



**DİNAMİK YÜKE MARUZ İNCE CİDARLI POLİMER
KUTULARIN MUKAVEMET ANALİZİ**

Meral Gülsen REİS



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DİNAMİK YÜKE MARUZ İNCE CİDARLI POLİMER KUTULARIN
MUKAVEMET ANALİZİ**

Meral Gülsen REİS

Doç. Dr. Ali DURMUŞ
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2019

TEZ ONAYI

Meral Gülsen REİS tarafından hazırlanan “DİNAMİK YÜKE MARUZ İNCE CİDARLI POLİMER KUTULARIN MUKAVEMET ANALİZİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Ali DURMUŞ

Başkan : Doç. Dr. Ali Durmuş
Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Üye : Doç. Dr. Kadir Çavdar
Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Celalettin Yüce
Bursa Teknik Üniversitesi,
Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi
Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN
Enstitü Müdürü
12/06/2019

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

12/06/2019

Meral Gülsen REİS

ÖZET

Yüksek Lisans

DİNAMİK YÜKE MARUZ İNCE CİDARLI POLİMER KUTULARIN MUKAVEMET ANALİZİ

Meral Gülsen REİS

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ali DURMUŞ

Bozuk yol şartları veya aracın ivmelenmesi sonucu aracın kargo yükü dikey ve yatay dinamik yüklere maruz kalmaktadır. Bu durum özellikle hassas kargoların taşınmasında bazı özel tedbirlerin alınması veya istif sayısının sınırlandırılmasını gerektirir ki bu da taşıma maliyetlerinin yükselmesi anlamına gelmektedir. Tehlikeli kimyasal ve gıda gibi akışkan kargoların muhafazasında kullanılan ince cidarlı polimer kutuların naklinde bu sorunla oldukça sık karşılaşılmaktadır. Statik olarak istif halinde muhafaza edilebilen bu kutular, taşıma esnasında ve özellikle yaz aylarında sıcaklık ve yol şartlarındaki bozukluklardan kaynaklanan dinamik yüklerinde etkisiyle deformasyona uğrayarak ezilmekte ve ciddi maddi hasarlar ortaya çıkmaktadır. Benzer şekilde soğuk zincir ile dondurulmuş olarak (-20 ° C) taşınan gıdaların nakliyesinde bu dinamik yükler saklama kaplarının kırılmasına neden olan başlıca etkidir. Düşük sıcaklıklarda polipropilen saklama kaplarının kırılma dayanımını artıran bazı katkı maddelerinin kullanımını da kısıtlamaktadır. Zira pek çok katkı maddesi saklama kabının dayanımını artırıp kırılma dayanımını azaltırken, diğer yandan insan sağlığına tehdit oluşturan bileşenler içermektedir. Bu durum özellikle gıda maddelerinin taşınmasında bazı özel tedbirlerin alınması veya istif sayısının sınırlandırılmasını gerektirir ki, bu da taşıma maliyetlerinin yükselmesi anlamına gelmektedir. Bu çalışmada polipropilen gıda saklama kutularının düzgün olmayan yol şartlarındaki mukavemet analizi deneysel ve bilgisayar simülasyonları (Abaqus yazılımı) yardımı ile yapılmakta ve belirtilen ivme ve yükleme koşulları için riskli sıcaklık değeri tespit edilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Araç, yol yükleri, polipropilen, dinamik yükleme, polimer kutu, burkulma

2019, ix + 46 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

STRENGTH ANALYSIS OF POLYMER BOXES EXPOSED TO DYNAMIC LOADS

Meral Gülsen REİS

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ali DURMUŞ

Rough road conditions and acceleration of the vehicle exposed to vertical and horizontal dynamic loads. In this case, it is necessary to take additional measures to decrease these dynamic loads. The dynamic loads can be decreased by decreasing the number of stacking on the vehicle but this also increases the cost of transport. This problem especially occurs in the thin walled shell structures which are used for liquid cargo transportation. Although, these polymer boxes statically can store more number of stacking, they are destroyed easily because of the temperature and the dynamic loads during the travel and this cause serious financial loses. Dynamic loads causes the fracture of the containers at cold chain (-20°C) food transportation. Low temperature increases fragility of polypropylene storage containers. Besides, some additives cannot be used for increasing the fracture strength of the polypropylene storage container if it carries food. In fact, many of these additives contain ingredients that pose a threat to human health. This is particularly required to take some special precaution for the transport of foodstuffs. This means the increase of transportation costs. In this study, the strength analysis of polypropylene food storage boxes in uneven road conditions is performed with the help of experimental and computer simulations (Abaqus software) and the risk value is determined for the mentioned acceleration and loading conditions.

Key words: Vehicle, road loads, polypropylene, dynamic loading, polymer box, buckling
2019, ix + 46 pages.

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasına danıőmanlık eden başta kıymetli hocam Do. Dr. Ali Durmuş'a, bilgisayar simülasyonlarındaki yardımlarından dolayı kıymetli dostum Dr. Öğ. Üyesi Betül Gülimen akan'a, deneylerdeki yardımlarından dolayı Araç. Gör. Oğuz Tunel'e ve Ömer Necip Taőkın'a teőekkürü bor bilirim. En önemlisi hayat boyu desteğini hep kalbimde hissettiğim biricik eőim Murat Reis 'e, geriye gelmeyecek kıymetli bebeklik günlerinde bu projeye ayırdığım vaktimi ileride anlayıőla karşılayacaklarını umut ettiğim canım kızım Yağmur'a ve aileme sonsuz sevgi ve teőekkürlerimi sunarım.

Meral Gülsen REİS
12/06/2019



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Şekil Değişim Hızının Malzemenin Mekanik Özelliğine Etkisi.....	9
2.1.1. Cowper-Symonds Plastik Malzeme Modeli.....	10
2.2. Sıcaklığın Malzemenin Mekanik Özelliğine Etkisi.....	11
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	12
3.1. Test Numunelerinin Hazırlanması.....	12
3.2. Simülasyon Modelinin Hazırlanması.....	16
3.3. Deneyin Hazırlanması.....	19
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	24
4.1. Polipropilenin Şekil Değişim Hızına Bağlı Mekanik Özelliklerinin Tespiti.....	24
4.2. Polipropilenin Sıcaklığa Bağlı Mekanik Özelliklerinin Tespiti.....	28
4.3. Simülasyon Sonuçları.....	32
5. TARTIŞMA ve SONUÇ.....	43
KAYNAKLAR.....	44
ÖZGEÇMİŞ.....	46

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
T	Sıcaklık (C°)
t	Zaman (saniye)
ρ	Yoğunluk (kg/m ³)
E	Elastisite Modülü (GPa)
ϵ	Poison Oranı
σ	Gerilme (MPa)
σ_{akma}	Akma gerilmesi (MPa)
σ_s	Statik akma gerilmesi (MPa)
σ_d	Dinamik akma gerilmesi (MPa)
$\dot{\epsilon}$	Gerinim hızı (1/s)
ϵ	Birim uzama
β	Gerinim hızı mukavemet çarpanı
C, P	Gerinim hızı parametreleri
n	Malzemenin şekil değişim sertleşmesi
m	Malzemenin şekil değiştirme hızı duyarlılığı
a	İvme (m/s ²)
F	Kuvvet (N)
ΔL	Uzama (mm)
h_e	Engel yüksekliği (mm)
L_e	Engel boyu (mm)
c	Sönüm oranı (N.s/m)
k	Yay katsayısı (N/m)
v	Araç hızı (m/s)
l_1	Test numunesinin dar paralel kenarların uzunluğu (mm)
l_2	Test numunesinin minimum toplam uzunluğu (mm)
h	Test numunesinin et kalınlığı (mm)
b	Test numunesinin genişliği (mm)
b_1	Test numunesinin dar paralel kenarların genişliği (mm)
b_2	Test numunesinin uçlarındaki genişlik (mm)
r_1	Test numunesinin küçük yarı çapı (mm)
r_2	Test numunesinin büyük yarı çapı (mm)
L	Test numunesinin kulplar arasındaki başlangıç mesafesi (mm)
L_0	Test numunesinin gösterge uzunluğu (mm)

Kısaltmalar Açıklama

PP	Polypropylene
PC	Polycarbonates
PMMA	Polimetil Metakrilat
PAI	Poliamidimid
co-PP	Kopolimer Polipropilen
LDPE	Düşük Yoğunluklu Polietilen
HDPE	Yüksek Yoğunluklu Polietilen
ABS	Akrilonitril Bütadien Stiren
OPP	Oriented Polypropylene
BOPP	Biaxially Oriented Polypropylene
PLP	Prefomed Line Products

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Polipropilen muhafaza kabı örnekleri	7
Şekil 2.2. Yol şartlarındaki bozukluk sebebi ile ezilmeye maruz polipropilen kutular ...	8
Şekil 2.3. Şekil değişim hızının akma eğrisine etkisi.....	9
Şekil 2.4 Polipropilen malzemelerin çekme dayanımının çekme hızı ile değişimi	10
Şekil 2.5 Polipropilen malzemelerin çekme dayanımının sıcaklıkla değişimi	11
Şekil 3.1. 5A tipi çekme numunesi ölçüleri [ISO 527-2: 1996].....	14
Şekil 3.2. 5A tipi Polipropilen çekme numuneleri.....	14
Şekil 3.3. Araç, kargo ve bozuk yol şartlarının basit modeli (Richetona ve ark. 2006) .	17
Şekil 3.4. Kutu geometrisi. a.) Dondurma kutusu fotoğrafı, b.) Geometrik modeli	20
Şekil 3.5. Çekme deneyi cihazı	21
Şekil 3.6. Deney numunesi simülasyon modeli ve mesh yapısı..	22
Şekil 3.7. Simülasyon ve deney numunelerinin tahrip olmuş hallerinin simülasyon ve deney sonrası görüntüleri. a.) Simülasyon, b.) Deney	22
Şekil 4.1. 10 mm/d ve 500 mm/d çekme hızları için gerilme – birim şekil değiştirme grafikleri (+20°C deki çekme deneylerinin ortalamaları)	25
Şekil 4.2. PC, PMMA ve PAI malzemeler için 25°C sıcaklıktaki ve geniş bir gerinim hızı aralığı için tek eksenli gerilme (True stress) – gerinim (True strain) eğrileri (J.Richeton 2006).	26
Şekil 4.3. Çok geniş bir gerinim hızı aralığı için PP+PLP-Polipropilen malzemenin 25°C sıcaklıktaki gerilme (True stress) – gerinim (True strain) eğrileri (Okereke 2012).a.)ICIW-Polipropilen, b.)PLW-Polipropilen, c.) PP+PLP-Polipropilen	27
Şekil 4.4. -20°C, +20°C ve +60°C sıcaklıklar için gerilme – birim şekil değiştirme grafikleri (500 mm/dak çekme hızı deneylerinin ortalamaları)	29
Şekil 4.5. PC, PMMA ve PAI malzemeler için 0,01 (1/s) gerinim hızındaki ve geniş bir sıcaklık aralığı için tek eksenli gerilme (True stress) – gerinim (True strain) eğrileri (J.Richeton 2006).	30
Şekil 4.6. Farklı gerinim hızlarında ve sıcaklıklarda mühendislik gerilmesi (Engineering stress) – mühendislik gerilmesi (Engineering strain) eğrileri. a.) 0 °C, b.) 20 °C, c.) 80 °C ve d.) 120 °C. (Cao 2014).	34
Şekil 4.7. Farklı sıcaklıklar için gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri. a.) -20°C, b.)+20°C, c.) +60°C	39
Şekil 4.8. 5,6 kg düşürme testi için ezilme kuvvetinin zaman ile değişim eğrisi.	36
Şekil 4.9. 5,6 kg düşürme testi için ezilme kuvvetinin ezilme miktarı (deplasman) ile değişim eğrisi.	36
Şekil 4.10. 5,6 kg düşürme testi simülasyon sonuçları, a.)Plastik şekil değiştirme (her sıcaklık testi için kendi limitleri ile),	

b.)Plastik şekil değiştirme (tüm sıcaklık testleri için aynı limit değeri ile)	37
Şekil 4.11. 5,6 kg düşürme testi simülasyon sonuçları,	
a.)von-Mises gerilmesi (her sıcaklık testi için kendi limitleri ile),	
b.)von-Mises gerilmesi (tüm sıcaklık testleri için aynı limit değeri ile)	38
Şekil 4.12. 11,2 kg düşürme testi için ezilme kuvvetinin zaman ile değişim eğrisi.	40
Şekil 4.13. 11,2 kg düşürme testi için ezilme kuvvetinin ezilme miktarı (deplasman) ile değişim eğrisi.	40
Şekil 4.14. 11,2 kg düşürme testi simülasyon sonuçları,	
a.)Plastik şekil değiştirme (her sıcaklık testi için kendi limitleri ile),	
b.)Plastik şekil değiştirme (tüm sıcaklık testleri için aynı limit değeri ile)	41
Şekil 4.15. 11,2 kg düşürme testi simülasyon sonuçları,	
a.)von-Mises gerilmesi (her sıcaklık testi için kendi limitleri ile),	
b.)von-Mises gerilmesi (tüm sıcaklık testleri için aynı limit değeri ile)	42

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Polipropilen hammaddenin Bormod BJ368MO üretici tarafından verilen oda sıcaklığındaki mekanik özellikleri.....	12
Çizelge 3.2. 5A tipi test numunesi boyutsal ölçüleri (mm cinsinden).....	14
Çizelge 3.3. Test numuneleri kodları	16
Çizelge 3.4. Test numunelerin boyutsal özellikleri.....	23



1. GİRİŞ

Kırsal yollar karakteristik olarak nispeten düşük trafik hacimleri taşırlar ve çoğu zaman ekonomik öneme sahip olarak görülmezler. Bu nedenle kırsal yollar daha düşük kalitede inşa edilirler ve bakım aralıkları daha seyreklerdir. Bu da beraberinde kırsal yollarda taşınan kargoların (ki bu kargolar genellikle tarım ürünleridir) daha fazla dinamik yüklere maruz kalmasına sebep olmaktadır. Yol kalitesinin yakıt ekonomisi, araç sürüş konforu, lastik aşınması, araç yıpranması üzerine etkisi derinlemesine incelenmiş olmasına karşın, yol kalitesinin taşınan kargoya etkisi daima geri planda kalmıştır. Ancak son yıllarda kargo yüklerinin taşınması esnasında yol şartlarından dolayı maruz kaldığı dinamik yükler ve bu yüklerin taşınan ürüne verdiği zarar ile ilgili çok sayıda çalışma yayınlanmaktadır.

Normal koşullarda ürünlerin korunması, esas olarak kargonun taşınması için kullanılan ambalaj ile sağlanmaktadır. Çoğunlukla kötü yol kalitesine sahip kırsal yolların ve daha eski araçların kullanıldığı kırsal yol şartlarında, sadece ambalajlama kargonun korunmasına yetmemektedir.

Bu tez çalışması polipropilen saklama kutularının taşınması esnasında en çok karşılaşılabilecek mukavemet risklerini incelemektedir. Zira gıda sektörü başta olmak üzere pek çok alanda kullanılan termo-plastik malzemelerin başında polipropilen olarak adlandırılan polimer türü gelmektedir. Genel olarak termo-plastik malzemeler ve özellikle de polipropilen malzemelerin mekanik özellikleri sıcaklık değişiminden çok etkilenmektedir. Bunun yanında statik olarak taşıyabildikleri yükün çok daha az bir kısmı ile dahi burkulmaya maruz kalabilirler. Uygulamada en sık karşılaşılan burkulma problemlerinden biri karayolu taşımacılığında ortaya çıkmaktadır. Zira statik olarak birbirini üzerine konularak muhafaza edilebilen kutular, yol şartlarındaki düzgünsüzlükler, aracın yatay ivmelenmesi ve sıcaklığın tesiri ile deformasyona maruz kalmakta ve burkulma sonucu tahrip olarak ciddi maddi kayıplara yol açmaktadır. Şekil 2.2'de kimyasal madde taşıyan polimer kutuların karayolları ile nakliyesinde karşılaşılan problem görülmektedir. Kötü sürüş koşulları neticesi oluşan dinamik yükler ve sıcaklığın da tesiri ile en alt sıradaki polimer kutular burkularak ezilmiş ve buna bağlı olarak yığın üzerindeki diğer kutularında devrilmesi sonucu taşınan akışkan kimyasal araç içine dağılarak sürüş güvenliğini de tehdit eden bir durum ortaya çıkarmaktadır. Çalışmada

ince cidarlı polimer kutuların emniyetli taşıma için gerekli cidar kalınlığı tespit edilmeye çalışılacaktır.

Çalışma; uygulamada oldukça sık karşılaşılan gerçek bir problem ve bu problemin çözümünü içermektedir. Çözüm sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak sağlanacaktır. Bilindiği üzere sonlu elemanlar yöntemi sürekli ortamların küçük birim bölgelere ayrılmasına dayanır. Bu birim bölgelere ise sonlu elemanlar denilmektedir. Eleman seçimi problemin doğru çözülmesinde önemli bir rol oynar. O yüzden eleman boyutları ve sayısı; hesapları en aza indirecek şekilde seçilmelidir. Bu yöntem genellikle; karmaşık sınır koşullarına sahip sistemlere, düzgün olmayan geometriye sahip sistemlere, kararlı hal, zamana bağlı ve özdeğer problemlerine, lineer ve lineer olmayan problemlere uygulanabilmektedir.

Polipropilen kutular dinamik yol yüklerinin etkisi altında yüksek sıcaklıklardaki burkulma ve düşük sıcaklıklardaki kırılma riski ile karşı karşıyadır. Çalışmanın materyal ve metot bölümünde taşıtın süspansiyon sistemi nazara alınarak kargo bölümünde ortaya çıkması muhtemel maksimum ivmeler belirlenmeye çalışılmıştır. Karayolu taşıtının kargo bölümlerindeki dikey ivme değerleri (yol şartları) literatür çalışmalarından da tespit edilebilmektedir. İkinci bölümde polipropilen malzemenin yüksek ve düşük sıcaklıklardaki mekanik özellikleri deneylerle tespit edilmektedir. Son bölümde ise elde edilen ivme verileri ve polipropilen malzemenin mekanik özellikleri kullanılarak yüksek sıcaklıklarda (boya kutusu burkulması) ve düşük sıcaklıklarda (dondurma kutusu kırılması) iki farklı problem sonlu elemanlar yazılımı yardımıyla gerçekleştirilmiş, numunelerin dayanım sınırları belirlenerek analiz sonuçları verilmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

Nakliye esnasında tarımsal ürünlerin hasar seviyelerinin belirlenmesine ve yol koşulları nedeniyle tarımsal tedarikçilerin olası maliyetlerinin belirlenmesine yönelik sayısız çalışmalar yayınlamıştır (Vursavuş 2004, Çakmak 2010, Zhang 2010, Shahbaz 2010, Eissa 2013). Ancak polimer esaslı malzemelerden üretilen ve dinamik yüklere maruz kalan ambalaj ürünlerinin sıcaklığa bağlı mukavemet değişimleri derinlemesine incelenmemiştir.

Karayolu sürüş kalitesi, ivmelenme ve sürüş tepkilerine karşılık araçta ve taşınan kargoda ortaya çıkan titreşimlerin tespitine yönelik çeşitli çalışmalar oldukça yenidir (Jarimopas 2005, Ranathunga 2010, Soleimani 2014). Bu çalışmalar yolun sürüş kalitesindeki düşüşün ve bunun sonucu ortaya çıkan titreşimin araçlardaki ve kargodaki yapısal hasarın önemli bir nedeni olduğunu göstermektedir (Chonhenchob 2009, Pretorius 2012, Ranatunga 2013). Bu durum nakliye masraflarının artmasına yol açmaktadır. Nakliye masraflarının artması, taşınan karayolunun piyasa değeri kaybı ve gelirdeki azalma gibi olumsuz ekonomik etkilere yol açmaktadır.

İnce cidarlı ambalaj kutuları üst üste yığın halinde depolanmakta ve taşınmaktadır. Depolama esnasında statik yüklere maruz kalan bu elemanlar taşıma esnasında ise genellikle dinamik yüklere maruz kalmaktadır. Bu dinamik yükler aracın yatay ve dikey yönde ivmesi, ve/veya yol şartlarından kaynaklanan düzgünsüzlükler sonucu ortaya çıkan dikey yer değiştirmelerden kaynaklanır. Ancak ambalaj kutularının karşılaştığı tek risk bahsi geçen bu dinamik yükler değildir. Genellikle polimer esaslı malzemelerden üretilen bu ambalaj kutuları için sıcaklık bir diğer risk faktörüdür. Zira polimer malzemelerin mekanik özellikleri sıcaklık değişimlerine karşı oldukça hassastır ve pek çok polimer esaslı malzeme düşük sıcaklıklarda gevrek, yüksek sıcaklıklarda ise sünek özellik gösterir. Bu tez çalışmasında dinamik yol yüklerine maruz gıda ve ambalaj sektöründe yaygın kullanıma sahip ince cidarlı polimer saklama kaplarının mukavemet analizi yapılmaktadır. Tez çalışmasında ilk olarak Unilever firmasından temin edilen polipropilen dondurma kutularının farklı sıcaklıklardaki mekanik özellikleri deneylerle tespit edilmiş ve literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılmıştır. İkinci kısımda aracın kargo bölümü için yaklaşık bir hesap yöntemi ile muhtemel yol yükleri hesap edilmiştir. Son kısımda farklı miktarlarda istif edilmiş kutuların dinamik yüklerin etkisi altındaki yol

şartları simüle edilmiş ve en alt sıradaki kutunun dayanımı incelenmiştir. Sıcaklığa bağlı olarak dinamik yüklerin etkisi altındaki ince cidarlı polimer kaplar için iki farklı mukavemet riski söz konusudur

Bunlardan ilki; malzemenin sünekliğinin sıcaklık etkisi ile artması ve bu sayede ince cidarlı polipropilen levhanın burkulması şeklinde ortaya çıkan stabilite problemidir. İnce cidarlı levhalarda stabilite problemi kirışlere nazaran oldukça karmaşıktır. Bu nedenle levhaların stabilite problemlerinde kirışlerdeki gibi genel birtakım formüller ve çözümler elde etmek oldukça zordur. Analitik olarak incelenebilir olması nedeniyle, eksenel yüke maruz düzgün geometriye sahip levhaların burkulma analizi üzerine sayısız çalışma yapılmıştır ve pek çok yöntem ortaya konulmuştur (Donnel ve ark. 1938, Karman ve ark. 1941, Batdorf ve ark. 1947, Brush ve ark. 1975, Kollar ve ark. 1984, Hunt ve ark. 2003, Reis ve ark. 2012). Ancak bu çözümler yalnızca statik yüklemelerde geçerlidir ve dahası düzgün olmayan geometrilerde analitik bir çözüm elde etmek mümkün değildir. Bu noktada sonlu elemanlar yöntemi kullanan bilgisayar programları anahtar rol oynamaktadır. İkinci mukavemet riski ise dondurulmuş gıdaların nakliyesi esnasında düşük sıcaklıklarda ortaya çıkmaktadır. Sıfırın altındaki düşük sıcaklıklarda artan gevreklik nedeniyle ince cidarlı levha özellikle dinamik yüklerin etkisi ile kırılmaktadır. Zira ambalaj sektörünün temel hammaddesi olan polipropilenin mukavemet özellikleri sıcaklık değişimlerine karşı oldukça hassastır.

Polipropilenin sıcaklığa bağlı mekanik özelliklerinin tespitine ve iyileştirilmesine yönelik çalışmalar oldukça yeni bir araştırma alanıdır. Bouvard ve arkadaşları (2006) farklı gerilme halleri, sıcaklıklar ve nominal gerinim oranları altında iki yarı kristalize polimerin (polipropilen, PP ve kopolimer polipropilenin, co-PP) mekanik davranışlarını deneysel olarak incelemiştir. Grala ve ark. (2016)-20 ile 120 derece arasında ısıtılan polipropilenin viskoelastik davranışını çekme testleri ile gözlemlemiştir. Li ve ark. (2017) polipropilen polimerin mekanik davranışına sıcaklığın etkisini incelemiştir. Polimerin mekanik özelliklerini sırasıyla düşük sıcaklık ve yüksek sıcaklık için tek eksenli çekme testleri ile gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak, sıcaklığın artmasıyla malzemenin hem akma gerilmesinin hem de elastik modülünün azaldığını göstermişlerdir. Temel olarak polipropilen malzeme içerisine eklenen bazı katkı maddeleri ile polipropilenin mekanik özellikleri iyileştirilebilmektedir. Ancak gıda maddelerinin muhafazası için kullanılan polipropilen kaplarda sağlık faktörü de dikkate alınmak zorunda olduğundan bu katkı

maddelerinin insan sağlığına etkisi de göz önünde bulundurulmalıdır. Son yıllarda daha pek çok araştırmacı polimer malzemelerin farklı çekme hızı (Zhou 2002, Richeton 2006, Moy2011, Dar 2014) ve sıcaklıklardaki mekanik özelliklerinin tespitine yönelik çalışmalar yapmıştır (Mahieux 2001, Gibson 2010,Sardon 2012, Cao 2014, Li 2016).

Özellikle gıda maddelerinin muhafazası ve taşınmasında en çok tercih edilen polimer türü ise polipropilen olarak adlandırılan polimer türüdür. Kolay işlenebilir olmaları ve düşük hammadde maliyetleri sebebi ile polipropilen malzemeler geniş bir kullanım alanına sahiptir. Termoplastik bir polimer türü olan polipropilen malzemeler kimyasal akışkanların muhafazasında ve ambalaj malzemeleri üretiminde, ayrıca dayanıklı olması ve geri dönüştürülebilir olmaları nedeniyle otomotiv sektöründe de önemli bir kullanım alanına sahiptir. Monomer propilenin polimer hale getirilmesi ile elde edilen polipropilen kimyasal solventlere (asit ve bazlar) karşı aşırı derecede dirençlidir. Polipropilen, polietilenden sonra dünyanın en yaygın üretilen ikinci sentetik plastiktir (Shonaike ve Advani, 2003). Bu özelliklerinden dolayı polipropilen malzemeler ince cidarlı saklama kaplarının üretiminde kullanılan en temel hammaddelerdir (Tripathi, 2002).

PP ya da polipropilen kimyasal ve gıda ambalajlarından, tekstil, kırtasiye, otomotiv parçaları, yeniden kullanılabilir kap eşitleri, laboratuvar ekipmanları ve polimer banknotlara kadar sayısız uygulamada kullanılan bir termo-plastik polimer türüdür (Richetona ve ark. 2006, Moy ve ark. 2011).

Doğal polimerlerin endüstriye yönelik kullanımları çok eski tarihlere dayanmaktadır. Tarihsel gelişim içinde doğal polimerler yerlerini “modifiye edilmiş (doğal polimere, fiziksel özelliklerini değiştiren katkı, dolgu maddesi ve benzeri ilave edilmesi) doğal polimerlere” yani “yarı sentetik polimerlere” bırakmışlardır. Bunun sebepleri; polimerik hammaddelerin işlenmesindeki sorunlar ile ürünlerin fiziksel ve mekaniksel özelliklerinin yetersiz olmasıdır (wikipedia).

1953 yılında sentezlenen polipropilen, araştırmacıları Ziegler ve Natta’ya Nobel dl kazandırılmıştır (wikipedia). Propilen ilk defa Giulio Natta ve Alman kimyager Karl Rehn tarafından 1954 yılı Mart ayında polimerleştirilerek kristalin izotaktik bir polimer haline getirilmiştir. Bu keşif sayesinde, İtalyan şirketi Motecatini 1957 yılından bu yana izotaktik propilenin büyük ölçekli olarak ticari üretimini sürdürmektedir.

Polipropilen (PP) ya da polipropen ambalaj ve etiketleme, tekstil (örneğin halat, termal iç çamaşırı ve halı), kırtasiye, plastik parçalar ve yeniden kullanılabilir kap çeşitleri, laboratuvar ekipmanı, hoparlör, otomotiv parçaları ve polimer banknotlar gibi birçok uygulamada kullanılan bir termoplastik polimerdir.

Spesifik moleküler özellikler ve üretimi esnasında kullanılan katkı maddeleriyle düzeyin ayarlanabilme imkanı polipropilenin çok sayıda uygulamada kullanılabilmesini sağlar. Örneğin antistatik katkıların eklenmesi polipropilen yüzeylerin toz ve kirece dayanabilmesine yardımcı olabilir. Polipropilende, talaşlı işleme gibi birçok boyama tekniği kullanılabilir. Polipropilen parçalara yüzey kaplaması uygulanarak yazıcı mürekkebi ve boyaların tutunma kabiliyeti geliştirilebilir (Karian 2003).

Monomer propilenin polimer hale getirilmesi ile elde edilen polipropilen kimyasal solventlere (asit ve bazlar) karşı aşırı derecede dirençlidir (Karian 2003). En yaygın ticari polipropilen, kristal yapısı düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) ve yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) arasında bir seviyeye sahiptir. Young modülü (elastisite modülü) de orta seviyededir. Bununla beraber, LDPE den daha az sert ve HDPE den çok daha az gevrektiler. Bu polipropilenin ABS gibi mühendislik plastiklerinin yerine kullanılmasına izin verir.

Ergime sıcaklığı yaklaşık olarak 160°C civarında bulunan polipropilen, yorulma yüklerine karşı çok iyi direnç gösteren bir malzeme türüdür. Düşük maliyetlidir ve darbe dayanımı nispeten yüksektir. Çok iyi elektrik yalıtım özelliğine sahip olmakla birlikte, mekanik sürtünme katsayısı düşüktür. Kimyasal tepkimelere karşı direnci yüksek bir malzemedir ve bu sayede gıda sektörünün vazgeçilmez depolama malzemesi olmuştur.

Bu malzeme türünden, deterjan kutu kapakları, margarin kapları gibi malzemeler üretilir. Geri dönüşümü ile sentetik halı tabanı, çeşitli plastik oyuncak, kırtasiye malzemeleri ve benzeri ürünler imal edilebilir. Enjeksiyon ve tekstil sektörünün vazgeçilmez hammaddesidir. Homopolimer, Kopolimer ve Random Kopolimer tiplerinde; OPP ve BOPP film, çuval, ip, levha, şişe, tıbbi malzemeler, fırça, elyaf, halı ipe, akü kabı, boya kutusu, ince cidarlı ambalaj kutuları, boru ve bağlantı parçaları vb. imalatında kullanılırlar.



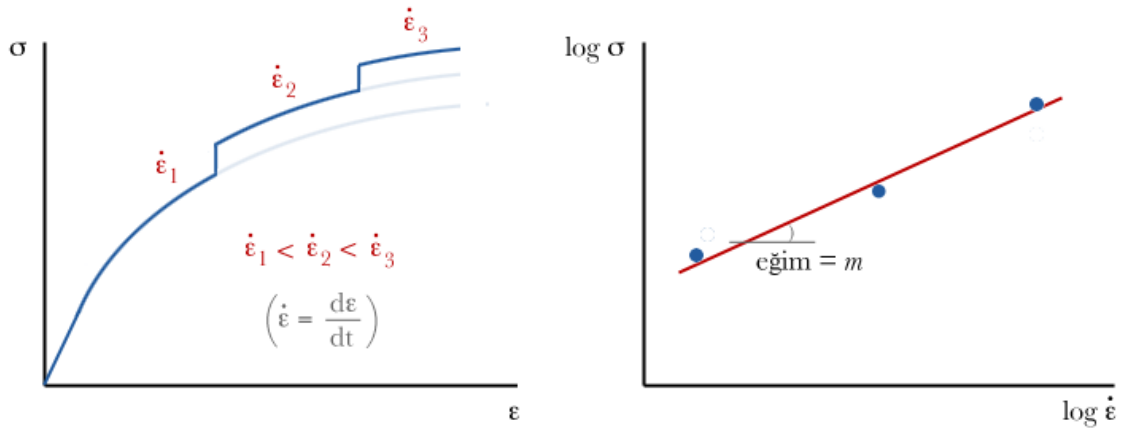
Şekil 2.1. Polipropilen muhafaza kabı örnekleri (<https://grabcad.com/>)



Şekil 2.2. Yol şartlarındaki bozukluk sebebi ile ezilmeye maruz polipropilen kutular (Tekno Tasarım A.Ş. den alınmıştır).

2.1. Şekil Değişim Hızının Malzemenin Mekanik Özelliğine Etkisi

Malzemelerde şekil değişimi miktarına bağlı olarak, malzemede bulunan dislokasyon sayısının artması ile gerinim sertleşmesi ya da pekleşme adını verdiğimiz bir durum ortaya çıkabilmekte ve bunun sonucu da pek çok malzeme şekil değiştirdikçe sertleşebilmektedir (Şekil 2.3). Buna benzer bir işleyiş malzemelerin şekil değişimi hızına bağlı olarakta ortaya çıkmaktadır. Gerinim hızı sertleşmesi (Strain-rate hardening) olarak isimlendirilen bu durum özellikle dinamik yüklerin etkisi altında çalışan malzemeler için farklı bir yaklaşım ortaya koymayı gerekli kılmaktadır. Zira bu özelliğe sahip malzemelere farklı hızlarda çekme testi uygulandığında farklı gerilim-gerinim eğrisini elde edilmektedir.



Şekil 2.3. Şekil değişim hızının akma eğrisine etkisi (Anonim)

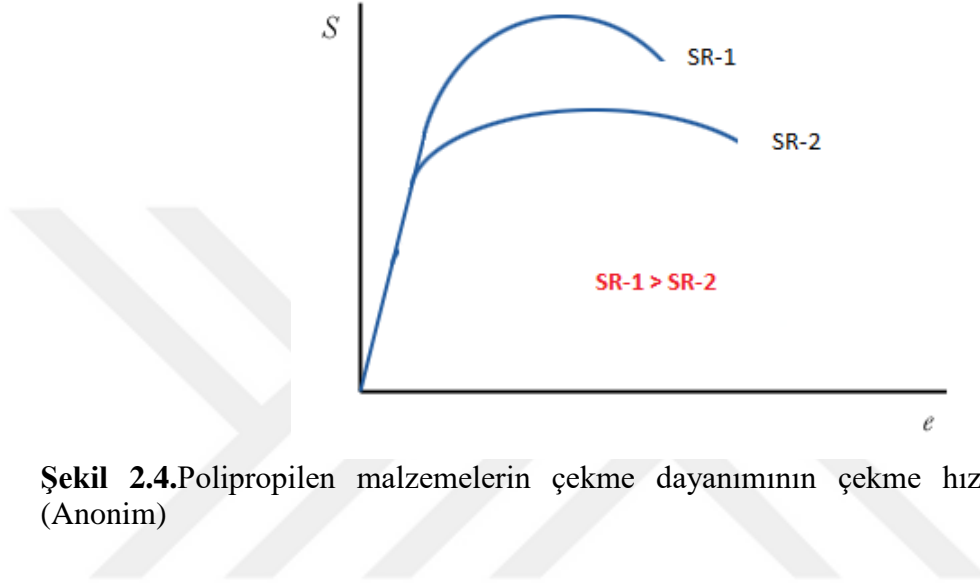
Gerinim sertleşmesine ve şekil değişimi hızının plastik akma eğrisi üzerindeki etkisi tek eksenli çekme testi için aşağıdaki eşitlik ile ifade edilebilmektedir (Hosford 2012).

$$\sigma = K\varepsilon^n\dot{\varepsilon}^m \quad (2.1)$$

Burada, ε şekil değişim oranını, $\dot{\varepsilon}$ şekil değişim oranının değişim hızını, n malzemenin şekil değişim sertleşmesi, m ise malzemenin şekil değiştirme hızı duyarlılıklarını ifade etmektedir. m katsayısının değeri 0 ile 1 arasında değişmektedir ki bu katsayının $m = 0$ olması malzemenin şekil değiştirme hızına duyarlı olmadığını göstermektedir. $m = 1$ olması ise, numuneyi her ne kadar çekersek çekelim, plastik

kararsızlığın hiçbir zaman başlamayacağını, çektiğimiz sürece numunenin uzamaya devam edeceğini göstermektedir.

Polipropilen malzemeler için tek eksenli çekmede akma eğrisinin değişimi kabaca Şekil 2.4 de verilmiştir. Literatürden elde edilen verilere göre polipropilen malzemelerin mekanik özellikleri şekil değişim hızına oldukça duyarlıdır (Gebremeskel ve ark.).



Şekil 2.4.Polipropilen malzemelerin çekme dayanımının çekme hızı ile değişimi (Anonim)

2.1.1.Cowper-Symonds Plastik Malzeme Modeli

Yüksek hızlı deformasyonlarda malzemenin mekanik özellikleri aşağıdaki Cowper-Symonds denklemi ile sonlu elemanlar modeline aktarılabilmektedir (Gyliene ve ark. 2011).

$$\sigma_d = \sigma_s \left[1 + \left(\frac{\dot{\epsilon}}{C} \right)^{\frac{1}{P}} \right], \quad \dot{\epsilon} > 0 \quad (2.2)$$

Burada $\dot{\epsilon}$, gerinim hızı oranını, σ_d , dinamik akma gerilmesini, σ_s , statik akma gerilmesini, C ve P ise gerinim hızı parametrelerini ifade etmektedir.

Akma gerilmesi fonksiyonu bir β katsayısı etkisiyle akma gerilmesi artışının strain rate "gerinim hızı" değişiminde çıkan sonuçları elde etmemizi sağlamaktadır.

Gerilme oranı, statik akma gerilmesini β katsayısı ile çarpılarak ölçeklendiren Cowper-Symonds modelinin kullanılmasıyla hesaplanabilir. Bu halde β aşağıdaki formül ile ifade edilmektedir (Gyliene ve ark. 2011).

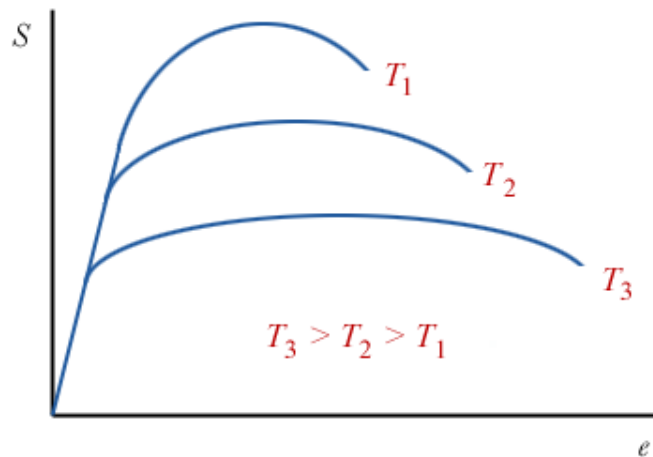
$$\beta = 1 + \left(\frac{\dot{\epsilon}}{C} \right)^{\frac{1}{P}} \quad (2.3)$$

Farklı çekme hızı değerlerinde hangi değerleri alacağı Araştırma Sonuçları bölümünde ilgili kısımda incelenmektedir.

2.2. Sıcaklığın Malzemenin Mekanik Özelliğine Etkisi

Polimer malzemelerin ve özellikle polipropilenin en zayıf noktalarından birincisi çalışma sıcaklık aralıklarının dar olmasıdır. Kullanma bölgesinin alt ve üst limitleri, polimer bünyelerindeki geçişlerle veya özelliklerinin sıcaklıkla değişmeye başlamasıyla belirlenir. Polimer malzemenin davranışının ısıl yükleme hızına göre de değişmesiyle problem çok yönlü bir hal alır. Zira polimerlerde sıcaklığın etki etme süresi de önemli bir faktördür. Soğutma endüstrisinde ve soğuk gıda saklama uygulamaları dışında alt limitler pek önem arz etmezler. Sıcaklık düştükçe özelliklerdeki tek değişiklik gevreklikte bir artma şeklinde kendini gösterir (Şekil 2.5). Zaten gevrek ve sert olan duroplastlar düşük sıcaklıklardan pek fazla etkilenmezler. Polipropilenin de dahil olduğu termo-plastlar ise sünekliğini kaybeder ve kırılgan olurlar. Aynı durum elastomerler için de geçerlidir. Oda sıcaklığında yumuşak ve fonksiyonlarına uygun olarak kullanılan plastik örtü, hortum, kösele gibi malzemeler düşük sıcaklıkta tamamen veya kısmen kırılganlaşarak dayanıksızlaşır veya kullanılamaz hale gelir.

Literatürden aynı malzemenin farklı sıcaklıklardaki çekme eğrilerinin kaba formu Şekil 2.5’de görülmektedir. Polimer malzemelerin yanında, metallerde genel davranışını gösteren bu şekilden anlaşıldığı üzere, sıcaklığın artmasıyla malzeme sünekleşmekte, sıcaklık düştüğünde de malzeme sertleşip gevrekleşmektedir(Li ve ark. 2016).



Şekil 2.5. Polipropilen malzemelerin çekme dayanımının sıcaklıkla değişimi (Anonim).

3.MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Test Numunelerinin Hazırlanması

Bu çalışmada termo plastik malzemelerden olan polipropilenin sıcaklık ve çekme hızı değerine bağlı mekanik özelliklerindeki değişimler çekme cihazında önceden hazırlanmış kapak ve gövde parçasından alınan numunelerin -20°C, 20°C (oda sıcaklığı) ve +60°C sıcaklık değerlerinde; çekme cihazı çekme hızı değeri maksimum olarak 500 (mm/dak), minimum olarak 10 (mm/dak) belirlenmiştir. Belirlenen bu deney şartlarında toplamda 36 numune test edilmiştir. Test sonuçları düzenlenerek gerilim ve gerinim değerleri her bir test numunesi için elde edilmiş ve sonuçların ortalaması alınıp çekme eğrileri oluşturulmuştur. Deneylerde kullanılan numunenin boyutları Çizelge 3.2’de verilmektedir.

Çizelge3.1.’de Bormod BJ368MO polipropilen malzemesinin üretici tarafından verilen oda sıcaklığındaki mekanik özellikleri gösterilmiştir. Verilen mekanik özellikler referans olarak alınmakla birlikte, esas olarak sonlu elemanlar yazılımında gerekli temel sıcaklık ve çekme hızına bağlı malzeme özellikleri deneyler sonucunda belirlenmiştir. Benzer şekilde çekme hızına bağlı Cowper-Symonds malzeme parametreleri de deneysel olarak elde edilmiştir.

Çekme cihazı ile yapılan deney sonuçlarına ek olarak; sonlu elemanlar yazılımında numune modellenmiştir. Modellemede çekme hızı parametreleri olan C ve P değerleri deney sonuçlarıyla karşılaştırılarak β katsayısı belirlenmiştir.

Çizelge 3.1. Polipropilen hammaddenin Bormod BJ368MO üretici tarafından verilen oda sıcaklığındaki mekanik özellikleri

Özellik	Değer (Birim)
Yoğunluk, ρ	903 (kg/m ³)
Elastisite Modülü, E	1,5 (GPa)
Poison Oranı, ϵ	0,42
Çekme Dayanımı	25 (MPa)

Sonlu elemanlar analizinde kullanılan Abaqus yazılımı karmaşık gerçek dünya sorunlarını simüle edebilen genel amaçlı sonlu bir eleman analiz programıdır. Otomobil, havacılık, inşaat, askeri, imalat ve biyomühendislik endüstrileri tarafından kullanılır. İdeal olarak elastik davranış sergilemeyen doğrusal olmayan malzemelerin (örneğin termoplastik polimerler) analizi yapılabilmektedir.

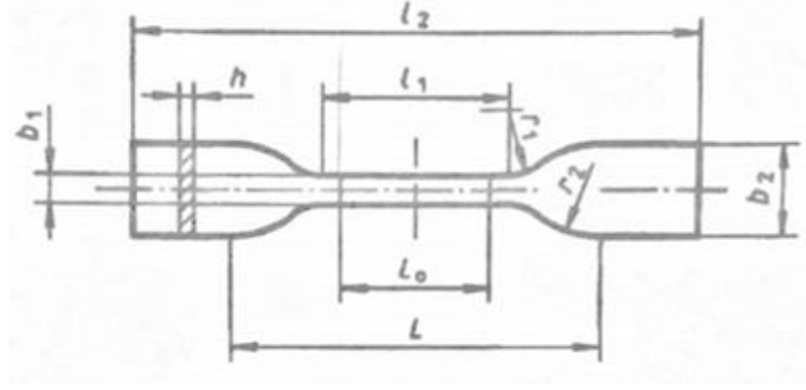
Mekanik özellikleri incelenen polipropilen malzemeden yapılmış kutu Şekil 3.4.'de, çekme cihazında ölçümleri yapılacak kutudan alınan test numune örneği Şekil 3.1-2.'de görülmektedir.

Test numunesi kutudan alınabilecek boyut olarak ISO 527-2: 1996 belgesinde bulunan test numunesi 5A tipinde seçilmiştir. Şekil 3.1'de numunenin boyutsal özellikleri, Çizelge 3.2.'de de 5A tipi test numunesinin ölçüleri verilmiştir. Ölçüler mm cinsindedir.

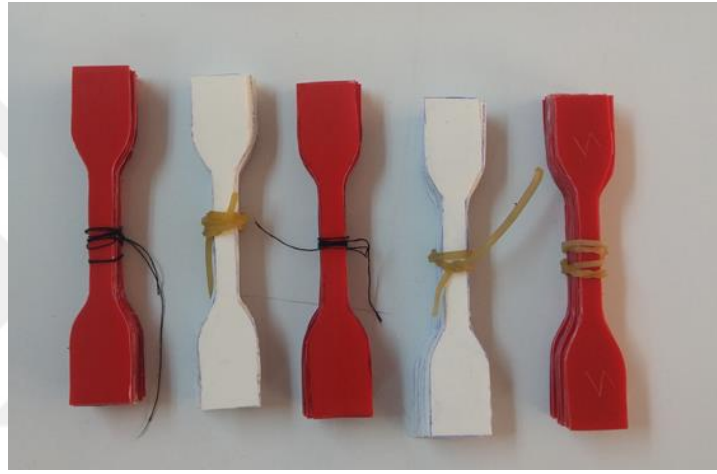
5A tipi numuneyi Çizelge 3.2.'deki boyutlarına göre Solid Works 2016 programında çizilmiştir ve yazıcıdan 1:1 ölçekte çıktısını alınmıştır. Sonrasında kalıp olarak kullanılması için sert malzemeden yapılmış bir elektrik devresi mengeneye sıkıştırılmış ve numuneye göre eğeleme yapılarak oluşturulmuştur. Oluşturulan bu numune dondurma kutusunun kırmızı olan kapak kısmı ve beyaz olan gövde kısmına ayrı ayrı mengene ile sıkıştırılmış ve falçata, neşter gibi kesici aletler ile çıkartılmıştır.

Şekil 3.2.'de kutunun kapak ve gövde parçalarından çıkartılmış olan numuneler ve kalıp olarak kullanılan numune örneği görülmektedir.

Propilen malzemenin çekme testleri -20°C , oda sıcaklığı ($+20^{\circ}\text{C}$) ve $+60^{\circ}\text{C}$ sıcaklık değerlerinde yapılmıştır. Çekme hızı değeri "Strain Rate" olarak en düşük değer 10 (mm/dak), en büyük değer olarak 500 (mm/dak) belirlenmiş ve deneyler buna göre yapılmıştır. Çizelge 3.3.de numunelerin sıcaklık ve çekme hızı parametrelerine göre kodlanması görülmektedir. A, C ve E harfi ile başlayan numuneler dondurma kutusunun gövde kısmından alınmıştır, beyaz renktedir. B, D ve F harfi ile başlayan numuneler ise dondurma kutusunun kapak kısmından alınmıştır, kırmızı renktedir.



Şekil 3.1.5A tipi çekme numunesi ölçüleri [ISO 527-2: 1996]



Şekil 3.2.5A tipi Polipropilen çekme numuneleri

Çizelge3.2. 5A tipi test numunesi boyutsal ölçüleri.

Simge	Açıklama	Uzunluk (mm)
l_2	Minimum toplam uzunluk	75
b_2	Uçlarındaki genişlik	12,5
l_1	Dar paralel kenarların uzunluğu	25
b_1	Dar paralel kenarların genişliği	4
r_1	Küçük yarı çap	8
r_2	Büyük yarı çap	12,5
L	Kulplar arasındaki başlangıç mesafesi	50
L_0	Gösterge uzunluğu	20

Çekme cihazına bağlanan numuneler oda sıcaklığı değeri için hiçbir ısıtma veya soğutma işlemi görmeden çekilmiş ve test sonuçları bilgisayar ortamına kaydedilmiştir. -20°C ve $+60^{\circ}\text{C}$ sıcaklık değerleri için metal küpler kullanılmıştır. Bu metal küpler, numuneler test cihazındayken birbiriyle temas edecek şekilde bırakılmış ve aralarında ısı transferi olması sağlanmıştır. Küpleri soğutmak için -20°C 'de olan buzdolabı, ısıtmak için da su ısıtma makinesi kullanılmıştır. İşlemler sonrasında sıcaklık kontrolü lazer termometre ile yapılmıştır. Bu işlemler görsel olarak Araştırma Sonuçları bölümünde verilecektir.

İzotropik malzemelerde (birim şekil değiştirme hızına bağlı olarak) beş adet plastik malzeme modeli mevcuttur. Bu malzeme modelleri şöyle sıralanabilir ;

a.) Plastik Kinematik (Cowper Symonds modeli): Kopma birim şekil değiştirme hızını içerir.

b.) Cowper-Symonds modelinin (birim şekil değiştirme oranına duyarlı) mukavemet ve pekleşme parametrelerini içeren hali,

c.) Cowper-Symonds modelinin kopma birim şekil değiştirmesini içeren (Piecewise Linear) ve malzeme özellikleri eğri olarak tanıtılabilen hali,

d.) Birim şekil değiştirme oranına bağlı (Birim şekil değiştirme oranı yük eğrileri ve kopma gerilmesi) ifade edilen hali,

e.) Süper plastik (PowerLaw:) şekillendirme için geliştirilmiş Ramburgh-Osgood malzeme modeli olarak sıralanabilir (SzilvÁgyi 2018).

Burada a ve c ile verilen Cowper-Symonds malzeme modeli, akma gerilmesi ve birim şekil değiştirme hızı (C ve P şekil değiştirme parametreleri) ile ifade edilir. d ile verilen malzeme modeli en genel kullanımlı birim şekil değiştirme hızı modelidir. Zira elastisite modülü, akma sınırı ve kopma gerilmesi, birim şekil değiştirme hızının fonksiyonu olarak ifade edilebilir.

Tüm bu malzeme modelleri (özellikle de a ve d) genel olarak metal ve plastik esaslı malzemelerin şekillendirmelerinde (genel olarak isotropik malzemeler) için kullanılabilir. e kodlu malzeme modeli ise yüksek şekil değiştirmelerin söz konusu olduğu süper özellikteki plastik şekillendirme analizlerinde kullanılır.

Çizelge3.3. Test Numuneleri Kodları

Test Numunesi Sıcaklığı	Çekme Hızı Değeri	
	10 (mm/dak)	500 (mm/dak)
-20°C	A1, A2, A3	A4, A5, A6
	B1, B2, B3	B4, B5, B6
+20°C	C1, C2, C3	C4, C5, C6
	D1, D2, D3	D4, D5, D6
+60°C	E1, E2, E3	E4, E5, E6
	F1, F2, F3	F4, F5, F6

3.2. Simülasyon Modelinin Hazırlanması

Mevcut polipropilen yapısı için riskli mukavemet analizi bölgeleri üç adettir. Bunlarda ilki, kesme gerilmesi ve çeki gerilmesi etkisi altındaki kutu kapağı bölgesidir ve burada malzemenin rijitliği arttıkça kesme gerilmeleri de artmaktadır. Malzemenin rijitliği azaldıkça buna paralel olarakta çekme gerilmeleri artarak daha baskın hale gelmektedir. Şu halde -20°C de muhafaza edilen gıda kutularında elastisite modülü'nün değişimi dikkatle not edilmeli ve malzemenin -20°C deki mekanik özellikleri bilinmelidir.

İkinci risk bölgesi kesit burkulmasına zorlanan kutu yan duvarları ve üçüncü risk bölgesi ise çeki-bası ve kayma gerilmelerinin tesiri altındaki üst kenar bölgeleridir. Bu kısım kapak ve kutuya ait iki katlı bir tabaka halinde bulunduğu ve ekstra mukavemet tedbirleri ile desteklendiğinden daha çok zorlanmasına karşın daha düşük bir risk altındadır.

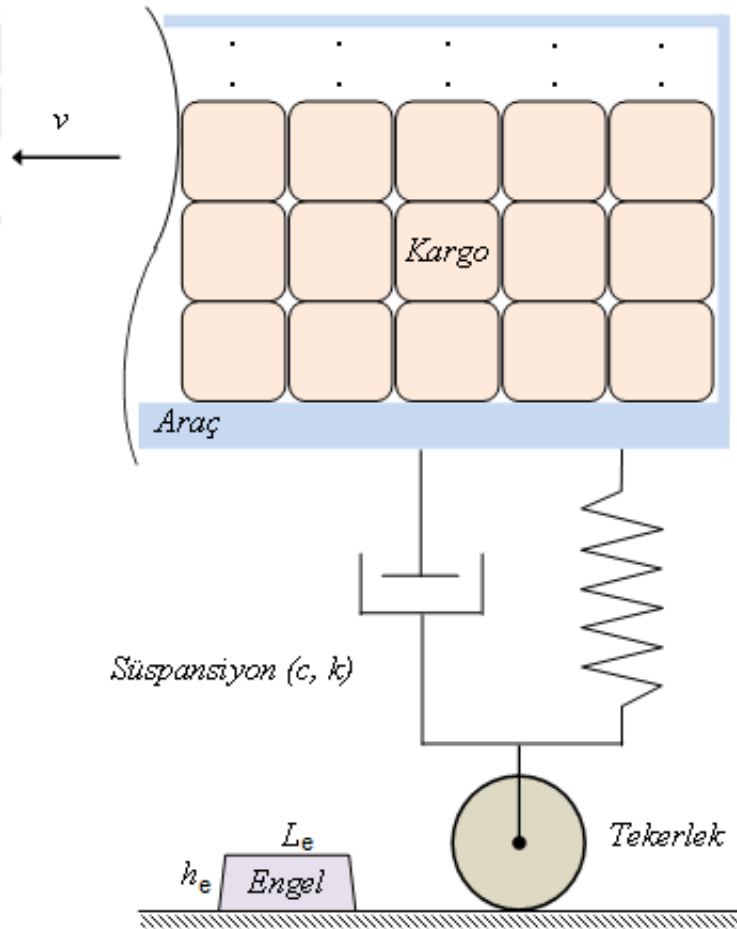
İnce cidarlı polipropilen kutular üst üste istif edilerek depolanmakta ve taşınmaktadır. Ancak statik olarak üst üste oldukça fazla sırada dizilebilmelerine ve bu şekilde uzun süre muhafaza edilebilmelerine karşılık, taşınma esnasında çok daha az sıra ile dizilmelerine rağmen en alttaki kutunun burkulması sonucu kolayca tahrip olabilmektedirler (Şekil 2.2).

Kutuların bozuk yol üzerindeki hareketi sırasında taşıtın kargo kısmında aşırı derecede dikey ivmeler ve yer değiştirmeler oluşabilir. Bu sayede polimer saklama

kutuları dinamik yol yüklerine maruz kalabilir. Bu yüklerin tesiri ile ince cidarlı polimer kutular burkularak ve/veya kırılarak tahrip olabilmektedir.

Bu durumda en attaki kutu için iki farklı risk söz konusudur: Şayet kutular birbirine iyice bağlanmış ise, dikey ivmenin aşırı arttığı anlarda en alttaki kutuya statik halden daha yüksek bir taşıma yükü etkir. Ancak kutuların birbirine iyi sabitlenmemiş ise kutular birbirinden ayrılarak en alttaki kutunun üzerine düşebilir. İlk durum statik eşdeğer yük kullanılarak kolayca analiz edilebilir ancak ikinci halde yani çarpma sonucu oluşacak tahribatlarda kinetik enerji belirleyici rolü oynar.

Aracın kargo bölümünün dikey ivmesi, aracın hızına, süspansiyon sisteminin sertliğine ve yol şartlarındaki düzgünlüğüne bağlı olarak değişmektedir. Bu çalışmada emniyet açısından Sun ve Yang (2010) tarafından verilen 40 m/s^2 lik dikey ivme değeri yaklaşık dikey ivme değeri olarak kullanılacaktır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Araç, kargo ve bozuk yol şartlarının basit modeli (Richetona ve ark. 2006)

Kutuların dikey doğrultuda birbirinden bağımsız hareketlerine izin verilmesi durumunda aracın titreşimleri kutuların birbirlerinden ayrılmasına ve üstteki kutuların alttakiler üzerine belli hızlarla çarpmasına neden olmaktadır. Bu nedenle taşıma işlemi esnasında kutuların birbirinden ayrılmaları engellenecek tedbirler alınmalıdır. Böylesi bir tedbir taşıma esnasında kutuların birbirine vura vura tahrip olma riskini azaltacaktır. Ancak bu tedbir alınsa dahi az da olsa bir miktar ayrılma daima olasıdır. Ölçümler dış bir ambalaj sayesinde kutuların birbirinden en fazla 10 mm kadar ayrılabilirdiğini göstermiştir. Bu durum, darbe testlerinde taşınan tüm yükün en alt kutu üzerine 10 mm yükseklikten bırakılması anlamına gelmektedir.

Kutu içerisinde taşınan kargo seviyesine ve sıcaklığına bağlı olarak kutu içerisindeki kargo kutunun dayanımına pozitif etki yapabilir. Ancak simülasyonlarda en kötü senaryo test edilmek istendiğinden bu pozitif etki göz ardı edilecek ve simülasyonlar boş kutu için gerçekleştirilecektir. Analizlerde dondurma kutusu 8973 kabuk elemana bölünerek modellenmiştir. Dondurma kutuları 8'li ve 15'li istifler halinde streçlenmiştir ve her bir dondurma kutusunun ağırlığı yaklaşık olarak 0,8 kg 'dır. Streçlenen bu paketler paletlerin üzerine yerleştirilerek taşınmaktadır. Şu halde birinci senaryoda mukavemet analizine konu olan ve en altta bulunan polimer kutu 7 adet dolu kutunun ağırlığını (5,6 kg) statik ve dinamik olarak taşımaktadır. İkinci senaryoda ise bu 14 kutuya yani 11,2 kg değerine yükselmektedir.

En alttaki kutunun taşıdığı diğer tüm kutular görece daha az risk altında olduğundan, bu kutuların tamamı 5,6 kg ve 11,2 kg 'lık tek bir kutu ile temsil edilmektedir. Rijit kutu ile temsil edilen bu toplam kütle, yine Şekil 3.4 de gösterilen kutu tarafından taşınmaktadır. Üstte taşınan kutuların tamamını temsil eden bu kutu şekil değiştirme yapmayan rijit bir yapı olarak modellenmektedir. Zira burada önemli olan en alttaki kutuya temas eden yüzey formu ve küttedir.

Kutuların dikey doğrultuda birbirinden bağımsız hareketlerine izin verilmesi durumunda aracın titreşimleri kutuların birbirlerinden ayrılmasına ve üstteki kutuların alttakiler üzerine belli hızlarla çarpmasına neden olmaktadır. Bu nedenle taşıma işlemi esnasında kutuların birbirinden ayrılmaları engellenecek tedbirler alınmalıdır. Böylesi bir tedbir taşıma esnasında kutuların birbirine vura vura tahrip olma riskini azaltacaktır. Ancak bu tedbir alınsa dahi az da olsa bir miktar ayrılma daima olasıdır. Ölçümler dış bir

ambalaj sayesinde kutuların birbirinden en fazla 10 mm kadar ayrılabilirdiğini göstermiştir. Bu durum, darbe testlerinde taşınan tüm yükün en alt kutu üzerine 10 mm yükseklikten bırakılması anlamına gelmektedir. Şekil 3.4 de gösterildiği gibi en alttaki kutunun taşıdığı tüm yük tek bir kutuya izafe edilerek analizi yapılarak en alt kutunun üzerine 10 mm yükseklikten serbest düşmeye bırakılmıştır. Bu sadeleştirmeler, analiz süresini uzatmadan hedef malzemede daha yoğun ağ yapısı oluşturabilmek içindir.

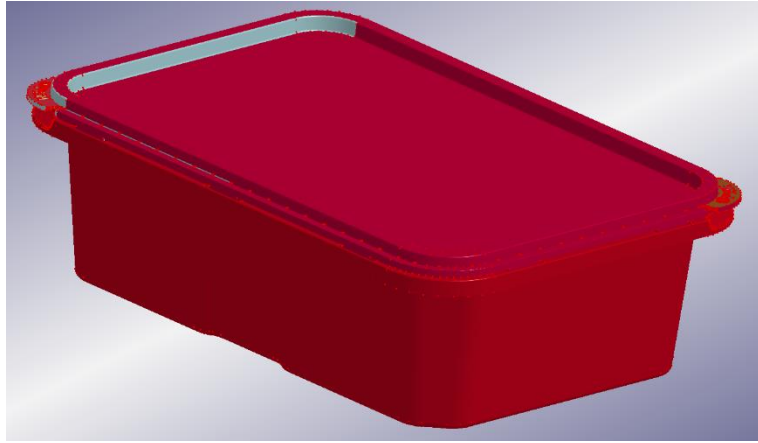
3.3. Deneyin Hazırlanması

Malzemenin farklı sıcaklıklardaki mekanik özelliklerinin incelenmesi için üniversitemiz laboratuvarında bulunan Şekil 3.5.'deki çekme cihazı kullanılmıştır. Günümüzde bu cihazların hidrolik ve elektronik sistemle çalışan, çeşitli yükleme kapasiteli olanları mevcuttur. Ancak ister mekanik, isterse de elektronik donanımlı cihazlar olsun, deneyin tarifinde verilen aynı prensibe göre çalışırlar.

Çekme deneyi için önce test edilecek malzemeden standartlara uygun bir çekme numunesi hazırlanır. Çekme deney makinesinin çeneleri arasına düzgün ve ortalayacak bir şekilde sıkıştırılan bu numune gittikçe artan bir yükü kopuncaya kadar çekilir. Bu esnada uygulanan F yükü ile buna karşı malzemenin gösterdiği uzamalar (ΔL) cihaz ile ölçülür. Deney sonucu elde edilen yük (F) ve uzama (ΔL) değerlerinden yararlanarak ($F - \Delta L$) diyagramı elde edilir. Bu diyagrama çekme diyagramı da denir. Cihazlarda otomatik kaydediciler, deney esnasında tatbik edilen yük ve uzama miktarını grafik olarak çizerler. Uzama miktarı apsiste, yük miktarı da ordinatta olacak şekilde ayarlanmıştır. Şekil 3.5'te numunelerin deney cihazında çekme halinde olan durumları görülmektedir.



(a)



(b)

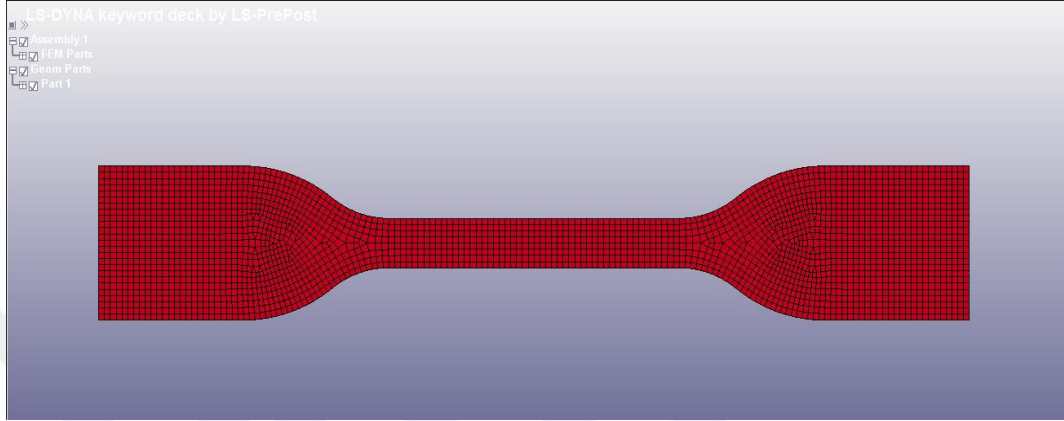
Şekil 3.4. Kutu geometrisi. a.) Dondurma kutusu fotoğrafı, b.) Geometrik modeli



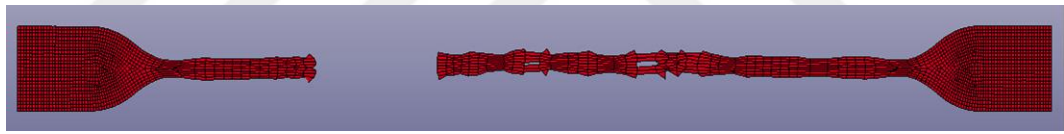
Şekil 3.5. Çekme deneyi cihazı

-20°C', +20°C ve +60°C 'de parçadan alınan cidar kalınlığı 0.5 mm olan numuneler 10 mm/dak ve 500 mm/dak çekme hızı değerlerinde çekme cihazına bağlanmıştır. Bu ölçüm değerlerinde kullanılan numunelerin kodlanması Çizelge3.4.'te gösterilmiştir. Değerler mm cinsinden verilmiştir. Çizelge3.4.'te boyutları verilmiş olan numunelerinin çekme cihazından elde edilen ham sonuçları bir sonraki bölümde verilmektedir. Sağlıklı bir sonuç elde etmek için tekrarlı bir şekilde gerçekleştirilmiş bu test sonuçlarının ortalama değerleri ilerleyen analizlerde kullanılacaktır.

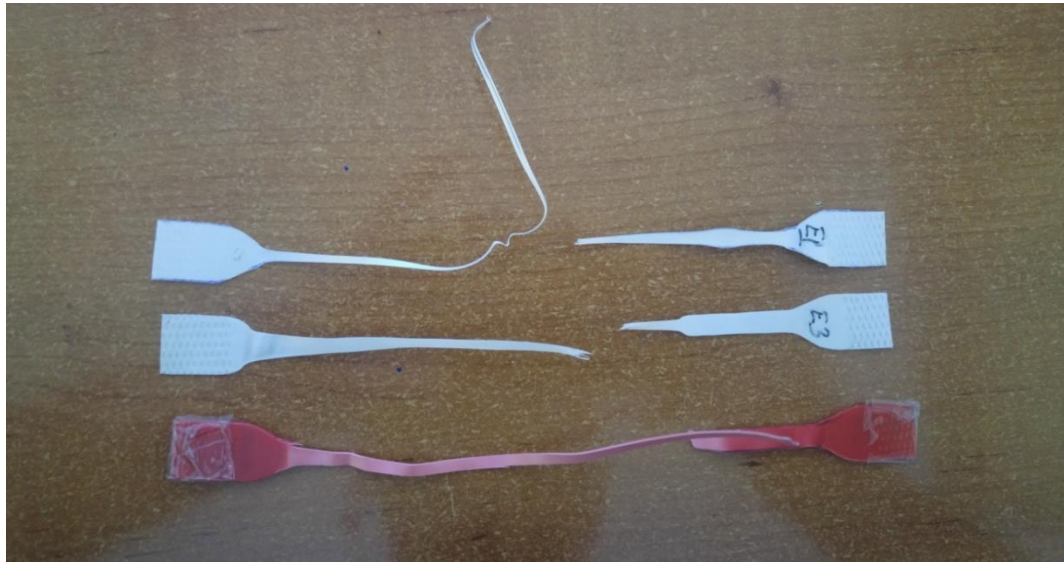
Deney numunelerinin kabuk elemanlar ile modellenen mesh yapısı Şekil 3.6.'da görülmektedir. Buna göre mesh yapımızda 2652 eleman, 2823 nokta bulunmaktadır. Numune sol kenarından sabitlenerek, sağ kenarlarından çekilerek çekme deneyi bilgisayar ortamında simüle edilmektedir.



Şekil 3.6. Deney numunesi simülasyon modeli ve mesh yapısı.



(a)



(b)

Şekil 3.7. Simülasyon ve deney numunelerinin tahrip olmuş hallerinin simülasyon ve deney sonrası görüntüleri. a.) Simülasyon, b.) Deney

Çizelge3.4. Test numunelerin boyutsal özellikleri.

Çekme Hızı Değeri 10 (mm/dak)			Çekme Hızı Değeri 500 (mm/dak)		
Numune Kodu	Et Kalınlığı (mm)	Genişlik (mm)	Numune Kodu	Et Kalınlığı (mm)	Genişlik (mm)
A1	0,5	5,2	A4	0,5	5,3
A2	0,5	4,2	A5	0,5	4,8
A3	0,5	5,3	A6	0,5	5,0
B1	0,8	4,8	B4	0,8	5,1
B2	0,8	5,1	B5	0,8	5,3
B3	0,8	4,9	B6	0,8	4,8
C1	0,5	4,8	C4	0,5	5,3
C2	0,5	5,2	C5	0,5	5,6
C3	0,5	5,4	C6	0,5	5,5
D1	0,5	5,6	D4	0,5	5,3
D2	0,5	5,4	D5	0,5	5,4
D3	0,5	5,3	D6	0,5	5,2
E1	0,5	5,5	E4	0,5	5,3
E2	0,5	5,2	E5	0,5	5,6
E3	0,5	5,4	E6	0,5	5,5
F4	0,5	5,6	F4	0,5	5,3
F5	0,5	5,4	F5	0,5	5,4
F6	0,5	5,3	F6	0,5	5,2

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Polipropilenin Şekil Değişim Hızına Bağlı Mekanik Özelliklerinin Tespiti

Polimer malzemelerin büyük çoğunluğunda malzemenin yükleme hızı, performansını etkileyen kilit bileşenlerden biridir. Yüksek gerinme hızlarında (kısa bir süre içinde meydana gelen olaylarda) malzemelerin mekanik özellikleri gerinim hızı ile artma eğilimindedir. Bununla birlikte, düşük gerinim hızları (daha uzun bir zaman diliminde meydana gelen olaylarda), malzemenin mekanik performansını azaltıcı yöndedir.

Şekil 4.1.'te numunelerin oda sıcaklığında farklı çekme hızı değerleri için gerilme – birim şekil değiştirme eğrileri toplu olarak gösterilmektedir. Sıcaklık +20°C'da sabit iken 500 mm/dk çekme hızı değerinde 26 MPa, 10 mm/dk çekme hızı değerinde 23 MPa olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre sabit sıcaklıkta numunenin çekme hızı arttıkça akma dayanımının arttığı gözlenmektedir. Sıcaklık değeri sabit tutulduğunda çekme hızı değişimine göre polipropilen malzemenin mekanik özelliklerinin literatürde diğer polimer türleri için verilen sonuçlar ile uyumlu olduğu ve çekme hızı arttıkça numunelerin gerilme – birim şekil değiştirme eğrilerinin dikleştiği görülmektedir (Şekil 4.2-3).

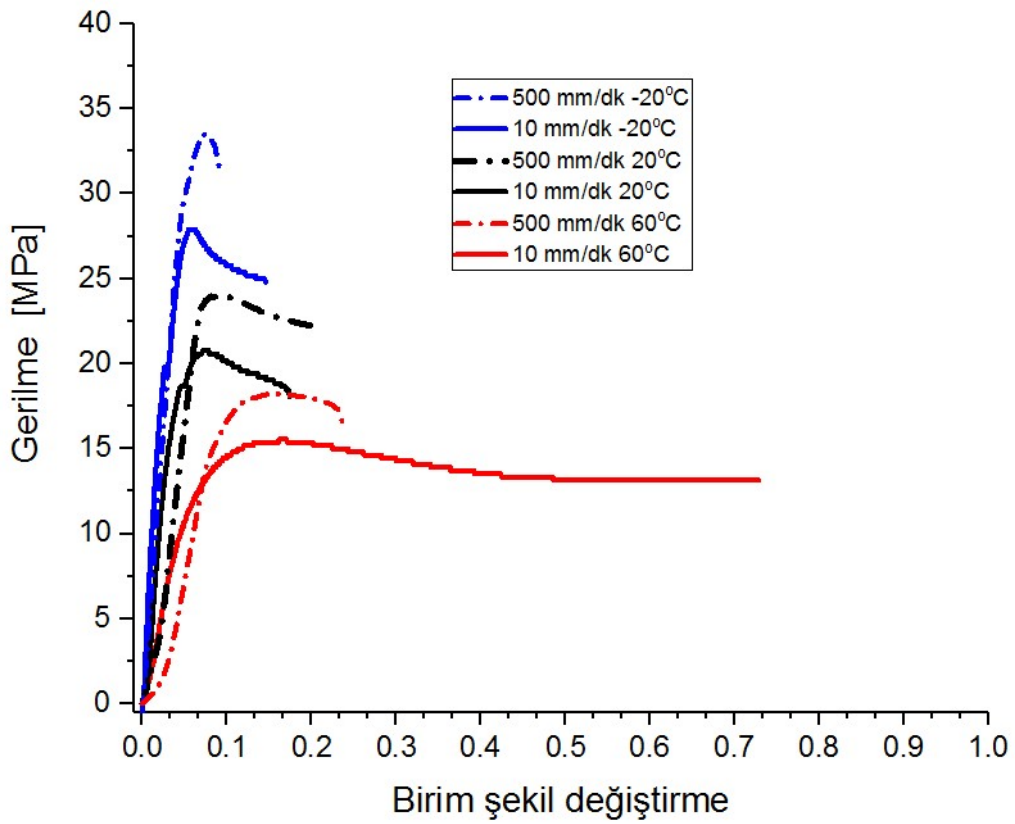
Deneyler ve sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak gerçekleştirilen simülasyonlar yardımıyla yüksek hızlı deformasyonlarda malzemenin mekanik özellikleri (Denklem 2.2. ile verilen Cowper-Symonds formülü katsayıları) tespit edilmektedir. Çekme deneyi sonuçlarından alınan ortalama sonuç değerlerinden yola çıkarak Cowper-Symonds malzeme modelindeki β katsayısını belirlemek mümkündür.

Burada örnek olarak oda sıcaklığı olan +20°C'den alınan sonuçlardan yola çıkarak hesaplamalar yapılmıştır. Ancak işlemler sonucunda belirlenen C ve P parametreleri uygun girildiğinde oluşan β katsayısı çekme hızı 10 mm/dak olduğunda tüm sıcaklıklar için ortak kullanılacak. Aynı şekilde çekme hızının 500 mm/dak olma durumu için de C ve P parametreleri ve oluşan β katsayısının değeri hesaplanabilir Şekil 4.1 'te verilen eğriler yardımıyla belirlenebilir.

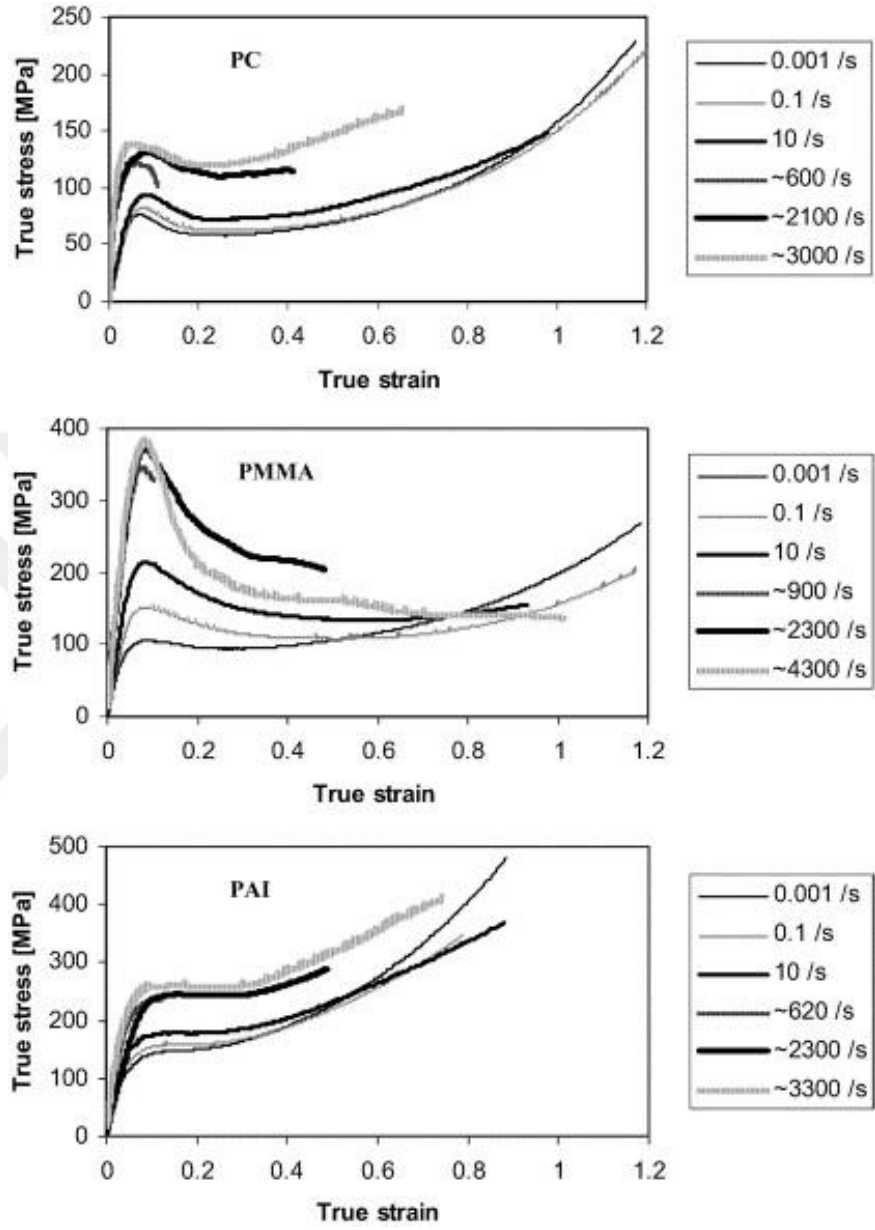
+20°C'de çekme hızı düşük iken dayanım değeri 22 MPa olduğu görülmektedir. Çekme deneyinde çekme hızı 10 mm/dakolan değerler ana değer olarak belirlenecektir. Buna göre β_1 katsayısı 1 veya 1'e çok yakın bir değer olmalıdır. Çekme hızı 500 mm/dak

olan değerin hesaplanmasında yüksek olanın dūřuk olan değere oranlanmasıyla yola ıkılacaktır. $\beta_2 = 26/22 = 1,181$ olduğu hesaplanmıştır.

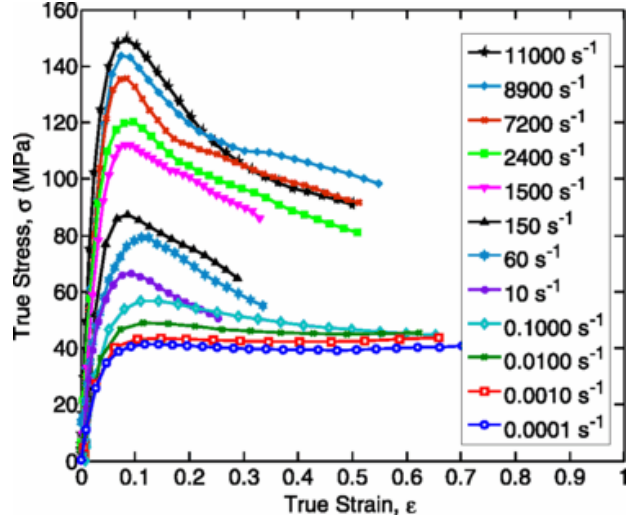
β katsayısının yapılan deneyler sonucu beklenen değerlerini sağlamak iin C ve P parametreleri Excel üzerinde uygun değerler bulunana kadar iterasyon yapılmıştır. Sonu olarak β_1 olarak tanımlanan katsayıyı 1,01 yapan C değeri 100, P değeri 0,5 olduğu sonucuna ulaşılmıştır. β_2 olarak tanımlanan katsayıyı 1,181 yapan C değeri 5000, P değeri 1,35 olduğu sonucuna ulaşılmıştır.



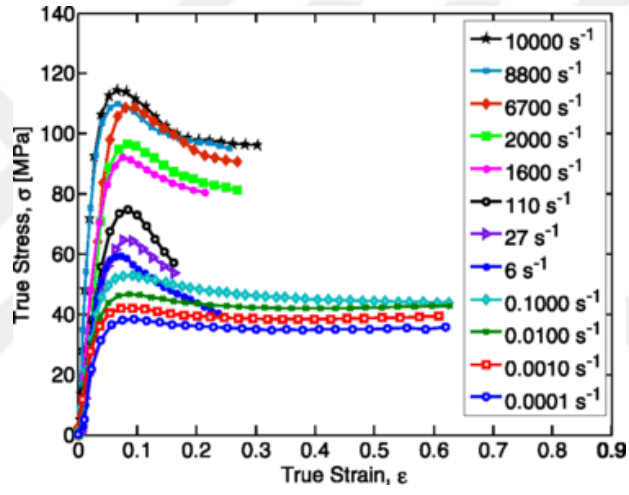
şekil 4.1. 10 mm/dak ve 500 mm/dak ekme hızları iin gerilme – birim şekil değiştirme grafikleri (+20°C deki ekme deneylerinin ortalamaları)



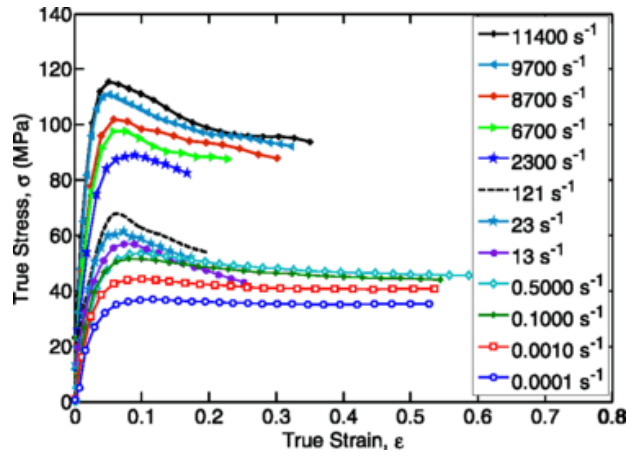
Şekil 4.2. PC, PMMA ve PAI malzemeler için 25°C sıcaklıktaki ve geniş bir gerinim hızı aralığı için tek eksenli gerilme (True stress) – gerinim (True strain) eğrileri (J.Richeton 2006).



(a)



(b)



(c)

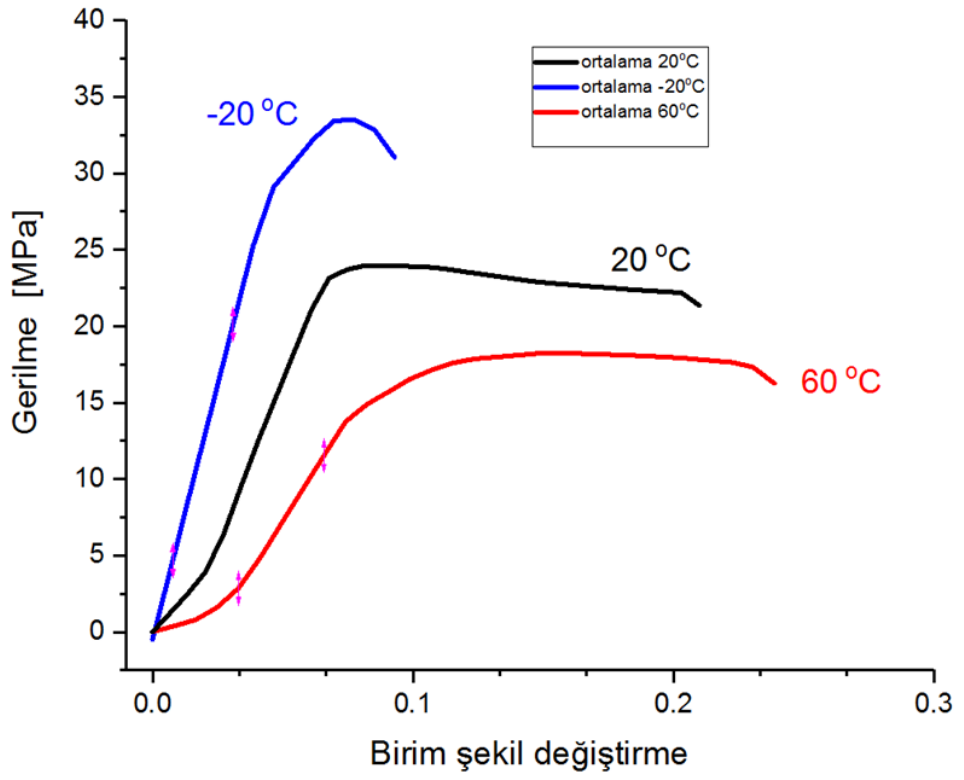
Şekil 4.3. Çok geniş bir gerinim hızı aralığı için PP+PLP-Polipropilen malzemenin 25°C sıcaklıktaki gerilme (True stress) – gerinim (True strain) eğrileri (Okereke 2012).a.)ICIW-Polipropilen, b.)PLW-Polipropilen, c.) PP+PLP-Polipropilen

4.2. Polipropilenin Sıcaklığa Bağlı Mekanik Özelliklerinin Tespiti

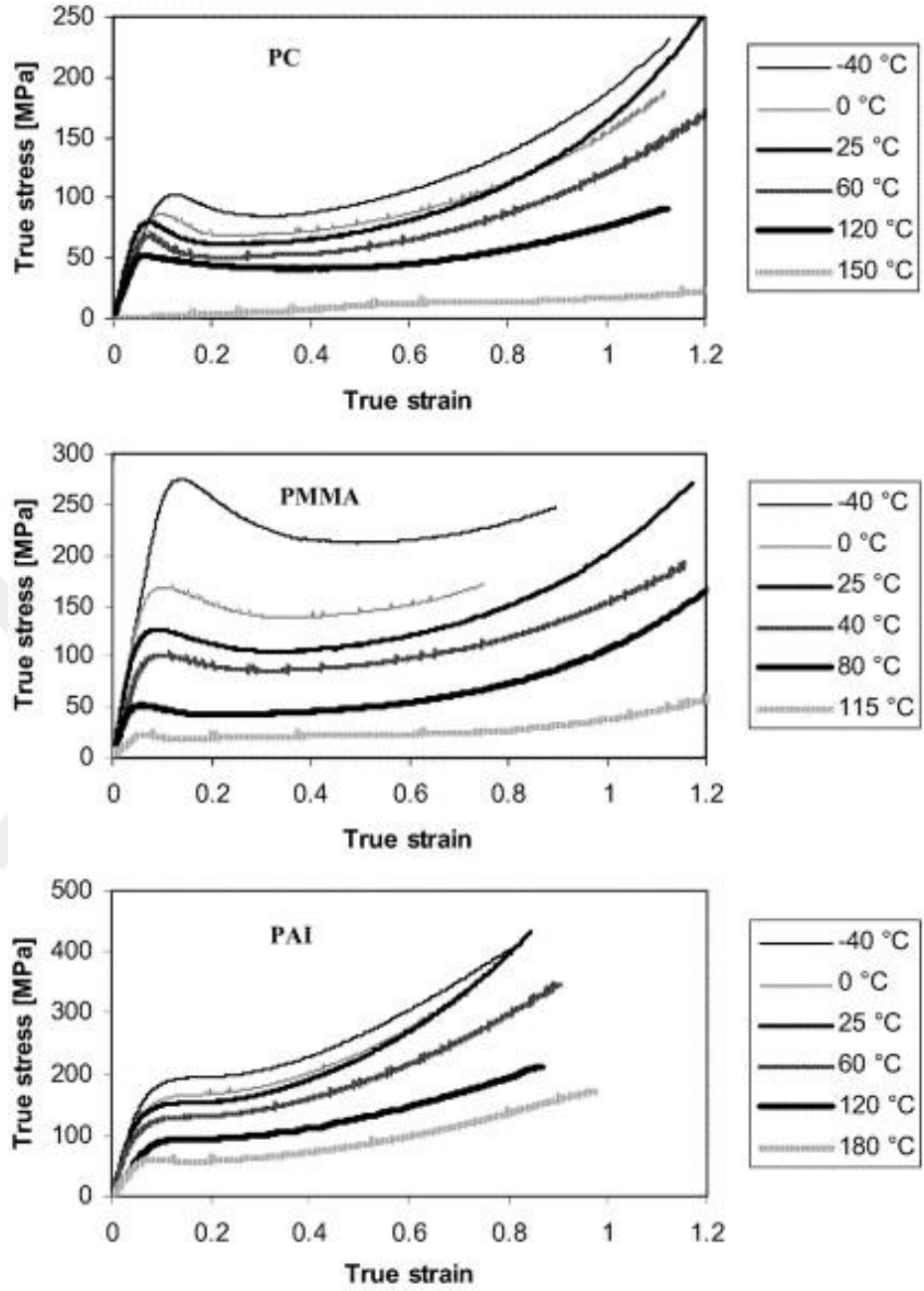
Polipropilen, ultraviyole ışınlarına ve sıcaklık değişimlerine oldukça duyarlı bir polimer türüdür. Ultraviyole ışığına maruz bırakıldığında ve/veya nispeten yüksek sıcaklıklarda polipropilenlerin polimer zincirleri bozulmaya uğrar. Polimer zincirlerin sıcaklık ve ultraviyole ışınların etkisiyle bozulmasını önlemek için polipropilen yapısında anti-oksidan içeren katlı maddeler kullanılır. Ancak tüm bu önlemlere rağmen tüm termoplastikler gibi polipropilenlerin de sıcaklık etkisiyle mekanik özelliklerin değişmesi kaçınılmazdır.

Şekil 4.4.'de numunelerin 500 mm/dak çekme hızında farklı sıcaklık değerleri için gerilme – birim şekil değiştirme eğrileri toplu olarak gösterilmektedir. Çekme hızı değeri 500 mm/d da sabit iken maksimum gerilme değerinin -20°C de sıcaklık değerinde 35MPa, olduğu, $+20^{\circ}\text{C}$ sıcaklık değerinde bu değerin 25MPa 'a düştüğü, buna karşılık sıcaklık $+60^{\circ}\text{C}$ ye yükseldiğinde maksimum gerilmenin 17 MPa'a kadar gerilediği görülmektedir.

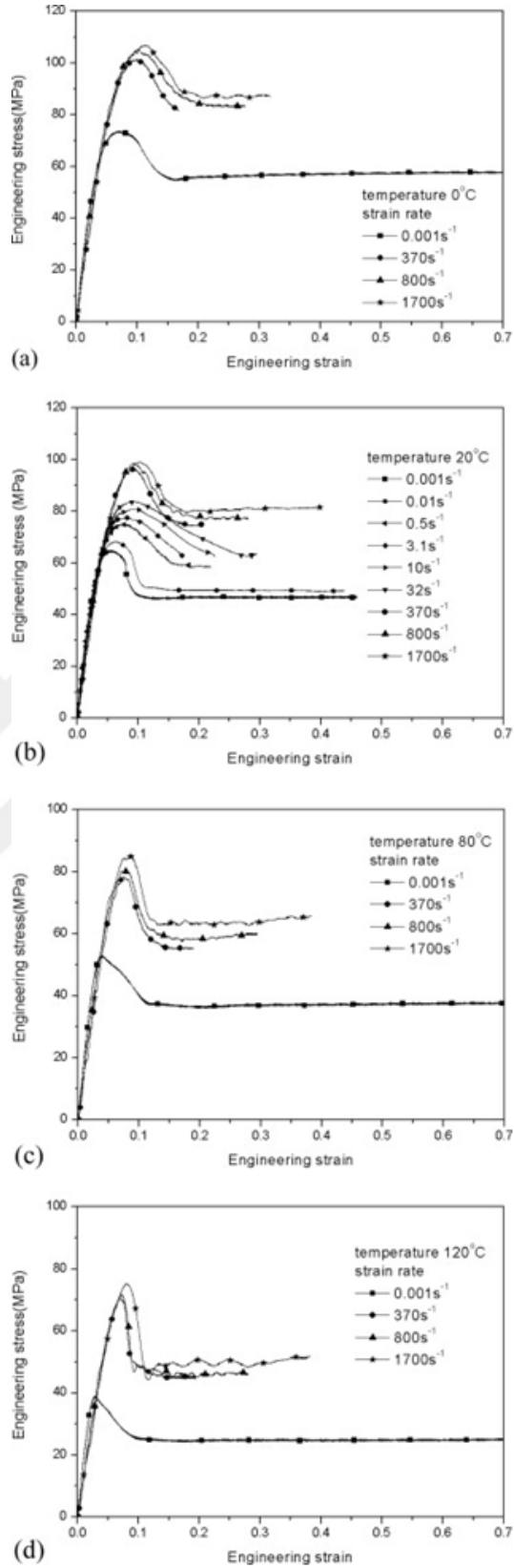
Bu sonuçlara göre sabit çekme hızında numunenin sıcaklığı arttıkça akma dayanımının arttığı dolayısıyla mukavemetin hızlı bir şekilde azaldığı gözlenmektedir. Çekme hızı değeri sabit tutulduğunda sıcaklık değişimine göre polipropilen malzemenin mekanik özelliklerinin literatürde diğer polimer türleri için verilen sonuçlar ile uyumlu olduğu ve sıcaklık arttıkça numunelerin gerilme – birim şekil değiştirme eğrilerinin eğimlerin azaldığı ve bunun yanında maksimum birim şekil değiştirmenin çok ciddi bir artış gösterdiği de görülmektedir (Şekil 4.5-6).



Şekil 4.4. -20°C, +20°C ve +60°C sıcaklıklar için gerilme – birim şekil değıştirme grafikleri (500 mm/dak çekme hızı deneylerinin ortalamaları)



Şekil 4.5. PC, PMMA ve PAI malzemeler için 0,01 (1/s) gerinim hızındaki ve geniş bir sıcaklık aralığı için tek eksenli gerilme (True stress) – gerinim (True strain) eğrileri (J.Richeton 2006).



Şekil 4.6. Farklı gerinim hızlarında ve sıcaklıklarda mühendislik gerilmesi (Engineering stress) – mühendislik gerinmesi (Engineering strain) eğrileri.a.) 0°C , b.) 20°C , c.) 80°C ve d.) 120°C . (Cao 2014).

4.3. Simülasyon Sonuçları

Taşıtın bozuk yol şartlarından kaynaklanan hareketi nedeniyle gıda saklama kutuları birbirlerini dinamik yüklerle zorlamaktadır. Burada en çok dinamik yük taşıyan kutu istifin en altında bulunan kutudur. Bu durumda taşıma emniyet şartları da en az saklama kutularının mukavemet özellikleri önem teşkil etmektedir. Zira kutular taşıma esnasında ne kadar sıkı bir şekilde birbirlerine bağlanmış ise, dinamik çarpma yükleri de o derecede az olacaktır. Bu nedenle kutuların birbirlerinden ayrılmamalarını sağlamak için taşıma paletleri streç film ile sarılarak kutular birbirlerine sabitlenmektedir. Tüm bu önlemlere rağmen gevşeyen bağlantılar kutuların 10 mm ye kadar birbirinden ayrılmasına izin verebilmektedir.

Ancak kutuların birbirinden hiç ayrılmayacakları taşıma tedbirleri alınsa dahi bu kez farklı bir risk söz konusu olacaktır. Bu da aracın dikey hareketleri sonucu oluşacak düşey ivme değişimlerinin kutular arasındaki temas kuvvetlerini değiştirmesi sonucu ortaya çıkar. Mesela yoldaki bir engel üzerinden aşarken aracın kargo bölümüne gelen ivme yerçekimi ivmesinin iki katına kadar çıkabilir. Böylesi bir durumda kutunun hangi dikey ivme değerinde tahrip olacağı statik olarak taşıdığı maksimum yük, nakliye esnasında taşıdığı yüke bölünür ve sonuç yerçekimi ivmesi ile çarpılarak elde edilebilir.

Darbe yüklerinin tespitinde iki temel büyüklük söz konusudur. Bunlar çarpma kinetik enerjisi ve bu enerjiyi koparak sönmüleyen kritik kesit alanıdır. Enerjinin korunum kanununa göre çarpma kinetik enerjisi 10 mm (h) yükseklikten düşen bir cisim için bu cismin yerçekimine göre potansiyel enerjisine eşittir. Bu enerjiyi yırtılarak yutan en kritik kesit ise düşen kutunun temas yüzeyini içine alan minimum çevre uzunluğu kapak cidar kalınlığı ile çarpılarak elde edilebilir. Bu hesap yaklaşık bir sonuç vermesine karşılık oldukça basittir ve deneysel veriler kullanılarak doğru bir şekilde modifiye edildiğinde çok daha kesin sonuçlar verebilir.

-20°C'de elastisite modülü artan ve kırılganlaşan malzeme için en büyük risk çarpma etkisi ile çatlama ve kırılma tehlikesidir. Bu risk malzemenin çentik darbe dayanımı ile test edilebilir. Çentik darbe dayanımı cismi en kritik kesitten koparmak için gerekli enerji değeri kesit alanına bölünerek elde edilebilir. Ancak seçilen malzemenin -20°C'deki çentik darbe dayanımı bilinmemektedir ve bu derecede ince cidarlı bir malzemenin çentik darbe dayanımını ölçebilen bir test cihazı laboratuvarımızda mevcut

değildir. Malzemenin bu özelliğini ölçme imkanı olmadığından simülasyonlarda sıcaklık ve gerinim hızı dikkate alınmış ancak tahribata dayalı bir malzeme modeli kullanılamamıştır.

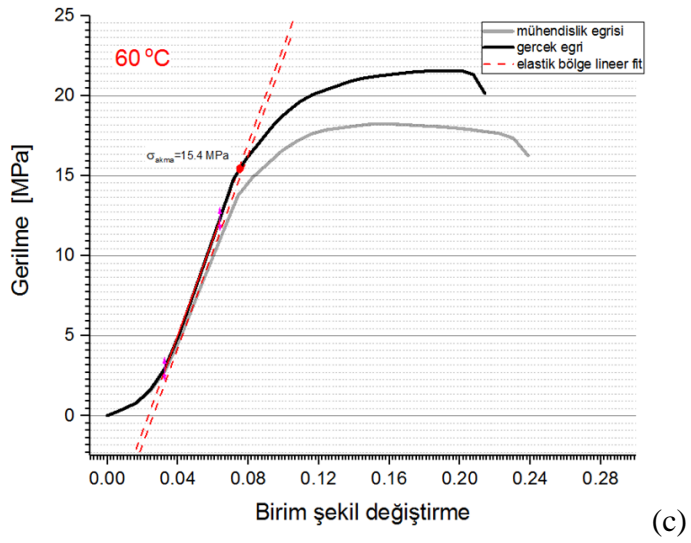
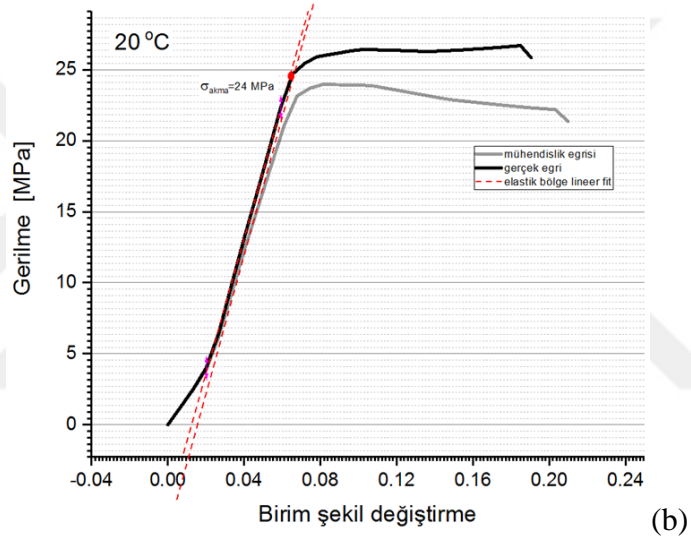
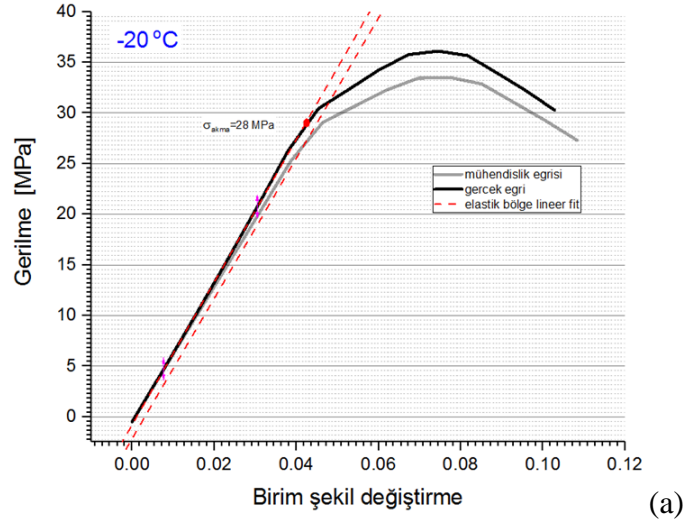
Analizlerde kutu ve kapak malzemesi olarak Bormod BJ368MO polipropilen malzeme seçilmiştir. Seçilen polipropilen malzemenin farklı sıcaklıklardaki mekanik özellikleri deneylerden elde edilen grafikler yorumlanarak Şekil 4.7 'de verildiği gibi elde edilmiştir. Farklı sıcaklık senaryolarında eğrilerden elde edilen elastisite modülü değerleri ve plastik bölge verileri kullanılmıştır. Zira deney sonuçları açık bir şekilde polipropilenin elastisite modülü de dahil tüm mekanik özellikleri sıcaklık değişimine karşı oldukça hassas olduğunu göstermektedir.

Simülasyonlarda iki ayrı eleman tipi mevcuttur. Mukavemet analizine konu olan en alttaki kutu: S4R (4 nod'lukabuk eleman) ve elasto-plastik malzeme modeli (von-Misesizotropik pekleşme modeli) kullanılarak modellenmiştir. Üstteki kutuların deformasyonları önemli olmadığı için tüm kutuların kütlesi tek bir rijit kutuya izafe edilmiştir. Modellemelerde toplam 8973 adet eleman ve 9151 nod kullanılmıştır. Bunun yanında tüm elemanlar modeli için açık (explicit) kontak tanımlanmıştır.

İlk senaryoda kutular üst üste 8 sıra halinde taşınmaktadır. Şu halde en alttaki kutu her biri 0,8 kg kütlesinde 7 adet kutuyu taşımaktadır ki toplam taşınan kütle 5,6 kg'dır. Bu yük 10 mm yüksekten en alttaki kutu üzerine serbest düşürülmektedir.

İkinci senaryoda kutular üst üste 15 sıra halinde taşınmaktadır. Şu halde en alttaki kutu her biri 0,8 kg kütlesinde 14 adet kutuyu taşımaktadır ki toplam taşınan kütle 11,2 kg'dır. Bu yük yine 10 mm yüksekten en alttaki kutu üzerine serbest düşürülmektedir.

Her iki senaryo için Abaqus yazılımı kullanılarak yürütülen simülasyonlar sonucunda en altta kalan kutuya gelen ezilme kuvveti, sönümlenen enerji, ezilme miktarı, plastik şekil değiştirme ve Von-Mises mukayese gerilmesi eğrileri elde edilmektedir.



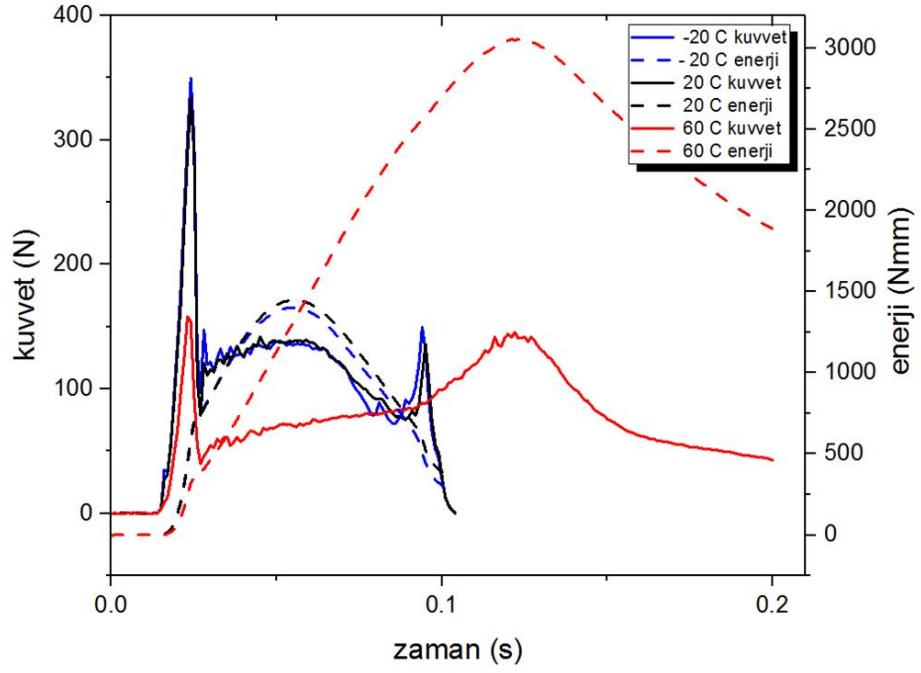
Şekil 4.7. Farklı sıcaklıklar için gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri. a.) -20°C, b.)+20°C, c.) +60°C

Şekil 4.8 'de 8 sıra halinde taşınan kutular için, diğer 7 kutunun en altta kalan kutu üzerine 10 mm yüksekten tek bir cisim gibi düşme senaryosu halinde, en alttaki kutuya gelen ezilme kuvvetinin zamanla değişim eğrisi ve kutu tarafından sönmölen enerji miktarı verilmektedir. Grafiklerden -20 °C ve +20 °C sıcaklıkta dondurma kutusunda benzer karakterde tepki kuvvetlerinin oluştuğu buna karşın 60 °C sıcaklık değerinde kuvvet eğrisinin hızlıca düştüğu deformasyonlardaki artışa paralel olarak sönmölen enerji değerinin de arttığı gözlenmektedir.

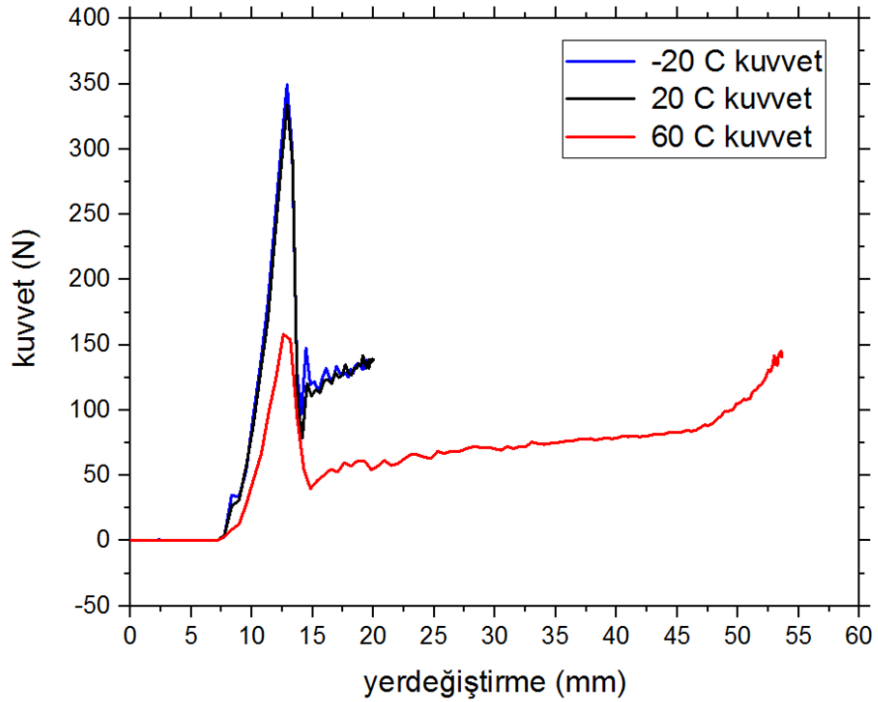
Şekil 4.9 'de yine 8 sıra halinde taşınan kutular için, diğer 7 kutunun en altta kalan kutu üzerine 10 mm yüksekten tek bir cisim gibi düşme senaryosu halinde, en alttaki kutuya gelen ezilme kuvvetinin ezilme miktarı (deplasman) ile değişim eğrisi verilmektedir. Grafiklerden -20°C ve +20°C sıcaklıkta kuvvet deplasman eğrisinin oldukça benzer olduğu ancak 60°C sıcaklık değerinde kuvvet eğrisinin hızlıca düştüğu görölmektedir. Sıcaklık etkisi ile sünekleşen yapıda deformasyonlar hızla artmakta buna paralel olarak kuvvet deplasman eğrisi altında kalan alan artarak daha büyük bir çarpışma enerjisinin sönmölenmesine sebep olmaktadır. Zira kutu diğer 7 kutunun yerçekimi potansiyel enerjisini sönmölemektedir ve dikey yer değiştirme ne kadar fazla olursa sönmölen enerji de o seviyede büyük olacaktır.

Şekil.4.10 'te -20°C. +20°C ve +60°C deki düşürme testi simölasyonları için plastik şekil değiştirme eğrileri verilmektedir. Buradan -20°C ve ve +20°C sıcaklıklardaki kutuların çok ciddi bir plastik deformasyon yapmadan kutuları taşıyabildikleri ancak +60°C deki kutunun ciddi bir plastik deformasyona maruz kaldığı görölmektedir.

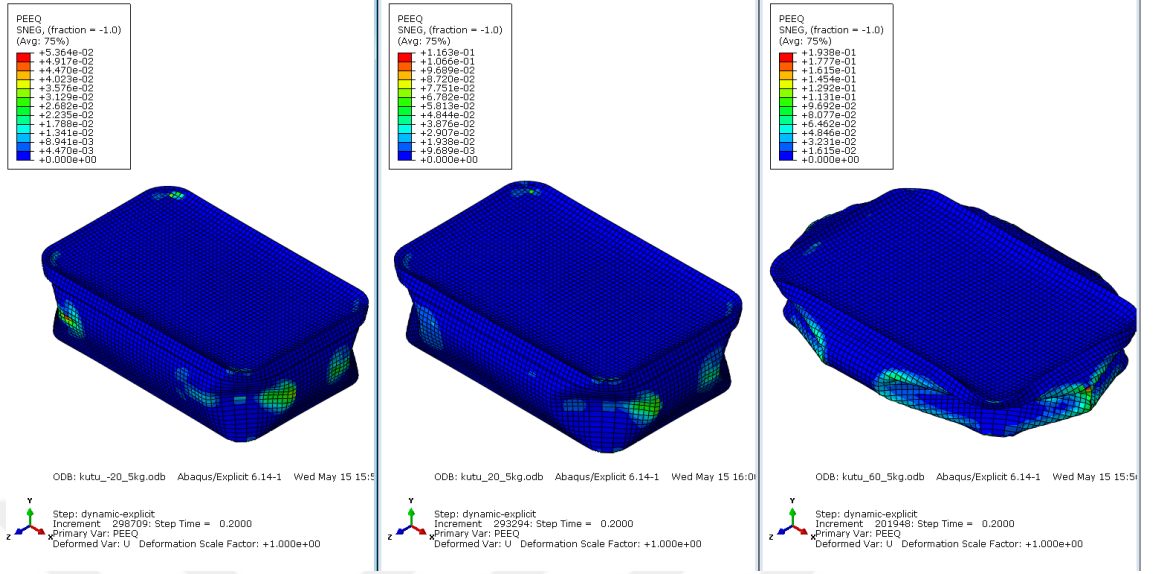
Şekil.4.11 'te -20 °C. +20 °C ve +60 °C deki düşürme testi simölasyonları için von-Mises mukayese gerilmesi eğrileri verilmektedir. Buradan -20°C ve ve +20°C sıcaklıklardaki kutuların yükü taşımaya devam ettikleri bu nedenle yan yüzeylerde yüksek gerilmelerin oluştuğu ancak +60°C deki kutunun bel verdiği bu nedenle burkularak katlanmış kesitin yükü artık taşıyamadığı anlaşılmaktadır.



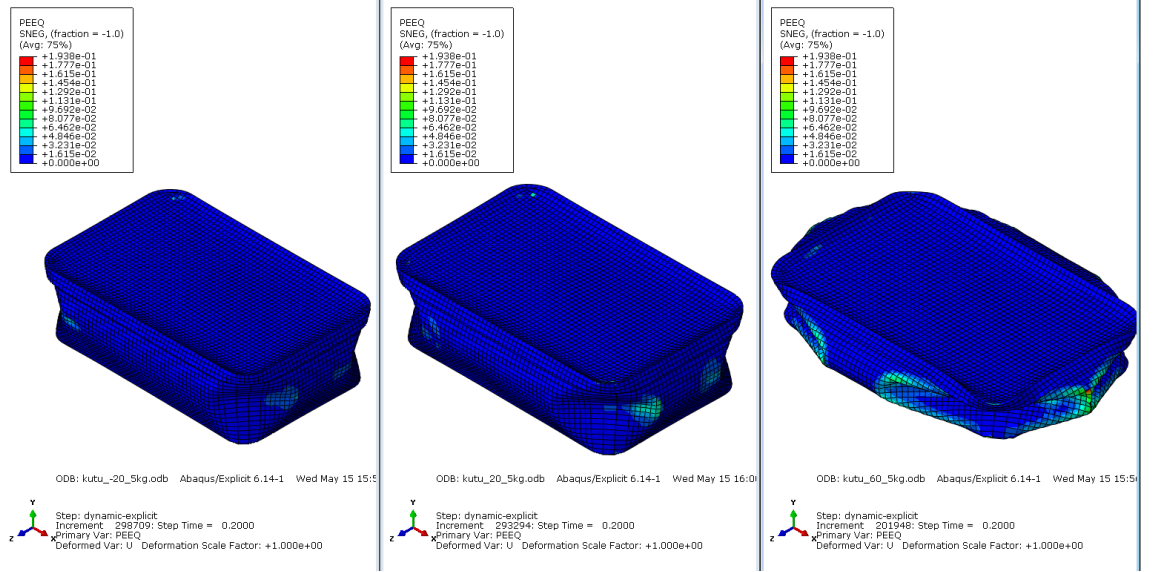
Şekil 4.8. 5,6 kg düşürme testi için ezilme kuvvetinin zaman ile değişim eğrisi.



Şekil 4.9. 5,6 kg düşürme testi için ezilme kuvvetinin ezilme miktarı (deplasman) ile değişim eğrisi.



(a)

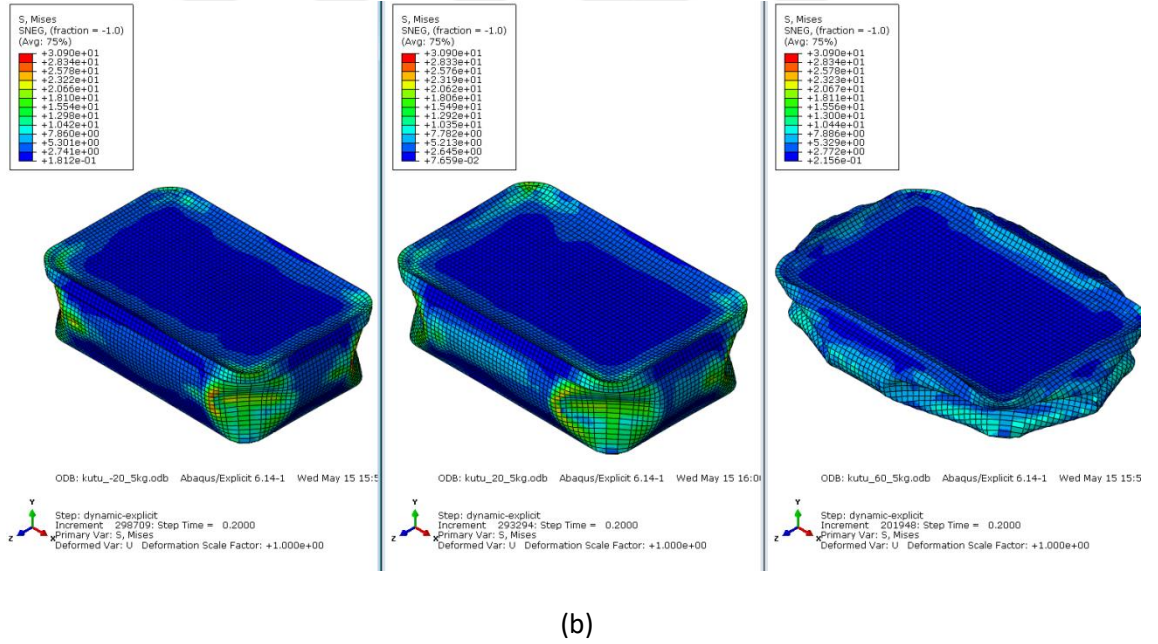
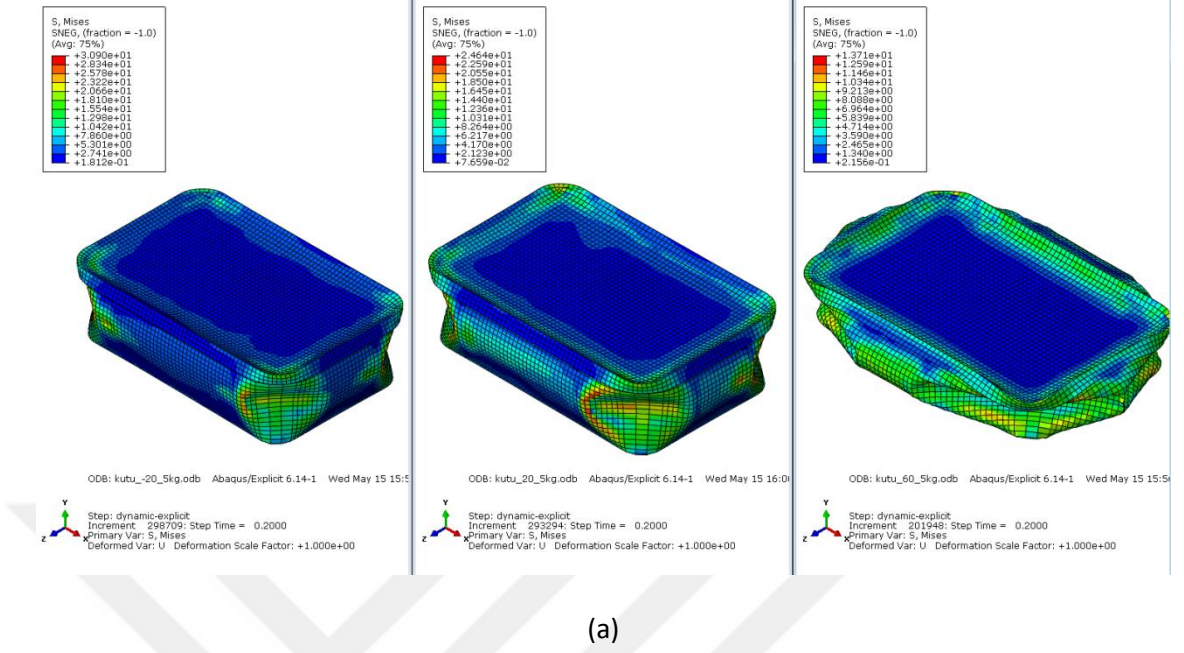


(b)

Şekil 4.10. 5,6 kg düşürme testi simülasyon sonuçları,

a.)Plastik şekil değiştirme (her sıcaklık testi için kendi limitleri ile),

b.)Plastik şekil değiştirme (tüm sıcaklık testleri için aynı limit değeri ile)



Şekil 4.11. 5,6 kg düşürme testi simülasyon sonuçları,

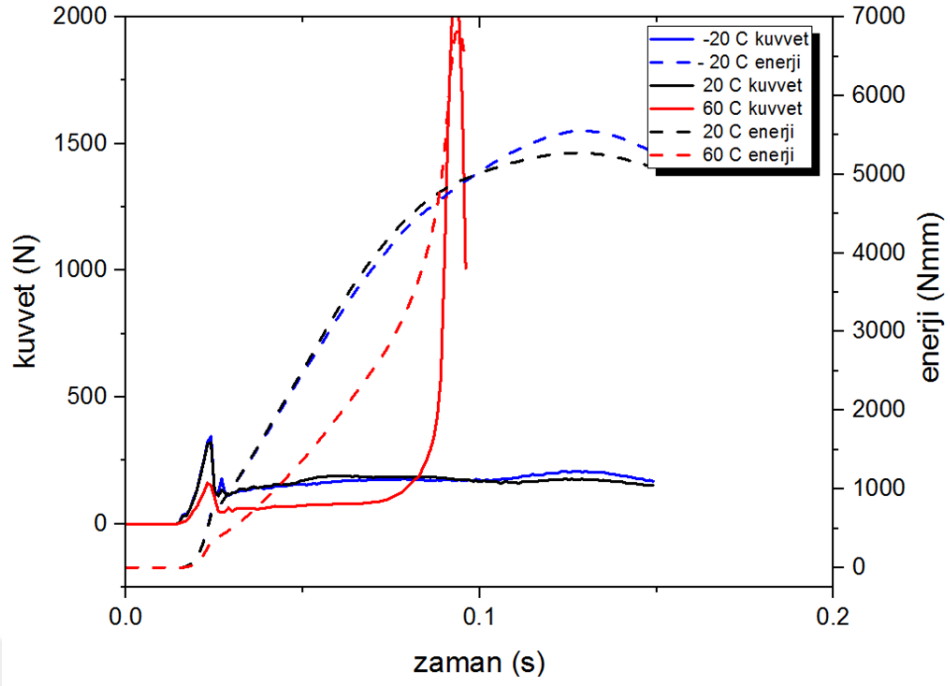
- a.) von-Mises gerilmesi (her sıcaklık testi için kendi limitleri ile),
- b.) von-Mises gerilmesi (tüm sıcaklık testleri için aynı limit değeri ile)

Şekil 4.12 'de 8 sıra halinde taşınan kutular için, diğer 7 kutunun en altta kalan kutu üzerine 10 mm yüksekten tek bir cisim gibi düşme senaryosu halinde, en alttaki kutuya gelen ezilme kuvvetinin zamanla değişim eğrisi ve kutu tarafından sönmölen enerji miktarı verilmektedir. Grafiklerden -20°C ve $+20^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta dondurma kutusunda benzer karakterde tepki kuvvetlerinin oluştuğu buna karşın 60°C sıcaklık değerinde kuvvet eğrisinin hızlıca düştüğu deformasyonlardaki artışa paralel olarak sönmölen enerji değerinin de arttığı gözlenmektedir.

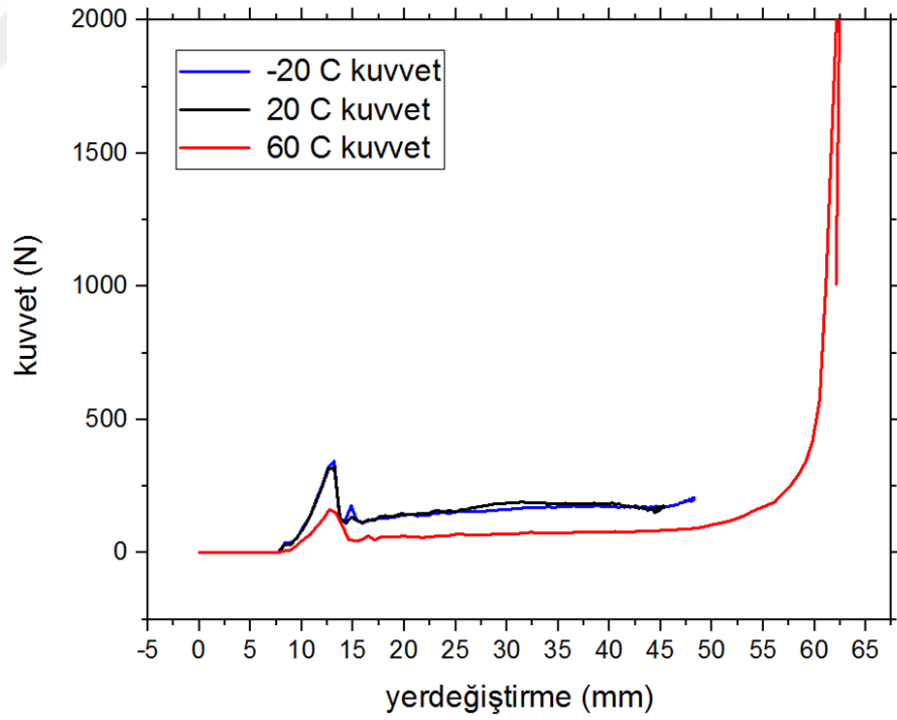
Şekil 4.13 'de yine 8 sıra halinde taşınan kutular için, diğer 7 kutunun en altta kalan kutu üzerine 10 mm yüksekten tek bir cisim gibi düşme senaryosu halinde, en alttaki kutuya gelen ezilme kuvvetinin ezilme miktarı (deplasman) ile değişim eğrisi verilmektedir. Grafiklerden -20°C ve $+20^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta kuvvet deplasman eğrisinin oldukça benzer olduğu ancak 60°C sıcaklık değerinde kuvvet eğrisinin hızlıca düştüğu görölmektedir. Sıcaklık etkisi ile sünekleşen yapıda deformasyonlar hızla artmakta buna paralel olarak kuvvet deplasman eğrisi altında kalan alan artarak daha büyük bir çarpışma enerjisinin sönmölenmesine sebep olmaktadır. Zira kutu diğer 7 kutunun yerçekimi potansiyel enerjisini sönmölemektedir ve dikey yer değıştirme ne kadar fazla olursa sönmölen enerji de o seviyede büyük olacaktır.

Şekil.4.14 'te -20°C , $+20^{\circ}\text{C}$ ve $+60^{\circ}\text{C}$ deki düşürme testi simölasyonları için plastik şekil değıştirme eğrileri verilmektedir. Buradan -20°C , $+20^{\circ}\text{C}$ ve $+60^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkların tamamında kutuların ciddi bir plastik deformasyona maruz kaldığı ve kutuların tamamen ezildiğı görölmektedir.

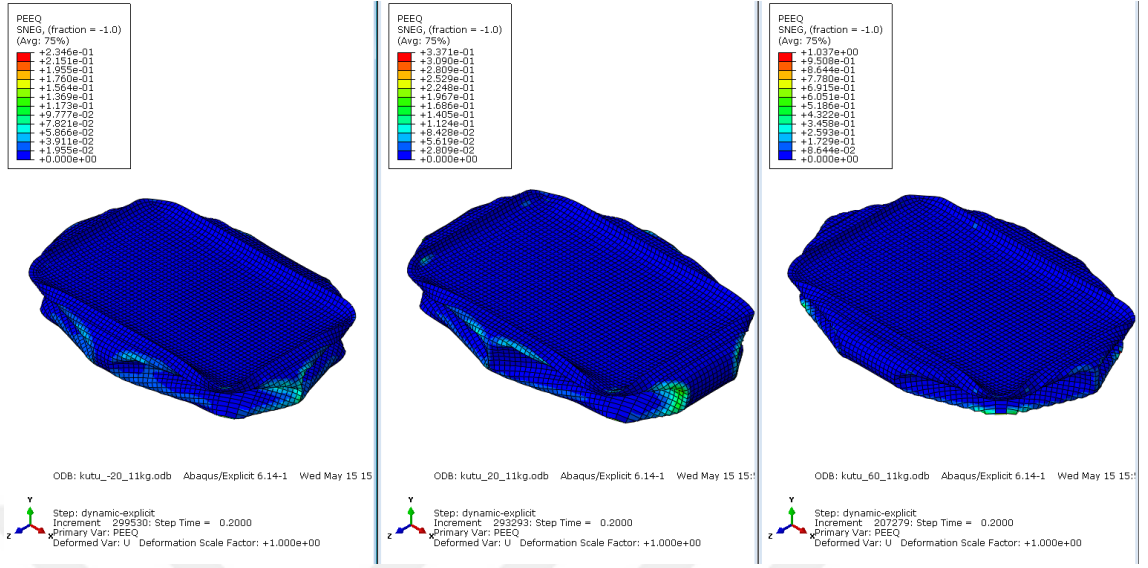
Şekil.4.15 'te -20°C , $+20^{\circ}\text{C}$ ve $+60^{\circ}\text{C}$ deki düşürme testi simölasyonları için von-Mises mukayese gerilmesi eğrileri verilmektedir. Buradan -20°C , $+20^{\circ}\text{C}$ ve $+60^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkların tamamında kutuların bel verdiğı bu nedenle burkularak katlanmış kesitin yükü artık taşıyamadığı anlaşılmaktadır.



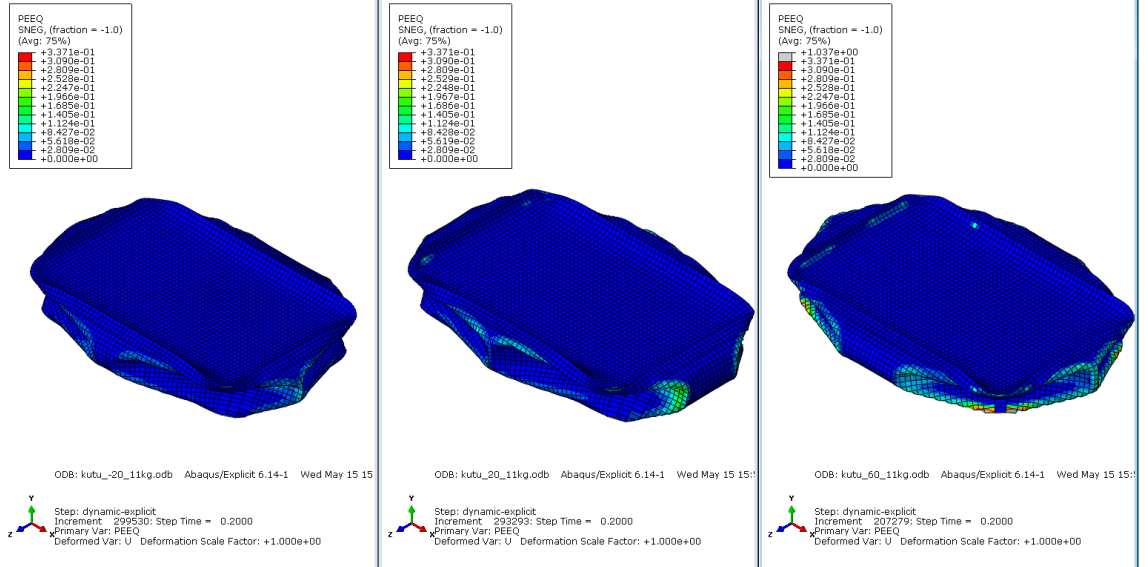
Şekil 4.12. 11,2 kg düşürme testi için ezilme kuvvetinin zaman ile değişim eğrisi.



Şekil 4.13. 11,2 kg düşürme testi için ezilme kuvvetinin ezilme miktarı (deplasman) ile değişim eğrisi.



(a)

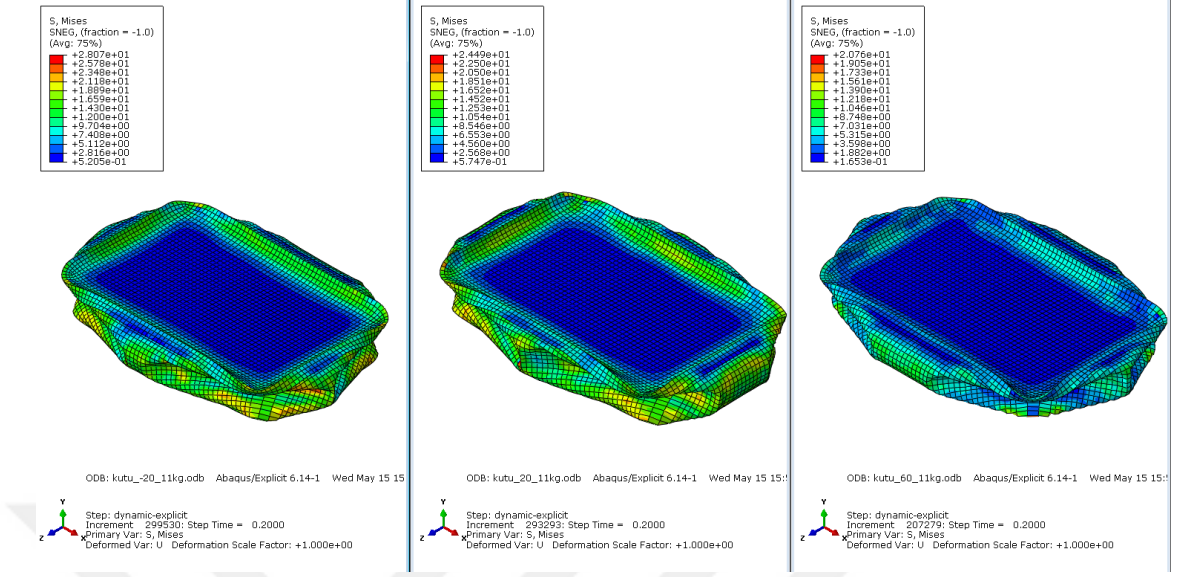


(b)

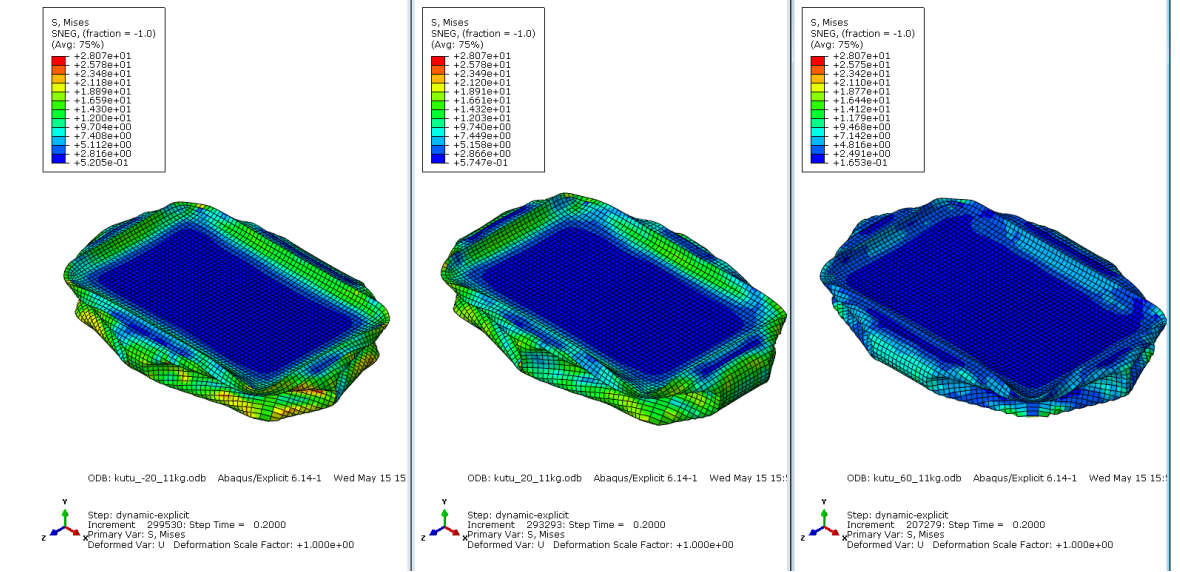
Şekil 4.14. 11,2 kg düşürme testi simülasyon sonuçları,

a.)Plastik şekil değiştirme (her sıcaklık testi için kendi limitleri ile),

b.)Plastik şekil değiştirme (tüm sıcaklık testleri için aynı limit değeri ile)



(a)



(b)

Şekil 4.15. 11,2 kg düşürme testi simülasyon sonuçları,

a.)von-Mises gerilmesi (her sıcaklık testi için kendi limitleri ile),

b.)von-Mises gerilmesi (tüm sıcaklık testleri için aynı limit değeri ile)

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu tez çalışmasında yoğun kullanım alanına sahip bir termo-plastik türü olan polipropilen malzemedan üretilmiş gıda saklama kutularının taşınması esnasında karşılaşılabilecek mukavemet riskleri incelenmiştir. Bu riskler yol düzgünsüzlükleri sonucu ortaya çıkan dinamik yükler ve taşıma esnasında ortaya çıkan sıcaklık değişimleri ve/veya saklama koşullarının gerektirdiği aşırı sıcaklık koşulları olarak sıralanabilir. Metallere kıyasla düşük sıcaklıklara ısıtılarak kolaylıkla şekillendirilebilen termo-plastik malzemeler imalatlarının kolaylığı sebebi ile hemen her alanda kullanım alanı bulmaktadır. Ancak bu avantaj metaller için normal denebilecek çalışma sıcaklıklarının termo-plastikler için aşırı yüksek veya aşırı düşük sıcaklıklar olarak isimlendirilmesine sebep olmaktadır.

Çalışmada öncelikle yol düzgünsüzlükleri sonucu aracın kargo bölümünde oluşan dinamik yükler tespit edilmeye çalışılmış, ardından bahse konu polipropilen kutudan ilgili standartlara uygun çekme testi numuneleri hazırlanarak farklı sıcaklık ve farklı çekme hızlarında çekme deneyleri yapılarak malzemenin mekanik özellikleri eksiksiz olarak elde edilmiştir. Deneyler hem çekme hızının hem de sıcaklığın polipropilen malzemenin mekanik özelliklerine hızlı bir şekilde tesir ettiği ve özellikle sıcak yaz günlerinde kargo bölümünde kolaylıkla ulaşılabilen sıcaklık değerlerinde dahi malzemenin ciddi derecede zayıfladığını göstermiştir.

Analizler statik olarak birbiri üzerine konularak muhafaza edilebilen kutuların, yol şartlarındaki düzgünsüzlükler, aracın yatay ivmelenmesi ve sıcaklığın tesiri ile ciddi deformasyona maruz kaldıklarını ve burkularak ezildiklerini göstermektedir. Ezilme riski söz konusu olduğunda model geometrisinde en kritik bölgeler köşelere yakın yan duvarların orta noktalarıdır. von-Mises mukayese gerilmesinin yüksek olduğu köşeleri yakın yan cidarlarda yapılacak kısmi kesit artımları ile kutunun hem ezilme, hem de darbe dayanımını artırılabilir. Söz konusu kutunun ezilme dayanımı kullanılan malzemenin elastisite modülü polipropilen içerisine çeşitli katkı maddeleri eklenerek yükseltilebilir. Ancak bu amaçla kullanılan katkı maddelerinin pek çoğu insan sağlığına negatif yönde doğrudan veya dolaylı olarak tesir ettiğinden bu maddelerin özellikle gıda sektöründe kullanımı ile ilgili kısıtlar söz konusudur.

KAYNAKLAR

- Batdorf, S. B., 1947.** A Simplified Method of Elastic-Stability Analysis for Thin Cylindrical Shells, *NACA TN* Vol. 1341-1342
- Brush, Don O., Almroth, Bo O. 1975.** Buckling of Bars, Plates and Shells, McHraw-Hill Book Company.
- Cao, K., Wang, Y., Wang, Y. 2014.** Experimental investigation and modeling of the tension behavior of polycarbonate with temperature effects from low to high strain rates. *Int.J.Solids Struct.* 51:2539–2548
- Dar, U.A., Zhang, W., Xu Y. 2014.** Thermal and strain rate sensitive compressive behavior of polycarbonate polymer – experimental and constitutive analysis. *J.Polym.Res.* 21:1–10
- Donnell, L.H. 1938,** A New Theory for the Bucking of Thin Cylinders under Axial Compression and Bending, *Trasactions ASME* 56 795.
- Drozdov, A.D. 2010.** Linear thermo-viscoelasticity of polypropylene. *Mech. Res. Commun* 37(8):690–695.
- Gebremeskel, S.A., Asija, N., Chouhan, H., Bhatnagar, N. 2017.** Appraisal of Strain Rate Sensitivity of Polypropylene Nanocomposites, *Procedia Engineering*, Volume 173, 2017, Pages 800-806.
- Gibson, A.G., Torres, M.E.O, Browne, T.N.A. 2010.** High temperature and fire behavior of continuous glass fiber / polypropylene laminates. *Compos A Appl.Sci.Manuf.* 41:1219–1231.
- Grala, M., Bartczak, Z., Morphology, R.A. 2016.** Thermal and mechanical properties of polypropylene/SiO₂, nano composites obtained by reactive blending. *J.Polym.Res.* 23:1–19.
- Gyliene, V., Stasevicius, V. 2011.** Cowper-Symonds material deformation law application in material cutting process using LS-DYNA FE code: turning and milling, 8th *European LS-DYNA Conference.*
- Hernandez, C., Marañón, A., Ashcroft, A., Casas-Rodríguez, J.P. 2013.** A computational determination of the Cowper–Symonds parameters from a single Taylor test, *Applied Mathematical Modelling*, Volume 37, Issue 7, Pages 4698-4708.
- Hosford, W.F. 2012.** Metal Forming, Mechanics and Metallurgy, Cambridge University Press
- Hunt, G.W., Lord, G.J., Peletier, M.A. 2003.** Cylindrical shell buckling: A characterization of localization and periodicity, *Discrete and Continuous Dynamical Systems-Series B*, Vol. 3(4), pp. 505-518.
- Karian, H. 2003.** Handbook of Polypropylene and Polypropylene Composites, CRC Press.
- Karman, Th. von, Tsien, H.S. 1941.** The Buckling of Thin Cylindrical Shells under Axial Compression, *Journal of Aeronautical Science*, Vol. 8(8), pp.303-312.
- Kollar, L., Dulacska, E. 1984.** Buckling of Shells for Engineers, Akademiai Kiado, Budapest.
- Li, G., Chen, Y., Ruan, B. 2016.** A constitutive model of polymer at different temperature. *Aust.J.Mech.Eng.* 52:67–73.
- Mahieux, C.A., Reifsnider, K.L. 2001.** Property modeling across transition temperatures in polymers: a robust stiffness-temperature model. *Polymer* 42:3281–3291.

- Moy, P., Gunnarsson, C.A., Weerasooriya, T., Chen, W. 2011.** Stress-Strain Response of PMMA as a Function of Strain-Rate and Temperature, Dynamic Behavior of Materials, Conference *Proceedings of the Society for Experimental Mechanics*, Volume 1, 125-133.
- Okereke, M.I. Buckley, C.P. Siviour C.R. 2012.** Compression of polypropylene across a wide range of strain rates, *Mechanics of Time-Dependent Materials*, Volume 16, Issue 4, pp 361–379.
- Reis, M.G., Reis, M., Durmuş, A. 2012.** Dinamik Yüke Maruz İnce Cidarlı Polimer Kutuların Bilgisayar Destekli Burkulma Analizi, 6. *Otomotiv Teknolojileri Kongresi*.
- Richeton, J., Ahzi, S., Vecchio, K.S. 2006.** Influence of temperature and strain rate on the mechanical behavior of three amorphous polymers: characterization and modeling of the compressive yield stress. *Int.J.Solids Struct.* 43:2318–2335.
- Sardon, H., Irusta, L., Santamaría, P. 2012.** Thermal and mechanical behaviour of self-curable water borne hybrid polyurethanes functionalized with (3-aminopropyl) triethoxysilane (APTES). *J.Polym.Res.* 19:1–9
- Shonaike, G.O., Advani, S.G. 2003.** Advanced Polymeric Materials: Structure Property Relationships, CRC Press London
- Sun, J., Yang, Q. 2010.** Simulation Research of Semi-active Suspension System of Engineering Vehicle, *2nd International Conference on Information Science and Engineering (ICISE)*, pp: 1512-1515.
- SzilvÁgyi, Z., Ray, R.P. 2018.** Verification of the Ramberg-Osgood Material Model in Midas GTS NX with the Modeling of Torsional Simple Shear Tests, *Periodica Polytechnica Civil Engineering* (In Print).
- Tripathi, D. 2002.** Practical Guide to Polypropylene, Rapra Tech. Ltd., UK.
- ZhouY, Mallick PK. 2002.** Effects of temperature and strain rate on the tensile behavior of unfilled and talc-filled polypropylene Part II: constitutive equation. *Polym.Eng.Sci.* 42:2461–2470

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Meral Gülsen REİS
Doğum Yeri ve Tarihi : Demirci / 01.01.1987
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu
Lise : Gürçeşme Lisesi
Lisans : Uludağ Üniversitesi Tekstil Mühendisliği
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : Güldoğan Tekstil- Motif Tekstil – Ahmet Sabuncular Tekstil

İletişim (e-posta) : meralreis@hotmail.com

Yayınları : Meral G. Reis, Murat Reis, Ali Durmuş, Dinamik Yüke Maruz İnce Cıdarlı Polimer Kutuların Bilgisayar Destekli Burkulma Analizi, 6. Otomotiv Teknolojileri Kongresi, (Otekon 2012).