miktarı sonuçları elde edilerek beş farklı malzemede ve her malzemenin üç farklı sıcaklık değerindeki değerleri incelenmiştir.

2.2.2 Malzeme modelleri

Analizler, belirli bir durumu tanımlamak için sabit koşullarla yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen gerilim – gerinim ilişkilerine dayanmaktadır. Malzemenin tanımlanmasında elasto-plastik malzeme yasası kullanılır (Lobo, 2006). Elastik Young modülü, akma gerilimine kadar gerilim – gerinim ilişkisini tanımlar. Akma geriliminin üstündeki plastik davranış, efektif gerilim ve efektif plastik gerinim eğrilerinden elde edilen koordinatlar ile tanımlanır.

Taş darbe analizleri PA6-GF30, PA66-GF30, PBT-GF30, PA9T-GF30 ve PPA-GF30 olmak üzere beş farklı yağ karteri malzemesi için uygulanmıştır. Her malzemeye büyük ve küçük olmak üzere iki farklı tip taş modeli çarptırılmıştır. Her taşın 2 farklı açı ile yağ karterine çarpma durumu incelenmiştir. Motorun çalışma ve ortam şartları göz önünde bulundurularak üç farklı sıcaklıkta malzeme davranışlarını inceleyebilmek için belirtilen beş malzemenin -40°C, 23°C ve 100°C sıcaklık değerlerinde oluşan gerilme – gerinim eğrileri analizlere dahil edilmiştir. Bu amaçla BASF firmasının ISO 527 standardına uygun olacak şekilde yapılan çekme testi sonuçları ile mühendislik gerilmesi ve mühendislik uzama eğrileri olan veri sayfaları incelenmiştir.

Malzeme eğrileri, izotropik malzemelerin elastik – plastik davranışının fonksiyonlarla modellendiği M36_PLAS_TAB malzeme kartı ile Hypermesh Radioss yazılımına

tanımlanabilmektedir. Bu malzeme kartında, malzeme gerilim – gerinim eğrisinin elastik kısmı, elastisite modülü ve Poisson oranı kullanılarak modellenir. Farklı gerinim oranları için istenilen sayıda plastisite eğrisi tanımlanabilmektedir. Malzeme kartında dikkat edilmesi gereken önemli hususlardan biri efektif gerilim – uzama eğrisi verisinin kullanılması gerektiğidir. Efektif plastik gerinim, gerçek gerinimin akma sınırını aşan kurtarılamayan kısmıdır. Efektif gerilmeye karşı efektif plastik gerinim eğrisini tanımlarken, ilk plastik gerinim değeri sıfır olmalı ve ilk gerilim değeri başlangıç akma gerilmesi olmalıdır. Malzeme kartındaki N_{fuct} sekmesine beş farklı malzemenin üç farklı sıcaklık değerinde yapılan testler sonucunda elde edilen eğrilerin girilebilmesi için ilk olarak mühendislik gerilmesi ve mühendislik uzama eğrisi değerleri denklem 2.1 ve 2.2 kullanılarak gerçek gerilme – gerçek gerinim eğrilerine dönüştürülmüştür.

$$\sigma_{gerçek} = \sigma_{mühendislik} \times (1 + \varepsilon_{mühendislik}) \quad (2.1)$$

$$\varepsilon_{gerçek} = \ln(1 + \varepsilon_{mühendislik}) \quad (2.2)$$

Malzeme kartındaki gerilim – gerinim eğrisi girişi yalnızca plastik alanla ilgilidir. Bu nedenle efektif plastik gerinime karşı gelen gerçek gerilim eğrisi dikkate alınır. Young modülünü temsil eden E değeri kullanılarak efektif plastik gerinim değeri denklem 2.3'teki gibi elde edilir.

$$\varepsilon_{efektif\ plastik} = \varepsilon_{gerçek} - \frac{\sigma_{gerçek}}{E} \quad (2.3)$$

Malzeme hasarı oluşumu gerinim hatası kriteri kullanılarak belirlenmiştir. Herhangi bir eleman için hesaplanan efektif plastik gerinim değeri önceden tanımlanan değeri aşarsa eleman modelden çıkarılır ve analiz aşınmış modelle devam eder. Hıza bağlı bir malzemenin davranışını simüle etmek için malzeme kartında uygulanan gerilime karşı efektif plastik gerinim eğrisi, modele uygulanan gerinim hızıyla bağlantılı olarak belirlenir. Bu nedenle hasar kriteri gerinim hızına bağlı olarak güncellenir (Mouti, 2012).

Analizlerde kullanılan beş malzemenin -40°C , 23°C ve 100°C sıcaklıklardaki test koşullarına göre kopma gerilmesi ve kopma uzamasının gerçek değerleri Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2 : Kullanılan malzemelerin hesaplanan gerçek değerleri.

Malzemeler	Kopma Gerilmesi (MPa)	Kopma Uzaması (%)
PA6-GF30 Ultramid B3WG6 (23°C)	227	3,25
PA6-GF30 Ultramid B3WG6 (-40°C)	271	3,45
PA6-GF30 Ultramid B3WG6 (100°C)	108	10
PA66-GF30 Ultramid A3EG6 (23°C)	191	3
PA66-GF30 Ultramid A3EG6 (-40°C)	245	3,1
PA66-GF30 Ultramid A3EG6 (100°C)	105	5,1
PPA-GF30 Ultramid T2300HG6 (23°C)	187	2,4
PPA-GF30 Ultramid T2300HG6 (-40°C)	224	2,6
PPA-GF30 Ultramid T2300HG6 (100°C)	116	4,4
PA9T-GF30 Ultramid N3HG6 (23°C)	195	2,6
PA9T-GF30 Ultramid N3HG6 (-40°C)	223	2,65
PA9T-GF30 Ultramid N3HG6 (100°C)	147	2,95
PBT-GF30 Ultradur B4406G6 (23°C)	158	2.5
PBT-GF30 Ultradur B4406G6 (-40°C)	226	2.7
PBT-GF30 Ultradur B4406G6 (100°C)	77	6,5

Analiz programında kullanılan malzemelerin farklı sıcaklık değerlerindeki gerilim – gerinim eğrileri EK-B’de verilmiştir.

2.2.3 Taş çarpma koşulları

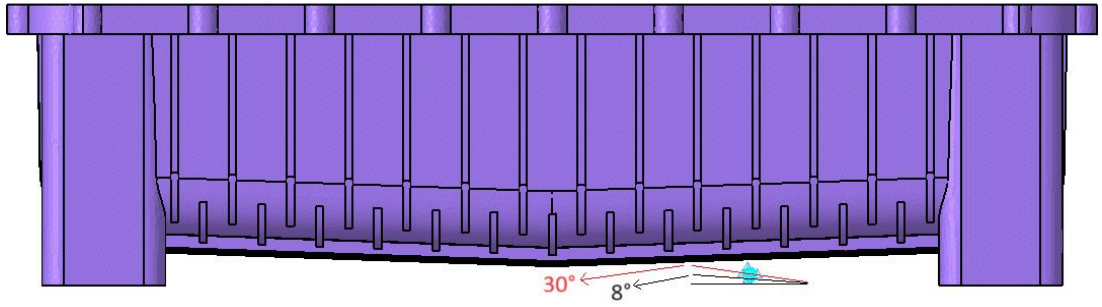
Taş çarpmasının gerçek durumunun simüle edilebilmesi için küre şeklindeki taş modeli Hypermesh yazılımında rijit duvar olarak oluşturulmuştur. Yoldan sekerek yağ karterine çarpan taşların yoğunluk değeri alüminyum malzeme ile benzerlik göstermektedir. Bu nedenle oluşturulan taş modellerinin ağırlığı hem alüminyum malzemenin yoğunluğundan yola çıkarak hem de literatürdeki benzer çalışmalardan elde edilen veriler ışığında belirlenmiştir. Büyük taş modelinin çapı 50 mm ve ağırlığı

150 gram olarak belirlenmiştir. Küçük taş modelinin ise çapı 17 mm ve ağırlığı 6 gram olarak belirlenmiştir (Youn, 2016). Sonlu elemanlar yazılımında modellenen kürelerin (küçük ve büyük taş temsil eden) iki farklı çapı vardır ve termoplastik yağ karterine darbe durumu modellenmiştir. Taş ve darbe özellikleri Çizelge 2.3'te verilmiştir.

Çizelge 2.3 : Taş darbe ve özellikleri.

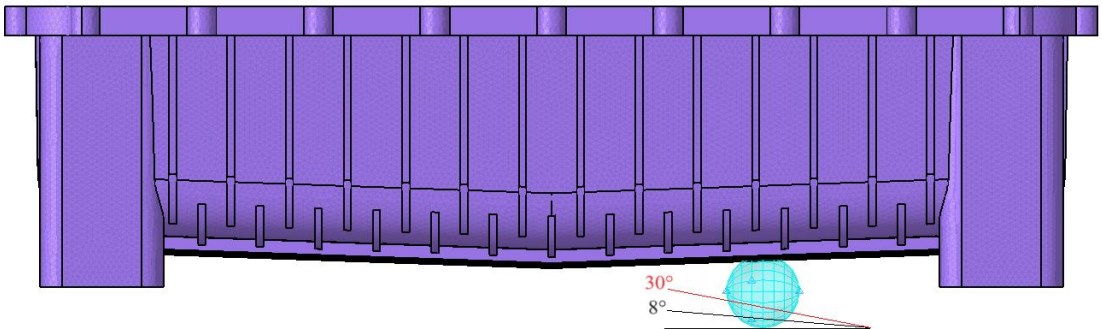
Özellik	Küçük Taş	Büyük Taş
Ağırlık	6 g	150 g
Çap	17 mm	50 mm
Darbe Açısı	30°	8°
Darbe Hızı	41,6 m/s	15 m/s

Yapılan darbe analizlerinde 17 mm çapta ve 6 gram ağırlıkta tanımlanan küre modeli 41,6 m/s hız ile 8° ve 30° açılarda, tasarımı yapılan termoplastik kartere Şekil 2.4'te verildiği gibi darbe durumu modellenmiştir.



Şekil 2.4 : Kartere küçük taş çarpma durumu.

50 mm çap ve 150 gram ağırlıkta tanımlanan küre modeli 15 m/s hız ile 8° ve 30° açılarda, termoplastik kartere Şekil 2.5'te verildiği gibi darbe durumu modellenmiştir.

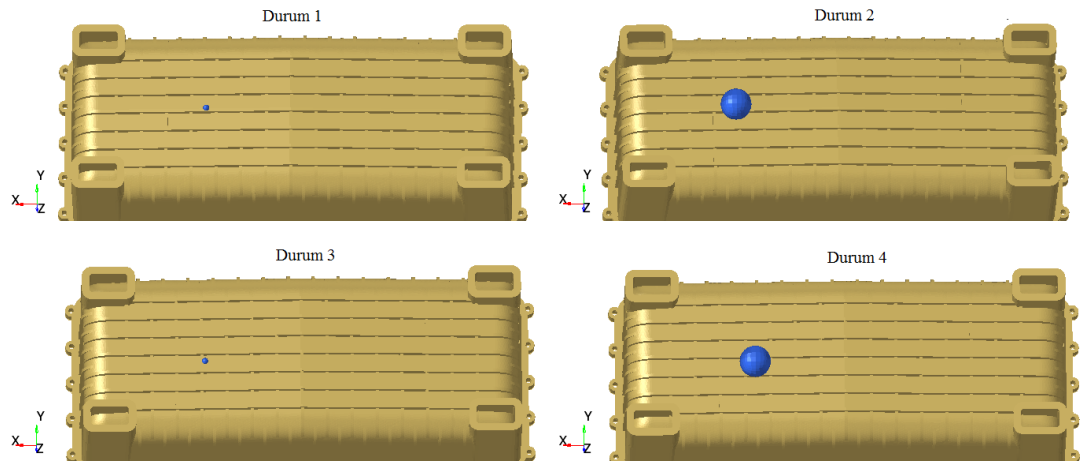


Şekil 2.5 : Kartere büyük taş çarpma durumu.

İki farklı çarpma açısı ve iki farklı taş modeli göz önünde bulundurulduğunda dört farklı durum ortaya çıkmaktadır.

- Durum 1: Küçük taş modeli 30° açı ve 41,6 m/s hız ile direkt olarak rib üzerine çarptırılmıştır.
- Durum 2: Büyük taş modeli 8° açı ve 15 m/s hız ile direkt olarak rib üzerine çarptırılmıştır.
- Durum 3: Küçük taş modeli 30° açı ve 41,6 m/s hız ile ribsiz bölgeye direkt olarak çarptırılmıştır.
- Durum 4: Büyük taş modeli 8° açı ve 15 m/s hız ile iki ribin ortasına gelecek şekilde çarptırılmıştır (Taş büyüklüğünden dolayı ilk temas iki rib üzerinde olmaktadır).

Dört farklı durumun her biri için üç farklı (-40°C, 23°C ve 100°C) sıcaklık ve beş farklı malzeme tanımlanarak darbe analizleri incelenmiştir. Açıklaması yapılan dört farklı durum Şekil 2.6’da verilmiştir.



Şekil 2.6 : Karterde analizi yapılan dört durum.

Modellenen kürelerin yağ karterinde belirlenen üç ana konumdaki etkileri incelenmiştir. Bu konumlar sırasıyla; taşın rib üzerine, taşın iki rib üzerine ve taşın ribsiz bölgeye çarpması olarak açıklanabilir. Küre modelinin bu bölgeler üzerinde oluşturduğu çökme değerleri, emilen enerji değerleri ve meydana gelen hasarları değerlendirilmiştir.

2.2.4 Birimler

Sonlu elemanlar analizi yapılırken ve analiz çıktılarının grafikleri çizdirilip analiz sonuçları incelenirken ortak bir birim sistemi sonuçları gözlemleme ve yorumlama kısmındaki karışıklığın önüne geçmektedir. Altair Radioss yazılımında fiziksel bir sistem oluştururken kullanılan birim sistemi Çizelge 2.4’te verilmiştir.

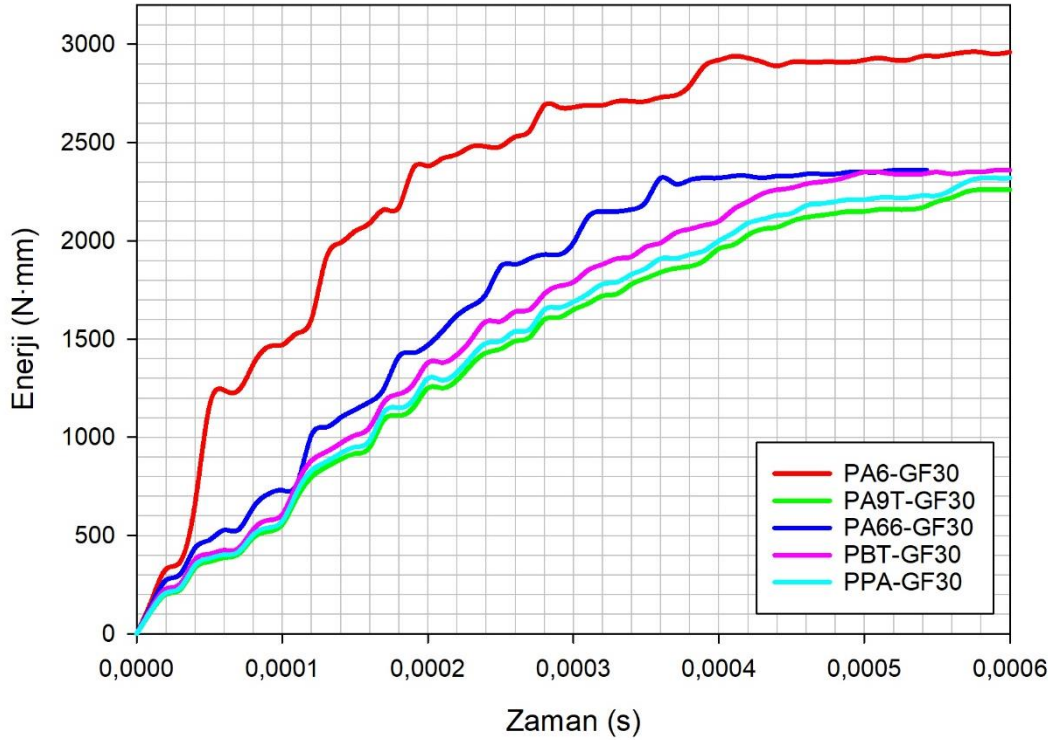
Çizelge 2.4 : Birim sistemi.

Uzunluk	Zaman	Kütle	Kuvvet	Gerilme
milimetre	saniye	ton	Newton	Mpa

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Durum 1 Analiz Sonuçları

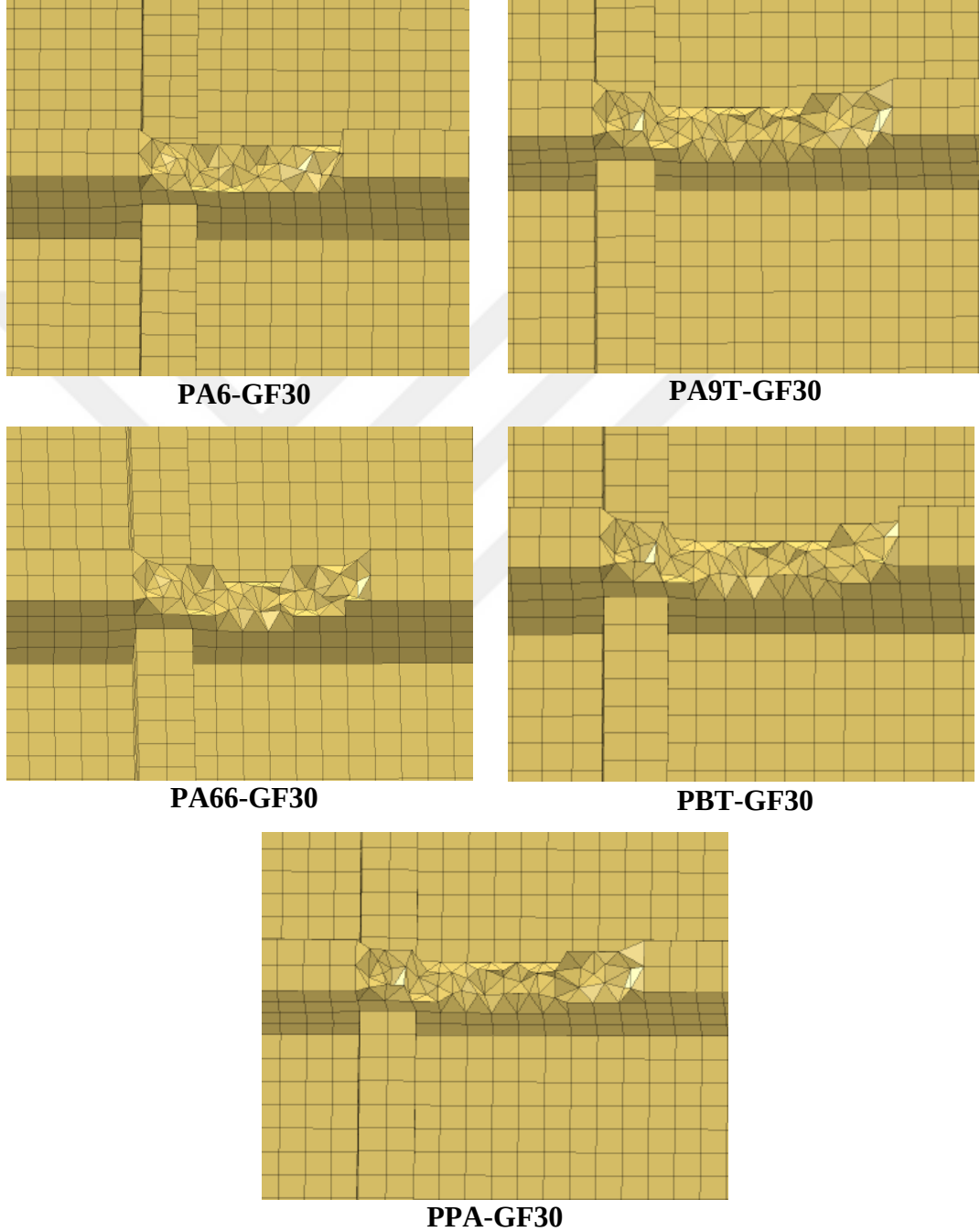
Modellenen küçük taşın 41,6 m/s hızda ve 30° açıda karter modelinde direkt olarak rib üzerine çarptırılmıştır. Darbe esnasında yağ karterinin durum 1 senaryosunda -40 °C sıcaklıktaki enerji emilimine dair beş farklı malzemede oluşan eğriler Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1 : -40 °C sıcaklık durum 1 enerji emilim eğrileri.

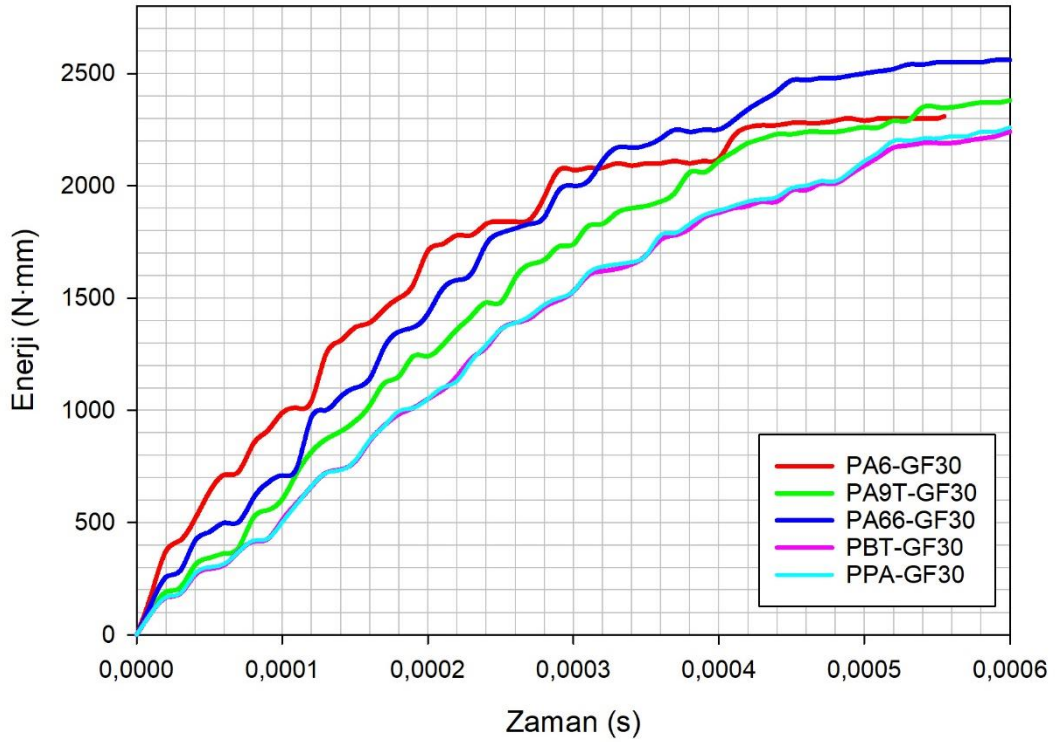
Taş darbesi sonucu yağ karterin üzerindeki elemanlarda oluşan gerinim miktarının, tanımlanan maksimum efektif gerinim değerlerinin üstüne çıkan bölgelerde elemanlar analiz sonucu yok olmuştur. Durum 1 senaryosu -40 °C sıcaklıkta beş malzemenin her birinde oluşan hasar durumları Şekil 3.2’de verilmiştir. PA6-GF30 malzemenin hasar durumları incelendiğinde, 9 mm yüksekliğinde olan rib bölgesinde oluşan hasar yüksekliği 5 mm olan kısa ribe kadar ilerlememektedir. PA9T-GF30 ve PPA-GF30 malzemelerindeki hasar durumu incelendiğinde, parçada oluşan hasar derinliği ve

genişliğinin birbirine yakın olduğu gözükmemektedir. PBT-G30 malzemesinde ise PA9T-GF30 ve PPA-GF30 aynı derinlikte fakat hasar genişliğinin daha az olduğu incelenmiştir. PA66-GF30 malzemesindeki hasar genişliği PA6-GF30 dan bir sıra eleman fazla gözükmemektedir. Taş modeli PA66-GF30 malzemesine PA6-GF30 malzemesinden daha derin olacak şekilde hasar verdiği görülmektedir.



Şekil 3.2 : -40 °C sıcaklık durum 1 darbe analizi sonrası karter üzerinde oluşan hasarlar.

Darbe esnasında yağ karterinin durum 1 senaryosunda 23 °C sıcaklıktaki enerji emilimine dair beş farklı malzemede oluşan eğriler Şekil 3.3'te verilmiştir.

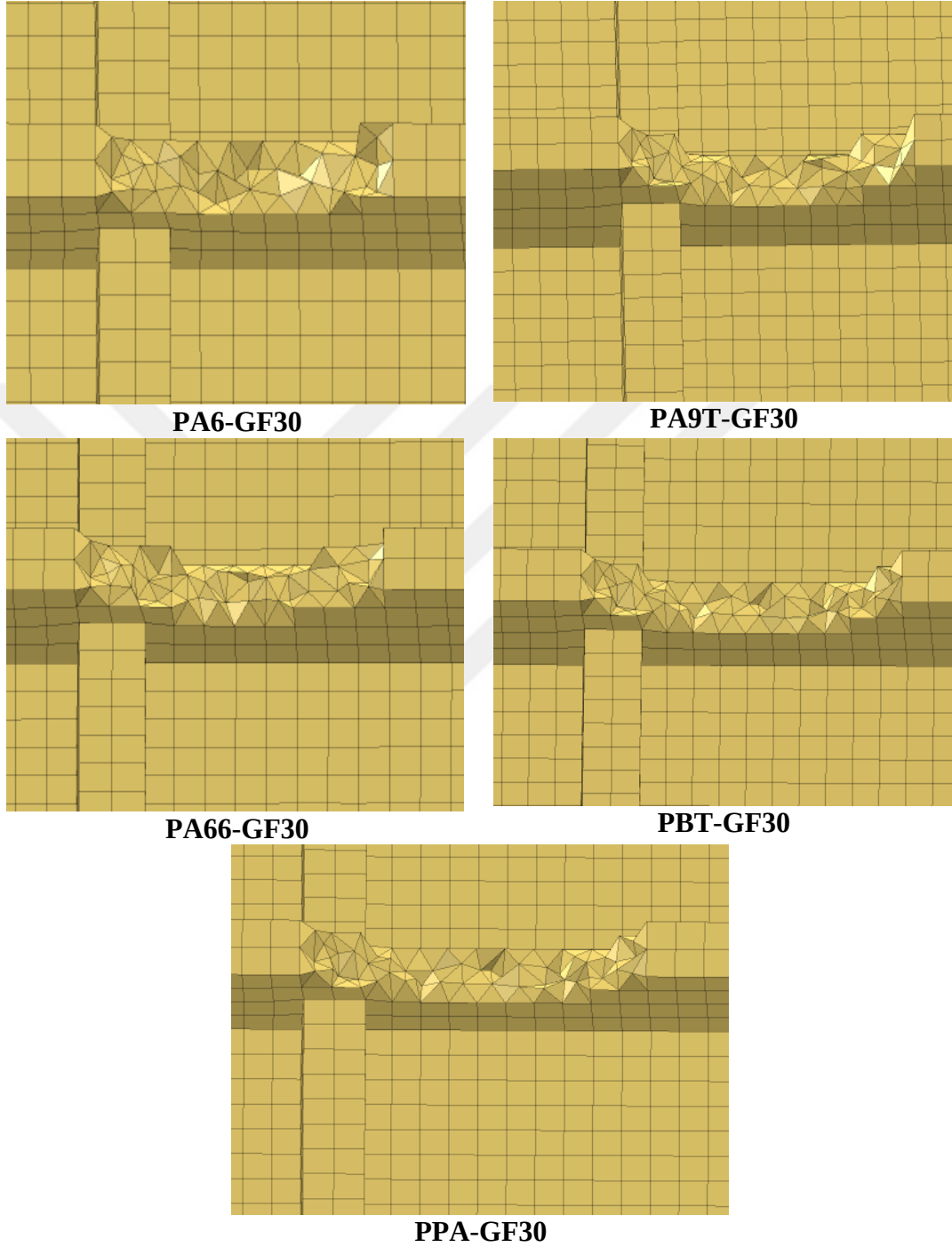


Şekil 3.3 : 23 °C sıcaklık durum 1 enerji emilim eğrileri.

PA6-GF30 malzemesi 23°C sıcaklıkta iken -40 °C deki halinden daha fazla enerji emilim değeri görülmüştür. PBT-GF30 ve PPA-GF30 malzemeleri -40 °C sıcaklıktaki enerji emilimlerine göre 23 °C sıcaklıkta karakteristik olarak birbirine daha yakın davranış göstermiştir. PA9T-GF30 ve PPA-GF30 malzemeleri -40 °C sıcaklıkta eğri oluşumunda birbirine yakın değerler göstermesine rağmen 23 °C sıcaklıkta elde edilen değerleri ile aradaki fark açılmaktadır.

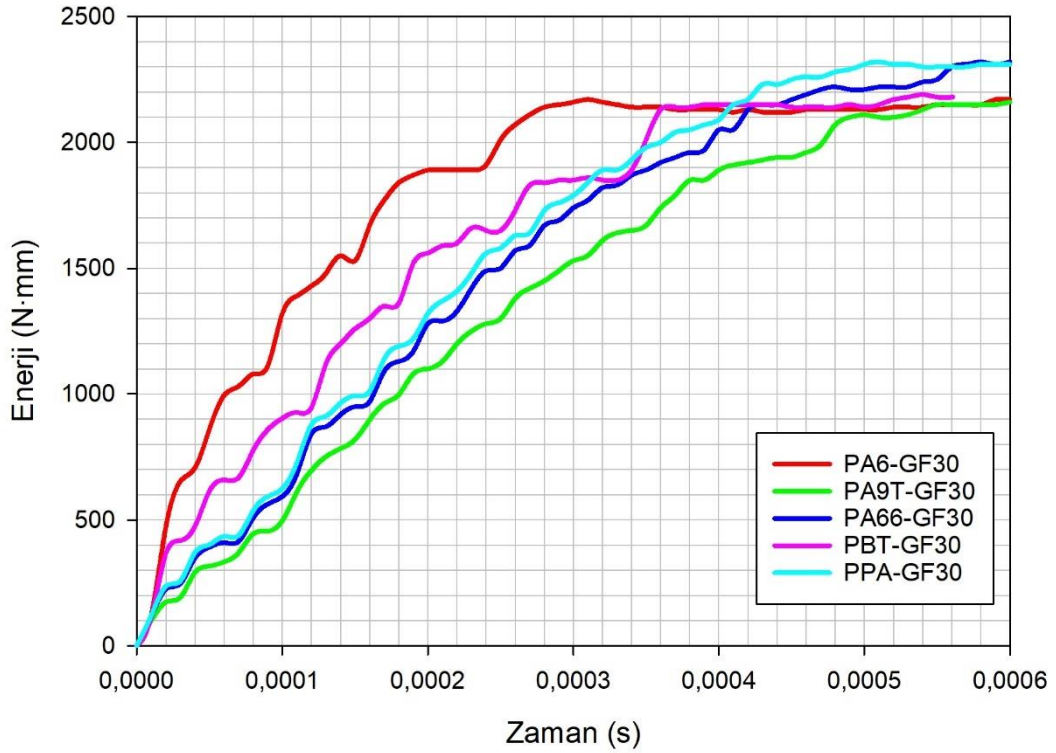
Durum 1 senaryosu 23 °C sıcaklıkta beş malzemenin her birinde oluşan hasar durumları Şekil 3.4'te verilmiştir. PBT-GF30 malzemesi 23 °C sıcaklıkta iken -40° deki durumdan daha fazla hasar aldığı gözlemlenmiştir. PA9T-GF30 malzeme -40 °C ve 23 °C sıcaklıkta yakın hasar değerine sahiptir. PA6-GF30 ve PA66-GF30 malzemeleri -40 °C sıcaklıktaki halinden fazla hasar almıştır. 23 °C sıcaklıkta, PA66-GF30 malzemesi PA6-GF30 malzemesinden daha geniş yüzeyde hasar almıştır. PA9T-GF30, PBT-GF30 ve PPA-GF30 malzemelerinde 23 °C sıcaklıkta oluşan hasar genişlik ve derinlik değerlerinin birbirine çok yakın olduğu incelenmiştir. PA6-GF30 malzemesinde oluşan hasarın genişlik ve derinliği PA66-GF30 malzemesine göre daha

azdır. 23 °C sıcaklık ve durum 1 senaryosu hasar sonuçlarına göre ana gövdede herhangi bir hasar görülmemiştir. Böylece parça üzerinde çatlak ve sızıntı riski olmayacağı yorumu yapılmaktadır.



Şekil 3.4 : 23 °C sıcaklık durum 1 darbe analizi sonrası karter üzerinde oluşan hasarlar.

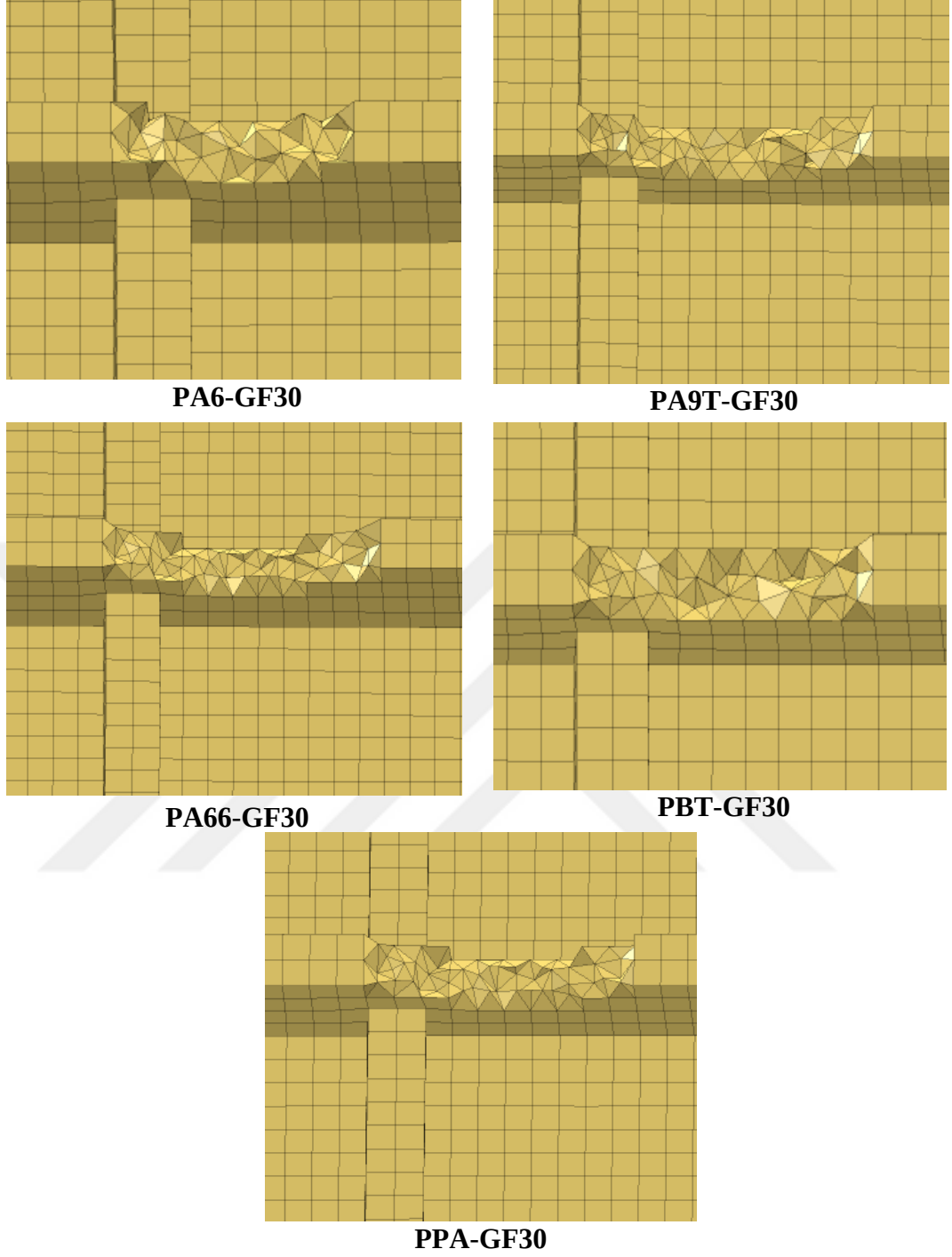
Darbe esnasında yağ karterinin durum 1 senaryosunda 100 °C sıcaklıktaki enerji emilimine dair beş farklı malzemede oluşan eğriler Şekil 3.5’te verilmiştir.



Şekil 3.5 : 100 °C sıcaklık durum 1 enerji emilim eğrileri.

Eğrinin yukarı yönde ilerleyip karar noktasına oturmaması aslında çarpan parçanın çarptığı parçada delinmeye yol açtığını ifade etmektedir. Fakat buradaki yukarı ilerlemede taş rib üzerinde derin hasar bırakıp sekmesi sonrasında karar noktasına gelmektedir. PA6-GF30 ve PBT-GF30 malzemeleri 100 °C sıcaklıkta diğer malzemelerden daha önce karar noktasına oturmuştur. PA66-GF30 ve PPA-GF30 malzemeleri enerji – zaman grafiğinde birbirine yakın karakteristik davranış gerçekleştirdiği görülmektedir.

Durum 1 senaryosu 100 °C sıcaklıkta beş malzemenin her birinde oluşan hasar durumları Şekil 3.6’da verilmiştir. En az hasar PA6-GF30 malzemesinde görülmüştür. PA66-GF30 ve PA9T-GF30 malzemelerinde oluşan hasar genişlikleri aynıdır. PA9T-GF30, PBT-GF30 ve PPA-GF30 malzemelerinde 100 °C sıcaklıkta oluşan hasar miktarları, 23 °C ve -40 °C sıcaklıklarında olduğu gibi birbirine yakındır. PA66-GF30 malzemesi 100 °C sıcaklıkta iken oluşan darbe miktarı 23 °C iken oluşan darbe miktarından fazla olduğu incelenmiştir. Boyuna olan ribdeki hasar oluşumu, enine olan ribe kadar ilerlememiştir. Parçanın ana gövdesinde de hasar görülmediği için çatlak ve sızıntı riski ortaya çıkmamaktadır.



Şekil 3.6 : 100 °C sıcaklık durum 1 darbe analizi sonrası karter üzerinde oluşan hasarlar.

Durum 1 olarak belirlenen taş çarpma modellemesinde beş farklı malzemede, karter üzerinde belirtilen bölgeye darbe alması sonucu; darbe bölgesinde oluşan çökme miktarı değerleri Çizelge 3.1’de belirtilmiştir.

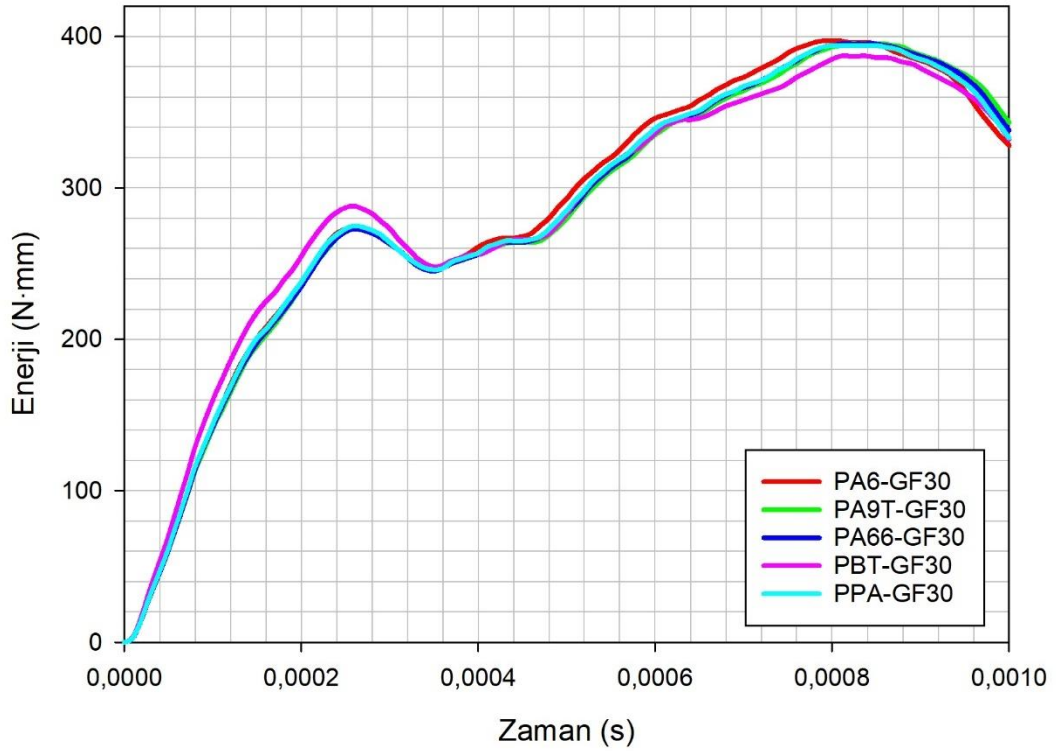
Çizelge 3.1 : Yağ karterinin durum 1 senaryosunda malzeme ve sıcaklığa göre çökme miktarı ve hasar durumu.

Malzemeler	Çökme Miktarı (mm)	Hasar Durumu
PA6-GF30 (-40 °C)	0,389	Ribde var, ana gövdede yok
PA9T-GF30 (-40 °C)	0,347	Ribde var, ana gövdede yok
PA66-GF30 (-40°C)	0,402	Ribde var, ana gövdede yok
PBT-GF30 (-40 °C)	0,303	Ribde var, ana gövdede yok
PPA-GF30 (-40 °C)	0,338	Ribde var, ana gövdede yok
PA6-GF30 (23 °C)	0,461	Ribde var, ana gövdede yok
PA9T-GF30 (23 °C)	0,392	Ribde var, ana gövdede yok
PA66-GF30 (23 °C)	0,356	Ribde var, ana gövdede yok
PBT-GF30 (23 °C)	0,281	Ribde var, ana gövdede yok
PPA-GF30 (23 °C)	0,369	Ribde var, ana gövdede yok
PA6-GF30 (100 °C)	0,795	Ribde var, ana gövdede yok
PA9T-GF30 (100 °C)	0,464	Ribde var, ana gövdede yok
PA66-GF30 (100 °C)	0,564	Ribde var, ana gövdede yok
PBT-GF30 (100 °C)	0,572	Ribde var, ana gövdede yok
PPA-GF30 (100 °C)	0,491	Ribde var, ana gövdede yok

Durum 1 senaryosunda malzemelerin çökme değerleri incelendiğinde, -40 °C sıcaklıkta en fazla çökme PA66-GF30 malzemesinde görülmüştür. 23 °C sıcaklıkta en fazla çökme miktarı PA6-GF30 malzemesinde vardır. 100 °C sıcaklıkta en fazla çökme miktarı PA6-GF30 malzemesindedir. Beş malzemenin de -40 °C sıcaklıktan 100 °C sıcaklığa geçişte çökme miktarları artmıştır.

3.2 Durum 2 Analiz Sonuçları

Modellenen büyük taşın 15 m/s hızda ve 8° açıda karter modelinde direkt olarak rib üzerine çarptırılmıştır. Darbe esnasında yağ karterinin -40 °C sıcaklıktaki enerji emilimine dair beş farklı malzemede oluşan eğriler Şekil 3.7’de verilmiştir.

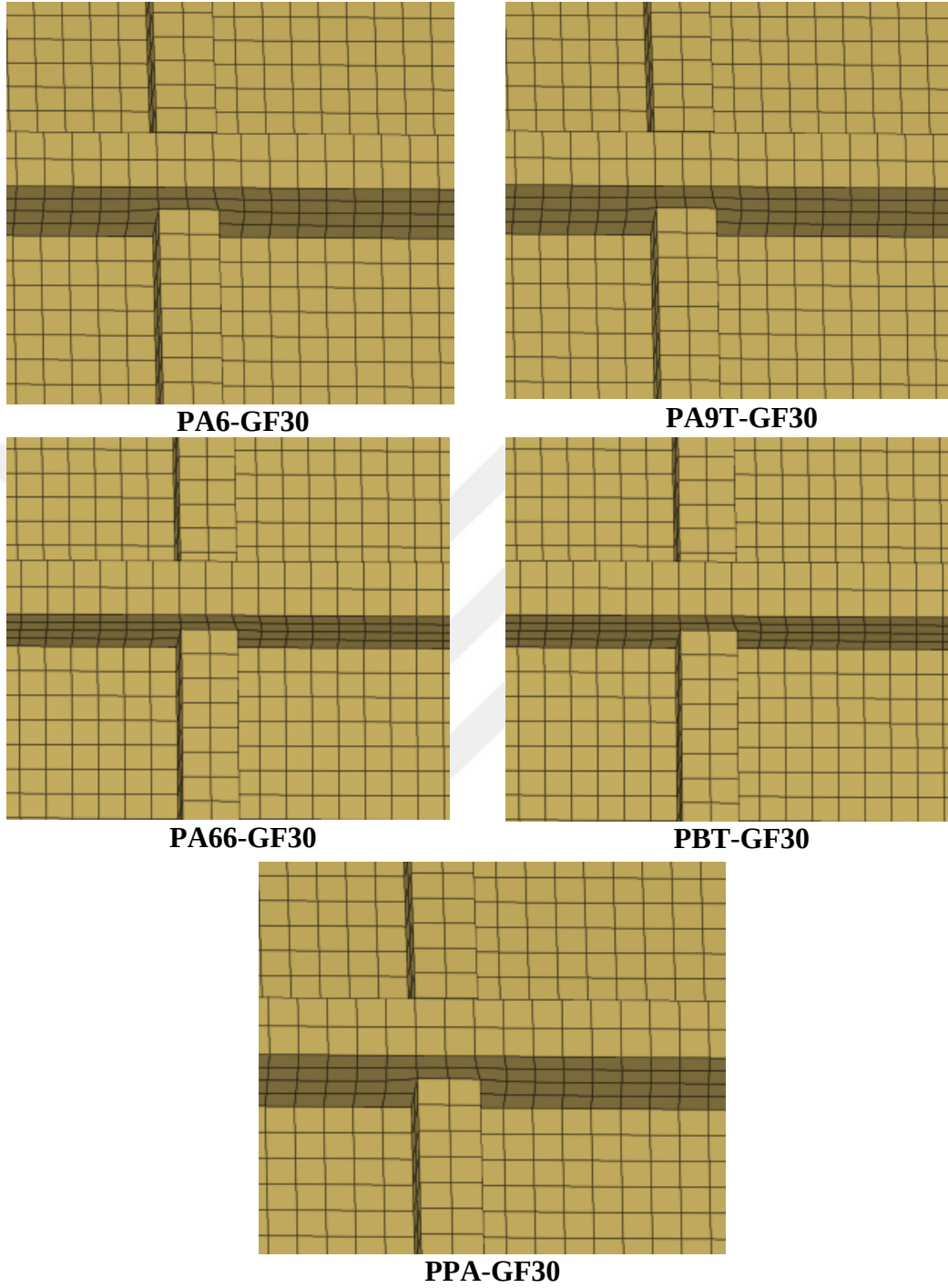


Şekil 3.7 : -40 °C sıcaklık durum 2 enerji emilim eğrileri.

Taşın karterdeki iki rib üzerine çarpıp sekmesi sonucunda taşın sahip olduğu enerjinin tamamı karter tarafında emilimi sağlanmaz. Emilimi sağlanmayan darbe enerjisi de taşın karterden geri sekmesinde kullanılır. Şekil 3.7’deki eğrilerden de görüleceği üzere taşın yağ karterine çarpması sonrası geri sektiği anlaşılmaktadır. Beş malzemeye gelen darbe sonrasında enerji – zaman eğrilerine bakıldığında, malzemelerin birbirine yakın karakteristik özellik gösterdiği görülmektedir.

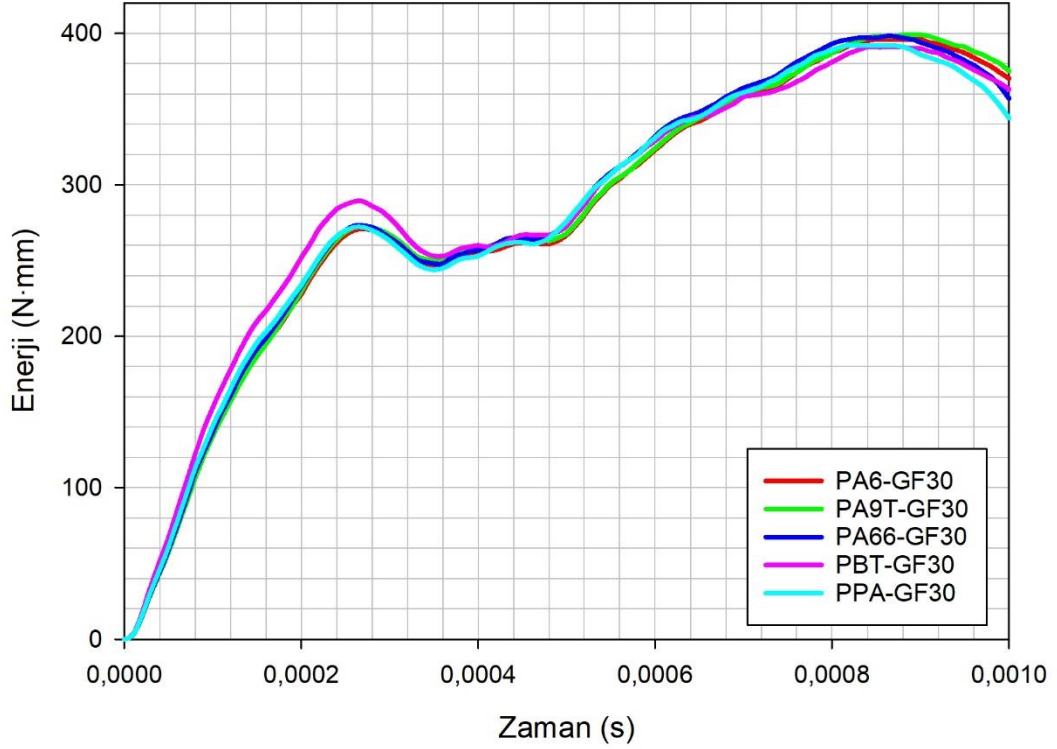
Durum 2 senaryosu -40 °C sıcaklıkta beş malzemenin her birinde oluşan hasar durumları Şekil 3.8’de verilmiştir. Analiz sonucu ile riblerin ne derecede hasar aldığı ve oluşan bu hasar sonucunda yağ karteri ana gövdesinde hasar oluşup oluşmama durumu gözlemlenebilmiştir. PA6-GF30, PA9T-GF30, PA66-GF30, PBT-GF30 ve PPA-GF30 malzemelerinin -40 °C sıcaklıktaki hallerinde taş darbesi sonucu herhangi bir hasar gözlemlenmemiştir. Hasar olmamasının temel iki sebebinden ilki taş

modelinin yataya yakın 8° açı ile gelmesidir. Diğer sebep ise ilk temas noktası yağ karterinde rijit bir yapıya sahip olan rib geometrisinin üzerinde olmasıdır.



Şekil 3.8 : -40 °C sıcaklık durum 2 darbe analizi sonrası karter üzerinde oluşan hasarlar.

Darbe esnasında yağ karterinin durum 2 senaryosunda 23 °C sıcaklıktaki enerji emilimine dair beş farklı malzemede oluşan eğriler Şekil 3.9’da verilmiştir.



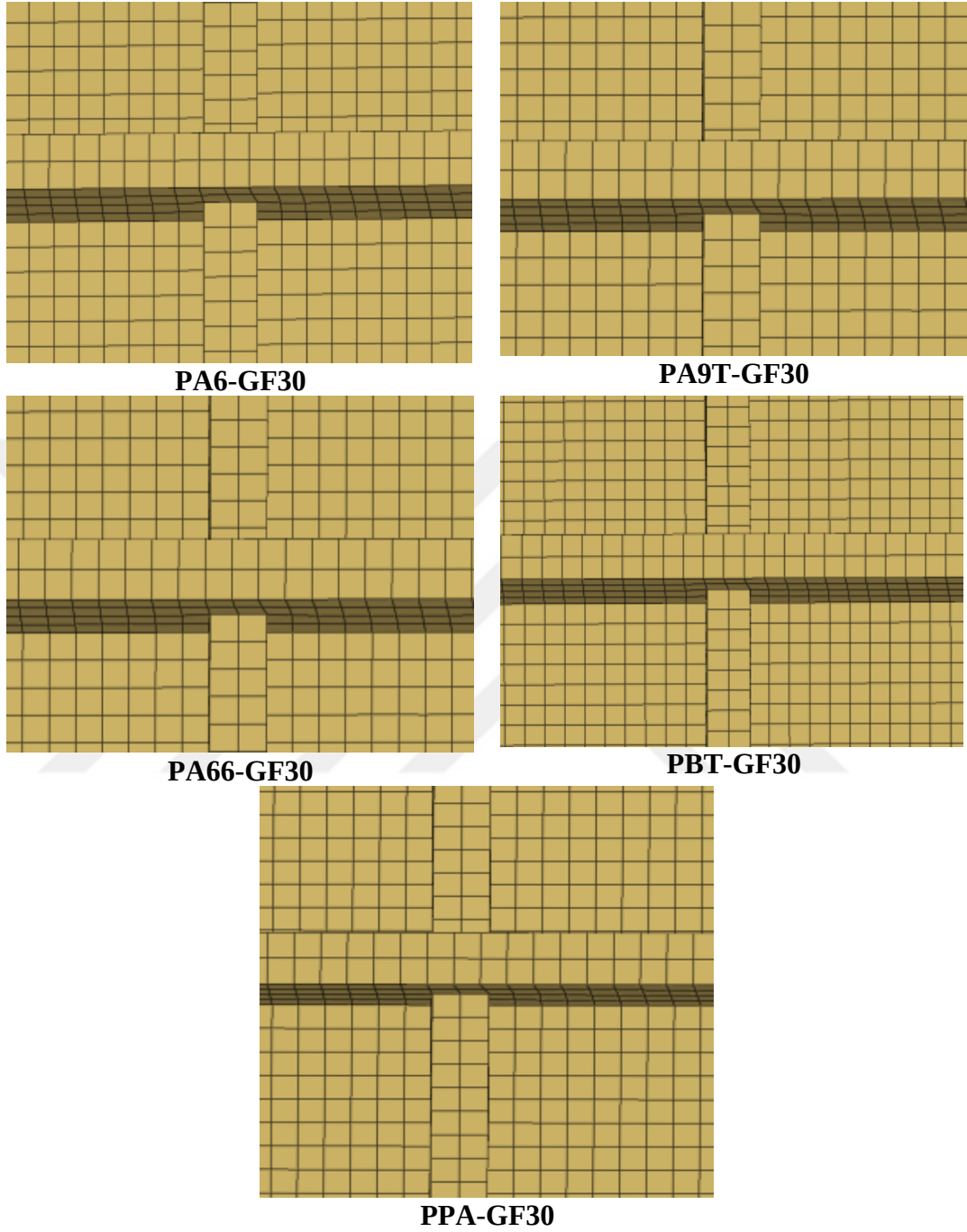
Şekil 3.9 : 23 °C sıcaklık durum 2 enerji emilim eğrileri.

Elde edilen enerji emilim eğrilerine göre beş malzemenin enerji emilim değerlerinin 23 °C sıcaklıktaki eğrilerle birbirine yakın özellik göstermektedir. Ayrıca 23 °C sıcaklıkta malzemelerin enerji – zaman grafiği incelendiğinde beş farklı malzemenin karakteristik eğrileri birbirlerine yakın durumdadır.

Yağ karteri tasarımında motor yağının ortada toplanabilmesi için uzun kenarın her iki tarafından 2° açılı olacak şekilde tasarımı mevcuttur. Belirtilen açılı tasarımla motor yağı değişiminde yağın kolay dışarı alınması ve yağ karterinin enjeksiyon kalıptan daha kolay çıkarılma durumu göz önünde bulundurularak yapılmıştır. 8° açılı ile gelen büyük taş modelinin 2° olan açılı ile aynı yönde olması da hasarı azaltıcı yönde davranış sergilemiştir.

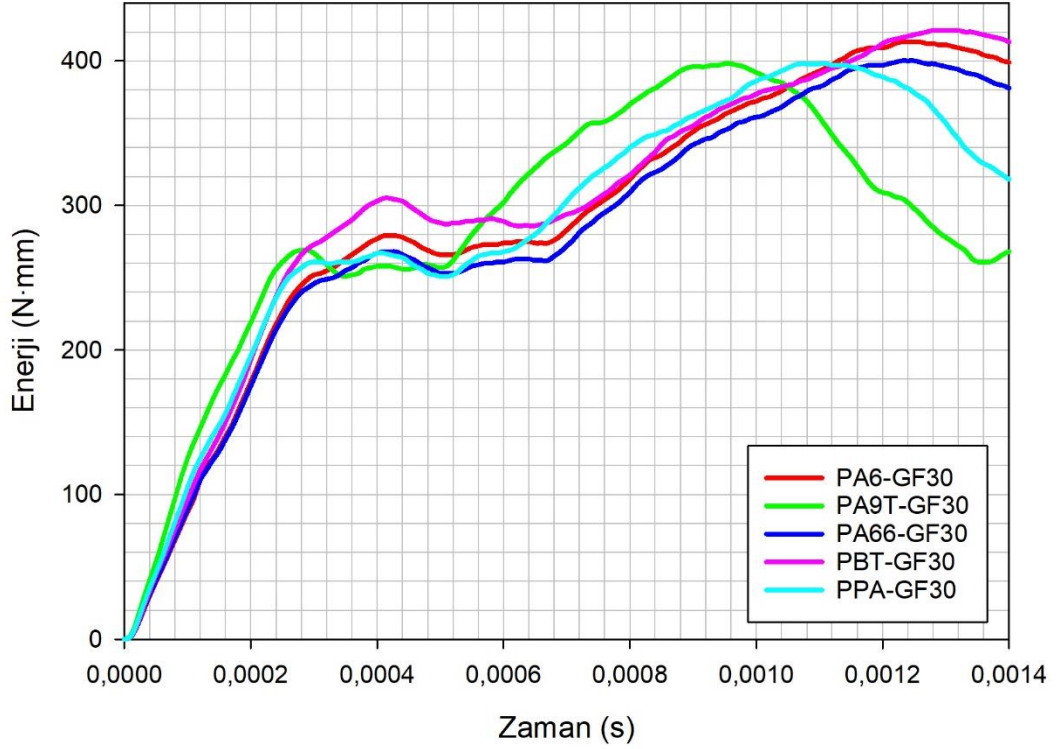
Durum 2 senaryosu 23 °C sıcaklıkta beş malzemenin her birinde oluşan hasar durumları Şekil 3.10'da verilmiştir. Taş modelinin yataya yakın çarpma açısı ve rijit yapıya sahip rib bölgesine çarpmasından dolayı PA6-GF30, PA9T-GF30, PA66-GF30, PBT-GF30 ve PPA-GF30 malzemelerinde hasar görülmemiştir. Analize tanımlanan gerilim – gerinim değerleri sınır değerleri durum 2 senaryosunda aşılmadığı için hasar gözlemlenmemiştir. Boyuna olan rib üzerinde hasar olmaması ile enine riblerde de hasar olmamıştır. Ana gövde üzerinde de herhangi bir hasar

oluşmadığından dolayı yağ karterinde çatlak veya sızıntı riski bulunmadığı yorumu yapılmaktadır.



Şekil 3.10 : 23 °C sıcaklık durum 2 darbe analizi sonrası karter üzerinde oluşan hasarlar.

Darbe esnasında yağ karterinin durum 2 senaryosunda 100 °C sıcaklıktaki enerji emilimine dair beş farklı malzemede oluşan eğriler Şekil 3.11’de verilmiştir.

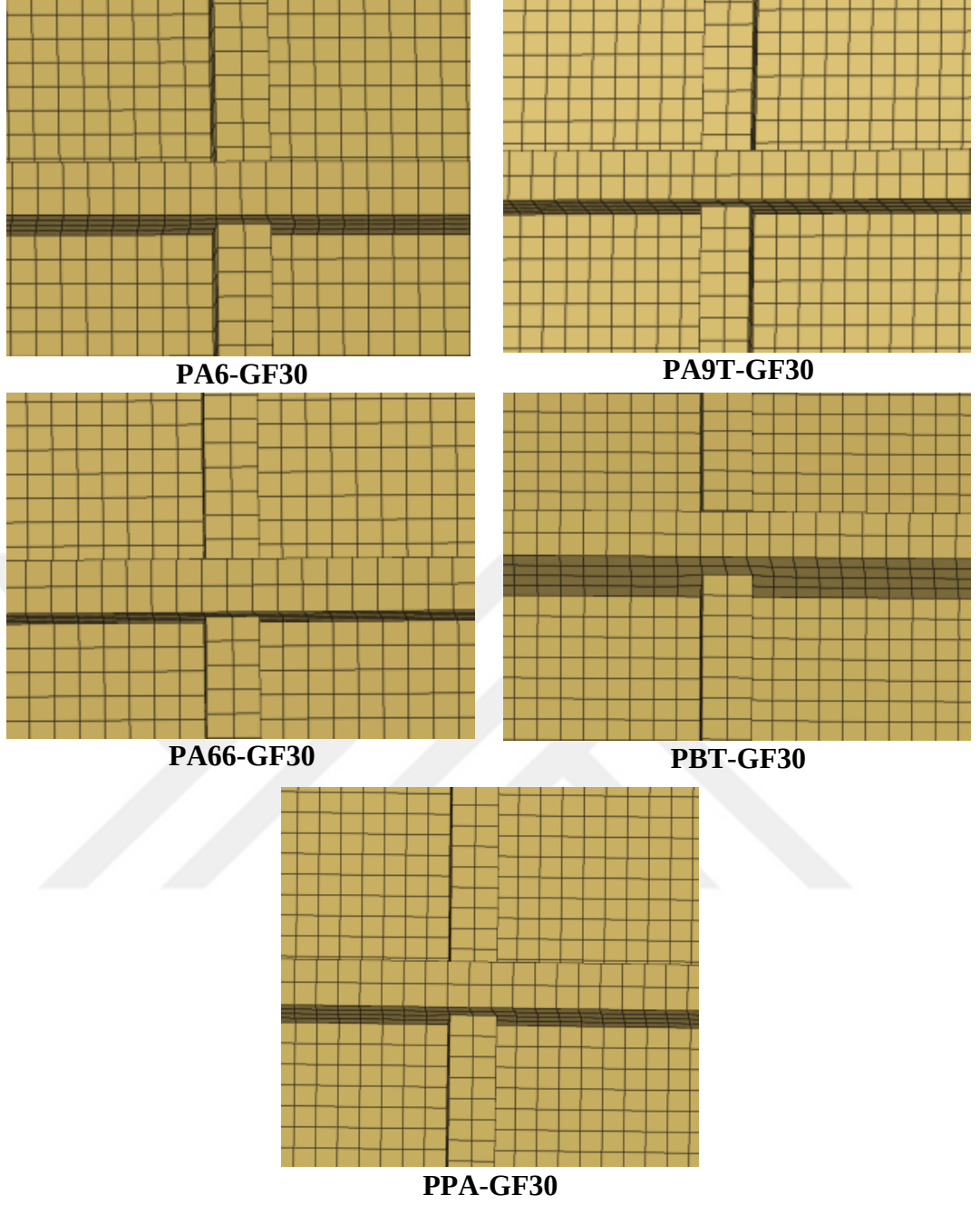


Şekil 3.11 : 100 °C sıcaklık durum 2 enerji emilim eğrileri.

-40 °C ve 23 °C sıcaklıktaki malzemeler enerji – zaman grafiğinde karakteristik olarak birbirine yakın eğri oluşturmuştu. 100 °C sıcaklıkta PA6-GF30, PA66-GF30 ve PBT-GF30 malzemelerinin enerji emilim eğrileri birbirine yakın davranış göstermiştir. PPA-GF30 ve PA9T-GF30 malzemelerinde taş karter yüzeyinden diğer malzemelere göre daha önce sekmektedir. Eğrinin yükseldikten sonra aşağı inişi ile parçanın sekme yaptığı durumu da anlaşılmaktadır.

Durum 2 senaryosu 100 °C sıcaklıkta beş malzemenin her birinde oluşan hasar durumları Şekil 3.12’de verilmiştir. -40 °C ve 23 °C sıcaklıktaki malzemelere benzer olacak şekilde rib üzerinde hasar görülmemiştir. Analiz programında tanımlanan gerilim – gerinim sınır değerlerine malzemeler ulaşmadığından dolayı darbe bölgesinde hasar görülmemiştir.

Durum 2 senaryosunda değerlendirilen -40 °C, 23 °C ve 100 °C sıcaklıklardaki yağ karterinde rib üzerine yapılan darbe sonucunda beş farklı malzemede de hasar görülmemiştir. Malzemelerde hasar oluşumu olmadığından çatlak ve sızıntı riski olmadığı belirtilebilir. Durum 2 senaryosuna göre seçimi yapılan beş farklı malzemenin yağ karteri imalatına uygun olduğu elde edilen darbe analiz sonuçlarına göre söylenebilir.



Şekil 3.12 : 100 °C sıcaklık durum 2 darbe analizi sonrası karter üzerinde oluşan hasarlar.

Durum 2 olarak belirlenen taş çarpma modellemesinde beş farklı malzemede, karter üzerinde belirtilen bölgeye darbe alması sonucu; darbe bölgesinde oluşan çökme miktarı değerleri Çizelge 3.2’de belirtilmiştir.

Çizelge 3.2 : Yağ karterinin durum 2 senaryosunda malzeme ve sıcaklığa göre çökme miktarı ve hasar durumu.

Malzemeler	Çökme Miktarı (mm)	Hasar Durumu
PA6-GF30 (-40 °C)	0,744	Hasar yok
PA9T-GF30 (-40 °C)	0,763	Hasar yok
PA66-GF30 (-40 °C)	0,759	Hasar yok
PBT-GF30 (-40 °C)	0,689	Hasar yok
PPA-GF30 (-40 °C)	0,748	Hasar yok
PA6-GF30 (23 °C)	0,799	Hasar yok
PA9T-GF30 (23 °C)	0,798	Hasar yok
PA66-GF30 (23 °C)	0,779	Hasar yok
PBT-GF30 (23 °C)	0,716	Hasar yok
PPA-GF30 (23 °C)	0,762	Hasar yok
PA6-GF30 (100 °C)	1,114	Hasar yok
PA9T-GF30 (100 °C)	0,846	Hasar yok
PA66-GF30 (100 °C)	1,101	Hasar yok
PBT-GF30 (100 °C)	1,049	Hasar yok
PPA-GF30 (100 °C)	0,984	Hasar yok

Malzemelerin çökme miktarları incelendiğinde, -40 °C sıcaklıktaki değerler birbirine yakındır. -40 °C sıcaklıkta en fazla çökme miktarı PA9T-GF30 malzemesindedir. 23 °C sıcaklıktaki malzemelerde birbirine yakın çökme miktarları göstermiştir. 23 °C sıcaklıkta en fazla çökme miktarı PA6-GF30 ve PA9T-GF30 malzemelerinde meydana gelmiştir. 100 °C sıcaklıkta en fazla çökme miktarı PA6-GF30 malzemesinde olmuştur.

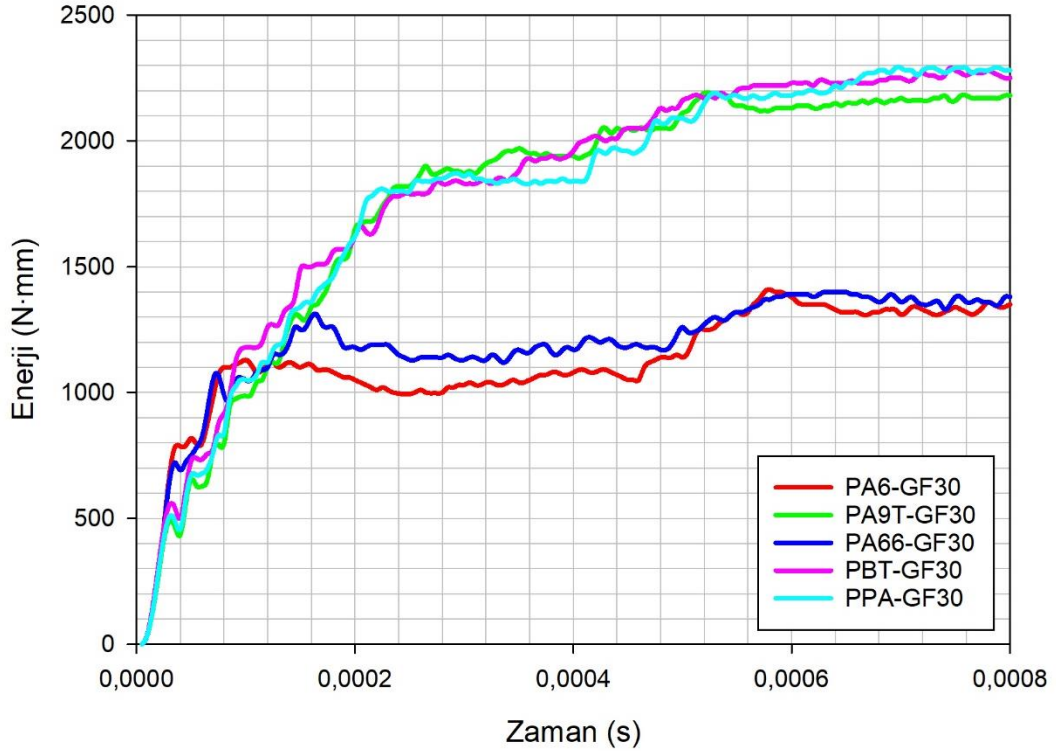
Darbe analizi sonuçlarına göre, durum 2 senaryosunda büyük taşın direkt rib üzerine çarpması sonucu, riblerin hasar almaması ile hasar durumunun aslında çökme miktarı artması ile ilişkili olmadığı da anlaşılmaktadır.

Malzemelerde hasar olmamasına karşılık sıcaklık değer değişimi ile malzemenin çökme miktarı etkilenmiştir. -40 °C sıcaklıktan 100 °C sıcaklığa geçişte Çizelge 3.2’de görüldüğü gibi malzemelerdeki çökme miktarlarında artış mevcuttur. Sıcaklık arttıkça plastik malzemelerin esneklik davranışı artmaktadır. Daha sünek yapıya bürünen malzemelerin çökme miktarları da artış göstermektedir.

3.3 Durum 3 Analiz Sonuçları

Modellenen küçük taşın 41,6 m/s hızda ve 30° açıda karter modelinde iki ribin ortasına gelecek şekilde karterin ana gövdesine çarptırılmıştır. Darbe esnasında yağ karterinin

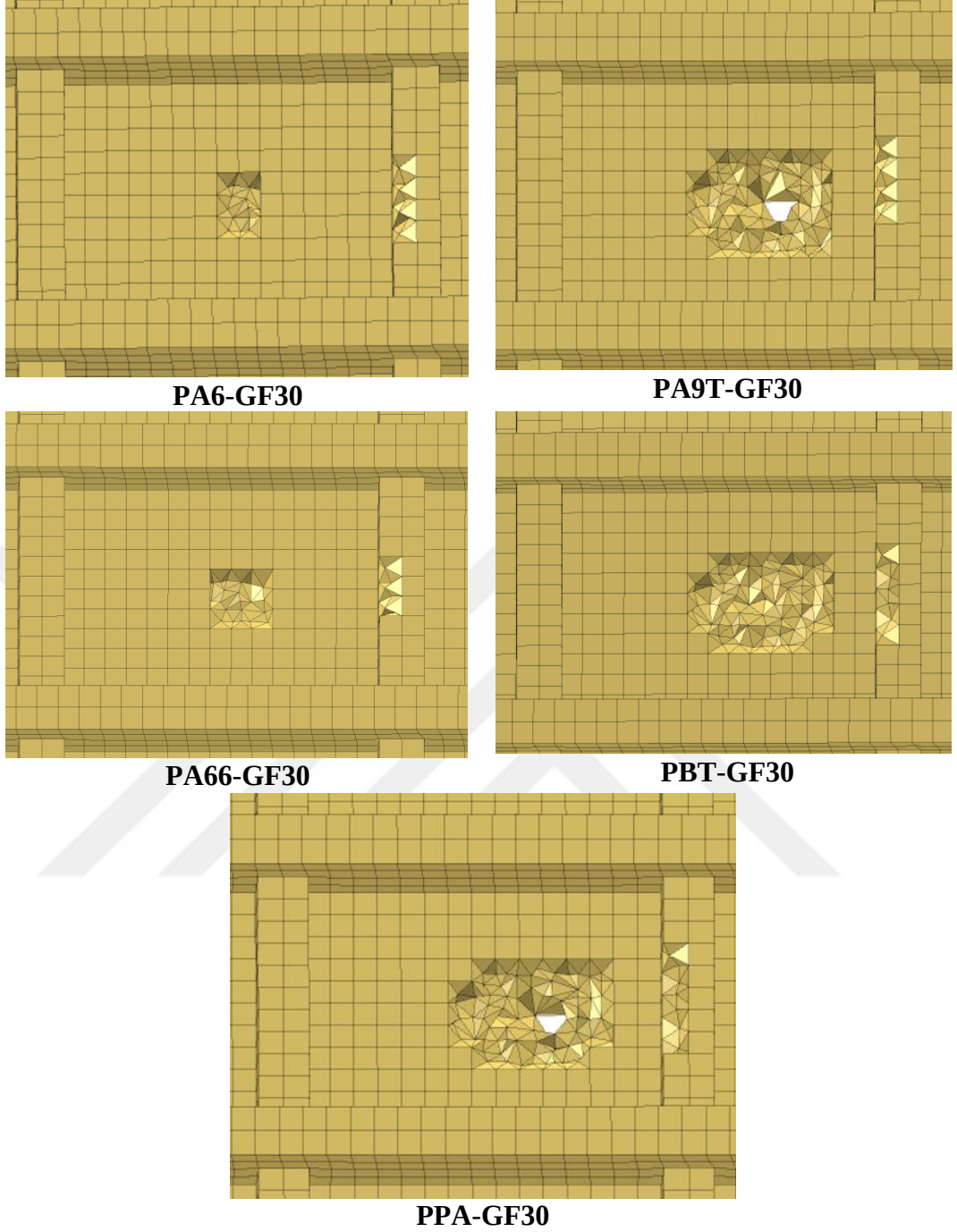
durum 3 senaryosunda -40 °C sıcaklıktaki enerji emilimine dair beş farklı malzemede oluşan eğriler Şekil 3.13'te verilmiştir.



Şekil 3.13 : -40 °C sıcaklık durum 3 enerji emilim eğrileri.

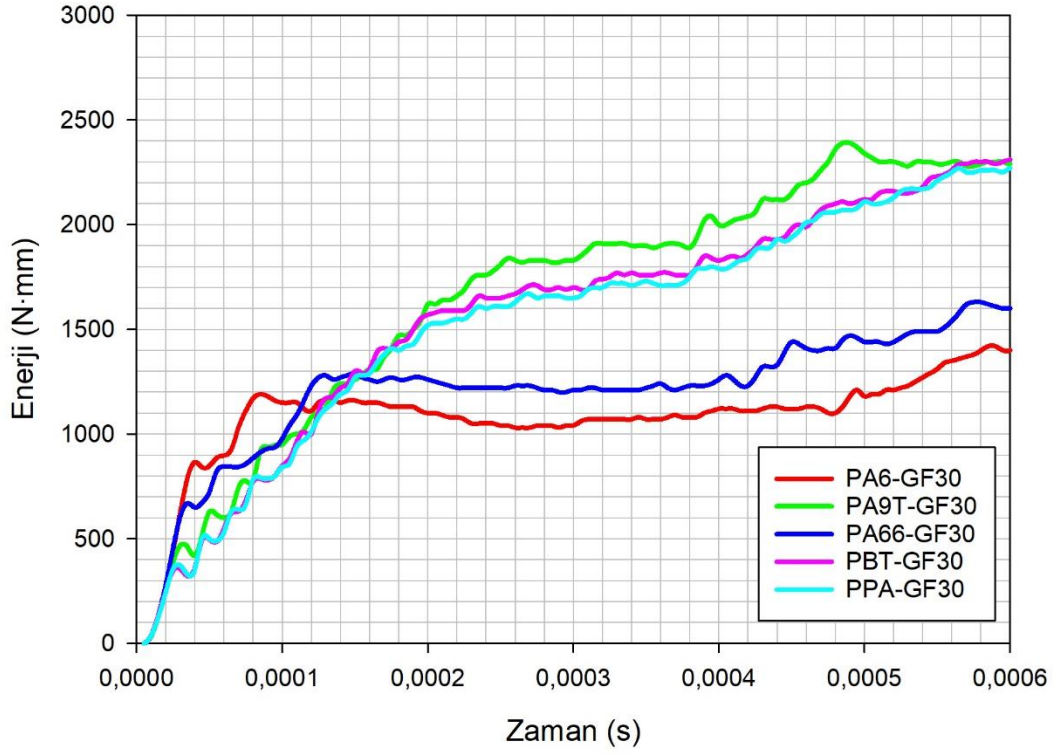
PA9T-GF30 ve PPA-GF30 malzemelerinde taşın yağ karteri üzerinde oluşturduğu çatlak durumundan dolayı eğrinin yukarıya doğru direkt olarak ilerlediği 23 °C sıcaklık değerinde de görülmüştür. PBT-GF30 malzemesinin eğrisinin yukarı doğru ilerlemesine sebep olan durumda çatlamaya yakın bir hasar durumu göstermesidir. PA6-GF30 ve PA66-GF30 malzemelerinin eğrileri belirli bir noktadan sonra yukarı yönde ilerlemesi durmuştur. Taşın hasar verip geri sekmesinden dolayı eğri bu şekilde yol izlemiştir.

Durum 3 senaryosu -40 °C sıcaklıkta beş malzemenin her birinde oluşan hasar durumları Şekil 3.14'te verilmiştir. Ana gövdeye çarpan taş modeli, ana gövdeye hasar verip gelme açısından dolayı sekme durumunda rib üzerinde de hasar bırakarak ilerleme gerçekleştirmiştir. Şekil 3.14'te görüldüğü gibi, PA9T-GF30 ve PPA-GF30 malzemelerinde çatlak durumu gözlemlenmiştir. PBT-GF30 malzemesinin ana gövdedeki hasar derinliği ve genişliği PA6-GF30 ve PA66-GF30 malzemelerine göre daha yüksektir.



Şekil 3.14 : -40 °C sıcaklık durum 3 darbe analizi sonrası karter üzerinde oluşan hasarlar.

Darbe esnasında yağ karterinin durum 3 senaryosunda 23 °C sıcaklıktaki enerji emilimine dair beş farklı malzemede oluşan eğriler Şekil 3.15'te verilmiştir.

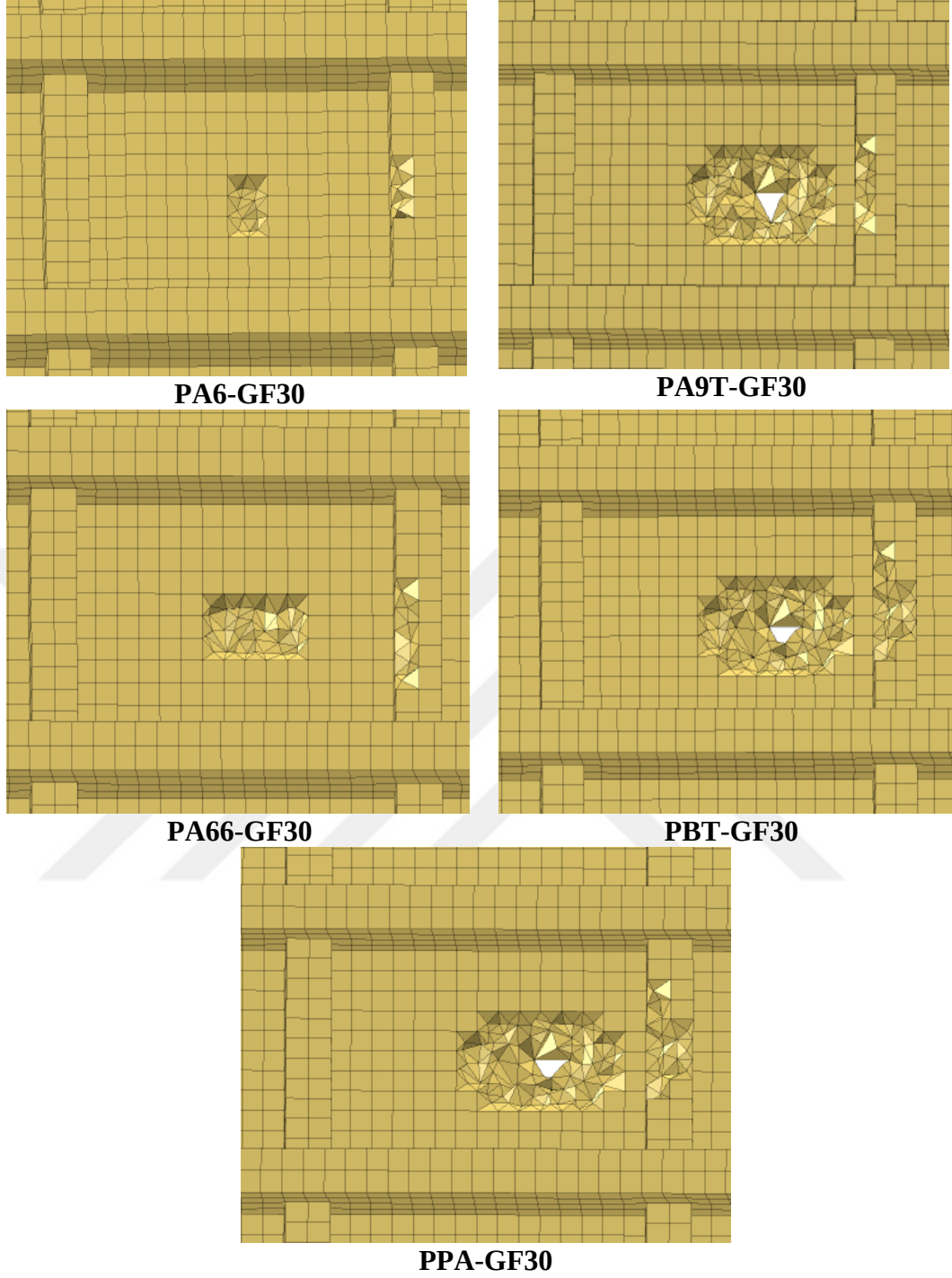


Şekil 3.15 : 23 °C sıcaklık durum 3 enerji emilim eğrileri.

PA9T-GF30, PBT-GF30 VE PPA-GF30 malzemelerinde taşın yağ karteri üzerinde oluşturduğu çatlak durumundan dolayı eğrinin yukarıya doğru direkt olarak ilerlediği 23 °C sıcaklık değerinde de görülmüştür. Bununla birlikte PA6-GF30 ve PA66-GF30 malzemelerinde ise daha az enerji emilimi görülmüştür.

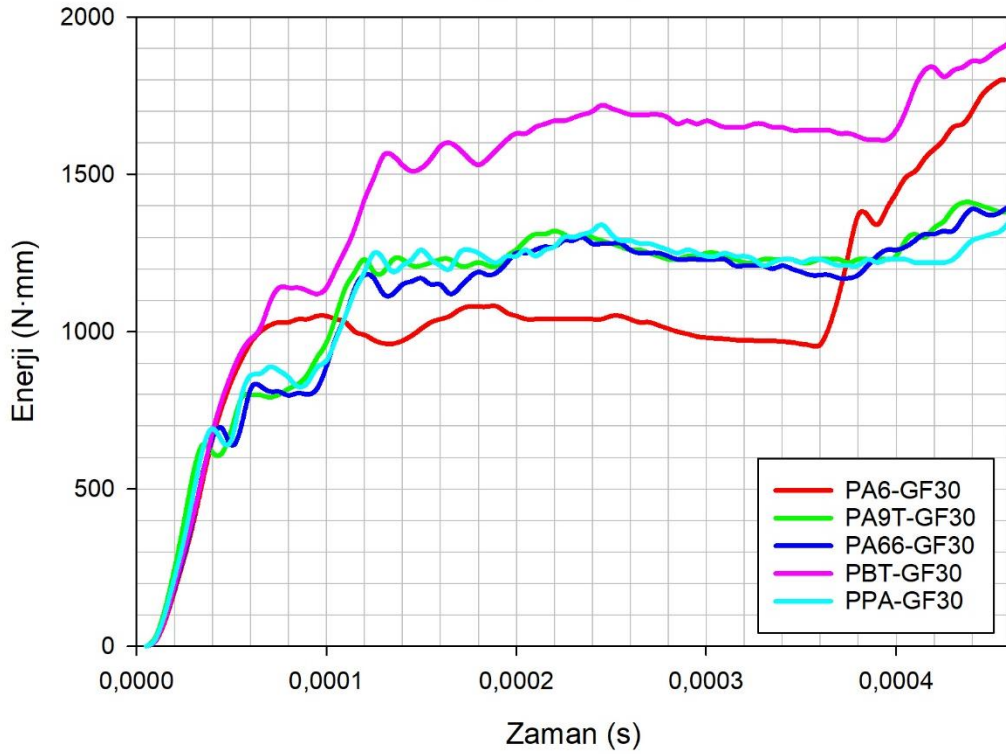
Taş modelinin ribsiz bölgeye çarptırılmasındaki temel amaçlardan biri belirlenen malzemelerin aldıkları hasar sonrasında, oluşan hasarın genişlik ve derinlik durumuna göre yağ kaçağına sebep olup olmayacağını gözlemlemektir.

Durum 3 senaryosu 23 °C sıcaklıkta beş malzemenin her birinde oluşan hasar durumları Şekil 3.16’da verilmiştir. PA9T-GF30, PBT-GF30 ve PPA-GF30 malzemelerinde yeksek derecede hasar gözlemlenmiştir. Bu derinlikteki hasarın çatlak durumuna yol açacağı yorumu yapılabilir. PA6-GF30 ve PA66-GF30 malzemelerinin ana gövdede oluşan hata derinlik ve genişliği diğer üç malzemedan daha iyi durumdadır. PA9T-GF30, PBT-GF30 ve PPA-GF30 malzemelerinde sızıntı riski oluşurken, PA6-GF30 ve PA66-GF30 malzemelerinde sızıntı ön görülmemektedir. Taşın ilk darbesinin ana gövdeye olması durumunda meydana gelen hasarlar incelendiğinde, rib yapısının yağ karteri üzerindeki önemi ortaya çıkmaktadır.



Şekil 3.16 : 23 °C sıcaklık durum 3 darbe analizi sonrası karter üzerinde oluşan hasarlar.

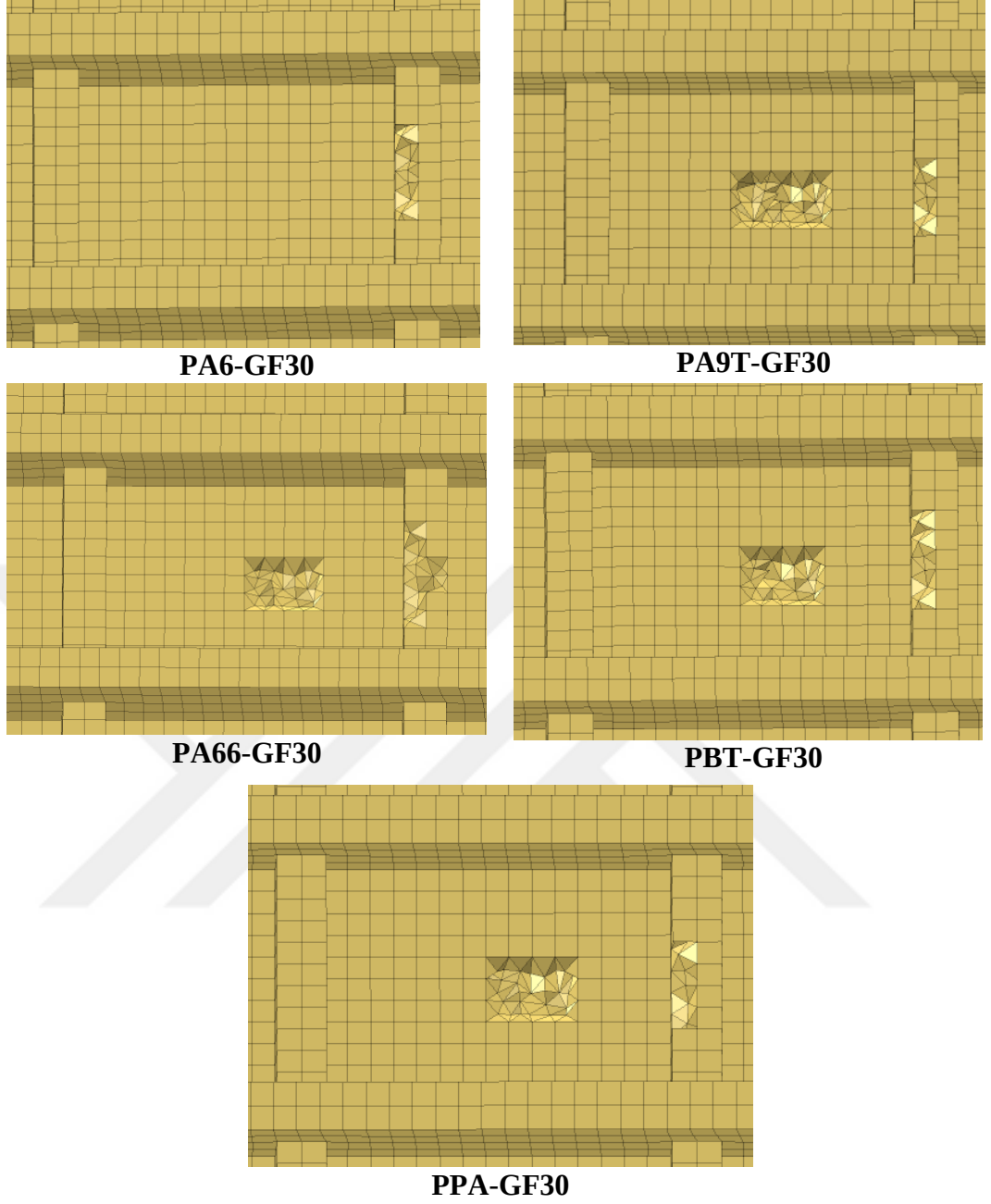
Darbe esnasında yağ karterinin durum 3 senaryosunda 100 °C sıcaklıktaki enerji emilimine dair beş farklı malzemede oluşan eğriler Şekil 3.17’de verilmiştir.



Şekil 3.17 : 100 °C sıcaklık durum 3 enerji emilim eğrileri.

Taş darbesinin ilk teması ana gövdede olmaktadır. Ana gövdeden sekmesi sonucu rib bölgesinde hasar durumu oluşmaktadır. 100 °C sıcaklıktaki enerji emilim durumu incelendiğinde, taşın ana gövdeden sekmesi sonu malzeme enerji emilim değerleri karar noktasına oturacakken, seken taşın ribe çarpması ile PBT-GF30 ve PA6-GF30 malzemelerinin eğrilerinde yukarı yönde ilerleme görülmüştür.

Durum 3 senaryosu 100 °C sıcaklıkta beş malzemenin her birinde oluşan hasar durumları Şekil 3.18’de verilmiştir. PA9T-GF30 ve PPA-GF30 malzemelerinin ana gövdede ve rib bölgesinde oluşturduğu hasar miktarı birbirine yakındır. PBT-GF30 malzemesinin ana gövdede oluşan hasar miktarı PA9T-GF30 ve PPA-GF30 malzemelerine yakın iken rib bölgesinde oluşan hasar durumu daha fazladır. PA6-GF30 malzemesi ana gövdede taş sekerken hasar oluşturmayıp sadece rib bölgesinde hasar almıştır. PA66-GF30 malzemesi ana gövdede PBT-GF30 malzemesine yakın hasar almışken, rib üzerindeki en yüksek hasar PA66-GF30 malzemesinde görülmüştür. Rib üzerindeki hasar durumları rib yüksekliğini aşıp ana gövdeye ulaşmadığından dolayı, ana gövdede oluşan hasar derinlik ve genişliği daha yüksek öneme sahiptir. 100° sıcaklıkta oluşan hasar durumlarında, -40 °C ve 23 °C sıcaklıklarda görülen çatlak riskleri görülmemektedir.



Şekil 3.18 : 100 °C sıcaklık durum 3 darbe analizi sonrası karter üzerinde oluşan hasarlar.

Durum 3 olarak belirlenen taş çarpma modellemesinde beş farklı malzemede, karter üzerinde belirtilen bölgeye darbe alması sonucu; darbe bölgesinde oluşan çökme miktarı değerleri Çizelge 3.3'te belirtilmiştir.

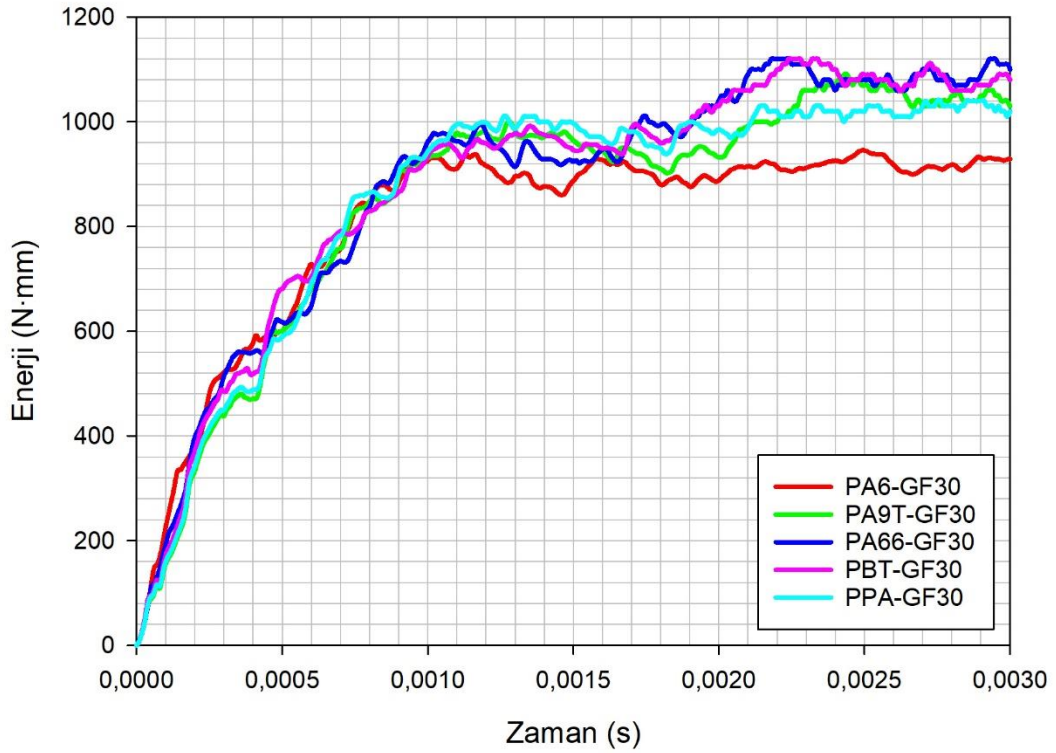
Çizelge 3.3 : Yağ karterinin durum 3 senaryosunda malzeme ve sıcaklığa göre çökme miktarı ve hasar durumu.

Malzemeler	Çökme Miktarı (mm)	Hasar Durumu
PA6-GF30 (-40°)	0,612	Ribde var, ana gövdede var. Çatlak oluşumu yok.
PA9T-GF30 (-40°)	0,474	Ribde var, ana gövdede var. Çatlak oluşumu mevcut.
PA66-GF30 (-40°)	0,562	Ribde var, ana gövdede var. Çatlak oluşumu yok.
PBT-GF30 (-40°)	0,386	Ribde var, ana gövdede var. Çatlak oluşumu yok.
PPA-GF30 (-40°)	0,421	Ribde var, ana gövdede var. Çatlak oluşumu mevcut.
PA6-GF30 (23°)	0,632	Ribde var, ana gövdede var. Çatlak oluşumu yok.
PA9T-GF30 (23°)	0,476	Ribde var, ana gövdede var. Çatlak oluşumu mevcut.
PA66-GF30 (23°)	0,641	Ribde var, ana gövdede var. Çatlak oluşumu yok.
PBT-GF30 (23°)	0,431	Ribde var, ana gövdede var. Çatlak oluşumu mevcut.
PPA-GF30 (23°)	0,458	Ribde var, ana gövdede var. Çatlak oluşumu mevcut.
PA6-GF30 (100°)	0,928	Ribde var, ana gövdede var. Çatlak oluşumu yok.
PA9T-GF30 (100°)	0,674	Ribde var, ana gövdede var. Çatlak oluşumu yok.
PA66-GF30 (100°)	0,835	Ribde var, ana gövdede var. Çatlak oluşumu yok.
PBT-GF30 (100°)	1,003	Ribde var, ana gövdede var. Çatlak oluşumu yok.
PPA-GF30 (100°)	0,709	Ribde var, ana gövdede var. Çatlak oluşumu yok.

100 °C sıcaklıktaki malzemelerin çökme miktarları, -40 °C ve 23 °C sıcaklıklardaki çökme miktarlarından fazla olmasına rağmen çatlak riski gözlemlenmemiştir. 100 °C derece sıcaklıktaki malzemelerde çatlak riski olmama sebebine bu derecedeki malzemenin sünekliğinin -40 °C ve 23 °C sıcaklıktakinden daha yüksek olması durumu da belirtilebilir.

3.4 Durum 4 Analiz Sonuçları

Modellenen büyük taşın 15 m/s hızda ve 8° açıda karter modelinde iki ribin ortasına çarptırılmıştır. Darbe esnasında yağ karterinin durum 4 senaryosunda -40 °C sıcaklıktaki enerji emilimine dair beş farklı malzemede oluşan eğriler Şekil 3.19’da verilmiştir.

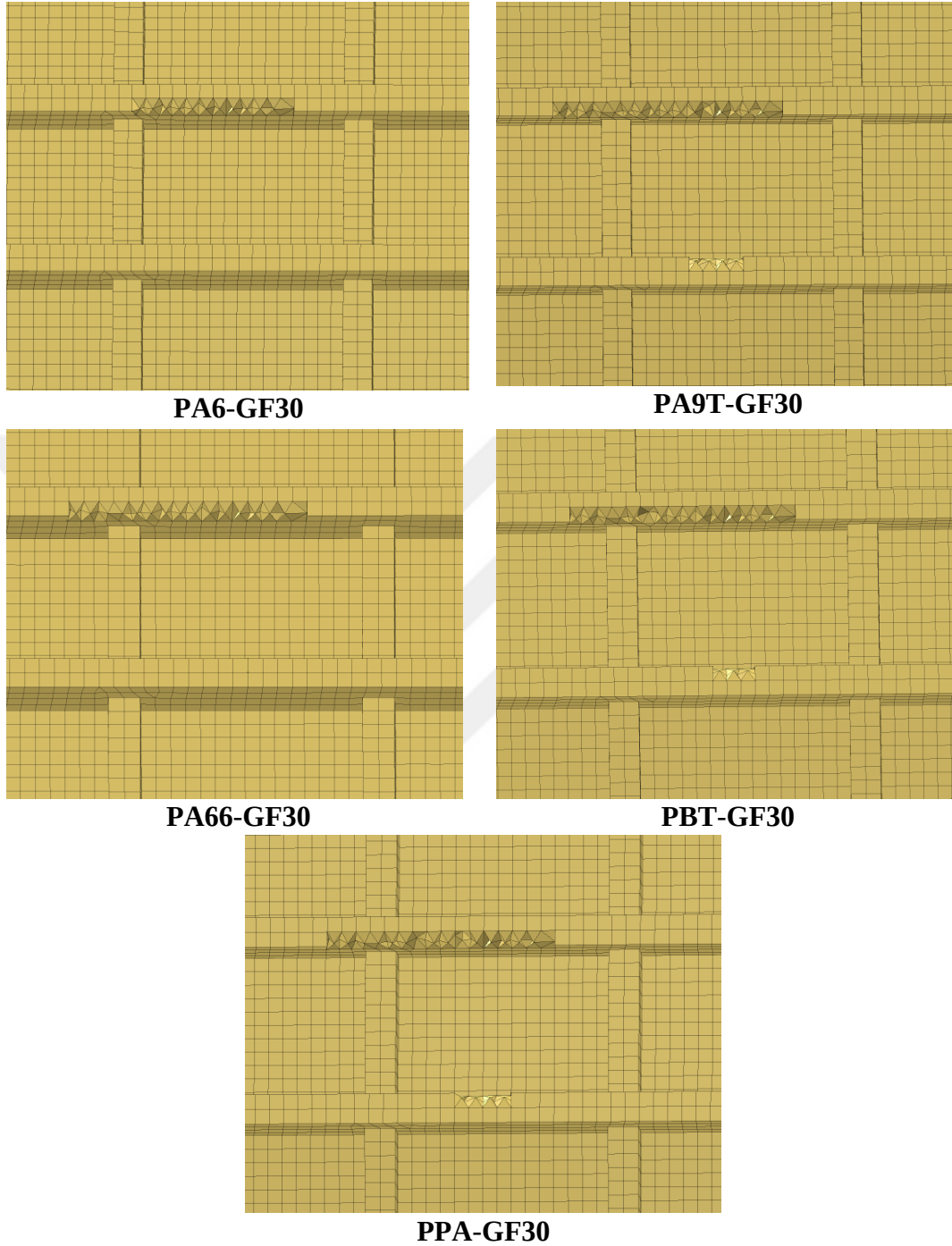


Şekil 3.19 : -40 °C sıcaklık durum 4 enerji emilim eğrileri.

Taş boyutunun büyüklüğünden dolayı, taşın ilk teması iki rib üzerine olmaktadır. Buradaki temel amaç ise büyük taş modelinin iki ribe aynı anda teması sonrası karterin ana gövdesinde bir hasara yol açıp açmadığını gözlemlemektir. Ana gövdede eğer hata oluşursa, hata derinliğine göre yağ kaçağına sebep olup olmayacağı durumu incelenmiştir.

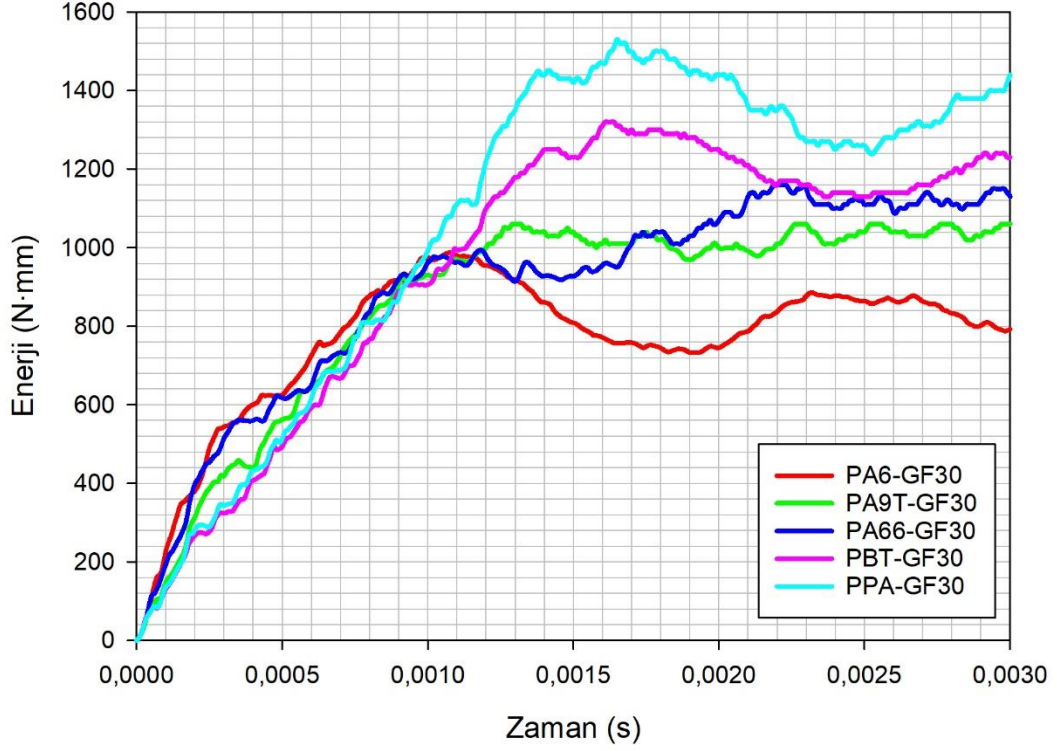
Durum 4 senaryosu -40 °C sıcaklıkta beş malzemenin her birinde oluşan hasar durumları Şekil 3.20’de verilmiştir. PA6-GF30 ve PA66-GF30 malzemeleri tek rib üzerinde hasar almıştır. PA66-GF30 malzemesi PA6-GF30 malzemesinden daha geniş rib yüzey alanında hasar almıştır. PA9T-GF30, PBT-GF30 ve PPA-GF30 malzemeleri bir rib üzerinde geniş bir alanda diğer rib üzerinde ise birkaç eleman silinecek şekilde az da olsa birbirlerine yakın seviyede hasar almaktadır. Her iki ribe büyük taş

modelinin çarpması durumunda, analiz sonuçlarına göre karterin çalışmasında bir problem olmayacaktır. Yağ kaçağı riski gözlemlenen sonuçlara göre yoktur.



şekil 3.20 : -40 C sıcaklık durum 4 darbe analizi sonrası karter üzerinde oluşan hasarlar.

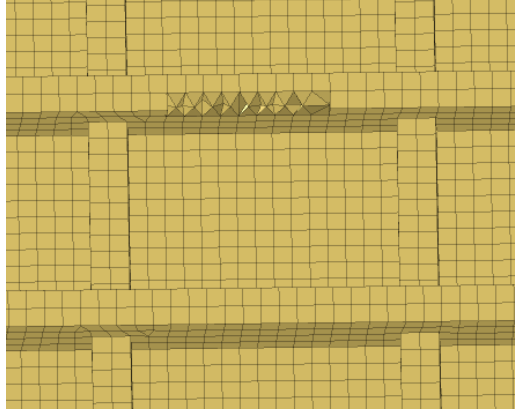
Darbe esnasında yağ karterinin durum 4 senaryosunda 23 C sıcaklıktaki enerji emilimine dair beş farklı malzemede oluşan eğriler şekil 3.21’de verilmiştir.



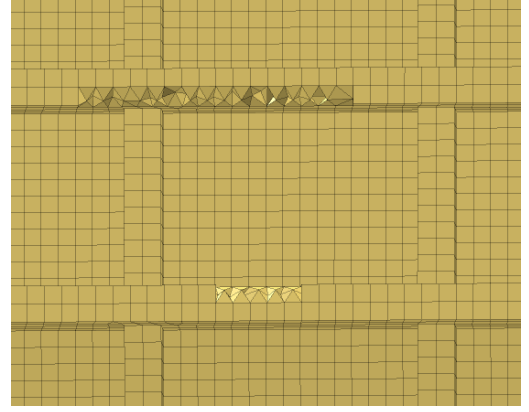
Şekil 3.21 : 23 °C sıcaklık durum 4 enerji emilim eğrileri.

Eğrinin direkt olarak yukarı yönde ilerlemektense, ilk oluşturduğu tepe noktası ardından eğrinin aşağı yönde ilerlemesi ile taş parçasının malzeme üzerinde sekme durumu gerçekleştirdiği belirtilebilir. PA6-GF30 ve PA66-GF30 malzemeleri, yukarı yönde ilerlemesi sonucu aşağı yönde ilerlemeye başladığı nokta birbirine yakındır.

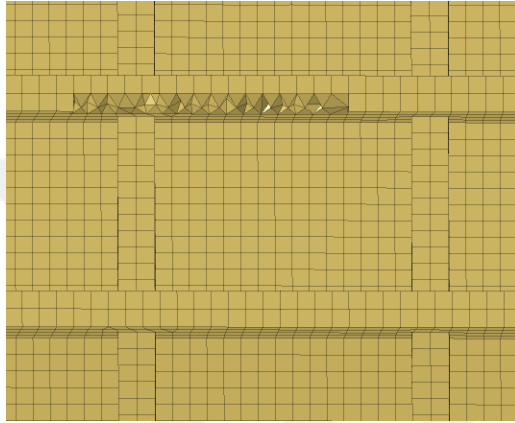
Durum 4 senaryosu 23 °C sıcaklıkta beş malzemenin her birinde oluşan hasar durumları Şekil 3.22’de verilmiştir. PA6-GF30 ve PA66-GF30 malzemelerinde -40 °C sıcaklıkta olduğu gibi tek rib üzerinde hasar görülmüştür. PBT-GF30 ve PPA-GF30 malzemelerinde, -40 °C sıcaklıkta birkaç eleman hata gözüken rib bölgesinde, 23° sıcaklıkta daha geniş alanda olacak şekilde hata gözlemlenmiştir. PA9T-GF30 malzemesinde Şekil 3.22’deki görünümde üstte kalan rib PBT-GF30 ve PPA-GF30 malzemeleri ile yakın derecede hasar almasının yanında, altta kalan ribde ise PA9T-GF30 malzemesinin daha az hasar aldığı görülmüştür. Yağ karterinin 9 mm yükseklikteki boyuna olan riblerde aldığı hasarlardan 5 mm yükseklikte olan enine ribler etkilenmemiştir. Ayrıca yağ karterinin ana gövde üzerinde hasar almaması sonucu parça üzerinde çatlak ve sızıntı riski olmayacağı analiz sonuçlarına göre anlaşılmaktadır. 23 °C sıcaklıkta durum 4 senaryosunda alınan hasar analizi çıktılarına göre analizi yapılan beş malzemenin de kullanımı uygun gözükmektedir.



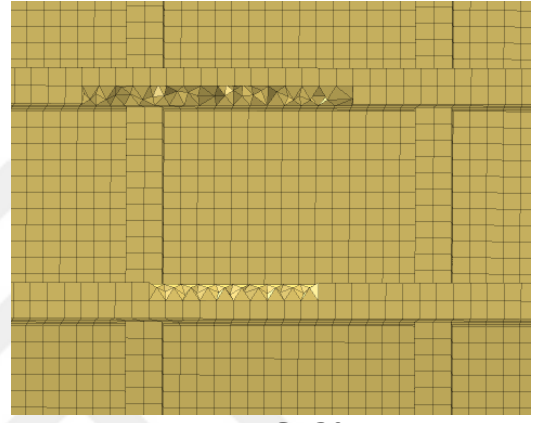
PA6-GF30



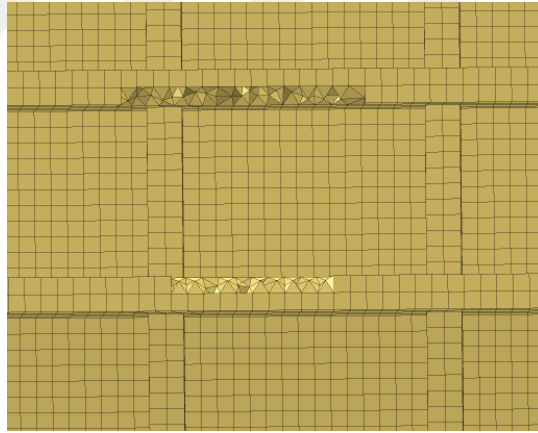
PA9T-GF30



PA66-GF30



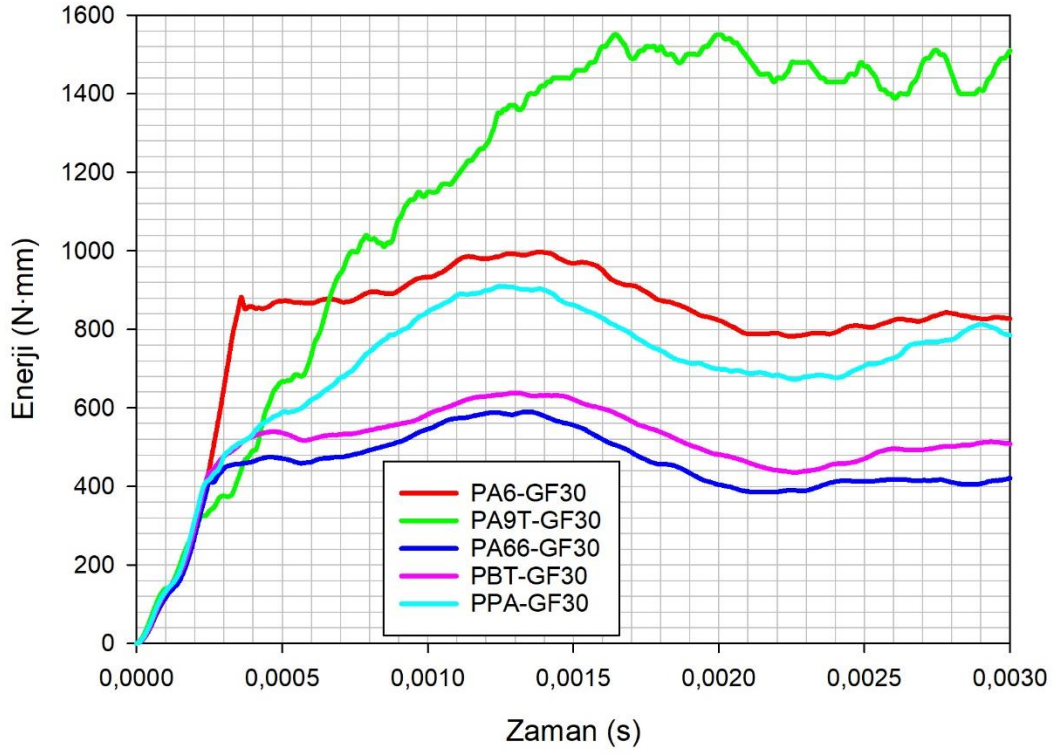
PBT-GF30



PPA-GF30

Şekil 3.22 : 23 °C sıcaklık durum 4 darbe analizi sonrası karter üzerinde oluşan hasarlar.

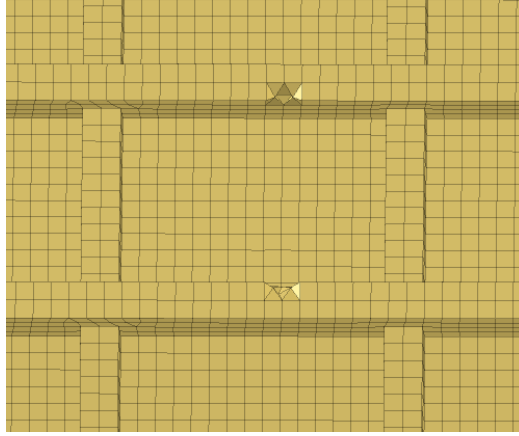
Darbe esnasında yağ karterinin durum 4 senaryosunda 100 °C sıcaklıktaki enerji emilimine dair eğriler beş farklı malzeme için Şekil 3.23'te verilmiştir.



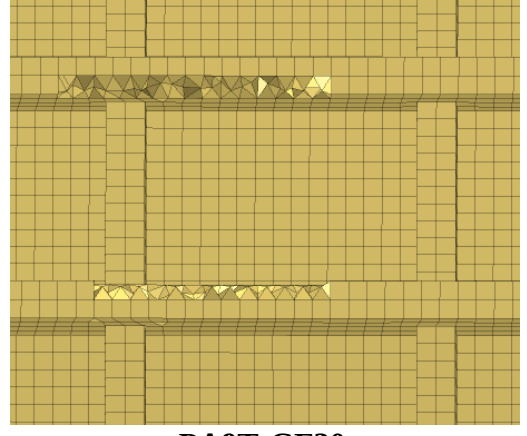
Şekil 3.23 : 100 °C sıcaklık durum 4 enerji emilim eğrileri.

En yüksek enerji emilimi PA9T-GF30 malzemesinde görülmesine karşılık, iki rib üzerinde oluşan hasar genişliği en yüksek olan malzeme de PA9T-GF30'dir. PA66-GF30 ve PBT-GF30 malzemeleri enerji emiliminde yakın karakteristik özellik göstermiştir.

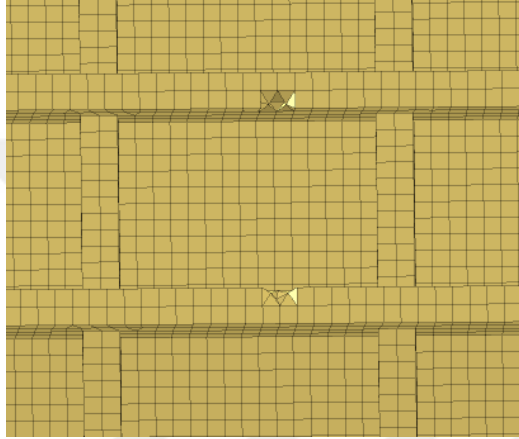
Durum 4 senaryosu 100 °C sıcaklıkta beş malzemenin her birinde oluşan hasar durumları Şekil 3.24'te verilmiştir. PA6-GF30 ve PA66-GF30 malzemelerinde, -40 °C ve 23 °C sıcaklıkta tek taraflı ribde hata gözükürken, 100 °C sıcaklıkta iki rib üzerinde fakat daha az hasar gözükümüştür. Şekil 3.24'e göre beş malzeme arasında en çok hasar oluşumu PA9T-GF30 malzemesinde görülmüştür. En çok hasarı PA9T-GF30 malzemesinin almasına rağmen herhangi bir çatlak ve sızıntı durumu ön görülmemektedir. Bunun sebebi ise ana gövdenin hasar almamış olmasıdır. PBT-GF30 ve PPA-GF30 malzemeleri Şekil 3.24'e göre alttaki ribde hasar durumları birbirine yakındır fakat PPA-GF30 malzemesinin üstteki ribde oluşan hasar durumu PBT-GF30 malzemesinden fazladır. PA6-GF30, PA66-GF30 ve PBT-GF-30 malzemelerinin 100 °C sıcaklıkta oluşan hasar değerleri -40 °C ve 23 °C sıcaklıkta oluşan hasar değerinden daha az olduğu görülmüştür. Plastik malzemenin sıcaklığının artması ile sünekliğinin artması bu duruma sebep olmuştur.



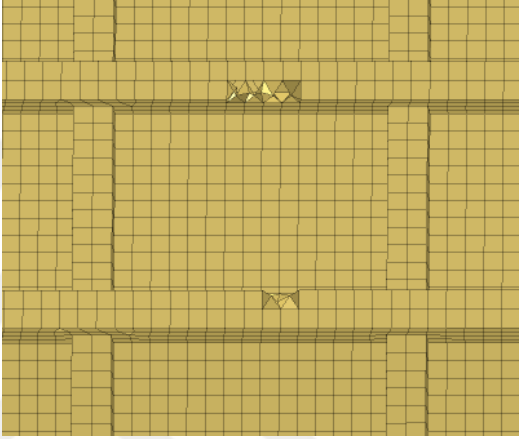
PA6-GF30



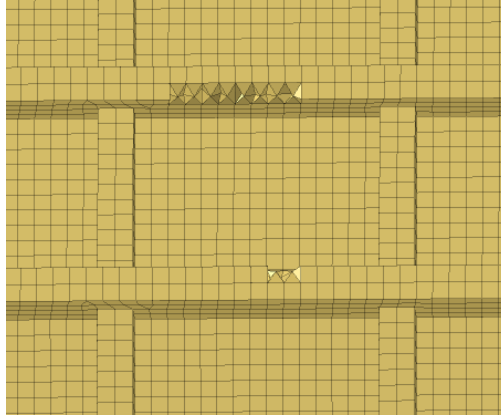
PA9T-GF30



PA66-GF30



PBT-GF30



PPA-GF30

Şekil 3.24 : 100 °C sıcaklık durum 4 darbe analizi sonrası karter üzerinde oluşan hasarlar.

Durum 4 olarak belirlenen taş çarpma modellemesinde beş farklı malzemedde, karter üzerinde belirtilen bölgeye darbe alması sonucu; darbe bölgesinde oluşan çökme miktarı değerleri Çizelge 3.4’te belirtilmiştir.

Çizelge 3.4 : Yağ karterinin durum 4 senaryosunda malzeme ve sıcaklığa göre çökme miktarı ve hasar durumu.

Malzemeler	Çökme Miktarı (mm)	Hasar Durumu
PA6-GF30 (-40 °C)	0,738	Ribde var, ana gövdede yok
PA9T-GF30 (-40 °C)	0,722	Ribde var, ana gövdede yok
PA66-GF30 (-40 °C)	0,814	Ribde var, ana gövdede yok
PBT-GF30 (-40 °C)	0,644	Ribde var, ana gövdede yok
PPA-GF30 (-40 °C)	0,685	Ribde var, ana gövdede yok
PA6-GF30 (23 °C)	0,844	Ribde var, ana gövdede yok
PA9T-GF30 (23 °C)	0,769	Ribde var, ana gövdede yok
PA66-GF30 (23 °C)	0,814	Ribde var, ana gövdede yok
PBT-GF30 (23 °C)	0,778	Ribde var, ana gövdede yok
PPA-GF30 (23 °C)	0,872	Ribde var, ana gövdede yok
PA6-GF30 (100 °C)	1,121	Ribde var, ana gövdede yok
PA9T-GF30 (100 °C)	0,782	Ribde var, ana gövdede yok
PA66-GF30 (100 °C)	1,124	Ribde var, ana gövdede yok
PBT-GF30 (100 °C)	1,061	Ribde var, ana gövdede yok
PPA-GF30 (100 °C)	3,986	Ribde var, ana gövdede yok

-40 °C, 23 °C ve 100 °C sıcaklık değerleri göz önüne alındığında, durum 4 senaryosundaki taş çarpma modelinde sıcaklık arttıkça malzemedeki çökme değerlerinin arttığı görülmüştür. Ayrıca hasar durumlarında da açıklandığı gibi sıcaklık arttıkça, özellikle 23 °C sıcaklıktan 100 °C sıcaklık değerine geçişte hasar değerleri azalmaktadır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, gelişimi hızla sürmekte olan otomotiv sektöründe, içten yanmalı motor parçası olan yağ karteri tasarımı ve darbe analiz detayları incelenmiştir. Hafifletmenin ve iyileştirmelerin önemli bir noktada olduğu otomotiv sektörüne yönelik birçok çalışma mevcuttur. İçten yanmalı motorlar araç tarafındaki ağırlık konusunda önemli bir konuma sahiptir. Genel olarak, döküm ve derin çekme imalat metotlarıyla üretilen yağ karterinde hafifletme için beş farklı plastik malzemenin analizi yapılmıştır. Darbe analizlerinde PA6-GF30 (Ultramid B3WG6), PA66-GF30 (Ultramid A3EG6), PA9T-GF30 (Ultramid N3HG6), PPA GF30 (Ultramid T2300HG6) ve PBT-GF30 (Ultradur B4406G6) malzemeleri kullanılmıştır. Darbe analizleri sonucu ortaya çıkan çökme değeri, emilen enerji değeri ve hasarlar göz önünde bulundurularak uygun malzeme seçimi üzerinde durulmuştur.

Yapılan çalışmalar doğrultusunda yağ karterindeki riblerin, hasar oluşumunda yüksek derecede etkisi olduğu görülmüştür. Ana gövdeye taş modelinin çarpması sonucu çatlak durumları gözlemlenmiştir. Fakat taş darbesi direkt olarak rib üzerine geldiğinde hasar durumunun ana gövdeye kadar bile ilerlemediği tespit edilmiştir.

Yapılan analizler sonucunda yağ karteri için özellikle küçük taş modelinin 30° açısı ve 41,6 m/s hızla ribsiz bölgeye direkt çarptığı durum 3 senaryosu göz önünde bulundurulduğunda, -40 °C sıcaklıkta PA9T-GF30 ve PPA-GF30 malzemelerinin ana gövdelerinde oluşan yüksek hasardan dolayı çatlak ve sızıntı riski oluşmuştur. Ayrıca 23° sıcaklıkta PA9T-GF30, PBT-GF30 ve PPA-GF30 malzemelerinde ana gövdede oluşan hasar durumunda çatlak ve sızıntı riski bulunmaktadır. PA6-GF30 ve PA66-GF30 malzemelerinde durum 3 senaryosunda, -40 °C, 23 °C ve 100 °C sıcaklık değerlerindeki darbe analizleri sonucunda çatlak oluşumu olmadığı gözlemlenmiştir. Bu yüzden sızıntı riskide ön görülmemektedir.

Küçük taş modelinin 41,6 m/s hızda ve 30° açıda yağ karterine çarpması ile -40° ve 23° sıcaklıklardaki analiz sonuçlarına göre PBT-GF30, PA9T-GF30 ve PPA-GF30 malzemelerinde çatlak riski tespit edilmiştir. Oluşan çatlak sonrası yağ sızıntısı durumu söz konusudur.

Beş farklı malzemenin dört farklı durum senaryosundaki hasar durumları incelendiğinde; PA6-GF30 ve PA66-GF30 malzemeleri PBT-GF30, PPA-GF30 ve PBT-GF30 malzemelerinden genel olarak daha az hasar göstermiştir.

Dört farklı durum senaryosunda taş çarpması sonucu PA6-GF30 ve PA66-GF30 malzemelerinde oluşan hasar durumları incelendiğinde herhangi bir çatlak ve sızıntı oluşumu riski görülmemiştir.

Beş farklı yarı kristalin plastik malzemedan elde edilen analiz sonuçlarına göre tasarımı yapıldığı şekliyle PA6-GF30 ve PA66-GF30 malzemelerinin yağ karterinde kullanılmasının uygun olduğu belirlenmiştir.

PA6-GF30 ve PA66-GF30 malzemeleri özelinde hasar sonuçları incelendiğinde, PA6-GF30 malzemesinin PA66-GF30 malzemesinden daha az hasar aldığı tespit edilmiştir.

Tasarlanan yağ karterinin fiziksel test çalışmaları ile yapılan analizleri doğrultusunda elde edilen farklı malzeme tiplerindeki davranışları incelenmesi sonucu uygun olarak belirlenen PA6-GF30 ve PA66-GF30 malzemelerinin doğrulanması yapılabilir.

Malzemesi belirlenen parça tasarımında ayrıca farklı rib varyasyonları ile geliştirilen tasarım modellerinin incelenmesiyle çalışma kapsamı genişletilebilir.

KAYNAKLAR

- Abidin, N. M., Sultan, M. T. H., Shah, A. U. M., & Safri, S. N. A.** (2019). Charpy and Izod impact properties of natural fibre composites, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 670(1), 012031.
- Bennett, S.** (2012). *Modern Diesel Technology Light Duty Diesels*, Delmar, Cengage Learning.
- Callister, W. D.** (2006). *Materials Science and Engineering: An Introduction*. John Wiley & Sons, Inc.
- Fentahun, M. A., & Savaş, M. A.** (2018). Materials used in automotive manufacture and material selection using Ashby charts, *International Journal of Materials Engineering*, 8(3), 40-54.
- Granowicz, P., Molteni, G. L., & Kobayashi, T.** (2011). New polymer “SHIELD” technology protects High-Performance Nylon and PPA polymers to replace more metal - for weight and cost savings - under the hood, *SAE International Journal of Materials and Manufacturing*, 4(1), 430–439.
- Hassan, A., Yahya, R., Yahaya, A. H., Tahir, A. R., & Hornsby, P.** (2004). Tensile, impact and fiber length properties of Injection-Molded short and long glass Fiber-Reinforced Polyamide 6,6 composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 23(9), 969–986.
- Jessberger, T., Ritter, S., & Teschner, M.** (2008). Plastic oil pan for the reduction of costs, weight and CO₂, *MTZ Worldwide*, 69(10), 46–49.
- Kamalakar, K. & Prakash, T. S.** (2014). Design Optimization of Oil Pan using Finite Element Analysis, *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology*, 3(12), 335-341.
- Lobo, H., & Hurtado, J. A.** (2006). Characterization and Modeling of Non-Linear Behavior of Plastics, *In Proceedings of the ABAQUS Users' Conference*.
- Menges, G., Michaeli, W., & Mohren, P.** (2001). *How to make injection molds*. Munich, In Carl Hanser Verlag GmbH & Co.
- Mollenhauer, K., & Tschöke, H.** (2010). *Handbook of Diesel Engines*. Springer – Verlag Berlin Heidelberg.
- Mouti, Z., Westwood, K., Long, D. D., & Njuguna, J.** (2012). Finite Element Analysis of Glass Fiber-Reinforced Polyamide Engine Oil Pan Subjected to Localized Low Velocity Impact from Flying Projectiles. *Steel Research International*, 83(10), 957–963.
- Mouti, Z.** (2012). *Localised low velocity impact performance of short glass fibre reinforced polyamide 66 oil pans*. (PhD thesis). Cranfield University, Environmental Science & Technology, England.

- Njuguna, J.** (2016). *Lightweight Composite Structures in Transport: Design, Manufacturing, Analysis and Performance*. Duxford, Woodhead Publishing.
- Patel, M., Pardhi, B., Chopara, S., Pal, M.** (2018). Lightweight Composite Materials for Automotive – A Review, *International Research Journal of Engineering and Technology*, 5(11), 41-47.
- Rau, W.** (2009). Lightweight Design Using Customized Engine Concepts, *Kunststoffe International*, 3, 47–50.
- Rawat, N. K., Kurkute, V. K., & Bresser, C.** (2015). Material analysis and Abaqus Material card generation of an fiber reinforced PP plastic material, *International Journal of Engineering Research and Technology*, V4(10), 576-581.
- Reuschel, G. and Hess, J.** (2009). Plastics in the Fast Lane – Metal Replacement, *Kunststoffe International*, 6, 46–48.
- Stewart, R.** (2011). Rebounding automotive industry welcome news for FRP. *Reinforced Plastics*, 55(1), 38–44.
- Tekkaya, A. E., & Min, J.** (2020). Special issue on automotive lightweight. *Automotive Innovation*, 3(3), 193–194.
- Thomason, J.** (1999). The influence of fibre properties of the performance of glass-fibre-reinforced polyamide 6,6. *Composites Science and Technology*, 59(16), 2315–2328.
- Van Basshuysen, R., & Schäfer, F.** (2004). *Internal Combustion Engine Handbook Basics, Components, Systems, and Perspectives*. SAE International.
- Valero, J. R. L.** (2019). *Plastics Injection molding: Scientific Molding, Recommendations, and Best Practices*. Munich, Hanser Publication.
- Youn, J. Y., Kim, S. H., & Jin, Y.** (2016). A study on the impact resistance of plastic underbody parts. *SAE International Journal of Materials and Manufacturing*, 9(3), 776–780.
- Url-1** <<https://www.tasarimdanimalata.com/termoplastik-malzemeler/>>, erişim tarihi 10.01.2023.
- Url-2** <<https://dokumen.tips/document/design-of-oil-sump-using-coupled-eulerian-lagragian-cel-.html?page=1>>, erişim tarihi 15.10.2023.
- Url-3** <<https://edro.com/wp-content/uploads/2023/04/BW150-Glassfiber-reinforced-products.pdf>>, erişim tarihi 19.07.2023.
- Url-4** <<https://www.aldemirltd.com/polymer>>, erişim tarihi 12.10.2023.
- Url-5** <<https://www.genestar.kuraray.com/en/>>, erişim tarihi 18.11.2023.
- Url-6** <<https://www.cummins.com/engines>>, erişim tarihi 08.06.2023.
- Url-7** <<https://www.turkiyeplastik.com>>, erişim tarihi 05.08.2023.
- Url-8** <<https://imaginationeering.com>>, erişim tarihi 01.12.2023.

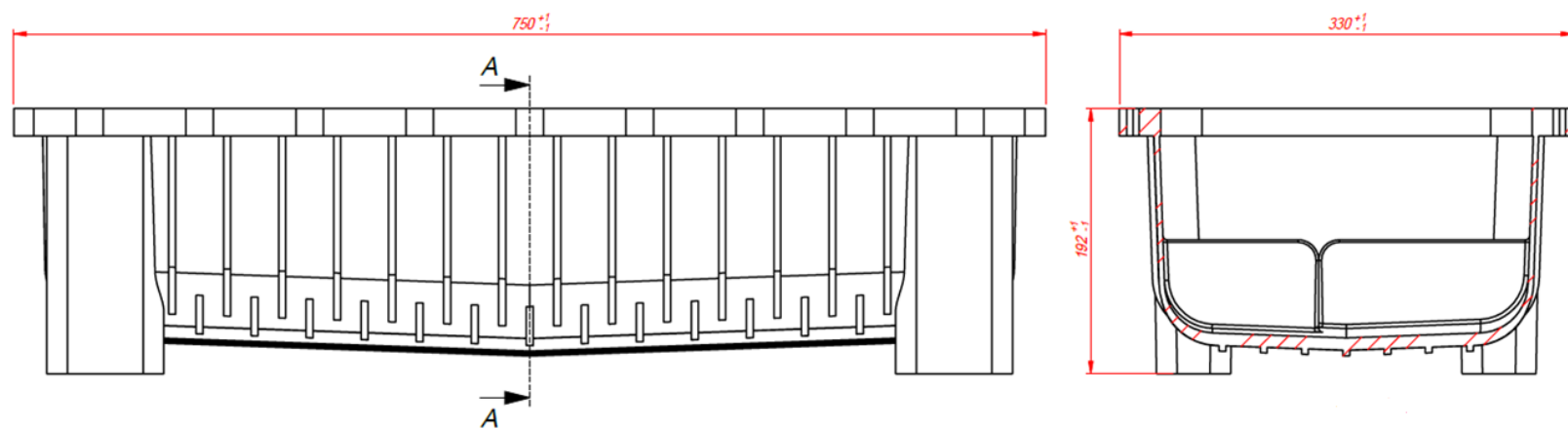
EKLER

EK A: Termoplastik karter ölçüleri.

EK B: Analizde kullanılan malzemelerin farklı sıcaklık değerlerindeki gerilim – gerinim eğrileri.

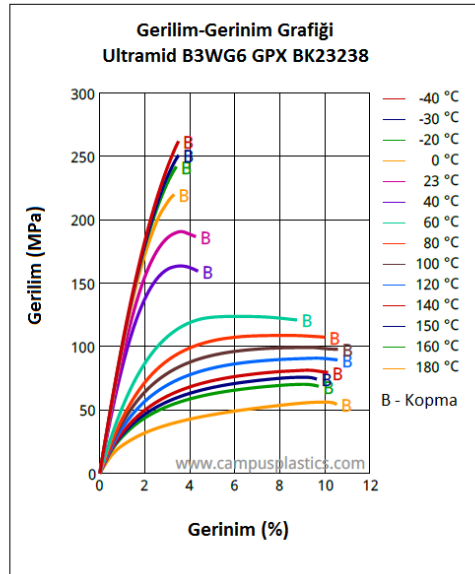


EK A

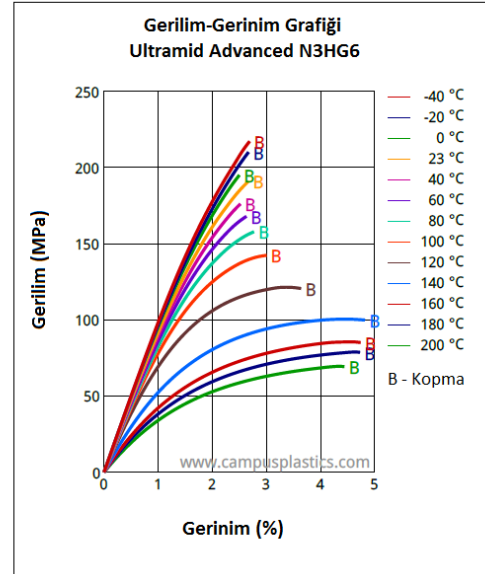


EK B

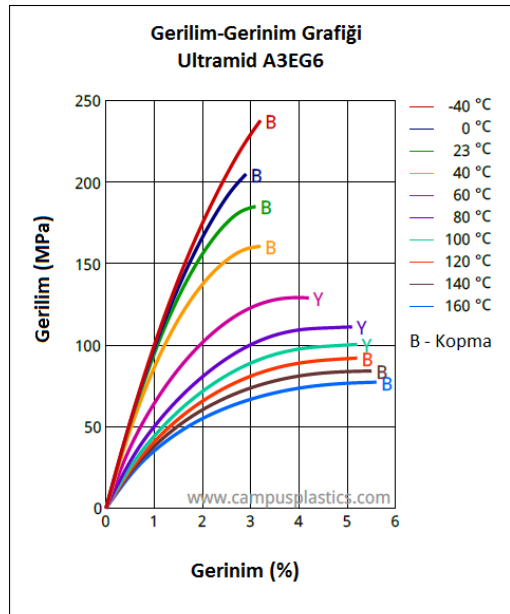
Ultramid® B3WG6 GPX BK23238 - PA6-GF30 BASF



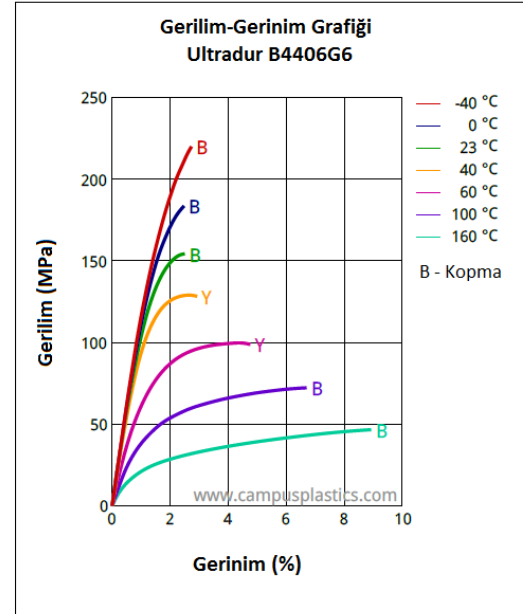
Ultramid® Advanced N3HG6 UN - PA9T-GF30 BASF



Ultramid® A3EG6 - PA66-GF30 BASF



Ultradur® B 4406 G6 - PBT-GF30 BASF



Ultramid® Advanced T2300HG6 LS sw23346
BASF

