

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOLGU MADDELİ POLİMER MALZEMELERİN TAGUCHİ  
YÖNTEMİ İLE PERFORMANS OPTİMİZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Nurdan KOCA**

**Anabilim Dalı : Makina Mühendisliği**

**Danışman : Yrd. Doç. Dr. Tülin Şahin**

**KOCAELİ , 2009**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOLGU MADDELİ POLİMER MALZEMELERİN TAGUCHİ  
YÖNTEMİ İLE PERFORMANS OPTİMİZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**NURDAN KOCA**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 22 MAYIS 2009**

**Tezin Savunulduğu Tarih: 01 TEMMUZ 2009**

**Tez Danışmanı  
Yrd.Doç.Dr. Tülin ŞAHİN**

  
(.....)

**Üye  
Prof.Dr. Abdullah MİMAROĞLU**

  
(.....)

**Üye  
Yrd.Doç.Dr. Ayşe AYTAÇ**

  
(.....)

**KOCAELİ, 2009**

## TEŞEKKÜR

Günlük yaşamda sık kullanılan eşyaların üretiminde plastik malzemeler daha fazla tercih edilmeye başlanmıştır. Geçmişte cam, metal ve çelikten üretilen birçok ürün yerini plastik eşyalara bırakmıştır. Türkiye'de plastik tüketiminin ağırlığını günlük hayatta çok sık karşılaştığımız polietilen (PE), polipropilen (PP), polivinilklorür (PVC), polistiren (PS) gibi plastikler oluşturmaktadır. Plastik malzemeler içerisinde katılan dolgu maddelerinin, plastik malzemenin kalitesi üzerine etkisi iyi araştırılmalı ve dolgulu plastik malzemenin kullanım alanları buna göre belirlenmelidir.

Yüksek lisans sürecim boyunca, benden bilgi ve deneyimini, sonsuz desteğini ve sabrını esirgemeyen değerli hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Tülin Şahin'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmayı yaparken, hiçbir yardım ve desteği esirgemeyen sevgili eşim Barış Koca'ya bana karşı göstermiş olduğu sabır ve anlayış için çok teşekkür ederim.

Hayatım boyunca verdiğim her kararda arkamda olan ve maddi ve manevi desteklerini hiç bir zaman esirgemeyen sevgili aileme, özellikle annem ve babam, Hatice ve İbrahim Sel'e teşekkürü bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
SEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ .....	vi
SİMGELER .....	vii
ÖZET .....	ix
İNGİLİZCE ÖZET .....	x
1. GİRİŞ .....	1
2. GENEL BİLGİLER .....	3
2.1. Polimerler .....	3
2.1.1. Polietilen (PE) .....	8
2.1.2. Polipropilen (PP) .....	9
2.1.2.1. Polipropilen çeşitleri .....	10
2.2. Dolgu ve Güçlendirici Maddeleri .....	11
2.2.1. Polipropilen ve mineral dolgular.....	13
2.2.2. Kalsiyum karbonat.....	16
2.3. Polimerlerin Mekanik Özellikleri .....	17
2.3.1. Polimerlerde karşılaşılan zorlanma ve gerilim ilişkileri .....	19
2.3.2. Sürünme .....	23
2.4. Taguchi Yöntemi .....	27
2.4.1. Kalitenin gelişimi .....	27
2.4.2. Taguchi yöntemi deney tasarımı .....	29
2.4.3. Taguchi felsefesi .....	30
2.4.4. Taguchi üretim, kalite sistemi ve deney tasarımı .....	31
2.4.4.1. Sistem tasarımı .....	33
2.4.4.2. Parametre tasarımı .....	34
2.4.4.3. Tolerans tasarımı .....	35
2.4.4.3.1. En büyük en iyi .....	36
2.4.4.3.2. En küçük en iyi .....	36
2.4.4.3.3. Hedef değer en iyi .....	36
2.4.5. Taguchi metodunda parametre tasarımı .....	36
2.4.6. Taguchi'nin kayıp fonksiyonu .....	37
2.4.7. Taguchi yönteminde dikey diziler .....	40
2.4.7.1. Dikey dizilerin oluşturulması .....	43
2.5. Çalışmanın Amacı .....	46
3. DENEYSEL ÇALIŞMA .....	47
3.1. Birinci Grup Çalışma .....	47
3.1.1. L <sub>8</sub> dikey dizisinin oluşturulması .....	47
3.1.2. Malzeme .....	48
3.1.3. Deney numunesi üretimi .....	49
3.2. İkinci Grup Çalışma .....	50
3.2.1. L <sub>16</sub> dikey dizisinin oluşturulması .....	50

3.2.2. Malzeme .....	51
3.2.3. Deney numunesi üretimi .....	52
3.3. Deney Şartları, Deney Araçları, Deney Makineleri Ve Deney Donanımları.	53
4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ .....	56
4.1. Birinci Grup Çalışma Deney Sonuçları .....	56
4.2. İkinci Grup Çalışma Deney Sonuçları .....	59
4.3. Polimer Malzemede CaCO <sub>3</sub> Takviyesinin Gerilme Gevşemesine Etkisinin TaguchiYöntemi İle İncelenmesi .....	64
4.3.1. Birinci grup çalışmada taguchi yöntemi.....	64
4.3.1.1. L <sub>8</sub> dikey dizisine ait sonuçlar.....	64
4.3.1.2. Max. zorlanmanın CaCO <sub>3</sub> ve gerilme faktörlerine göre grafikleri .....	65
4.3.1.3. Sürünme değerlerinin CaCO <sub>3</sub> ve gerilme faktörlerine göre grafikleri .....	67
4.3.1.4. “Sürünme Başlama Noktası” değerlerinin CaCO <sub>3</sub> ve gerilme faktörlerine göre grafikleri .....	69
4.3.2. İkinci grup çalışmada Taguchi Yöntemi .....	71
4.3.2.1. L <sub>16</sub> dikey dizisine ait sonuçlar .....	71
4.3.2.2. Max. zorlanmanın CaCO <sub>3</sub> gerilme ve tane boyutu faktörlerine göre grafikleri .....	73
4.3.2.3. Sürünmenin CaCO <sub>3</sub> gerilme ve tane boyutu faktörlerine göre grafikleri .....	75
4.3.2.4. “Sürünme Başlama Noktası” değerlerinin CaCO <sub>3</sub> ve gerilme faktörlerine göre grafikleri .....	77
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER .....	79
KAYNAKLAR .....	81
ÖZGEÇMİŞ .....	83

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 : Bazı polimerlerin formülleri.....	4
Şekil 2.2 : Etilen monomeri.....	8
Şekil 2.3 : Polietilen.....	8
Şekil 2.4 : Polipropilen.....	9
Şekil 2.5 : Polimerik malzemelerin tipik gerilme-zorlanma eğrisi.....	19
Şekil 2.6 : Malzeme türlerine göre gerilme-zorlanma eğrileri.....	21
Şekil 2.7 : Plastik numuneye sabit $\sigma_0$ gerilmesi uygulanmasıyla oluşan birim şekil değiştirme-zaman grafiği.....	23
Şekil 2.8 : PVC boru malzemesinin 20 °C`de çekme sürünmesi.....	25
Şekil 2.9 : Polietilen boruda kırılmanın iki farklı sıcaklık için gerilme-zaman ilişkisinin şematik gösterimi. (Hoop Gerilme – çevresel gerilme).....	26
Şekil 2.10: Üretim kalite çevrimi.....	31
Şekil 2.11: Taguchi toplumsal kayıp şeması.....	32
Şekil 2.12: Taguchi metodunun sistematigi .....	34
Şekil 2.13: Geleneksel kalite anlayışı.....	37
Şekil 2.14: Kalite kayıp fonksiyonu.....	38
Şekil 2.15: Kalite kayıp fonksiyonu.....	39
Şekil 3.1 : Zwick Z250 marka çekme makinesi.....	54
Şekil 4.1 : Yükleme boşaltma eğrileri.....	56
Şekil 4.2 : %0, %5, %10, %20 katkılı polietilende 8 MPa gerilme değerinde %uzama-zaman grafikleri .....	57
Şekil 4.3 : %0, %5, %10, %20 katkılı polietilende 12 MPa gerilme değerinde %uzama-zaman grafikleri .....	58
Şekil 4.4 : %0, %5, %10, %20 katkılı polietilende 8 MPa gerilme değerinde gerilme -%uzama grafikleri .....	58
Şekil 4.5 : %0, %5, %10, %20 katkılı polietilende 12 MPa gerilme değerinde malzemede gerilme -%uzama grafikleri .....	59
Şekil 4.6 : %0, %38.89, %42.86 CaCO <sub>3</sub> katkılı polipropilende 8 MPa gerilme değerinde uzama-zaman eğrilerinin karşılaştırılması .....	60
Şekil 4.7 : %0, %25, %134.62 katkılı polipropilende 16 MPa gerilme değerinde uzama-zaman eğrilerinin karşılaştırılması .....	60
Şekil 4.8 : %0, %38.89, %42.86 CaCO <sub>3</sub> katkılı polipropilende 8 MPa gerilme değerinde gerilme-%uzama eğrileri .....	61
Şekil 4.9 : %0, %25, %134.62 CaCO <sub>3</sub> katkılı polipropilende 16 MPa gerilme değerinde gerilme-%uzama eğrileri .....	61
Şekil 4.10 : %0, %25, %134.62 CaCO <sub>3</sub> katkılı polipropilende 8 MPa gerilme değerinde uzama-zaman eğrileri .....	62
Şekil 4.11 : %0, %38.89, %42.86 CaCO <sub>3</sub> katkılı polipropilende 16 MPa gerilme değerinde % uzama-zaman eğrileri.....	63
Şekil 4.12: %0, %25, %134.62 CaCO <sub>3</sub> katkılı polipropilende 8 MPa gerilme değerinde Gerilme-%Uzama eğrileri.....	63

Şekil 4.13: %0, %38.89, %42.86 CaCO <sub>3</sub> katkılı polipropilende 16 MPa değerinde gerilme-%uzama eğrileri .....	64
Şekil 4.14: Değişkenlerin ortalama “Max. zorlanma” ya etkisi.....	66
Şekil 4.15: “Max. zorlanma” ya ait S/N oranı.....	66
Şekil 4.16: Standart sapmanın ortalama Max. zorlanma’ ya etkisi.....	67
Şekil 4.17: Değişkenlerin ortalama “Sürünme” ye etkisi.....	68
Şekil 4.18: “Sürünme” ye ait S/N oranı.....	68
Şekil 4.19: Standart sapmanın ortalama Sürünme’ ye etkisi.....	69
Şekil 4.20: Değişkenlerin ortalama “Sürünme Başlama Noktası” na etkisi.....	70
Şekil 4.21: “Sürünme Başlama Noktası” na ait S/N oranı.....	70
Şekil 4.22: Standart sapmanın ortalama Sürünme Başlama Noktası’ na etkisi.....	71
Şekil 4.23: Değişkenlerin ortalama “Max. zorlanma” ya etkisi.....	73
Şekil 4.24: “Max. zorlanma” ya ait S/N oranı.....	74
Şekil 4.25: Standart sapmanın ortalama Max. zorlanma’ ya etkisi.....	74
Şekil 4.26: Değişkenlerin ortalama “Sürünme” ye etkisi.....	75
Şekil 4.27: “Sürünme” ye ait S/N oranı.....	76
Şekil 4.28: Standart sapmanın ortalama Sürünme’ ye etkisi.....	76
Şekil 4.29: Değişkenlerin ortalama “Sürünme Başlama Noktası” na etkisi.....	77
Şekil 4.30: “Sürünme Başlama Noktası” na ait S/N oranı.....	78
Şekil 4.31: Standart sapmanın ortalama Sürünme Başlama Noktası’ na etkisi.....	78

## TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 2.1 : Polimer çeşitleri ve özellikleri .....	11
Tablo 2.2 : Dolgu maddeleri ve önemli parametreleri .....	13
Tablo 2.3 : Değişken ve düzey parametreleri .....	41
Tablo 2.4 : Standart dikey diziler .....	42
Tablo 2.5 : Dikey diziler için üretici bağıntılar .....	43
Tablo 2.6 : $L_9 (3^4)$ Dikey dizisinin oluşturulmasında kullanılan ara tablo .....	44
Tablo 2.7 : $L_9 (3^4)$ Dikey dizisi .....	45
Tablo 3.1 : $L_8$ dikey dizisinin oluşturulması .....	47
Tablo 3.2 : Eltex Tub 172' nin fiziksel ve mekanik özellikleri .....	49
Tablo 3.3 : Denizciler marka enjeksiyon makinesinin teknik özellikleri .....	49
Tablo 3.4 : $L_{16}$ dikey dizisinin oluşturulması .....	50
Tablo 3.5 : Polipropilen blok kopolimer (PP-B) malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerine ait üretici verileri .....	51
Tablo 3.6 : Mineral dolguların imalatçı verileri .....	52
Tablo 3.7 : ALLROUNDER 370 CMD model enjeksiyon makinesinin teknik özellikleri .....	53
Tablo 4.1 : $L_8$ Dikey dizisinin oluşturulması .....	65
Tablo 4.2 : $L_{16}$ Dikey dizisinin oluşturulması .....	72



## SİMGELER

$\sigma$	: Gerilme
$\varepsilon$	: Zorlanma
L	: Belirli bir Y değerinde oluşacak kayıp değer
$L_{12}$	: 12 deney düzeni içeren
$L'_{32}$	: Karışık düzeyli (2 yada 3) dikey diziler
s	: Dikey dizide yer alan değişken düzeyleri
k	: Tanımlanan değerlere bağlı tespit edilen katsayı
N	: Deneme sayısı
$\varepsilon_1$	: Hook kanununa uygun elastik şekil değiştirme
$\varepsilon_2$	: Gecikmiş elastik şekil değiştirme
$\varepsilon_3$	: İkincil sünme
Y	: Kalite etkinlik karakteristiği
m	: Hedef değer
S/G	: Sinyal / Gürültü oranı
$QA_N(s^k)$	: Bir dikey dizi

## Kısaltmalar

LCA	: Life Cycle Assessment
PP	: Polipropilen
PE	: Polietilen
PS	: Polistiren
PC	: Polikarbonat
YYPE	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen
PA	: Poliamid
AYPE	: Düşük Yoğunluklu Polietilen
OYPE	: Orta Yoğunluklu Polietilen
ÇYMAPE	: Çok Yüksek Molekül Ağırlıklı Polietilen
UV	: Ultraviyole
PVC	: Polivinilklorür
uPVC	: Plastikleştirici katılmamış Polivinilklorür
ASQC	: Amerikan Kalite Kontrol Derneği
iPP	: İzotaktik Polipropilen
PMMA	: Polimetil metaklaret
JUSE	: Japon Bilim Adamları ve Mühendisleri Derneği
TKK	: Toplam Kalite Kontrol
TKY	: Toplam Kalite Yönetimi
ASD	: Alt Sınır Değer
ÜSD	: Üst Sınır Değer
KFY	: Kalite Fonksiyonu Yayılımı (Quality Function Deployment)

# DOLGU MADDELİ POLİMER MALZEMELERİN TAGUCHİ YÖNTEMİ İLE PERFORMANS OPTİMİZASYONU

**Nurdan KOCA**

**Anahtar Kelimeler :** Polimer , Dolgu Maddeleri, Kalsiyum Karbonat, Sürünme, Taguchi

**Özet:** Çok sayıda değişkenin etkili olduğu süreçlerde, bu değişkenlerin hangilerinin ürün kalitesi üzerinde en etkili olduğunun, az sayıda deney yaparak belirlenmesi için uygulanan deney tasarımı yöntemleri, kalite teknikleri arasında en sık kullanılanlarıdır. Bu çalışmada, kalsiyum karbonat dolgu malzemesinin poliolefin grubu malzemelerin zorlanma ve sürünme özellikleri üzerine olan etkileri deney tasarım yöntemlerinden en etkin olduğu bilinen Taguchi Metodu ile incelenecektir.

Polietilen ve polipropilen için iki farklı ortogonal dikey dizi hazırlanarak deney sayısı azaltılmış böylece zaman ve maliyet tasarrufu sağladığı görülmüştür. Polietilen için değişkenler, gerilme ve  $\text{CaCO}_3$  miktarı; polipropilen için, gerilme,  $\text{CaCO}_3$  ve tane boyutudur. Polietilen için 8, polipropilen için 16 sürünme deneyi uygun görülmüştür. Elde edilen veriler Minitab Release 15 programı ile analiz edilmiştir.

Gerilmenin zorlanma ve sürünme değerleri üzerinde en fazla etkiye sahip değişken olduğu görülmüştür. En fazla etkiye sahip ikinci parametre  $\text{CaCO}_3$  miktarı gelmektedir. Polietilen için % 20' lik  $\text{CaCO}_3$  oranı sürünme için en iyi değeri verirken, polipropilen için %25' lik  $\text{CaCO}_3$  oranı sürünme için en iyi değeri verdiği saptanmıştır.

# PERFORMANCE OPTIMISATION OF THE FILLED POLYMER MATERIALS BY USING TAGUCHI METHOD

**Nurdan KOCA**

**Keywords :** Polymer, Reinforcement, Calcium Carbonate, Creep, Taguchi

**Abstract:** Experimental design methods are preferred to determine the most influential parameters on quality for the systems which depend on many parameters. Taguchi method has been a unique and powerful quality improvement discipline that differs from traditional practices. In this study, effect of the calcium carbonate filler on the strain and creep behaviours of polyolefine material will be investigated by using Taguchi Method.

For polyethylene and polypropylene materials test numbers are decreased by using two different orthogonal vertical series and it is investigated that this supplies time and cost economy. The parameters for polyethylene are stress and the amount of the  $\text{CaCO}_3$  for polypropylene materials are stress , the amount of the  $\text{CaCO}_3$  and the dimension of grains. 8 creep tests for polyethylene and 16 creep tests for polypropylene applied. Minitab Release 15 software was used to analyse of obtained datas.

It is obviously considered that stress is the most effective parameter on the strain and creep values. The second most effective parameter is the amount  $\text{CaCO}_3$  . It is investigated that % 20  $\text{CaCO}_3$  for polyethylene and % 25  $\text{CaCO}_3$  for polypropylene give the best creep values.

## 1. GİRİŞ

Plastik latince “plasticus” kökenli olup, el ile yoğrulabilen, biçim verilebilen anlamındadır. Teknoloji diliyle makromoleküllerin kullanılmasına dayanan, ısı ve basınç etkisiyle kalıba dökülerek, fişkırtılarak veya akıtma yollarıyla biçimlendirilebilen yapay organik maddelerdir [1]. Günlük hayatın hemen her alanında rastlanan plastik malzemeler, hayatın vazgeçilmez parçaları olmuşlardır. Plastik malzemelerin bu kadar geniş kullanım alanlarına sahip olmalarının nedeni, yapısal özelliklerinin istenildiği gibi ayarlanabilir olmasından ve ekonomik olarak elde edilebilmelerinden kaynaklanmaktadır. Yapısal özelliklerinin istenildiği gibi ayarlanabilir olması, monomerlerin kendi kendileriyle ve diğer monomerlerle bağlanmalarında, bağlanma şekillerinin ve bağlanma miktarlarının bir sonucudur.

Plastik sanayinin gelişmesi ikinci dünya savaşının bitiminden sonra başlamıştır. Başlangıçta petrolün yeteri kadar ekonomik olmaması nedeniyle ham madde olarak kömür kullanılmış, 1950 yılından itibaren hammaddenin kömürden petrole dönüşümü ile plastik sanayini hızla geliştirmiştir. Birçok yeni ürün art arda bulunarak özellikle metal malzemeye büyük bir alternatif oluşturulmuştur. Plastik malzemelerin ekstruzyon, enjeksiyon ve diğer üretim yöntemleri ile kolay ve kitlesel üretimi, bu dönüşümü genişletmiş, hızlandırmış ve bugünkü seviyelere getirmiştir. Plastik malzemelerin diğer birçok malzemenin yerini alması, henüz devam eden bir süreçtir ve önümüzdeki yıllarda metal, ağaç ve yün kullanılan birçok ürün, daha çok plastik malzemelerden üretilecektir. Plastiğe bu özelliği veren faktörler ise ucuzluk, kolay işlenebilme, hafiflik, kimyasal maddelere karşı direnç, yalıtkanlık ve benzeri özelliklerdir.

Diğer taraftan plastiklerin yaşam boyu dönüşüm (LifeCycleAssesment- LCA) değerlerinin cam, demir, alüminyum, nikel gibi inorganik yapıdaki malzemelere göre düşük olması ve plastik atıkların geri dönüşüm işlemi ile ve enerji olarak değerlendirilebilir olması plastik malzemelerin diğer malzemelere göre doğada

göreceli yani daha az kirlilik yaptığı çevreci gruplar tarafından da kabul görmeye başlamıştır. [2]

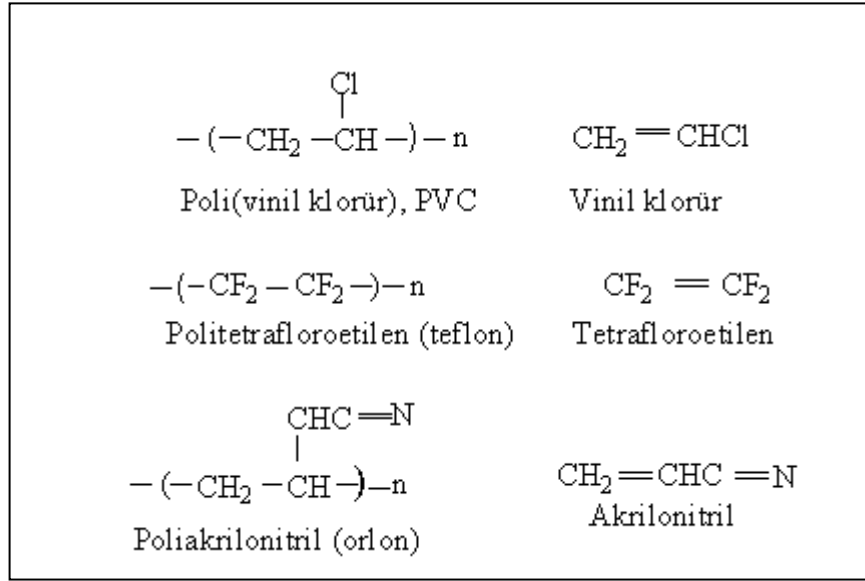
Plastiklerin mekanik özelliklerinin metallere göre daha düşük olması nedeniyle üretim teknolojilerinde yeni yöntemler geliştirilerek plastiklere birtakım katkı ve dolgu maddeleri ilave edilmesi sonucunda maliyet ve performans özellikleri gibi hususlarda büyük ilerlemeler kaydedilmiştir. Bu katkı maddelerinden günümüzdeki bilimsel araştırmalar da en yaygın olarak kullanılanları kalsiyum karbonat, talk, asbest ve cam elyaftan oluşmaktadır.

Bu çalışmada, termoplastik malzeme grubundan polietilen ve polipropilen malzeme kullanılmıştır. Dolgu malzemesi olarak kalsiyum karbonat (  $\text{CaCO}_3$  ) kullanılmıştır. Kalsiyum karbonat dolgu malzemesinin termoplastik malzemelerin zorlanma ve sürtünme özellikleri üzerine olan etkisinin taguchi ile optimizasyonu yapılmıştır.

## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1. Polimerler

Polimerler “monomer” denilen birimlerin bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Organik kimyacılar ondokuzuncu yüzyılın ortalarında bazı denemelerinde rastlantısal olarak yüksek molekül ağırlıklı maddeler sentezlediler. Bu yüzyılın ikinci yarısından itibaren polimer konusundaki araştırmalar gelişmiş ve yeni polimer türleri geliştirilmiştir. Bu alanın öncüsü Alman kimyager Herman Staudinger. Herman Staudinger ilk defa polimerizasyon koşullarının polimer oluşumu üzerine etkisini tanımlamıştır. Staudinger kimyanın bu alanında yaptığı çalışmalarla 1953 yılında Nobel ödülünü almıştır. Bu alanda ilk kez çalışan araştırmacılar doğal polimerleri taklit ederek işe başlamışlar ve 1930 yılında Wallace Carothers Nylonu sentezlemeyi başarmıştır. İkinci dünya savaşından bu yana birçok polimer laboratuvarlar da üretilmiş ve ayrıca birçok polimer endüstriyel ölçekte üretilmeye başlamıştır. Endüstriyel organik kimyacılar ise daha çok polimer kimyası alanına kayarak çalışmalarını bu yönde sürdürmeye başlamıştır. Bunun sonucu olarak günümüzde sayısız polimer türü geniş bir uygulama alanın da çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır. Şekil 2.1’ de yaygın olarak kullanılan bazı polimerlerin formülleri ve sentezlendikleri monomerler gösterilmiştir. [3]



Şekil 2.1: Bazı polimerlerin formülleri [3]

Polimerleri inceleyebilmek için sınıflandırılmaları gerekir. Amaca uygun olarak aşağıdaki sınıflandırmalar yapılmıştır. Ayrıca tablo 2.1' de polimer çeşitleri ve özellikleri ile ilgili bilgi verilmiştir.

- Molekül ağırlıklarına göre (oligomer, makromolekül)
- Doğada bulunup, bulunmamasına göre (doğal, yapay)
- Organik ya da anorganik olmalarına göre

Organik polimerler: Yapılarında C,H,O,N ve halojen atomları içerirler.

İnorganik polimerler: Ana zincirde C atomu yerine , periyodik cetveldeki IV-VI grup elementleri yer alır.

- Isıya karşı gösterdikleri davranışa göre (termoset ve termoplastikler)
- Zincirin kimyasal ve fiziksel yapısına göre (düz, dallanmış, çapraz bağlı, kristal, amorf polimerler)
- Zincir yapısına göre (homopolimer, kopolimer)
- Sentezlenme şekillerine göre

Polimerleşme reaksiyonları esnasında pekçok monomer, diğer monomerlerle ya da ortamda daha önce tepkime vermiş ve böylece belli bir moleküler ağırlığa ulaşmış, bir molekül zinciri ile tepkime verebilir. Oluşan zincirlerin büyüklükleri, türlerin moleküler yapılarından, tepkime verme yollarına ve sentez şekillerine kadar, pek çok faktöre bağlıdır. Eğer polimer zinciri yeterince büyümemişse, bu tip polimerler oligomer olarak adlandırılır.

Doğal makromoleküller olmaksızın doğadaki hayatın devamı düşünülemez. Çünkü hayatın kendisini oluşturan temel elemanlar bu moleküllerdir. En iyi bilinen ve hemen akla geliveren örneklerin bazıları proteinler, selüloz, keratin gibi doğal makromoleküllerdir.

Her gün gelişen yeni polimer sentez yöntemleri sayesinde elde edilmiş binlerce polimere hergün yenileri ilave edilmektedir. Günlük hayatın hemen her alanında rastlanan polimerik malzemeler, hayatın vazgeçilmez parçaları olmuşlardır. Polimerik malzemelerin bu kadar geniş kullanım alanlarına sahip olmalarının nedeni, yapısal özelliklerinin istenildiği gibi ayarlanabilir olmasından ve ekonomik olarak elde edilebilmelerinden kaynaklanmaktadır. Yapısal özelliklerinin istenildiği gibi ayarlanabilir olması, monomerlerin kendi kendileriyle ve diğer monomerlerle bağlanmalarında, bağlanma şekillerinin ve bağlanma miktarlarının fazlalığının bir sonucudur. Ayrıca istenilen fonksiyonlara sahip polimerler de uygun fonksiyonel gruplu monomerler kullanılarak kolayca hazırlanabilir.

Anorganik polimerlerde esas zincir karbona dayalı yapıya sahip değildir ve genellikle organik polimerlere kıyasla daha fazla ısıya dayanıklı ve daha serttirler. Yüksek oranda çapraz bağ içeren sistemler ise termoset olarak tanımlanırlar. Termoplastik bir malzeme sıcaklık artışı ile eriyerek şeklini değiştirebilen bir polimerdir ve böylece kalıplara dökülebilmesi mümkün olur. Oysa yüksek oranda çapraz bağ içeren bir yapının sıcaklık artışı ile böyle bir değişim geçirmesi, zincirlerin hareketli olmayışı nedeniyle, zordur ve sıcaklığın artışı bu tür malzemelerin erimesine değil, malzemenin parçalanmasına neden olur.

Tek tür birimlerden oluşan polimer zinciri homopolimer, iki ya da daha fazla monomer içeren polimerler ise kopolimer olarak adlandırılırlar. Kopolimerler genellikle farklı monomerlerin düzensiz birleşmesinden oluşarak rastgele (random) kopolimeri oluştururlar. Bununla beraber, alternatif, blok, grafit ve steroblok kopolimerler bu kuralın dışındadır. Alternatif kopolimerde monomer birimleri birbiri ardına gelir. Blok kopolimer farklı homopolimerlerin uzun segmentlerini içerir. Grafit



kopolimer ya da diğerk bir deyimle aşı kopolimer ise asıl mevcut bir polimer zinciri üzerinde bir dallanma olarak ikinci bir monomer içerir.

Bazı termoplastik polimerler ve kullanım alanları:

- Alçak ve yüksek yoğunluklu polietilen; Başlıca kullanıldığı yerler, filmler, borular, kalıplanmış esya, elektriksel yalıtıcı, asit kapları, kap ve kutular, oyuncak, mutfak esyaları, kablolarda yalıtkan tabakalar. YYPE (yüksek yoğunluklu polietilen) yoğunluğu 0,936-0,960 gram/cm<sup>3</sup> arasında değışen, düşük basınçta üretilen bir polietilen türüdür. YYPE yaygın olarak süt, ayran gibi gıda ürünlerinin ve zirai ilaçlar, madeni yağlar, deterjanlar gibi kimyasalların ambalajlanmasında kullanılır.
- Polivinilklorür ve vinil kopolimerleri (PVC); Başlıca kullanıldığı yerler: Film, levha yapımında, yağmurluk, çanta, banyo perdeleri, döşeme, yer kaplamaları, elektrik kablo ve tellerinde yalıtıcı olarak, kumas örtülerin kaplanmasında, plak yapımında, su tesisat malzemelerinde.
- Polistiren (PS); Bu polimer amorf yapıdadır, parlak ve berrak görüntüsü vardır. Yiyecek ve içeceklere karşı çok dayanıklıdır. Düğme, ışık düğmeleri, içecek şişeleri ve paketleme malzemesi olarak kullanılır.

Polipropilen (PP); Hammaddesi kimyasalara karşı direnç ve bariyer özellikleri bakımından yüksek yoğunluklu polietilene benzer. Fiziksel özellikleri kopolimerleştirme sayesinde geliştirilmiştir. Homopolimer PP darbeye karşı nispeten dayanıklı ve sert bir malzemedir. Blok Kopolimer PP içeriğinde etilen bulunur ve bu sebeple daha dayanıklıdır. Blok kopolimerlerde, polimer zinciri her bir monomerin belirli boyutlardaki polimerlerinin bloklar halinde birbirlerine bağlanması ile oluşmaktadır. Monomer birimlerini P (polipropilen monomeri) ve E (etilen monomeri) ile gösterilecek olursa zincirin yapısı PPPPEEEEEPPPPEEEEE şeklinde olur. Homopolimerden çok daha dayanıklıdır. Polipropilen blok kopolimer, propilen ile etilenin belli oranlarındaki karışımının polimerizasyonundan elde edilir. Polimer zinciri içinde propilen ve etilen molekülleri bloklar halinde bulunduğundan polietilen ve polipropilen arası bir özellik arz ederler. Dondurma gibi dondurulmuş gıdaların ambalajlanmasında kullanılır. Random Kopolimer PP darbelere karşı dayanıklı fakat düşük sıcaklıklarda kırılığandır. Daha çok (termoform) ısı ile şekillendirme prosesi ile üretilen kapların üretiminde kullanılır. Örnek olarak ketçap şişeleri verilebilir. [1]

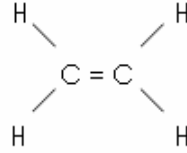
- Poliamid (PA); Kimyasal direnç, sertlik, iyi aşınma direnci, kolay kalıplanabilirlik, hafiflik ve düşük sürtünme katsayısı. Şişe, lastik, lif, paketlenme, dikiş ipliği, çeşitli aletler, dişli ve misina yapımında kullanılır.
- Polikarbonat (PC); Darbelere karşı dayanıklılığı çok iyi olan, kırılmaz ve berrak bir malzemedir. Su damacaneleri polikarbonattan imal edilmiş plastik şişelerdir.
- Poliüretan ; Kristal yapılı,  $T_e = 200^\circ \text{C}$ . Sert poliüretanlar  $150^\circ \text{C}$ 'ye kadar dayanıklı. İyi fiziksel ve kimyasal elektriksel özelliğin yanı sıra diğer reçinelerle kullanıldığında üstün ürün çeşitliliği sağlar. Başlıca kullanıldığı yerler: Elastomer, fiber, kaplayıcı, yumusak ve sert köpük olarak geniş bir uygulama alanı bulunur. Roket yakıtı bileşeni olarak da kullanılır.
- Selülozikler; Dış ortamda dayanıklılık, yüzey parlaklığı, yüksek vurma direnci, düşük ısı iletkenlik ve yüksek dielektrik özelliği. Tekstil ve kağıt endüstrisi, manyetik bant, paketlenme ve ambalaj malzemesi, kalınlaştırıcı, boru ve tüp yapımında kullanılır.
- Naylon ; İyi mekanik ve tribolojik özelliklere sahip olan naylon dişli çark, kam, kaymalı yatak malzemesi olarak kullanılır.

Bazı termoset polimerler ve kullanım alanları :

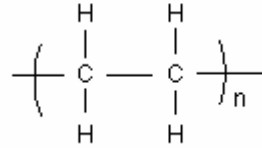
- Alkidler; Alkid reçineleri, alkol ve asitlerden yapılan poliesterlerdir. Bileşimleri çok değişik olabilir. En çok üretilen alkid reçinesi ftalik anhidrit ile gliserinden yapılır. Organik boya, cila ve lake üretiminde geniş ölçüde kullanılır. Maleik anhidrit ile yapılan alkid reçineleri, cila ve lake kaplamalarında sertleştirici olarak işlev görür.
- Epoksi reçineler; Aminler gibi çapraz bağ oluşturan maddelerle birlikte termoset polimer; sağlam, eğilip bükülebilen, kimyasal etkenlere son derece dayanıklı, iyi yapışma özelliği olan, iyi ısı yalıtımı olan maddeler. Yüzey kaplamalarında, yapıştırıcı olarak, metal bağlayıcı yapıştırıcılarda geniş ölçüde kullanılır.  $80^\circ \text{C}$ 'ye kadar dayanıklıdır.
- Fenolikler; Bakalit türünden kalıplanmış eşya yapımında, cila, lake, yapıştırıcılar, elektrik aletleri parçaları, levha ve plakalar, fren astar ve balatasında kullanılır.
- Polyester; Alevlenmeye ve kimyasallara karşı üstün direnç, düşük fiyat, üstün mekaniksel ve elektriksel özellik, üstün ısı kararlılık. Yapı malzemeleri, levha ve plaka, hava ve deniz taşıt parçaları, lif dekoratif malzeme, misina ve kayak malzemesi olarak kullanılır. [4]

### 2.1.1. Polietilen (PE)

Polietilen, çok çeşitli ürünlerde kullanılan bir termoplastiktir. İsmi monomer haldeki etilenden alır, etilen kullanılarak polietilen üretilir. Plastik endüstrisinde genelde ismi kısaca PE olarak kullanılır. Etilen molekülü  $C_2H_4$ , aslında çift bağ ile bağlanmış iki  $CH_2$ ' den oluşur.  $(CH_2=CH_2)$  Polietilenin üretim şekli, etilenin polimerizasyonu ile olur. Polimerizasyon metodu, radikal polimerizasyon, anyonik polimerizasyon, iyon koordinasyon polimerizasyonu ve katyonik polimerizasyon metodları ile olabilir. Bu metodların her biri farklı tipte polietilen üretimi sağlar. [5]



Şekil 2.2 : Etilen monomeri



Şekil 2.3: Polietilen

Polietilen ilk olarak 1930'lu yıllarda sentez edildi. Daha sonra çeşitli proses metodları ve kristal sistemleri kullanılarak değişik uygulamalara yönelik polietilen türleri geliştirilmiştir. PE' nin ilk uygulamaları askeri amaçlı olmuştur. Yeraltı borularının kaplanması ve radar yalıtımı gibi bir çok sahada askeri amaçlı kullanımı II. Dünya savaşında önemli bir avantaj sağlamıştır. PE'nin en yaygın sınıflandırma biçimi yoğunluğa göre yapılanıdır. Yoğunluğuna göre dört ana grupta toplanır.

I.  $0.91-0.9250 \text{ g/cm}^3$  Düşük Yoğunluklu Polietilen (AYPE)

II.  $0.926-0.940 \text{ g/cm}^3$  Orta Yoğunluklu Polietilen (OYPE)

III.  $0.941-0.959 \text{ g/cm}^3$  Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE)

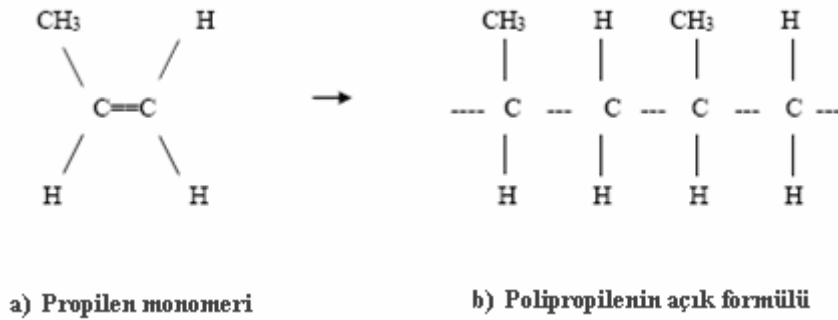
IV.  $0.96$  ve üzeri  $\text{g/cm}^3$  Çok Yüksek Molekül Ağırlıklı Polietilen (ÇYMAPE)

YYPE (yüksek yoğunluklu polietilen): Yoğunluğu 0,936-0,960 g/cm<sup>3</sup> arasında değişen, düşük basınçta üretilen bir polietilen türüdür. YYPE yaygın olarak süt, ayran gibi gıda ürünlerinin ve zirai ilaçlar, madeni yağlar, deterjanlar gibi kimyasalların ambalajlanmasında kullanılır. YYPE hammaddesi, plastik şişe üretim proseslerinin hepsinde işlenebilir. İnce duvarlı kaplar ile plastik kapak üretimi için uygun olan YYPE hammaddeleri ise enjeksiyon kalıplama prosesi ile işlenir.

YYPE birçok uygulama için oldukça ekonomik ve sağlam bir polimerdir. Doğal durumunda süt beyazı, yarı saydam bir malzemedir. Bu yüzden berraklığın önemli olduğu uygulamalarda kullanılmamaktadır. YYPE kolaylıkla istenilen renge boyanabilir. YYPE' nin neme karşı bariyer özelliği çok iyidir. Gaz bariyer özelliği düşüktür. Bu yüzden özellikle oksijen geçirgenliğinin önemli olduğu ambalajlarda tek katlı değil, bariyer polimerleri ile birlikte koekstrüde edilerek kullanılmaktadır. Kimyasallara karşı direnci çok iyidir. [6]

### 2.1.2. Polipropilen (PP)

Polipropilen, propilen monomerlerinin katılma polimerizasyonu ile elde edilen yarı kristalin bir termoplastik malzeme olup, YYPE' e benzemekle beraber birçok koşullara daha dirençli ucuz ve kaliteli bir mühendislik plastiğidir. Yoğunluğu 0.900 ile 0.910 g/cm<sup>3</sup> arasında olan mum beyazı görünümünde rijit bir üründür. Yüksek mekanik özelliklere sahip olmasının yanı sıra, düşük sıcaklıklarda darbe dayanımı üretim ve deney koşullarına bağlı olarak değişim gösterir.



Şekil 2.4: Polipropilen

Polipropilenin kimyasal direnci iyi olup, bu değer kristalin derecesi arttıķa daha da artar. Elektriksel zellikleri de oldukķa iyi olmasının yanı sıra, suya ve sıradan zcclere karşı dirençlidir. Çeşitli katkı maddeleri katılarak hava ve ışığa karşı direnci arttırılır. Özellikle %2 lik karbon siyahıyla ultraviyole (UV) ışığa karşı direnci uzun süre korunabilir. Enjeksiyonla parķa yapımına da çok elverişlidir. İyi işlendiğinde parlak bir yüzey elde edilir. Kolayca kaynak edilebilir, talaşlı işlenir. Polipropilen yarı kristalin bir polimer olduğu için kendine has bir davranışı vardır. Soğuma şartları değiştirilerek kristallenme miktarı değişir. Kristallenme sıcaklığı 30-135 C arasındadır. Ancak polipropilen 100 C ye kadar mekanik özelliklerini koruyarak 120 C ye kadar da deforme olmaz. [1]

### **2.1.2.1 Polipropilen eşitleri**

Polipropilen yapısındaki atomların dizilişlerine göre ataktik, izotaktik ve sindiotaktik olmak üzere üç gruba ayrılırken, polipropilen monomerlerinin diziliş çeşitlerine göre de homo polipropilen, blok kopolimer, random kopolimer ve seçenekli (alternatif) kopolimer olarak gruplandırılır.

Ataktik polipropilen molekülleri gelişigüzel dizilmiş olup aralarında herhangi bir simetri bulunmaz. Molekül ağırlığı ve yönlenme arttıķa gerilmelere dayanımı düşer. İzotaktik polipropilen ise soğuma esnasında soğuma aralığının uzun tutulmasından, atomların dizilme meydana getirecek formda olmasından ve atomlar arası bağ mukavemetlerinin kuvvetli olmasından dolayı kristalin bir yapıya sahiptir. Sindiotaktik polipropilende izotaktik gibi kristal yapılı olup, tek farkı düşük sıcaklıktaki polimerizasyonla elde edilmesidir. İzotaktik ve kısımda sindiotaktik PP polimerik malzeme olarak sıklıkla kullanılırken, ataktik PP nin kullanım alanı uygun olmayan özellikleri nedeniyle kısıtlıdır. [7]

Polipropilendeki en önemli dezavantaj darbe dayanımının düşük olmasıdır. Bu olumsuzluğun giderilmesi için propilen etilenle kopolimerize edilerek ‘‘Rastgele’’ kopolimer oluşturulması sonucunda sorun zlmeye çalışılmıştır. Ancak bu takdirde azalan kristal yüzdesi nedeniyle, malzemenin sertliği azalmakta ve mekanik

özelliklerinden bazı kayıplar olmaktadır. Bu olumsuzlukları yenmek için blok kopolimerizasyonundan yararlanılmaktadır.

Tablo 2.1: Polimer çeşitleri ve özellikleri

	AYPE	YYPE	PP	PVC	PET	PS
Gıda Ambalaj Malzemesi	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet
Sıcak Dolun Sıcaklığı	80 °C	95 °C	120 °C	50-65 °C	Standart 60 °C	60-95 °C
Oksijen Bariyeri	Çok Düşük	Düşük	Düşük	Orta	İyi	Düşük
Nem Bariyeri	İyi	Mükemmel	Mükemmel	Vasat	Vasat	Düşük
Darbeye Mukavemeti	Mükemmel	İyi	Orta	Orta	Mükemmel	Düşük ile Vasat arası
Berraklık	Vasat	Düşük	Orta	İyi	Mükemmel	Düşük ile mükemmel arası

## 2.2 Dolgu ve Güçlendirici Maddeleri

Plastik hammaddeler çeşitli yöntemlerle ürünlere dönüştürülürken nihai ürünün gerek maliyetlerini azaltmak gerekse kalitesini iyileştirmek için şekillendirme esnasında ana plastiğe birtakım katkı ve dolgu maddeleri de ilave edilirler. PVC'den üretilen ürünlere bu katkılar dünyada olduğu gibi ülkemizde de yıllardır kullanılmaktadır. Ancak insan sağlığının ön planda olduğu ürünlere kullanılması ve kullanım sonrası imha edilmesi sırasında çevreye zarar vermesi ile ilgili sürekli tartışma konusu olan PVC'nin yerine farklı malzemelerin kullanılması konusunda çalışmalar gelişmiş ülkelerde hızla devam etmektedir. Poliolefin grubu plastiklerden

olan PE ve PP malzemelerden üretilen ürünlerde de bu katkıların ( $\text{CaCO}_3$ , talk ve baryum sülfat) kullanılabileceği konusunda son yıllarda sürdürülen birtakım araştırmalar ve pilot uygulamalar olmakla birlikte ülkemizde bu konuda teknik bilgi birikimi ve herhangi bir uygulama söz konusu değildir.  $\text{CaCO}_3$  (kalsiyum karbonat) türü katkıların poliolefin borularda kullanımı sayesinde plastik borular lehinde önemli bir kalite avantajı sağlanıp maliyetlerde kayda değer azalmalar ve dolayısıyla da ülke ekonomine ve ekolojiye katkı sağlanmış olunacaktır. [11]

Plastiklerin yaygın olarak kullanıldığı yerlerden olan boru iletim sistemlerinde PE ve PP gibi poliolefin grubu borular, ev ve enerji, kimya, çimento ve tarım gibi çeşitli iş kollarında basınçsız ve basınçlı, sıcak ve soğuk, temiz ve atık (pis) su ve sıvılarla diğer gaz ve katı haldeki maddelerin iletilmesinde, dağıtılmasında ve atılmasında farklı türdeki boru iletim sistemlerinde çok yaygın olarak kullanılmakta ve bu kullanımı sürekli artmaktadır

Plastik boruların hem maliyetlerini düşürüp kalitelerini yükseltmek hem de kullanım alanlarını ve oranlarını genişletmek için ana polimer içine birtakım dolgu ve katkı maddeleri katılmaktadır. Doğru ve uygun oranlarda kullanılan bu katkıların yararını maksimize etmek için bir zorunluluktur. [8]

Polimere karıştırılan dolgu maddesi miktarı belli bir değere ulaştığında, polimerin mekanik özellikleri zayıflar ve sertliği artar. Bu nedenle polimerlerde kullanılacak dolgu maddesinin bir üst sınırı vardır.

Dolgu maddeleri kendi içinde inert ve aktif dolgu maddeleri şeklinde ikiye ayrılarak değerlendirilir. Bazı dolgu maddeleri polimerik ürünün fiyatını düşürme yanında polimerin sertlik, mekanik dayanıklılık, ısıya dayanım, görünüş, kimyasal direnç türü fiziksel ve mekanik özelliklerinden bazılarını olumlu yönde etkilerler. Bu tür dolgu maddelerine aktif dolgu maddesi adı verilir. Metal oksitler, grafit, silika polimerin sertliğini ve kimyasal direncini, seramik oksitler ve silika polimerin ısıl dayanımını arttırır. Karbon siyahı özellikle elastomerlerde kullanılan aktif bir dolgu maddesidir. İntert dolgu maddeleri, polimer özelliklerini olumlu yönde etkilemezler, yalnız polimerik ürünün fiyatını düşürürler. Kalsiyum karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) en yaygın

kullanılan dolgu maddelerinden birisidir. Bazı dolgu maddeleri ve polimerler üzerindeki önemli parametreleri Tablo 2.2’de belirtilmiştir. [9]

Tablo 2.2: Dolgu maddeleri ve önemli parametreleri

Özellik	Cam Elyaf	Mika	Talk	Kaolin	Cam Kürecik	Kalsit
Çekme Mukavemeti	+++	+	+	+	+	+
Esneklik Modülü	+++	+	+	+	+	+
Darbe Mukavemeti	+	+	-	-	-	-
Genleşme	-	-	-	-		+
Kalıp Çekmesi	-	-	-	-	-	-
İzotropi / Tolerans	--	+	+	+	++	++
Isı iletkenliği	+	+	+	+	+	++
Elektrik Mukavemeti	0	++		++	0	0
Isısal Kararlılık	0	+	+	+	0	0
Sertlik	+++	+	+	+	++	+
Kimyasal Mukavemet	+	0	0	0	+	0
Aşınma	++++	0	+	0	0	0

### 2.2.1. Polipropilen ve mineral dolgular

Dolgular polimerlerin hacmini arttırmak ve özelliklerini iyileştirmek için hammadde içerisine ilave edilen, plastik matrislerinden yapı ve oluşum olarak farklı olan katı katkılardır. İnorganik mineraller daha pahalı reçineler ile karıştırıldıklarında tatmin edici maliyet avantajları sunmaktadır. Bu şekildeki dolguların ilave edilmesi ısı kararlılığı arttırmakta, artan kalıplanabilirlik, daha büyük sertlik ve rijitlik gibi faydalar sunmaktadır. Dayanım, ısı ve elektriksel ve iletkenlik, yanmazlık gibi özellikler ise ihtiyaçlara göre uyarlanabilmektedir. [11]

Polimer içerisine eklenen ikincil komponent (dolgu veya takviye edici) kristalin yapısını değiştirmekte ve dolayısıyla çeşitli özelliklerinde değişikliklere yol açmaktadır. Partikül dolguların en önemli etkisi çekirdeklendirici aracı olarak hareket etmeleri ve ilave edildiği polimere çekirdeklenebilme kabiliyeti



kazandırmasıdır. Tam olarak çekirdeklendirici araçların tarifi ve sınıflandırılması açık bir şekilde yapılmasa da “Varga talkı” aktif çekirdeklendirici olarak sınıflandırmış, CaCO<sub>3</sub> karbon siyahı, dolomiti ise inaktif çekirdeklendirici olarak sınıflandırmıştır.

Son yıllarda dolgulu plastikler ve kompozit malzemeler özellikle teknik uygulamalarda artan önemli bir rol oynamaktadırlar. PP malzemelere dolguların ilave edilmesi sertliğini, elastisite modülünü, eriyik viskozitesini artırır. Buna karşılık uzama, darbe dayanımı, eriyik indeksinde genellikle düşüş elde edilmiştir. Belirli oranlara kadar dolgu yüklemesinin yararları olduğu gibi limit değerlerin üzerine çıkılması durumunda topaklaşmalardan dolayı özelliklerin kötüleşmesine neden olmaktadır .

Kompozitlerin mekanik ve diğer özellikleri üzerine dolgunun etkisi kuvvetli bir biçimde dolgu şekli, partikül boyutu, topaklaşma derecesi, yüzey karakteristikleri ve dolgu maddesinin dağılım derecesine bağlıdır. Kısmi kristalin polimerlerde önemli bir bakış açısı da kristalin morfolojisi üzerinedir. Çünkü malzemenin en son özellikleri öncelikle kristalinite derecesi, küreselliklerin boyutu, lamelar kalınlık ve kristalin yönelmesi gibi mikroyapısal faktörlere dayanmaktadır. Yüksek kristalinite derecesi ile iPP' ler gevrek karakteristiklere ve ~0 °C civarındaki düşük sıcaklıklarda yetersiz darbe dayanımına sahiptirler . [9]

Kısmi kristalin polimerik malzemelerde talk, kalsiyum karbonat, vollastonit, kil gibi maddeler kuvvetli olarak kristalizasyon prosesine, kristalleşme derecesine etki ederler ve kristallenme başlangıç sıcaklığını arttırmaktadırlar. Yapısının modifiye edilebilmesi ve özelliklerin uygulamalara bağlı olarak geliştirilebilme olanağı bulunan PP' in özelliklerini uyarılmanın bir yolu da uygun inorganik mineral dolguların ilavesi ile yapılabilmektedir. Bu bağlamda talk ve kalsiyum karbonat hammadde özelliklerinin iyileştirilmesi için diğer inorganik dolgulara (vollastonit, mika, kaolin gibi ) nazaran PP ile birlikte en çok kullanılan dolgular içerisinde yer almaktadır .

CaCO<sub>3</sub> minerali ekonomik oluşu, kullanışlığı, geniş partikül dağılımında üretilebilirliği ve mekanik özelliklere katkısı, düşük sertlik gibi avantajları dolayısıyla plastik endüstrisinde çok yaygın olarak kullanılmaktadır.

Talk dolgulu PP günümüzde birçok uygulamada yaygın olarak kullanılmakta ve plastik pazarında imalat hacmi en yüksek olandır. Talkın yüzeyi PP için çekirdeklenme noktaları olarak hareket eder ve kristalizasyon özelliklerini etkileyerek kompozitin makroskobik özelliklerine etki edebilmektedir. Çeşitli araştırmalarda talkın çekme ve eğilme dayanımı gibi mekanik özellikleri artırıcı rol üstlendiği bildirilmektedir. Leong ve arkadaşları farklı dolgular üzerine yaptıkları çalışmalarda talkın kuvvetli bir çekirdeklendirici ajan olması sebebiyle polipropilen kompozitinin kristalinitesini arttırdığını rapor etmişlerdir. Naiki ve arkadaşları ise kristalleşme sıcaklığı ve erime sıcaklığının talk dolgusuz PP' lere göre daha yüksek olduğunu söylemişler ve bunu talkın çekirdeklendirebilme kabiliyeti kazandırmasına bağlamışlardır .

Bileşen özellikleri ve malzemelerin mekanik karakteristikleri açık bir şekilde arayüz boyutuna ve etkileşim kuvvetine dayanan ara yüz etkileşimlerinden etkilenirler. Özgül yüzey alanı dolguların en önemli karakteristiklerinden biridir ve polimer ile dolgu arasındaki bağlantı miktarını belirler. Büyük yüzey alanına sahip dolgular matris ve dolgu arasında daha fazla yüzey bağlantısına katkıda bulunur ve böylece kompozitin mekanik özelliklerinin artmasına katkı sağlamaktadır. Hammadde ile dolgu arasındaki etkileşimi arttırmak amacı ile belirli karışımlara belirli yüzdelerde bağlayıcı araçlar ilave edilmesi ve dolgu partikül yüzeylerinin işlenmesi uygulanmaktadır. Herhangi bir yüzey modifikasyonu PP' in katalitik aktivite vasıtası ile polimer matrisi ile dolgu yüzeyi etkileşiminden ve segmentlerin yönlendirmesinden dolayı çekirdeklerine kinetiklerinin değişmesine yol açabilir. Bu sebeple dolguların uygun bağlayıcı ile modifiye edilmesi moleküler segmentlerin hizalanmasını yükseltmektedir.

Tane boyutu küçük olan dolguların yapışma yüzey alanları daha fazla olduğundan tane boyutu büyük olan dolgulara nazaran daha iyi bir etkileşim göstererek istenen özellikleri daha iyi sağlamaktadırlar. Fakat tane boyutu küçüldükçe dolgunun

kompozit içerisinde topaklaşma eğilimi artmakta ve homojen olmayan bir yapıya sebebiyet vermektedir. Bağlayıcı ajanlar vasıtası ile ara yüzeyler arasındaki yapışma artırır ve dolgu partiküllerinin karışım içerisinde homojen olarak dağılımı sağlanır, böylece topaklaşmaların önüne geçilmesi ve mekanik özelliklerin olumlu yönde geliştirilmesi ve buna bağlı olarak ta kompozitin performansının artırılması sağlanır.

### 2.2.2. Kalsiyum karbonat

- Kimyasal formülü  $\text{CaCO}_3$  olan kristalleşmiş kalsiyum karbonat.
- $\text{CaCO}_3$ ' ün fiziksel ve kimyasal özellikleri: [10]
  1. Görünüm: Beyaz toz
  2. Erime Noktası:  $825\text{ }^\circ\text{C}$
  3. Parlama Noktası: Mevcut değil
  4. Buhar Basıncı: Mevcut değil
  5. Yoğunluk:  $2.7 - 2.9\text{ g/cm}^3$
  6. Suda Çözünürlük:  $0.1\text{ g/l}$
  7. pH Değeri:  $8.5 - 10$  arası

Ayrıca değişik çalışmalarda  $\text{CaCO}_3$  (kalsiyum karbonat) ve talkın tatmin edici özelliklerinin ortak olarak etkilerini araştırma amacı ile bu iki dolgunun beraber ilave edildiği hibrit kompozitler üzerine çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Leong ve arkadaşlarının 2004 yılında, talk ve  $\text{CaCO}_3$  (kalsiyum karbonat) dolgulu hibrit kompozitleri üzerine yaptıkları çalışmalarında PP matrisi üzerinde hibrit dolgunun kompozitlerin modülünü artıran ve dayanımını koruyan çekirdeklendirici etki yaptığını rapor etmişlerdir. Yapılan çalışmada özelliklerdeki değişimin kompozitte baskın olan dolgunun (oran olarak fazla olan) özelliklerini kazandığını göstermiştir. [12]

Dolgu özelliklerinin kompozitlerin özellikleri üzerine etkileri aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir:

Kimyasal bileşim: PP' in uygulama olanakları ve performansını doğrudan veya dolaylı olarak etkiler. Bileşimde ağır metallerin varlığı PP' in kararlılığını azaltır ve yetersiz saflık ürün rengini bozar.

Partikül boyutu, partikül boyutu dağılımı: Partikül boyutu azaldıkça dayanım artmakta, şekil değiştirme ve darbe dayanımı ise azalmaktadır. Partiküllerin hammadde içerisindeki dağılımı abrazyon. ürün görünümü, hasar karakteristiklerini etkilemektedir. [11]

Spesifik yüzey alanı: Yüzey alanı arttıkça matris/dolgu etkileşimi artmakta ve alana, çekme gerilmeleri ve darbe direnci gibi mekanik özellikler belirgin olarak etkilenmektedir.

Sertlik: Mineral dolguların sertliklerinin proses ekipmanlarının aşınması üzerine etki etmektedir.

Yüzey serbest enerjisi: Matris/dolgu ve dolgu/dolgu etkileşimlerinin her ikisini de etkilemektedir. Dolgu/dolgu etkileşimi topaklaşmaları belirlerken matris/dolgu etkileşimi mekanik özellikleri etkiler. Yüzey işleme ile her ikisi de modifiye edilebilmektedir.

Isıl Özellikler: Azalan ısı kapasite ve artan ısı iletkenlik soğutma süresini azaltır. Diğer taraftan ısı özelliklerdeki büyük değişiklikler dış yükler altında kompozitin performansına etki eden ısı gerilmelerin gelişmesine neden olmaktadır. [11]

### **2.3. Polimerlerin Mekanik Özellikleri**

Polimerlerden yapılmış ürünler kullanımları sırasında, değişik kuvvetlerin (yük, yükleme) etkisinde kalırlar. Örneğin; alışverişlerde kullanılan poşetlere, içlerindeki malzemenin ağırlığından dolayı aşağı doğru çekme, plastik yer döşemeleri üzerlerine basıldığında sıkıştırma, araçlarda kullanılan lastikler sıkıştırma yanında eğilme yükleri ile karşılaşılırlar.

Maddeler dışarıdan üzerlerine uygulanan kuvvetlere farklı yanıtlar verirler ve uygulanan yükün ağırlığına bağlı olarak koparlar, uzarlar, bükülürler, yırtılırlar, kırılırlar veya parçalanırlar. Mekanik özellikler, maddelerin çekme, sıkıştırma gibi dış kuvvetler karşısında gösterdikleri tepkilerin tamamını kapsar. Malzeme aylarca,

yıllarca veya saniyelerle ölçülecek kadar kısa süreli yük etkisinde kalabileceği gibi zamanla yükün büyüklüğü de değişebilir.

Polimerlerden üretilen malzemelerin çekme dayanımı, vurma dayanımı, sıkıştırma dayanımı, sertlik türü mekanik özellikleri, standart koşullarda veya malzemenin kullanılacağı koşullara yaklaştırılmış laboratuvar ortamında yapılan testlerle ölçülür. Test sonuçlarından, aşağıdaki iki temel bilgi elde edilir.

1. Polimerin test yapılan koşullara benzer ortamlarda, test edilen mekanik özellik açısından kullanılıp kullanılmayacağı anlaşılır.
2. Farklı malzemelerin benzer mekanik özellikleri karşılaştırılabilir. [9]

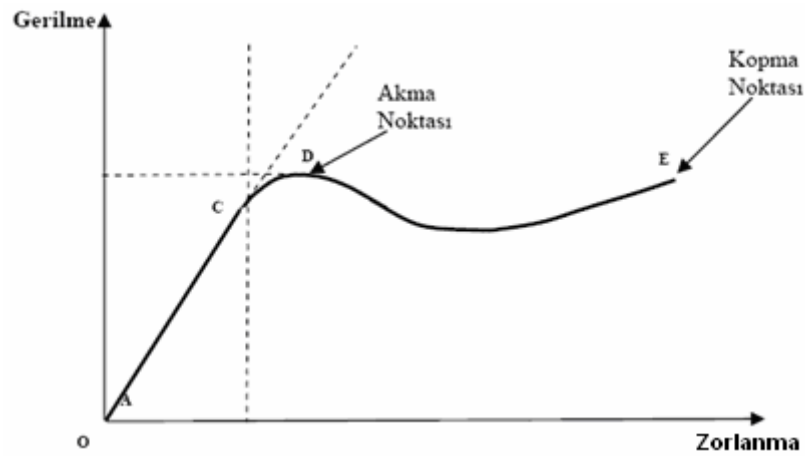
Polimerik malzemelerin davranışı hem bir katı gibi elastik hemde bir sıvı gibi viskoz davranışın bileşimi şeklindedir. Bu davranış biçimi viskoelastik olarak isimlendirilir. Polimerik malzemelerin mekanik davranışındaki dikkat çeken unsur, malzeme özelliklerine bağımlı olarak zaman ve sıcaklıkla sıkı bir ilişki içinde bulunmasıdır. Bir polimerik malzeme düşük sıcaklık ve yüksek çekme hızında elastik bir davranış sergilerken, yüksek sıcaklık ve düşük çekme hızında kauçuk benzeri toparlanabilir bir davranış sergileyebilir. Çok yüksek sıcaklık seviyelerinde bir sıvı gibi viskoz davranış, orta sıcaklık ve çekme hızı seviyelerinde ise hem camsı hemde kauçuk benzeri bir davranış gösterebilir. Polimerik malzemelerde elastisite modülü zamana bağlı olarak değişmektedir. Başta elastisite modülü olmak üzere birçok özelliklerin zamana bağlı olarak değişmesi modelleme çalışmalarını güçleştirmektedir.

Tasarım prosesi süresince deformasyon davranışını tahmin etmek için deneysel sonuçlara ve buna bağlı oluşturulacak matematik modellere ihtiyaç vardır. Bir modelleme esnasında göz önünde tutulması gereken özellikler şunlardır: a) Malzeme davranışı yüksek nonlineer uzama ve sıcaklık bağımlılığına sahiptir, b) Boşaltma eğrileri nonlineerdir, c) Akma davranışı hidrostatik basınç tarafından oldukça etkilidir, d) Sıfır gerilmede toparlanma belirgindir, e) Elastik bölgede sürünme ve gevşeme vardır. [6]

### 2.3.1 Polimerlerde karşılaşılan zorlanma ve gerilim ilişkileri

Polimerlerin çekme deneylerinde yapısal farklılıklara bağlı olarak değişik zorlanma-gerilim ile karşılaşılır. Şekil 2.5' de verilmiş olan zorlanma-gerilim eğrisi örnek bir eğridir. Şekil 2.6' de sık karşılaşılan ve polimerlerin mekanik özelliklerini tanımlayan bazı tipik zorlanma-gerilim eğrileri gösterilmiş ve aşağıda bu eğrilerin değerlendirmeleri verilmiştir. [9]. Buna göre şekil 2.6' nın açıklaması:

- Sert kırılğan polimerlerin young modülleri büyüktür, polimer yüksek gerilim ve düşük zorlanmalarda kopar.
- Sert ve dayanıklı polimerlerin young modülleri yüksek sayılabilecek düzeydedir. Ayrıca enerji absorpsiyonları iyi olduğu için dayanıklı polimerlerdir.
- Sert ve sağlam polimerlerin enerji absorpsiyonları en yüksektir, kopma dayanımları da yüksek sayılabilir. Akma noktasından sonra belirgin plastik deformasyona uğrarlar.
- Yumuşak ve dayanıklı polimerlerin elastik modülleri düşüktür. Bu nedenle boyut değiştirmeye yatkındırlar, kopmadan önce yüksek uzama gösterirler. Deformasyonlar genelde kalıcı değildir, elastiktir. Enerji absorpsiyonları yüksek olduğu için belli düzeyde dayanıklıdırlar.
- Yumuşak ve zayıf polimerler yüksek küçük gerilimlerde koparlar, enerji absorpsiyonları ve elastik modülleri küçüktür. Bu tür polimerlerde genelde tersinir deformasyon gözlenir.



Şekil 2.5: Polimerik malzemelerin tipik gerilme-zorlanma eğrisi.

A-C noktaları arasındaki doğru gerilme-zorlanmanın lineer olarak artış gösterdiği bölgedir. Hook Kanunu bu bölgede geçerlidir. C noktası gerilme ile zorlanmanın lineer artış gösterdiği son noktadır normalde bu noktanın tam olarak tespiti güçtür ve sapmalar olur. Oransal limitin altında polimerik malzemelerin davranışı elastiktir ve kuvvetli bir toparlanma davranışı sergilenir. Bu deformasyon anlık gelişir, toparlanabilirdir ve moleküllerin konumu birbirine göre değişmez. C noktasının ötesinde ise molekül zincirlerinin açılarak daha da düzleştiği bir durum meydana gelir. Akma noktasının (D noktası) ilerisinde ise toparlanamaz deformasyon türü oluşur ve zincirlerde birbirine göre kaymalar meydana gelir .

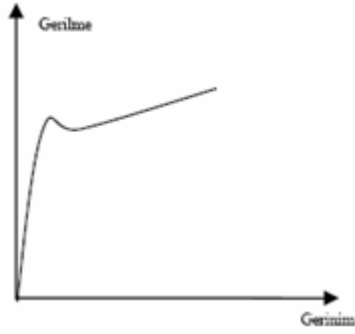
Genel anlamda polimerik malzemelerin deformasyon mekanizması yukarıda anlatılan aşamaların birbiri içerisine geçmiş şekilde eş zamanlı oluşumuyla meydana gelir asla belli bir sırayı takip etmez karşılıklı etkileşimi içeren bir süreçtir. Atomlararası bağlarda meydana gelen uzama ve bükülmeler ani gerçekleşen bir süreçtir. Fakat molekül zincirlerinin açılıp düzleşmesi yavaş işleyen bir süreç olup belli bir zaman sonrasında gelişir. Moleküllerin birbirine göre kayma etkisi ise bu deformasyon aşamalarından en yavaş olanıdır. Polimerik malzemelerin deformasyon süreci içerisinde gelişen bu üç aşama mekanik benzeşim olarak en iyi şekilde yay-sönüm elemanı ile benzeşim metodu vasıtasıyla açıklanabilir. Yay elemanı elastik davranışı açıklamak üzere alınır genelde lineer olarak seçilir. Burada yayın uzaması, deformasyon mekanizmasındaki bükülmeleri ve atomlararası uzamayı açıklar. Sönüm elemanı ise moleküler arası kaymayı açıklar. [6]



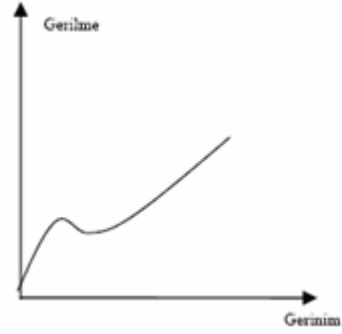
a.)



b.)



c.)



d.)



e.)

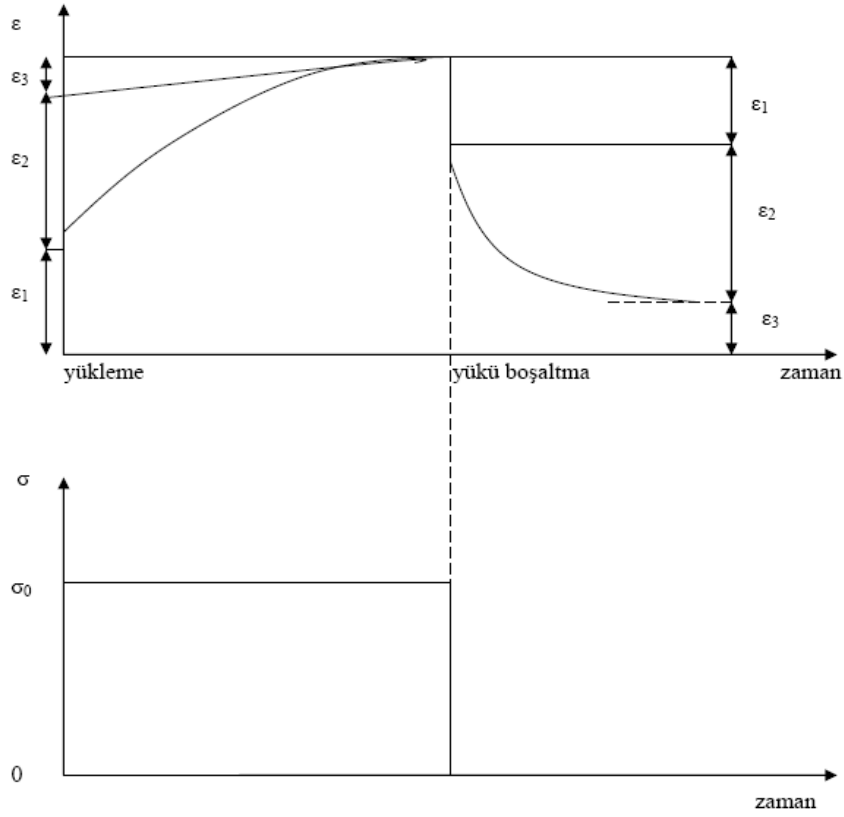
Şekil 2.6: Malzeme türlerine göre gerilme-zorlanma eğrileri

Liflerin ve sert polimerlerin young modülleri ve kopma gerilimleri oldukça yüksektir, ancak kopma zorlanımları düşüktür. Ve bu nedenle şekillerini değiştirmeye karşı yüksek direnç gösterirler. Termosetler çapraz bağlar nedeniyle serttirler ve young modülleri termoplastiklerin 3-10 katı kadardır. Camsı geçiş sıcaklığı oda sıcaklığı üzerinde olan polistiren, polietilen gibi termoplastikler sert polimerlere örneklerdir. [9]



Metallerle plastikler arasındaki en önemli fark, malzemenin tanımlanmasında kullanılacak özelliklerin seçilmesidir. Metallerde malzemenin tasarım ve tanımlanmasında elastisite modülü, kayma gerilmesi gibi özellikler kullanılabilir. Gerilme ve birim şekil değiştirme arasındaki ilişki belirli gerilme seviyelerine kadar lineerdir (Hooke Kanununun geçerli olduğu bölge) ve yük kaldırılınca başlangıçtaki şekillerine dönerler. Plastiklerde durum farklıdır. Birim şekil değiştirme-gerilme ilişkisi, yükleme zamanına bağlıdır ve yük altında malzemede sünme oluşur. Bu özellik, çeliğin yüksek sıcaklıklarda gösterdiği özelliklere benzetilebilir. Sıcaklığın artmasıyla sünme miktarı da artar. [13]. Oda sıcaklıklarında, polietilen viskoelastik bir malzemedir. Viskoelastik malzeme gerilmeye maruz kaldığında, sanki viskoz bir sıvıyla elastik bir katının kombinasyonuymuş gibi davranır. Viskoz bileşen uzama ve gerilme arasında bir damper gibi davranır. Örneğin plastik malzemeye sürekli bir yük uygulanırsa, ani artışlı bir deformasyon görülür ve artış hızı giderek azalır. Lineer viskoelastik teoride; yük, deformasyon ve zaman parametreleri lineer diferansiyel bir denklemlerle birbirine bağlıdır. Gerilme ve uzama tek sabitle birbirine bağlıdır. Bu sabit ise, uygulanan gerilmenin genliğinden ve verilen sıcaklıktaki uzamadan bağımsız, uygulama süresine bağlıdır. Yüksek gerilme seviyesinde, büyük bozunma şartlarında ve yüksek sıcaklıklarda, viskoelastik davranışları lineerliklerini kaybeder [13-14].

Şekil 2.7’de plastik bir numuneye yük uygulanmasıyla oluşan birim şekil değiştirme zaman ve uygulanan gerilme-zaman eğrileri görülmektedir. Şekilde üç farklı birim şekil değiştirme bölgesi görülmektedir. İlk önce oluşan  $\varepsilon_1$  Hooke kanununa uygun elastik birim şekil değiştirmedir.  $\varepsilon_2$  gecikmiş elastik birim şekil değiştirmedir (birinci sünme olarak da adlandırılır). Zamanla kademeli olarak ilk haline döner. Son olarak viskoz birim şekil değiştirme  $\varepsilon_3$  (ikincil sünme) oluşur ve hiçbir zaman ilk haline dönemez. Birim şekil değiştirme ve zaman arasındaki bu ilişki viskoelastik malzemelerde görülür. Her gerilme değeri birim şekil değiştirme ve zaman arasında yeni bir ilişki meydana getirir.  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$  arasında farklı gerilme seviyelerindeki oran sabit ise malzeme lineer viskoelastiktir. [15]



Şekil 2.7: Plastik numuneye sabit  $\sigma_0$  gerilmesi uygulanmasıyla oluşan birim şekil değiştirme-zaman grafiği

### 2.3.2 Sürünme

Şekil 2.5 ile verilen yarı kristalin polimerlerin tipik plastik deformasyon eğrisi, polimerleri koparacak kadar yüksek gerilimler uygulanarak çizilmiştir ve gerilim yüksek olduğu için plastik deformasyonun başladığı akma verimi (akma verimi elastik limittir ve bu nokta üzerindeki gerilimlerde kalıcı deformasyon başlar) de geçilmiştir. Polimerlerden yapılan ürünler boyutlarını, plastik deformasyonun başladığı gerilimlerden (akma verimine neden olan gerilimden) daha düşük gerilimlerde koruyabilirler. Akma verimi üzerindeki gerilimlerde malzemede deformasyon başlar ve şekil değişiklikleri gözlenir. Bunlar kısa süreli yüklemeler için geçerlidir.

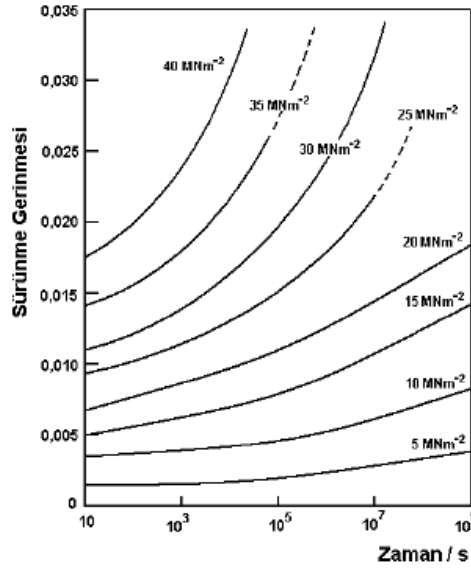
Polimerler, akma verimi altındaki küçük sayılabilecek gerilimler uzun süreli uygulandığında da deformasyona uğrayabilen malzemelerdir. Sürünme adı verilen bu

davranış, akma verimine karşılık gelen gerilimlerden daha küçük sabit gerilimlerde, malzemede zamana bağlı gelişen deformasyonlar şeklinde tanımlanır. Bir başka yaklaşımla sürünme, uzun süreli küçük yüklemelerde karşılaşılan soğuk akmadır. Sürünme deneyinde polimer üzerine, deformasyona yol açmayacak büyüklükte bir ani yükleme yapılır. Uzun süre bu küçük yük etkisinde kalan polimer uzayarak deformasyona uğrar ve zamanla deformasyon miktarı izlenir. [9]

Mekaniksel yük altındaki malzemelerin mukavemetini kimyasal kompozisyon ve mikro yapı, makro-hatalar (örn. gözenekler, yüzey çatlakları, vb) ve kütle hasar yığılmaları (örn. stres konsantrasyonları) belirler. Farklı malzemeler için makro-hata ve kütle hasar yığılmalarının etkileri farklı olmaktadır. Kütle hasar yığılmaları bazı malzemelerde mukavemeti çok düşürürken bazılarında ise çok fazla etki etmemektedir. Yığılma hasarları stres konsantrasyonu olan bölgelerde aşırı artış gösterirken daha zayıf bölgelerde daha az etkilidir. Örneğin polietilen malzemeler sıcaklıkla birlikte sabit yük altında yavaş ve kontrollü çatlak ilerlemesi sonucu gevrek kırılma özelliği sergilerler. Bazı polietilen reçinelerde çatlak ilerleme hızı güç kanunu eşitliğinde (*Power Law*,  $\epsilon_s = \beta \sigma^n$ ) belirtildiği üzere büyüyen çatlağın ucundaki stres yığılmasına (intensification) bağlıdır. Kütle hataları çatlak oluşumu ve ilerleme hızı açısından önemlidir. Bu nedenle sürünmeye karşı direncin artırılması ve böylece malzeme kullanım ömrünün uzatılması açısından diğer faktörlerle birlikte özellikle kütle hataları ve mikro gözeneklerden arınmış malzemelerin imal edilmesi hususuna dikkat edilmelidir.

Polimerler nispeten düşük çekme modülü ve düşük özgül kütleyle sahip olmakla birlikte değişen dayanım ve sertlik değerleri gösteren malzemelerdir. Plastik sıvı ve gaz borularında olduğu gibi sabit yük altında çalışan polimer ürünlerde belirlenmiş kullanım süreleri içerisindeki zamana bağlı olarak sürünme dayanımının nasıl değiştiğini bilmek zorunludur. Bununla birlikte birçok ürün kesikli yüklemelere maruz kalmaktadır. Bu durumda malzemedeki yük kaldırıldığında sürünme durmuş olur, bu ise ürünün genel olarak sürünme dayanım ömrünü uzatır. Halihazırda basınçlı boru sistemlerinde uPVC (plastikleştirici katılmamış polivinilklorür) ve OYPE plastik malzemeler daha çok kullanılmaktadır.

Polimer malzemeler sürünme test sonuçlarının sunumunda kullanılan grafiklerden biriside Şekil 2.8` de verilen lineer zorlanma ve log-zaman eğrileridir. Şekildeki diyagram standart boru malzemesi olan PVC`nin 20 °C sıcaklıkta test edilmesi ile elde edilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere sürünme hızı uygulanan stresin artmasıyla artış göstermektedir. Ayrıca diyagramda sabit gerilmelerde özellikle yüksek stres değerleri için sürünme artış hızı zamana bağlı olarak artış göstermektedir.

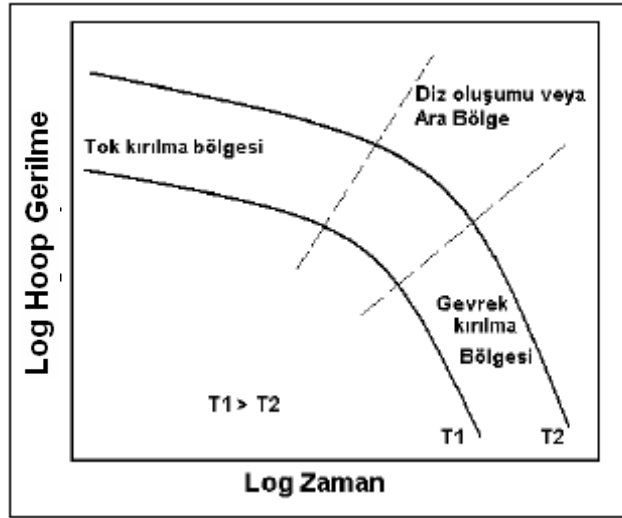


Şekil 2.8: PVC boru malzemesinin 20 °C`de çekme sürünmesi

Çekme gerilmesine nazaran çok düşük gerilmelerde "Hooke yasası"nı esas alan klasik eşitlikler sürünme modülü tasarımıda farklı gerilme seviyeleri için kullanılabilir. Polimerlerin kullanımında özellikle poliolefin gibi düşük camsı sıcaklığına sahip malzemelerin sıcaklığa karşı çok duyarlı oldukları unutulmamalıdır. Bu malzemelerin oda sıcaklığında yapılarının bir bölümünün amorf ve yarı elastik halde olması nedeniyle sürünme hızları camsı sıcaklığı 20 °C`nin çok üzerinde olan diğer polimer malzemeler (PVC, PMMA ve PC) ve yüksek çapraz bağlı termoset malzemelere (amino-plastikler, kauçuk, epoksi ve poliüretan) nazaran daha fazla olacaktır.

Sıcaklığa bağlı olarak yapılan sürünme deneylerinde, OYPE ve YYPE termoplastik malzemelerde gerilme ve zamana bağlı tipik kırılma diyagramı Şekil 2.9` da verilmiştir. Belirli bir süre sonunda eğriler diz oluşturmakta ve davranış değişimi

gözlemlenmektedir. Diz oluşumu öncesinde kırılan malzemelerde yumuşak kırılma gözlemlenirken diz oluşumu üzerindeki kırılmalar gevrek kırılma özelliği sergilemektedir. Sıcaklık artışı ise genel olarak malzeme mukavemetini ve dayanım süresini düşürmektedir. [16]



Şekil 2.9: Polietilen boruda kırılmanın iki farklı sıcaklık için gerilme - zaman ilişkisinin şematik gösterimi. (Hoop Gerilme – çevresel gerilme)

Malzemeye etkiyen kuvvet, çekme kuvvetidir. Sürünmenin başlangıcında polimer zincirleri üzerindeki bağlar gerilir ve rastgele katlanmış zincirler açılırlar. Zamanla zincirler birbirleri üzerinden kaymaya başlarlar ve malzemenin boyu uzar. Yeterince beklendiğinde ise zincirler birbirlerinden ayrılarak veya kırılarak malzeme kopar (sürünme kopması). Sürünme kopmasının sayısal değeri, izin verilebilir gerilim miktarını göstermesi (malzemenin dayanabileceği gerilim) açısından önemlidir.

Kopma noktasından önce gerilim kaldırıldığında, malzemedeki elastik deformasyonun küçük bir kısmı hızla kazanılır, geri kalan kısmının kazanılması zaman alır. Bazı durumlarda malzeme kalıcı deformasyona uğrar.

Polimerlerin sürünme düzeyi, polimerlerin kimyasal yapısına, uygulanan yükün büyüklüğüne, sıcaklığa ve yük uygulama zamanına bağlıdır. Zincir hareketleri zor olan polimerlerin sürünme oranı düşüktür. Bu nedenle zincir hareketlerini kısıtlayan

yüksek mol kütlesi, kristalite, çapraz bağ, ve zincire sertlik veren yan gruplar sürünmeyi azaltır.

Sürünme deneyinde gerilim sabittir. Ancak zorlanma sabit kalmayacağından sürünme modülü zamanla değişir ve sayısal değeri küçülür. Bu sonuç, malzemelerin boyut değiştirmeye karşı kısa süreli yüklemelerde daha dirençli olduğunu, uzun süreli yüklemelerde ise malzemenin sıkılığını kaybedeceği anlamına gelir. [9]

## **2.4. Taguchi Yöntemi**

### **2.4.1. Kalitenin gelişimi**

Günümüzdeki ekonomik ve teknik gelişmeler, üretimden tüketime kadar her aşamada meydana gelen değişimler, mal ve hizmet kalitesinin önemini artırarak çok sayıda kalite sorununu da beraberinde getirmiştir. Böylece kalite kavramı bir çok ürün tasarımcısını, mühendisi, girişimciyi ve tüketiciyi ilgilendiren bir konu haline gelmiştir. [17]

1924 yılında matematikçi olan Walter Shewhart, seri üretim ortamında kalitenin ekonomik olarak kontrolü için bir yöntem olan istatistiksel kalite kontrolü kavramını gündeme getirip ilk defa kontrol kartlarını uygulayan kişi olmuştur. [18]. İstatistiksel süreç kontrol uygulamalarının kalite kontrol alanındaki yenilikçi özelliği II. Dünya Savaşı sonrasına kadar gelişerek devam etmiştir. Savaş sonrası yıllarda Endüstri Mühendisliği ve üretim yönetimi tekniklerinin gelişmesi kalite sağlama çalışmalarına da yeni bir boyut kazandırmıştır. Bu dönemde toplumların kaliteli ürünlere olan talebinin artmaya başlaması, bilgi paylaşımına dayalı kalite sağlama uygulamalarının gelişmesine yol açmıştır. 1949 yılında ABD’de kurulan Amerikan Kalite Kontrol Derneği (ASQC), izleyen yıllarda dünyanın çeşitli ülkelerinde benzer amaçla kurulan ulusal organizasyonların ilk örneği olmuştur. 1949 yılında Japon Bilim adamları ve Mühendisleri Derneği (JUSE) kurularak kalite kontrol konusunda çalışmalara başlamış ve bu dönemde Japonya’da bulunan Dr. Deming İstatistiksel Kalite Kontrol konusunda seminerler vermiştir. Deming’in verdiği seminerlerden derlenen notlar

Deming'in "İstatistiksel Kalite Kontrolü Dersleri" olarak JUSE tarafından yayınlanmıştır. Deming'in seminerlerinin ardından 1954 yılında bir diğer kalite kontrol uzmanı Dr. Joseph M. JURAN, JUSE tarafından seminerler vermek üzere Japonya'ya davet edilmiştir. Juran, kalitenin esas olarak yönetimin sorumluluğu olduğu konusunda Japonları yönlendirmeye çalışmış ve gerçekleştirdiği istatistiksel çalışmalara yönetsel bir kalite kontrol boyutu kazandırmıştır. Juran'ın 1951'de yayınladığı "Kalite Kontrol El Kitabı" kalite kontrol hareketinin önemli kaynağı olarak kabul edilmiştir. [17]. Toplam Kalite Kontrolü (TKK), Deming, Juran, Feigenbaum ve Japonya'da kalite uygulamalarına katılan diğer kalite öncüleri tarafından 1950'li yıllarda geliştirilen bir sistemdir.[19]. Feigenbaum'a göre Toplam Kalite Kontrol, " bir organizasyondaki değişik grupların kalite geliştirme, kaliteyi koruma ve kalite iyileştirme çabalarını müşteri tatminini de göz önünde tutarak üretim ve hizmeti en ekonomik düzeyde gerçekleştirebilmek için birleştiren etkili bir sistem olarak tanımlanmaktadır. Toplam Kalite Kontrol pazarlama, tasarım, üretim, kontrol ve dağıtım bölümleri de dahil olmak üzere bütün bölümlerin katılımını gerektirmektedir. [18]

TKY (toplam kalite yönetimi)' nin uygulama alanı olan kalite çemberleri, sorun çözme grupları biçiminde ilk defa 1960'lı yıllarda Japonya'da gelişme göstermiştir. Çalışmalar, İkinci Dünya Savaşı sonrasında Japon mallarının ucuz ve kötü kaliteli imajını silmek amacıyla Japon Bilim Adamları ve Mühendisleri Birliği (JUSE) eğitim programlarının hazırlanmasıyla hız kazanmıştır.

KFY (kalite fonksiyonu yayılımı), tüketicinin satın almak istediği ürün/hizmetlerin tasarımı, üretimi ve pazarlanması amacıyla, kuruluş içindeki beceriler üzerinde yoğunlaşarak gerekli eşgüdümü sağlayan bir dizi planlama ve iletişim süreçlerinden oluşan sistematik bir yaklaşımdır. KFY, yalnızca pazara ürün sunma süresini kısaltan bir teknik değil, aynı zamanda müşteri beklentilerinin daha tasarım aşamasında ürün veya hizmetlere yansıtılmasını sağlayan bir yöntemdir. KFY uygulaması süresince tasarım grubu müşterinin ne istediğini tahmin etmeye çalışarak, daha sonra bunu başarmak için gerekli yöntemleri saptamaya çalışmaktadır. KFY çalışmasında dört temel aşama vardır: tasarım, detay, uygulama ve ürün. Bu aşamalar, tasarım

bölümlerini müşteri tatminini gerçekleştirmeye yönelik çalışmalara yönlendirmektedir.

Kalite için deney tasarımı ( Design of Experiment ) veya Taguchi yöntemi adıyla bilinen bu yöntem, bir sürece etkisi olabilecek değişkenlerin süreçteki göreceli etkilerinin ağırlıklarını istatistiksel yollarla geliştirilmiş kontrollü denemeler sonucunda saptamaktadır. Japon mühendisleri hedeflenen kalitedeki ürünü üretebilmek için geleneksel süreç kontrolünden başka yöntemler aramışlardır. Üretim süreci değişikliklerinden ve çevre değişkenlerinden etkilenmeden, hedeflenen kaliteyi sağlayabilmek için kalitenin ürün ve süreç ile tasarlanması gerektiğini savunmuşlardır.

#### **2.4.2 Taguchi deney tasarımı**

Kalite geliştirme çalışmalarının en önemli amaçlarından biri, her bir ürün ve süreç için kalitenin tasarlanmasıdır. Bu faaliyetlerin en büyük parçasını istatistiksel deney tasarımı oluşturur. Ne yazık ki istatistiksel deney tasarımı yöntemleri ülkemizde çok geniş kapsamda kullanılmamaktadır. Bunun yerine geleneksel tasarım yöntemleri tercih edilmektedir.

Deney tasarımı, istatistik biliminin babası sayılan Sir Ronald Fisher tarafından tarım alanında araştırmalar yaparken, 1920' lerde bulunmuş ve geliştirilmiştir. Fisher ayrıca deney verilerinin analizi için bugün klasik sayılan “varyans (değişkenlik) analizi” (ANOVA) yöntemini de geliştirmiştir.

Dr Genichi Taguchi, Japonya'da 1940' lı yıllardan itibaren kalite konusunu araştıran ve son derece önemli çalışmaları bulunan Japon makine mühendisidir. Dr. Taguchi'nin bu çalışmaları 20.yüzyılın belki de en önemli kalite mühendisliği başarısı olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca Taguchi, “Kalite Mühendisliği” kavramı ortaya atan kişi olarak da anılmaktadır. Taguchi'ye göre kalite mühendisi ürün ve süreç kalitesini iyileştirmek için istatistiksel deney tasarımı kullanarak, bir ürünün araştırma, geliştirme, süreç tasarımı, üretim ve müşteri memnuniyetinin



sağlanması işlemlerinin her aşamasında olması gereken ve tüm işlemleri enuygun düzeyde yürüten kişidir.

Dr. Taguchi tasarım problemlerini tanımlamada geleneksel hata denetleme yaklaşımlarının önemli eksiklikler içerdiğini tespit etmiş ve kendisi istatistiksel deney tasarımına dayalı, belirli bir sistematığe sahip yepyeni bir felsefe ve yöntem geliştirmiştir. [18]

### **2.4.3 Taguchi felsefesi**

Taguchi'nin felsefesi şu şekilde özetlenebilir;

I. Üretilen bir ürünün kalitesine ait önemli bir boyut da o ürünün toplumda meydana getirdiği kayıptır.

II. Rekabetin olduğu bir ekonomide kaliteyi sürekli geliştirmek ve maliyetleri azaltmak işletmenin kalıcılığı için zorunludur.

III. Sürekli bir kalite geliştirme programı ürün hedef değerlerinden sapmaları sürekli azaltmayı içerir.

IV. Bir ürünün performansındaki bir sapmadan dolayı tüketicide meydana gelen kayıp yaklaşık olarak o sapmanın karesi ile orantılıdır.

V. Üretilen bir ürünün nihai kalitesi ve maliyeti (geniş bir şekilde) ilgili ürünün tasarım mühendisliği ve üretim prosesi tarafından belirlenir.

VI. Bir ürünün performansındaki sapmayı azaltmak için ürünün performans karakteristikleri üzerinde etkili olan parametrelerin lineer olmayan etkilerini kontrol altına almak gerekir.

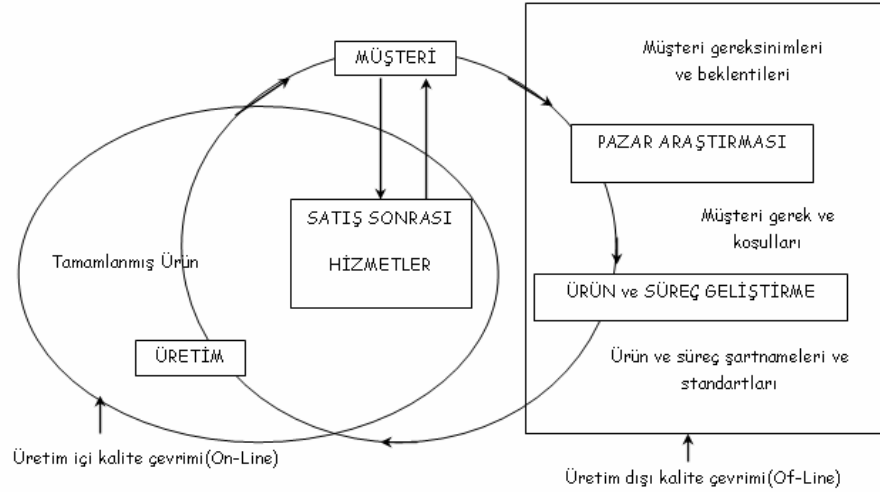
VII. İstatistiki olarak tasarlanmış deneyler ürün veya proseslere ait performans sapmalarını azaltmak için kullanılır.

#### 2.4.4 Taguchi üretim, kalite sistemi ve deney tasarımı

Kaliteyi sağlamak için yapılan faaliyetler Taguchi tarafından On-line ve Off-line olmak üzere iki bölüme ayrılmıştır. Deney tasarımı, Taguchi'nin kalite sisteminde, off-line kalite kontrol içinde, ürün ve proses tasarımı aşamalarında kullanılmaktadır. [20]

**On-line kalite kontrol;** ürün imalatı sırasındaki ve imalat sonrası, örneğin servis sırasındaki, kalite faaliyetlerini kapsar. İstatistiksel proses kontrolü ve çeşitli muayeneler, on-line kalite kontrol faaliyetlerindedir.

**Off-line kalite kontrol;** pazar araştırması ile ürün ve üretim prosesinin geliştirilmesi sırasında gerçekleştirilen kalite faaliyetlerini içermektedir. Kalitenin üretimden önce tasarım aşamasında başladığını ifade eden Taguchi'nin yöntemini anlamak için üretim/kalite çevriminden yararlanmak faydalı olacaktır. Üretim/kalite çevrimi Şekil 2.10'da verilmiştir.

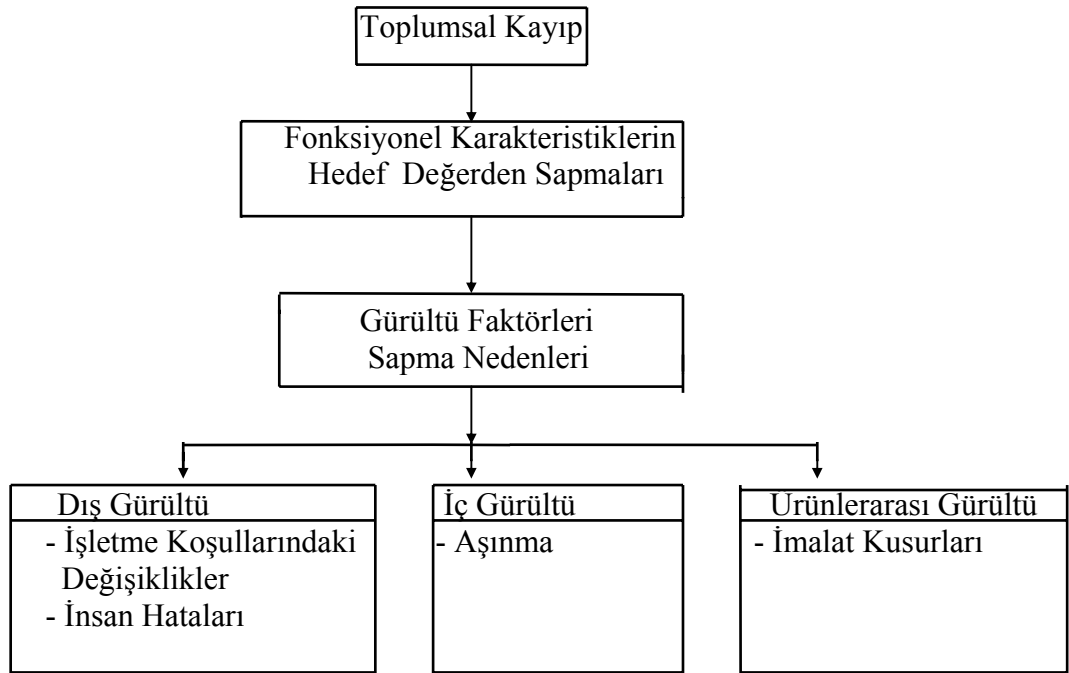


Şekil 2.10: Üretim kalite çevrimi

Üretim dışı kalite kontrol sistemi, ürünlerin kullanım ömrünün arttırılması, üretim ve geliştirme maliyetlerinin azaltılması ve üretilebilirlik seviyesinin iyileştirilmesi hedefler. Genel olarak bu çalışmalar ürüne doğrudan müdahale yerine üretimden önce yapılan deneysel tasarım uygulamalarını içeren çalışmalardır. Bunun için

müşteri istek ve beklentilerinin doğru olarak belirlenmesi ve bu isteklere uygun ürün tasarımının yapılıp, tasarımı yapılan bu ürünün ekonomik olarak üretilmesi gerekmektedir. [18]

İkinci ilke ise, kayıp kavramı ve tasarım kavramını temel almaktadır. Taguchi kaliteyi, ürünün yeterli bir kalite düzeyine ulaşmaması durumunda uğradığı kayıp olarak tanımlamaktadır. Bu kayıp müşterinin memnuniyetsizliği, yenileme veya tamir maliyetleri, pazardaki imaj kaybı ve pazar payı kaybı olarak ifade edilebilir. Taguchi oldukça istatistiksel olan yaklaşımına bağlı kalarak, bir ürünün yalnızca spesifikasyonlara uymaması durumunda değil, aynı zamanda bir hedef değerden sapması durumunda da bu kaybın ortaya çıkacağını ifade etmektedir. Kalite kaybı, bir ürün teslim edildikten sonra topluma yüklenen bir kayıptır. Bu toplumsal kayıp bir ürünün istenilebilirliğini belirler. Burada kaybın az olması ürünün istenilebilirliğini artırır. Taguchi için toplumsal kayıp kalite maliyetine ilişkin kararları etkiler. Diğer bir deyişle, kalite geliştirme için yapılan yatırımlar, yalnızca işletmede değil, toplumda yaratacağı tasarruflarla karşılaştırılmalıdır. Sonuçta, toplum işletmeyi toplumda sağlayacağı tasarruflara bakarak ödüllendirecek veya cezalandıracaktır. Taguchi'nin topluma olan kayıp düşüncesi aşağıdaki şekilde gösterilebilir:



Şekil 2.11: Taguchi toplumsal kayıp şeması

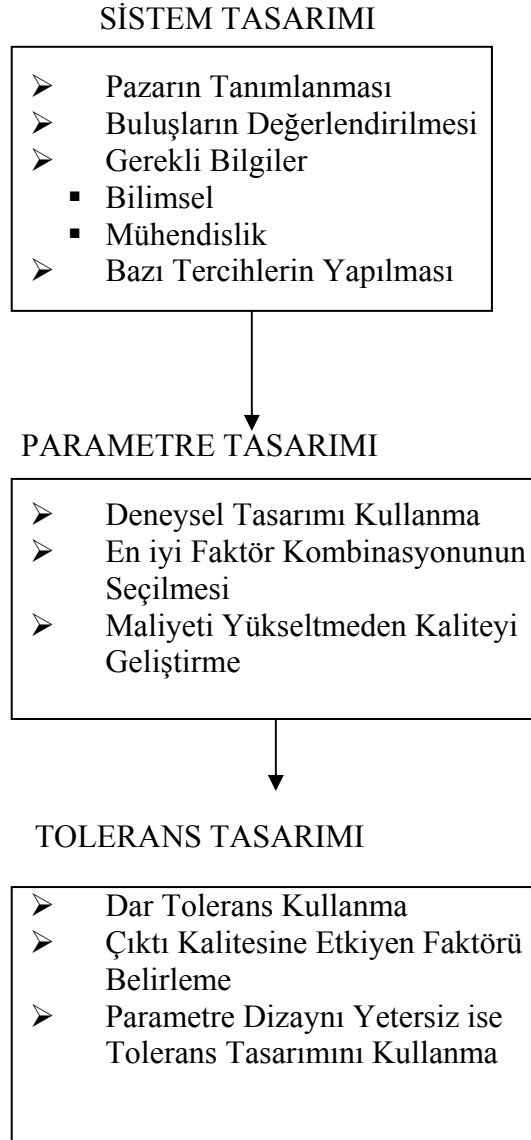
Gürültü değişkenleri; dış gürültü, iç gürültü ve birimler arası gürültü olmak üzere üç ana grupta incelenmektedir.

- Dış gürültü: Çevresel koşullardaki farklılıktır. Örneğin sıcaklık, nem oranı, voltaj ve toz gibi kontrol edilemeyen değişimlerdir.
- İç gürültü: Yıpranma, zamanla ve kullanma sonucu oluşan ürün aşınması, metal yorgunluğu gibi yıpranmalardır.
- Birimler arası gürültü: Aynı özelliklere göre üretilmiş olmasına rağmen, birimden birime görülen farklılıktır. Bu tür farklılığın nedeni hammadde farklılıkları ve üretim sürecindeki farklılıklar olabilir.

Off-line kalite kontrol metotları ürünlerin kullanım ömrü, üretim ve geliştirme maliyetlerini azaltarak, üretilebilirlik ve ürün kalitesini iyileştirmek için kullanılır. Taguchi Off-line kalite kontrolün her iki aşamasında da kalite güvenilirliğini sağlamaya yönelik üç aşamalı bir yaklaşım getirmiştir. Kalite sağlama aşaması olarak hem ürün tasarımı için hem de proses tasarımı için tanımlanan kalite aşamaları; sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımı aşamalarıdır. Taguchi metodunun sistematüğini oluşturan, kalite aşamaları Şekil 2.12’de gösterilmiştir. [20]

#### **2.4.4.1. Sistem tasarımı**

Sistem tasarımı metodun ilk aşamasıdır. Bu aşamada tasarımcı tarafından yapıların değişimi incelenir, bir ürünün istenen fonksiyonları elde edebilmesi için teknolojiler tasarlanır ve ürün için en uygun olan bir tanesi seçilir. Üretilmesi düşünülen ürünle ilgili; pazarın tanımlanması, buluşların değerlendirilmesi, bilimsel ve mühendislik bilgilerinin toplanması, malzeme ve ekipmanla ilgili gerekli tercihlerin yapılması bu aşamanın konusunu oluşturur. Ayrıca burada malzeme alımında, ürün ağacındaki parçaların özelliklerinin iyileştirilmesinde bir takım kararlar verilir. Kalitenin tasarımı ve geliştirilmesi çalışmalarının yatırıma dönük aşaması da denilebilir. Burada temel amaç, üretim aşamasında, spesifik limitler ve toleranslar dahilinde en düşük maliyetle, mamul üretimini gerçekleştirmektir. Bunun için pazar araştırması, teknolojik gelişmeler ve bilimsel buluşlardan faydalanılabilir. [20]



Şekil 2.12: Taguchi metodunun sistematığı

#### 2.4.4.2. Parametre tasarımı

Taguchi'ye göre, ürün kalitesini iyileştirmede en belirleyici çalışmaların yapılabileceği aşama, hem ürün hem de proses tasarımı için parametre tasarımı aşamasıdır. Ürün Parametre Tasarımı, ürün parametrelerinin, malzeme formülasyon değerleri, çeşitli boyutlar, yüzey örnekleri gibi, optimal değerlerin belirlenmesi anlamına gelmektedir. [21]

Ürün Parametre Tasarımı ve Proses Parametre Tasarımında temel amaç, üründe ve prosesde değişkenlik (hedef değerden farklılık yani kalitesizlik) yaratan kontrol

edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin (parametrelerin) değerlerini optimal seçerek, ürün ve prosesdeki değişkenliği en aza indirmektir. Taguchi, bu amaçla yapılan ürün ve proses tasarımına **sağlam tasarım** (robust design) demektedir. Burada sağlam, kontrol edilemeyen faktörlere, örneğin, nem, toz, ısı gibi çevre koşullarına, müşteri kullanımındaki farklı uygulamalara ve malzemedeki farklılıklara karşı duyarsız, yani onlardan etkilenmeyen, ürün ve proses anlamında kullanılmaktadır. Sağlam Tasarımda, kalitesizlik yaratan ve kontrol edilemeyen bir faktörün etkisi, kontrol edilebilen başka bir faktörün ayarlanması sonucu azaltılmaktadır. Deney tasarımı bu amaçla kullanıldığı zaman, maliyeti artırmadan kaliteyi geliştirmek mümkün olmaktadır.

Ürün ve proses parametre tasarım aşamalarında, optimal değerlerin belirlenmesi ve optimal ayarların yapılması gereken çok sayıda faktör vardır. Üstelik bu faktörlerin bir çoğu birbirleriyle etkileşim durumundadır. Bu kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen faktörlerin, ürün ve ürünün performansına olan etkilerinin belirlenebilmesi için en etkin yöntem istatistiksel deney tasarımı yöntemidir. Deney tasarımı aracılığıyla, bir çok faktörün ürün üzerindeki etkisi ekonomik olarak (düşük maliyetle) belirlemek ve değişkenlik yaratan faktörlere karşı önlemleri tasarım aşamasına almak mümkün olmaktadır. [18]

#### **2.4.4.3 Tolerans tasarımı**

Tolerans tasarımı, parametre tasarımının değişkenliği azaltmada yeterli olmadığı durumlarda kullanılır. Parametre tasarımında düşük maliyetli, geniş ölçüde değişen bileşenler veya faktörler kullanılabilir. Değişkenliği istenilen değere düşürmek için bu bileşenlerin kalitesinin geliştirilmesi halen gerekiyorsa, tolerans tasarımı uygulanır. Tolerans tasarımında üç tür kalite değişkeni vardır.

Bunlar;

- En büyük en iyi,
- En küçük en iyi ve
- Hedef değer en iyi'dir.

#### **2.4.4.3.1. En büyük en iyi**

Bu tip tolerans çalışmalarında kalite değişkeninin bir üst sınır yoktur ve dolayısıyla hedef değer de yoktur. Ölçü büyüdükçe verimlilik artacaktır. Buna örnek olarak malzemelerin dayanıklılığı verilebilir.

#### **2.4.4.3.2. En küçük en iyi**

Bu karakteristik tipi negatif yönden bir sapma göstermez. Daima alt sınırın olması istenir. Tolerans azaldıkça durumda iyileşme artar. Bu tipe örnek olarak bir üretim sürecindeki hurda miktarı verilebilir.

#### **2.4.4.3.3. Hedef değer en iyi**

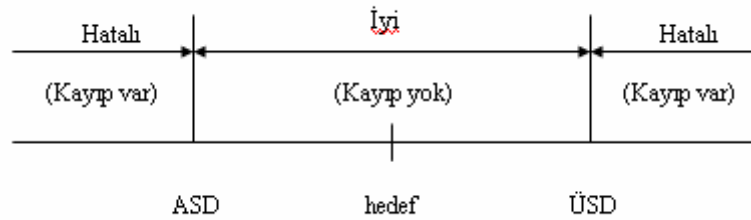
Bu durumda sapmalar iki yönlü olarak değişebilir. Dolayısıyla iki taraflı toleransa sahiptir. Buna en iyi örnek olarak boyut kriterleri verilebilir.

#### **2.4.5. Taguchi metodunda parametre tasarımı**

Genichi Taguchi sağlam parametre tasarımının öncülerinden biri olarak kabul edilmektedir, parametre tasarımı, üretim ve proses tasarımı sırasında, değişkenlik ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı olan duyarlılığın azaltılması için kullanılan bir mühendislik metodudur. Taguchi tasarımları uygun bir şekilde kullanıldığı takdirde, çeşitli çalışma koşullarında çok güçlü ve etkili bir metottur. Sağlam parametre tasarımında temel amaç, proses hedef değerini korurken değişkenliği minimize edecek faktör seviyelerini belirlemektir. Değişkenliğe etki eden faktörleri belirledikten sonra, kontrol edilebilir faktörler üzerinde ayarlamalar yapılabilir. Kontrol edilemeyen faktörler ise değişiklikler karşı duyarsız hale getirilmeye çalışılır. Proses tasarımında temel amaç, sürekli aynı çıktıyı üretmektir. Üretim tasarımında ise temel amaç, çevre faktörlerine rağmen sürekli bir performans ölçüsü yakalamaktır. [20]

#### 2.4.6. Taguchi'nin kayıp fonksiyonu

Taguchi kaliteyi ürünün yeterli bir kalite düzeyine ulaşmaması durumunda uğradığı kayıp olarak tanımlamaktadır. Bu kayıp müşterinin memnuniyetsizliği, yenileme veya tamir maliyetleri, pazardaki imaj kaybı ve pazar payı kaybı olarak ifade edilebilir. Ortaya çıkan toplumsal kayıp ürünün istenebilirliğini etkiler. İstenebilirlik ne kadar fazla ise kayıpta o kadar azdır. Taguchi istatistiksel olarak, bir ürünün yalnızca şartnamelere uymaması durumunda değil, aynı zamanda hedef değerden sapması durumunda da bu kaybın ortaya çıkacağını belirtmektedir. Örneğin, Ford şirketinin 1980'lerde yaşadığı bir deneyim, parça üretimindeki değişkenliğin, şirkete parasal kayıp olarak döndüğünü ortaya koymuştur. Ford şirketi ürettiği otomobiller için iki şirkete şanzıman siparişi vermektedir. Bunlardan biri ABD'deki kendi üretim tesisi diğeri ise Japon Mazda firmasıdır. Her iki firmada şanzımanları istenilen özelliklerde yapıp teslim ederler. Fakat garanti süresi içinde şanzımandan kaynaklanan problemlerin artması üzerine, yetkililer sorunlu şanzımanları üretici firmalarına göre sıralarlar ve ABD firmasının ürettiklerinin Japon firmasının iki katı olduğunu tespit ederler. Yapılan incelemeler sonucu ABD firması tarafından üretilen şanzımanların kritik performans değerlerinin standart sapmasının dolayısıyla değişkenliğinin Mazda'ya göre çok daha fazla olduğunu görürler. Bu durumda ABD firmasının şanzımanları daha fazla arızalanıp Ford şirketinin maliyetlerini arttırmaktadır.

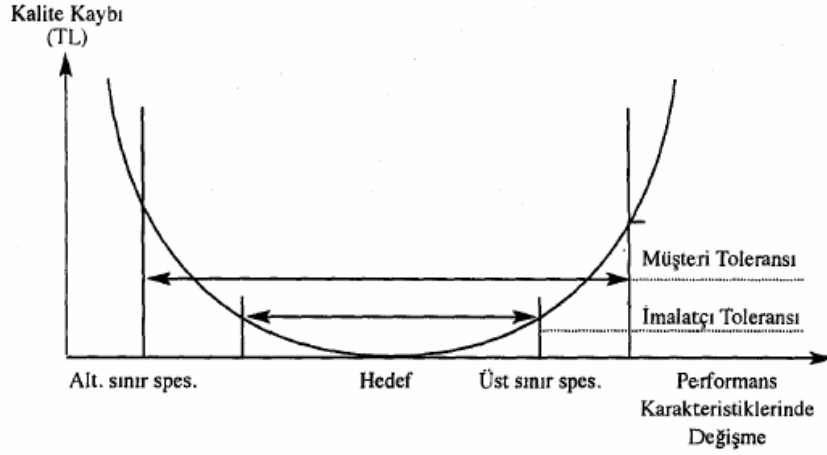


Şekil 2.13: Geleneksel kalite anlayışı

Geleneksel kalite anlayışına göre, şekil 2.13' de görüldüğü gibi bir değişkeninin kabul edilebilir alt ve üst sınır değerleri vardır. Belirlenmiş değişkenin değerleri bu sınırlar arasında ise ürün işlevsel olarak kabul edilebilirdir. Bununla birlikte, bu sınırların dışında işlevsel bozulma olacak ve ürün ya atılacak, ya da yeniden



işlenecektir. Geleneksel kalite denetiminin amacı ürünü bu sınırlar içerisinde tutarak üretim sürecini kontrol etmektir. Bu yöntemin diğer bir adı da kale direği (Goalpost). Üretici açısından kaliteyi ele alan kale direği yönteminde, kalite maliyetlerini hesaplamak için reddedilen ve yeniden işlenen parçaların sayıları kullanılmaktadır. [22]



Şekil 2.14: Kalite kayıp fonksiyonu

Taguchi kayıp fonksiyonunda ise ürünün istenilen kabul aralığı arasında olmasına rağmen, istenen hedef değerde olmadığına topluma belli bir maliyetin olduğunu belirtmektedir. Bir ürüne ait herhangi bir kalite değişkeni şekilde gösterilen hedef değere tam olarak ulaşmışsa kayıp olmayacaktır. Kalite kayıp fonksiyonu süreklidir ve hedef değerden sapmaların ölçümü amaçlanmaktadır. Eğer üretilen ürün müşteriye memnun etmiyorsa, bunun sebebi alt ve üst limitlerin yanlış seçilmesi veya hedef değere ulaşamamasıdır. Kalite kaybı hem maddi, hem de sosyal bir kayıptır. Şekil 2.14 ve 2.15’ de Kalite kayıp fonksiyonu şematik olarak verilmiştir.

Taguchi kalite kaybını, kayıp fonksiyonu olarak tanımlamış ve denklem 2.1 ile ifade etmiştir. [17]

$$L = k ( Y - m )^2 \quad (2.1)$$

Burada;

Y: Kalite etkinlik karakteristiği

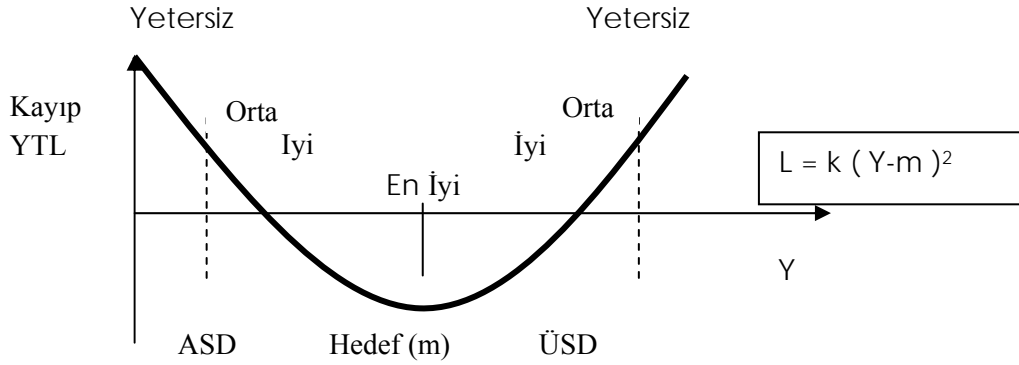
L: Belirli bir Y değerinde oluşacak kayıp değeri

m: Hedef değer

k: Tanımlanan değerlere bağlı olarak tespit edilen bir katsayıdır

Bu şekilde de anlatılmaya çalışılan Taguchi kayıp fonksiyonu şu özelliklere sahiptir:

- Eğer bir ürüne ait kalite değişkenleri şekilde gösterilen hedef değere tam olarak ulaşmışsa herhangi bir kayıp olmayacaktır.
- Kalite kayıp fonksiyonu sürekli bir fonksiyon olup, hedef değerden sapmaların ölümü amaçlanmaktadır.
- Kalite kaybı tasarımdaki kalitenin ne derece üretime yansıdığıнын bir lsdr.
- Eğer üretilen ürün müşteriyi memnun etmiyorsa, bunun sebebi alt ve st limitlerin yanlış seçilmesi veya hedef değere ulaşılamamasından kaynaklanmaktadır.
- Kalite kaybı hem maddi, hem de sosyal bir kayıptır.
- Kalite kaybını en aza indirmek, yani hedef değer tespit ederek bu hedefe ulaşmak günümüz iş ortamında ayakta kalmanın tek yoludur . [23]



şekil 2.15: Kalite kayıp fonksiyonu

Deney tasarımı 1930'lerde Sir Ronald Fisher tarafından geliştirilmiş olmasına rağmen, deney tasarımı, değişkenliğin azaltılması için ilk uygulayan kişi Taguchi'dir. Taguchi, deney tasarımında başarı lt olarak kullanılması amacıyla, bir dizi, adına "sinyal/gürültü oranı" denilen, lt tanımlamıştır. Taguchi, uygulamadaki sorunları, hedefin türüne göre üç ayırmış ve her biri için farklı bir sinyal/gürültü (S/G) oranı tanımlamıştır.

- En Küçük En İyi: Bu tür durumlarda, kalite değişkeni Y' nin hedef değeri sıfırdır. Bu durumda sinyal/gürültü oranı şöyle tanımlanır:

$$S/G \text{ Oranı} = -10 \log ( \sum Y^2 / n ) \quad (2.2)$$

- En Büyük En İyi: Bu durumda Y'nin hedef değeri sonsuzdur ve sinyal/gürültü oranı aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$S/G \text{ Oranı} = -10 \log [ \sum (1/Y^2) / n ] \quad (2.3)$$

- Hedef Değer En İyi: Bu tür durumlarda, Y için belli bir hedef değer verilmiştir. Bu durumda;

$$S/G \text{ Oranı} = 10 \log [ \sum (Y-\tilde{Y})^2 / (n-1) ] \quad (2.4)$$

Üç durumda da amaç S/G oranını maksimize etmektir. S/G oranının maksimize edilmesi, bir yandan sinyal değerini arttırırken diğer yandan değişkenliği azaltmaktadır. [18]

#### 2.4.7. Taguchi yönteminde dikey diziler

Taguchi yöntemi ile deneysel tasarım uygulamalarında kullanılmak üzere dikey diziler geliştirilmiştir. Bu dikey diziler sayesinde yapılması düşünülen deneylerin belirli bir düzene sahip olması kolaylıkla sağlanabilmektedir. Ayrıca kalite değişkenliğini etkileyen birçok değişkenin etkisini en az deney sayısı ile inceleme fırsatı tanır. [24]

Taguchi yönteminde kullanılmakta olan bu dikey diziler L veya QA sembolleri ile gösterilmektedir. Örnek verecek olursak, L<sub>8</sub> sembolü ile bir dikey dizi tanımlanmakta olup, bu dikey dizini satır sayısı 8, maksimum değişken sayısı 7, ve her değişken 2 düzeylidir (Tablo 2.3). Dikey dizilerde her bir satırda farklı düzeyleri ile etkileşime katılan değişkenlerle denemeler yapılmakta olup, her bir sütunda ise farklı değişkenler bulunmaktadır. [23]

Aşağıdaki tabloda değişkenlerin farklı düzeyleri 1 ve 2 olarak gösterilebildiği gibi (+, -) veya -1, +1 vb. olarak ta gösterilebilmektedir. Dikey dizilerde her sütunda aynı sayıda 1 ve aynı sayıda 2 olmalıdır. 1 sayısı değişkenin alt düzeyi, 2 sayısı ile değişkenin üst düzeyi gösterilmektedir. [18]

Tablo 2.3: Değişken ve düzey parametreleri

Deneme No	A	B	C	D	E	F	G
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

Taguchi tarafından standart dikey dizi olarak adlandırılan 18 temel dikey dizi oluşturulmuştur. Tablo 2.4' de 18 dikey dizi için temel bilgiler verilmiştir. Bu tabloda, yapılması düşünülen deneye en uygun dikey dizi seçimi yapılabilmektedir. Seçilecek dikey dizide bulunacak satır sayısı, en çok seçilebilecek değişken sayısı ve değişkenlerin kaç tanesinin hangi düzeyde alınabileceği verilmektedir.

Örneğin  $L_{12}$  dikey dizisi 12 deney düzeni içermektedir. Bu dizide en çok 11 değişken bir arada inceleyebilir. Bu 11 değişkenin her biri en çok 2 düzeyli olarak düzenlenir. Bir  $L_4 (2^3)$  dikey dizisinde 4 satır ve her biri 2 düzeyli 3 değişken bulunabilir. Bir  $L_{18} (2^1 3^7)$  dikey dizisinde 18 satır ve 2 düzeyli 1 değişken, 3 düzeyli 7 değişken bulunmaktadır. [23]

Aynı satır sayısı ile iki dizi varsa, ikisinden birisi tercih edilir. Örneğin 36 satır sayısı ile iki dizi  $L_{36}$  ve  $L'_{36}$  ise bunlardan birisi tercih edilir. Bir dikey dizi hazırlanmadan önce, değişken sayısı, her bir değişken için düzey sayısı ve etkileşimler belirlenmelidir.

Tablo 2.4' te 2 düzeyli diziler:  $L_4, L_8, L_{12}, L_{16}, L_{32}, L_{64}$ , 3 düzeyli dikey diziler:  $L_9, L_{27}, L_{81}$  ve karışık (2 ve 3) düzeyli dikey diziler:  $L_{18}, L'_{32}, L_{36}, L'_{36}, L_{54}$  tür.

Yapılacak olan deney düzenlerinde dikey dizilerin seçimi için deney düzenine ait toplam serbestlik derecesinden faydalanılmaktadır. Örneğin 2 düzeyli 3 değişkene ait bir deney düzeninde;

A değişkeni 2 düzeyli, bu durumda serbestlik derecesi =düzey sayısı-1=2-1=1

B değişkeni 2 düzeyli, bu durumda serbestlik derecesi =düzey sayısı-1=2-1=1

C değişkeni 2 düzeyli, bu durumda serbestlik derecesi =düzey sayısı-1=2-1=1

Bu durumda toplam serbestlik derecesi= 3 olacaktır.(A'nın serbestlik derecesi+ B'nin serbestlik derecesi+ C'nin serbestlik derecesi). Buna göre en az 3 serbestlik derecesine sahip  $L_8 = 8-1 =7$  serbestlik dereceli veya  $L_4 = 3$  serbestlik dereceli dikey dizilerden birisi seçilebilir.

Tablo 2.4: Standart dikey diziler

Dikey diziler	Satır Sayısı	En Çok Değişken Sayısı	Bu Düzeyde Bulunan En Çok Sütun Sayısı			
			Düzey Sayısı			
			2	3	4	5
$L_4$	4	3	3	-	-	-
$L_8$	8	7	7	-	-	-
$L_9$	9	4	-	4	-	-
$L_{12}$	12	11	11	-	-	-
$L_{16}$	16	15	15	-	-	-
$L'_{16}$	16	5	-	-	5	-
$L_{18}$	18	8	1	7	-	-
$L_{25}$	25	6	-	-	-	6
$L_{27}$	27	13	-	13	-	-
$L_{32}$	32	31	31	-	-	-
$L'_{32}$	32	10	1	-	9	-
$L_{36}$	36	23	11	12	-	-
$L'_{36}$	36	16	3	13	-	-
$L_{50}$	50	12	1	-	-	11
$L_{54}$	54	26	1	25	-	-
$L_{64}$	64	63	63	-	-	-
$L'_{64}$	64	21	-	-	21	-
$L_{81}$	81	40	-	40	-	-

### 2.4.7.1. Dikey dizilerin oluşturulması

Taguchi' nin oluşturduğu dikey diziler tablosunda bulunan 18 farklı dikey dizi 8 gruba ayrılmaktadır. Her bir grup bir genel yöntemle araştırılır .

Burada s dikey dizide yer alan değişkenlerin düzeylerini, k değişken sayılarını ve N deneme sayısını gösterir.  $L_N(s^k)$  dikey dizisi  $N \times k$  boyutlu bir çapraz listedir (matris). Bir dikey dizi  $QA_N(s^k)$  veya  $L_N(s^k)$  sembolü ile gösterilir. Tüm düzeyleri aynı olan değişkenler için oluşturulan böyle bir dizi sabit düzeyli dizi olarak adlandırılır. Değişkenlerin düzeylerini göstermede sembol 0,1,2,...,s-1 rakamları kullanılmaktadır. Bir  $L_N(s^k)$  dikey dizisi tamamlanmış bir sr denemenin  $N / s^k$  kesri olarak gösterilebilir. Örneğin  $L_4(2^3)$  dikey dizisi tamamlanmış bir  $2^3$  deneyinin  $4 / 2^3 = 1/2$  kesri olarak gösterilebilir. 3 düzeyli dizilerde değişken düzeyleri 0,1 ve 2 rakamları ile gösterilmektedir.

$L_9$  dizisinin oluşturulması için kullanılacak algoritma iki aşamada gerçekleşmektedir.

1. Aşama: eşitlik (2.1)' den  $L_9$  dikey dizisi için temel sütunların hangileri olacağı belirlenir. Örneğin k=1 için 1. temel sütun 1.sütuna ve k=2 için 2. temel sütun 2 sütuna yerleştirileceği belirlenmektedir.
2. Aşama: 1. aşamada belirlenen temel sütunlar Tablo 2.5' teki üretici bağıntılar kullanılarak temel sütunlar dışındaki sütunlar belirlenir. Örneğin 3. sütun  $x_1 + x_2$  ve 4. sütun ise  $2x_1+x_2$  üretici bağıntısı ile belirlenir ve hesaplamalar mod (3)' e göre yapılmalıdır. Bir sayının herhangi bir mod tabanına göre karşılığı, sayının o mod tabanına bölünmesinden kalan sayıdır.

Tablo 2.5: Dikey diziler için üretici bağıntılar

Sütun No	Üretici Bağıntılar
1	$x_1$
2	$x_2$
3	$x_1+x_2$
4	$2x_1+x_2$

Dik dizinin oluşturulması aşağıdaki örnek üzerinde açıklanmaktadır.  $L_4$  dizisi için 2 temel sütun bulunmaktadır.

1. Aşama:  $L_9 (3^4)$  dikey dizisi için temel sütunlar 1. ve 2. sütunlar olarak bulunmaktadır. 1. temel sütun 1. sütun ve 2. temel sütun 2. sütun olarak alınır. Tablo 2.6' da 1. sütunun ilk 3 satırına 0, ikinci 3 satırına 1, geriye kalan 3 satıra ise 2 rakamı yerleştirilir. 2. sütun ise 0, 1 ve 2 rakamları sırası ile 3 kez tekrarlanarak oluşturulur.
2. Aşama: Birinci aşamada belirlenen temel sütunlar ve tablo 2.5' teki üretici bağıntılar kullanılarak temel sütunların dışındaki sütunlar belirlenir. Örneğin 3. sütun  $x_1+x_2$  ve 4. sütun ise  $2x_1+x_2$  bağıntısı ile belirlenmektedir.

Tablo 2.6:  $L_9 (3^4)$  Dikey dizisinin oluşturulmasında kullanılan ara tablo

Deneme No	$x_1$	$x_2$	$x_1+x_2$	$2x_1+x_2$
	1	2	3	4
1	0	0		
2	0	1		
3	0	2		
4	1	0		
5	1	1		
6	1	2		
7	2	0		
8	2	1		
9	2	2		

3. Aşama: 2. aşamada belirlenen temel sütunların dışındaki diğer sütunlar mod (3) e göre ve tablo 2.5' teki üretici bağıntılar kullanılarak oluşturulur. 3. sütun  $x_1+x_2$  üretici bağıntısı kullanılarak tablo 2.6' dan;

$$0+0 = 0 \text{ mod } (3) \quad 1+2 = 0 \text{ mod } (3)$$

$$0+1 = 1 \text{ mod } (3) \quad 2+0 = 2 \text{ mod } (3)$$

$$0+2 = 2 \text{ mod } (3) \quad 2+1 = 0 \text{ mod } (3)$$

$$1+0 = 1 \text{ mod } (3) \quad 2+2 = 1 \text{ mod } (3)$$

$$1+1 = 2 \text{ mod } (3)$$

' e göre oluşturulur.

4.sütunun  $2x_1+x_2$  üretici bağıntısını kullanarak tablo 2.6' dan

$$2x_0+0 = 0 \text{ mod}(3)$$

$$2x_0+0 = 0 \text{ mod}(3)$$

.

.

$2*2+2 = 0 \text{ mod}(3)$ ' e göre

oluşturulur. Oluşturulmuş  $L_9 ( 3^4 )$  dikey dizisi tablo 2.7' de gösterilmektedir. [23]

Tablo 2.7:  $L_9 ( 3^4 )$  Dikey dizisi

Deneme No	Sütunlar			
	1	2	3	4
1	0	0	0	0
2	0	1	1	1
3	0	2	2	2
4	1	0	1	2
5	1	1	2	0
6	1	2	0	1
7	2	0	2	1
8	2	1	0	2
9	2	2	1	0



## 2.5. Çalışmanın Amacı

Poliiolefin malzemelere katkı ve takviye malzemeleri ekleyerek kullanıma sunmanın amacı; mekanik özelliklerini iyileştirmek, sertlik özelliğini iyileştirmek, yüksek ısıya karşı dayanımını artırmak ve malzeme maliyetini düşürmektir. Bununla beraber son zamanlarda teknik uygulamalarda istenilen ağırlık ve yoğunluk ayarlamalarını sağlamak amacıyla da katkı ve takviye malzemeleri kullanılmaktadır.

CaCO<sub>3</sub> gibi katkıların poliolefin grubunda katkı malzemesi olarak kullanılmalarının başlıca amacı maliyette azalma ve çekme gerilimi ile darbe direnci özelliklerini iyileştirmektir. İri taneli katkı maddelerinin polimer matriste dağılımları malzemenin mekanik özelliklerini büyük ölçüde etkiler.

Bu çalışmanın amacı, genelde boru hammaddesi olarak kullanılan poliolefin malzemelerin CaCO<sub>3</sub> ile katkılandırılması sonucunda elde edilen enjeksiyon numunelerine Taguchi deney tasarımı uygulanarak daha az deney sayısı ile optimum sürünme değerlerinin bulunmasıdır.

### 3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneysel çalışma iki gruptan oluşmaktadır. Birinci grup çalışmada, ağırlıkça % 0, 5, 10, 20 CaCO<sub>3</sub> katkılı polietilen (PE) malzeme kullanılmıştır. İkinci grup çalışmada ağırlıkça %0, 25, 34.62, 38.89, 42.86 (hacimce %0, 10, 15, 17.5, 20) oranlarında ve iki farklı tane boyutunda ayrı ayrı hazırlanmış CaCO<sub>3</sub> katkılı polipropilen (PP) malzeme üretimi planlanmıştır.

#### 3.1. Birinci Grup Çalışma

##### 3.1.1. L<sub>8</sub> dikey dizisinin oluşturulması

“Karışık seviyeli tasarım” seçeneği kabul edilerek 2 faktörlü fakat seviyeleri farklı deneysel tasarım gerçekleştirilmiştir. Aşağıdaki tabloda her bir satır bir deneyi temsil etmektedir. L<sub>8</sub> dikey dizisinde bir takım için toplam 8 çalışma mevcuttur. Deneyin gürültü değişkenlerine, ortam koşullarına ve çalışanlardan kaynaklanan farklılıklara karşı bağımlılığını azaltmak amacıyla 3 kez tekrar edilmesi öngörülmüştür.

Tablo 3.1: L<sub>8</sub> dikey dizisinin oluşturulması

Numune	% CaCO <sub>3</sub>	Gerilme (MPa)
1	0	8
2	0	12
3	5	8
4	5	12
5	10	8
6	10	12
7	20	8
8	20	12

Deney sonuçlarının analiz edilmesinde Minitab Release 15 programı kullanılmıştır.

### 3.1.2. Malzeme

Bu çalışmada piyasada kullanımda olan, Solvay S.A. firması tarafından üretilen ELTEX TUB 172 ticari isimli ve katalog değerleri Tablo 3.2, 3.3' de verilen hazır granül halinde yüksek yoğunluklu PE hammadde ile Omya A.G. firması tarafından Omyalane 102 M-OG ticari isimli yine granül halinde sanayi kullanımına sunulan kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ) katkı maddesi kullanılmıştır.

Kullanılan katkı maddesinin tane büyüklüğü 2  $\mu\text{m}$  dir. Omyalane 102 M-OG bir ön katkılandırma veya çift vidalı ekstrüder kullanımına gereksinimi ortadan kaldırarak poliolefin üretiminde doğrudan kullanılabilir. Poliolefin üretimine olan olumlu katkıları üretici tarafından döngü zamanının düşürülmesi, daha yüksek elastisite modülü değerlerinin elde edilmesi ve ürünün boyutsal kararlılığının artırılması olarak tanımlanmıştır. [25]

Granül halindeki PE ve  $\text{CaCO}_3$  hammaddeleri Hana marka HS-5430 model hassas terazide tartılarak, PE hammadde içine ağırlıkça sırasıyla %5, %10, %20 oranlarında  $\text{CaCO}_3$  katılmış ve homojen bir dağılım sağlanması için kalıplamadan önce bir ön karıştırma işlemi yapılmıştır. Hazırlanan bu karışımların yanında katkısız PE hammadde kullanılarak katkısız deney numuneleri de üretilmiştir Bu çalışmada kullanılan ELTEX TUB 172 gaz dağıtım hatlarında kullanılan basınçlı doğalgaz borularının üretiminde kullanılmak üzere geliştirilmiş güneş ışığından kaynaklanan ultraviyole etkisine karşı dayanıklı, sarı renkli bir polietilen bileşiktir. [26]. Eltex tub 172 ' nin fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 3.2' de verilmiştir.

Tablo 3.2 : Eltex Tub 172' nin fiziksel ve mekanik özellikleri [26]

Özellikler	Deney metodu	Birim sistemi	Değer
Yoğunluk (23°C)	ASTM D 792	kg/m <sup>3</sup>	941
Erime indeksi (2.16kg)	DIN 53735	g/10dak	0.2
Akma gerilmesi (23°C, 50 mm/dk)	DIN 53455	MPa	20
Çekme dayanımı (23°C, 50 mm/dk)	ISO 527	MPa	28
Çekme modülü (23°C)	ISO 527	MPa	600
Moleküler ağırlık dağılımı	SOLVAY	-	Orta

### 3.1.3. Deney numunesi üretimi

Deney numunelerinin hazırlanmasında İzmit Körfez Sanayi Sitesinde faaliyetlerini sürdüren Çam Plastik Ltd. Şti. bünyesinde bulunan ve teknik verileri Tablo 3.3' de verilen Denizciler marka enjeksiyon makinesi kullanılmıştır.

Tablo 3.3 : Denizciler marka enjeksiyon makinesinin teknik özellikleri

Enjeksiyon Ünitesi	Birim Sistemi	Boyutları
Vida çapı	mm	35
Vida stroku	mm	120
Vida hızı	devir/dk	0-200
Eritme kapasitesi	kg/h	8.5
Maksimum strok hacmi	cm <sup>3</sup>	96
Spesifik enjeksiyon basıncı	kg/cm <sup>2</sup>	1187
Enjeksiyon meme dayanma kuvveti	Ton	1.6
Mal itme kuvveti	kN	13
Isıtma gücü	kW	3.9
Isıtma bölgesi	bölge	3
Kapama gücü	ton	65

Çekme deneylerinde, bütün çekme numuneleri, TS 1398-2 (1997) veya ISO 527-2 (1993) standardında verilen Tip 1A çekme numunesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

### 3.2. İkinci Grup Çalışma

#### 3.2.1. L<sub>16</sub> dikey dizisinin oluşturulması

“Karışık seviyeli tasarım” seçeneği kabul edilerek 3 faktörlü fakat seviyeleri farklı deneysel tasarım gerçekleştirilmiştir.

Aşağıdaki tabloda her bir satır bir deneyi temsil etmektedir. L<sub>16</sub> dikey dizisinde bir takım için toplam 16 çalışma mevcuttur. Deneyin gürültü değişkenlerine, ortam koşullarına ve çalışanlardan kaynaklanan farklılıklara karşı bağımlılığını azaltmak amacıyla 3 kez tekrar edilmesi öngörülmüştür. Buna göre taguchi metodu kullanılarak 96 kez yapılması planlanan deney sayısı 48'e indirilmiştir.

Tablo 3.4: L<sub>16</sub> dikey dizisinin oluşturulması

NUMUNE	% CaCO <sub>3</sub>	GERİLME (MPa)	TANE BOYUTU (µm)
1	25	8	1,65
2	25	8	1,65
3	25	16	5
4	25	16	5
5	34,62	8	1,65
6	34,62	8	1,65
7	34,62	16	5
8	34,62	16	5
9	38,89	8	5
10	38,89	8	5
11	38,89	16	1,65
12	38,89	16	1,65
13	42,86	8	5
14	42,86	8	5
15	42,86	16	1,65
16	42,86	16	1,65

### 3.2.2. Malzeme

Araştırma için Borealis A/S firmasından alınan natürel polipropilen esaslı hammaddeler kullanılmıştır. Polipropilenin (PP) özel bir türü olan polipropilen blok kopolimer, PP-B veya Tip-2 olarak ta bilinen malzeme, boru üretiminde hammadde olarak kullanılan granül şeklinde temin edilmiştir.

Granül halde bulunan PP-B hammaddelerine ilave edilecek olan mineral dolgular Mikron's Mikronize Mineral Endüstrisi Tic. A.Ş., Mikro Mineral Endüstriyel Mineraller A.Ş. ve Omya Madencilik A.Ş şirketlerinden farklı tane boyutu çeşitlerinde temin edilmiştir.

Önemli bazı fiziksel ve mekanik özellikleri konusunda, enjeksiyonla kalıplama yöntemiyle üretilen standart deney numunelerinden elde edilmiş imalatçı verileri Tablo 3.5' de bir araya getirilmiştir.

Tablo 3.5: Polipropilen blok kopolimer (PP-B) malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerine ait üretici verileri .

	Test Metodu	Test Şartları	Birim Sistemi	PP Hammaddeleri	
				BEC5015	PPC 2660-EU
Çekme Akma Gerilmesi	ISO 527-2	50 mm/dak	MPa	30	24
Çekme Akma Uzaması	ISO 527-2	50 mm/dak	%	10	13
Çekme Elastisite Modülü	ISO 527	1 mm/dak	MPa	1500	1200
Charpy çentikli	ISO 179/1eA	+23°C	kJ/mm <sup>2</sup>	70	>50
Charpy çentikli	ISO 179/1eA	-20°C	kJ/mm <sup>2</sup>	7	6
Sertlik	ISO 2039-2	Rocwell –R Scale		72	74
Yoğunluk	ISO 1183		g/cm <sup>3</sup>	0,905	0,905
Eriyik Akış İndeksi	ISO 1133	230°C, / 2,16kg	g/10dak.	0,3	0,8

İlgili firmaların yetkililerinin tavsiyelerine uygun olarak sadece yurt içinde üretmiş oldukları farklı tane boyutundaki kalsitler (kalsiyum karbonat-CaCO<sub>3</sub>) çalışmada

kullanılmıştır. Toz halinde olan bu dolguların mamul adı ve kodu Imercarbcarb-1G, Imercarb-5G şeklindedir. İmalatçı firma tarafından verilen bazı veriler Tablo 3.6’da sıralanmıştır.

Tablo 3.6: Mineral dolguların imalatçı verileri

Mineral Dolgu	Firma	Yoğunluk [g/cm <sup>3</sup> ]  ISO 787/10	Ortalama Partikül Çapı [µm]		Parlaklık %
			d50 %	d97 %	DIN 53163
Imercarb-1G	Mikro Mineral	2,7	1,65	7,50	97-98
Imercarb-5G	Mikro Mineral	2,7	5.00	28	97-98

Enjeksiyon numuneleri için gerekli hammadde harmanların hazırlanmasında Bursa’ da yerleşik EMAŞ Plastik Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi bünyesinde bulunan ZSK 25 Mcc (Makdene) ikiz vidalı Ekstrüzyon Makineleri kullanılmıştır.

Yapılan hammadde üretimlerinde deneme numuneleri için hazırlanan harmanlarda soğutma sonrası fiziksel olarak nemli olduğu tespit edilmiş ve 50 °C’ de 4 saat kondisyonlama işlemine tabi tutulmuştur.

### 3.2.3. Deney numunesi üretimi

Granül haldeki PP-B malzemeler, TSE’nin TS 1149-1 (1978) numaralı standardı dikkate alınarak, enjeksiyon kalıplama yöntemiyle ilgili deneylere ait deney numuneleri üretilmiştir. Enjeksiyon numunelerinin üretiminde Bursa’ da yerleşik EMAŞ Plastik Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi bünyesinde bulunan ve teknik özellikleri Tablo 3.7’ de verilen, ARBURG ALLROUNDER Enjeksiyon makineleri firmasına ait 370 CMD Model Enjeksiyon Makinesi kullanılmıştır.

Tablo 3.7: ALLROUNDER 370 CMD model enjeksiyon makinesinin teknik özellikleri

Enjeksiyon Ünitesi	Birim Sistemi	Boyutları
Vida çapı	mm	20 / 25 / 30
Etkili vida uzunluğu	L / D	25 / 20 / 16,7
Vida hızı	devir/dak	42 / 52 / 63
Vida stroku (maksimum)	mm	100
Maksimum enjeksiyon hacmi	cm <sup>3</sup>	31 / 49 / 70
Spesifik enjeksiyon basıncı	kg/cm <sup>2</sup>	2500 / 2240 / 1550
Enjeksiyon meme dayanma kuvveti	kN	50
Eritme kapasitesi	kg/sa	5,5 / 8 / 9,5
Isıtma gücü	kW	4,3
Isıtma bölgesi	bölge	4

### 3.3. Deney Şartları, Deney Araçları, Deney Makineleri Ve Deney Donanımları

#### Birinci grup çalışma deney şartları :

Bu deneyin amacı kalsiyum karbonat katkısının PE malzemenin zorlanma ve sürünme özelliklerine olan etkisini incelemektir. Deneyler Şekil 3.2' de gösterildiği gibi Zwick Z250 marka çekme makinası ile 10 KN' luk gerilme uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Bütün testler 23±1°C oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.

%0, %5, %10, %20 CaCO<sub>3</sub> katılarak oluşturulan Polietilen malzemenin yapılmış deney numuneleri E-3 1/sn çekme hızında ve iki farklı gerilme altında (8 MPa ve 12 MPa) 600 sn çekilerek deney gerçekleştirilmiştir. Buna göre farklı gerilme değerlerinde elde edilen zorlanma ve sürünme değerleri kayıt edilmiştir.

Sürünme testi genellikle sabit sıcaklıkta ve sabit yük altında yapılır. Malzemenin servis şartlarının daha iyi temsil etmesinden dolayı sabit basınç yerine sabit yük seçilir. Test malzemesinin her iki yanı sürünmeye dayanıklı özel malzemelerden yapılmış test çenelerine vidalanır. Sıcaklık ve zorlanmayı ölçmek üzere termo-



elemanlar (ısı ölçer telleri - thermocouples) ve genişleme ölçerler (extensometers) test edilecek numunenin üzerine bağlanır. numunenin bir ucuna sabit yük uygulanır ve zamana bağlı olarak zorlanma değerleri ölçülür.



Şekil 3.1: Zwick Z250 marka çekme makinası

### **İkinci grup çalışma deney şartları :**

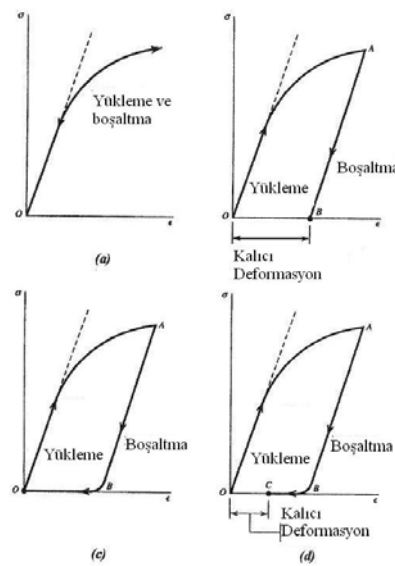
Bu deneyin amacı farklı büyüklükte kalsiyum karbonat katkısının farklı gerilmelerde PP malzemenin zorlanma ve sürünme özelliklerine olan etkisini incelemektir. Deneyler Zwick Z250 marka çekme makinası ile 10 KN' luk gerilme uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Ağırlıkça %0, 25, 38.89, 42.86 oranlarında ve farklı tane boyutlarında (1G, 5G) CaCO<sub>3</sub> katılarak oluşturulan Polipropilen malzemenin yapılmış deney numuneleri E-3 1/sn çekme hızında ve iki farklı gerilme altında (8 MPa ve 16 MPa ) 600 sn sürünme zamanında deney gerçekleştirilmiştir. Buna göre

farklı gerilme değerlerinde elde edilen zorlanma ve sürünme değerleri kayıt edilmiştir. Bütün testler  $23\pm 1$  °C oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.

## 4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

### 4.1. Birinci Grup Çalışma Deney Sonuçları

Yükleme ve boşaltma deneyleri bir malzemenin deformasyon mekanizmaları ve mukavemet değerleri hakkında önemli bilgiler elde edilmesine yardımcı olur. Hız bağımlılığı ve mukavemet değerleri yüklemeye deneyleri ile belirlenir. Deformasyon davranış türü ise yüklemeye-boşaltma deneyleri ile belirlenir. Eğer bir malzemenin yüklemeye ve boşaltma deneyleri aynı eğri üzerinde ve boşaltma sonrası başlangıç noktasına dönülüyorsa elastik davranış söz konusudur. Yüklemeye ve boşaltma deneyleri farklı eğri çizmekle birlikte boşaltma sonrası sıfır gerilme seviyesinde toparlanma gözlemlenmiyorsa plastik davranıştan bahsedilir. Yüklemeye ve boşaltma deneyleri farklı eğriler çiziyor ve sıfır gerilmede başlangıç noktasına dönüyorsa viskoelastik, sıfır gerilmede başlangıç noktasına dönmüyor fakat kısmen toparlanıyorsa viskoplastik davranıştan söz edilir. Yüklemeye-boşaltma deneyleri sayesinde malzeme davranışının bu dört tür davranıştan hangisini içerdiğine karar verilir.

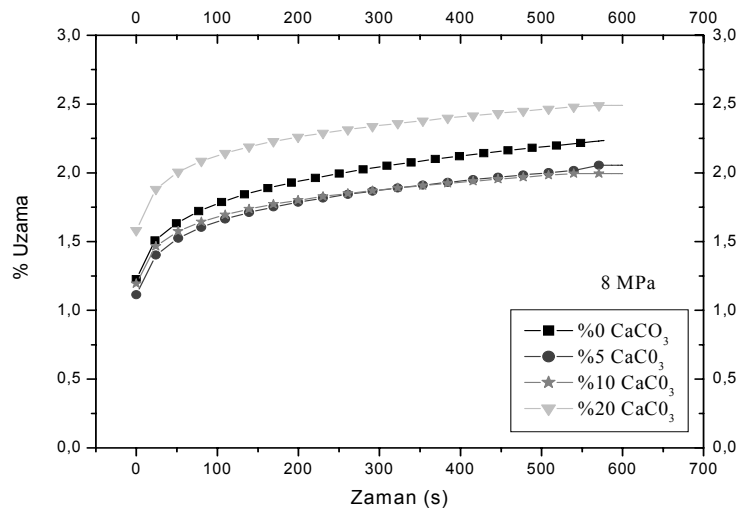


Şekil 4.1: Yüklemeye-Boşaltma eğrileri a) elastik davranış; b) plastik davranış; c) viskoelastik davranış; d) viskoplastik davranış

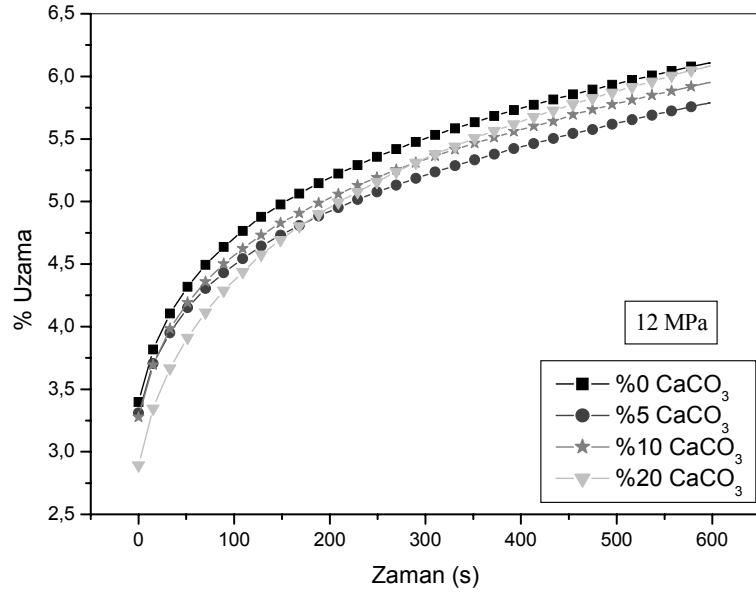
Polimerik malzemelerin viskoelastik davranışı, o malzemeyi oluşturan karbon ve hidrojen atomları arasındaki kovalent bağların ve bağ moleküllerinin esnekliğinden ileri gelir.

Sürünme sabit bir gerilme altında malzemenin zaman içerisinde şekil değiştirmesi olarak tanımlanır. Bir sürünme eğrisi üç ayrı safhadan meydana gelir. Birincil sürünme bölgesinde malzeme deformasyona karşı güçlü bir direnç gösterir. İkincil bölgede ise sürünme hızı sabittir ve bu bölgeye kararlı sürünme ismi de verilir. Üçüncül sürünme ise numune aşırı şekilde uzayıp kopar. Düşük gerilme seviyesinde birincil sürünme ve gerilme seviyesi yükseldikçe ikincil üçüncül sürünmeler meydana gelir. [6]

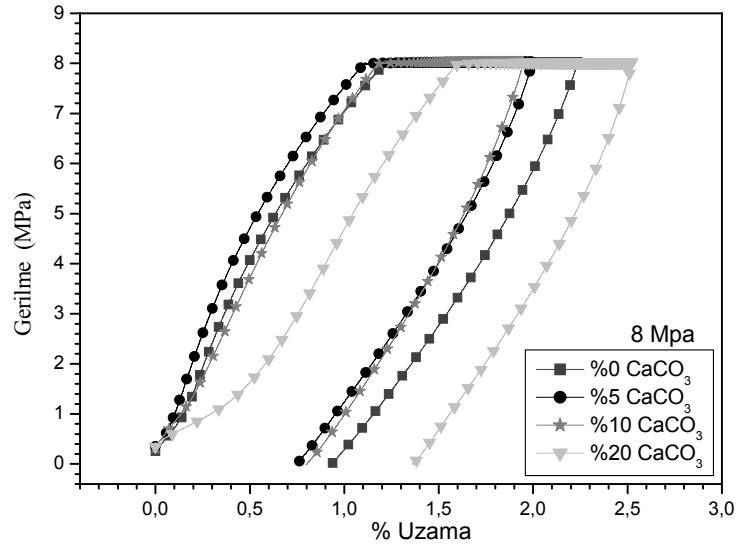
Şekil 4.2 ve 4.3 ile katkılı polietilen malzeme üzerinde gerçekleştirilen 8, 12 MPa gerilme seviyesindeki sürünme deneyleri, şekillerden görüldüğü üzere E-3 1/s çekme hızında 8 ve 12 MPa gerilme seviyesinde 600 sn boyunca yüklenerek elde edilmiştir. Şekil 4.2 ve 4.3' den görüldüğü gibi gerilme değeri arttıkça sürünme değerleride artmaktadır. Her iki gerilme değerinde de birincil sürünme meydana gelmiştir. Şekil 4.4 ve 4.5' den görüldüğü gibi düşük gerilme değerinde  $\text{CaCO}_3$ ' ün katkı oranı arttıkça sürünme oranındaki artış miktarıda daha fazla olmaktadır. Sürünme yükü arttıkça sürünme için harcanan toplam enerjinin arttığı görülmektedir.



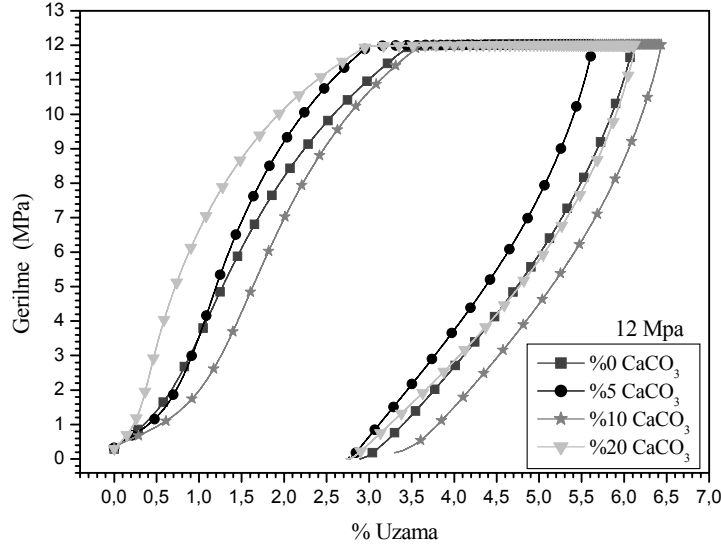
Şekil 4.2: %0, %5, %10, %20  $\text{CaCO}_3$  katkılı polietilende 8 MPa gerilme değerlerinde Uzama-Zaman eğrilerinin karşılaştırılması



Şekil 4.3: %0, %5, %10, %20 CaCO<sub>3</sub> katkılı polietilende 12 MPa gerilme değerlerinde Uzama-Zaman eğrilerinin karşılaştırılması



Şekil 4.4: 8 MPa gerilme değerinde %0, %5, %10, %20 CaCO<sub>3</sub> katkılı polietilen malzemede Gerilme-%Uzama eğrileri.

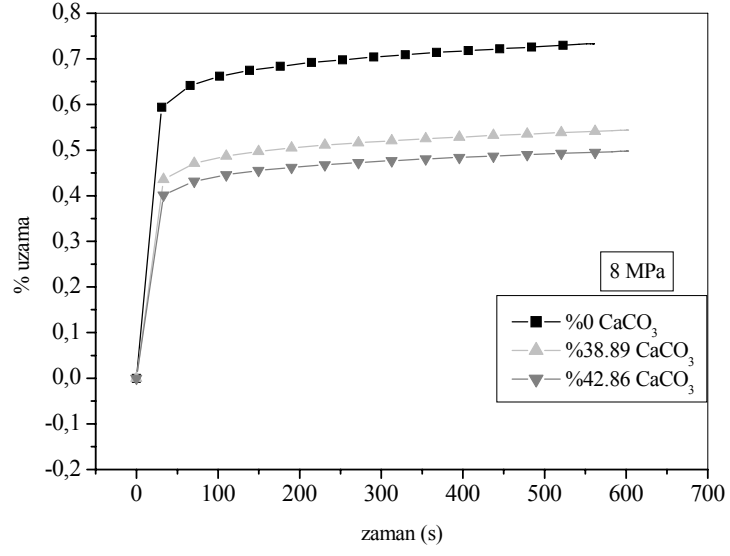


Şekil 4.5: 12 MPa gerilme değerinde %0, %5, %10, %20 CaCO<sub>3</sub> katkıli polietilen malzemede Gerilme-%Uzama eğrileri.

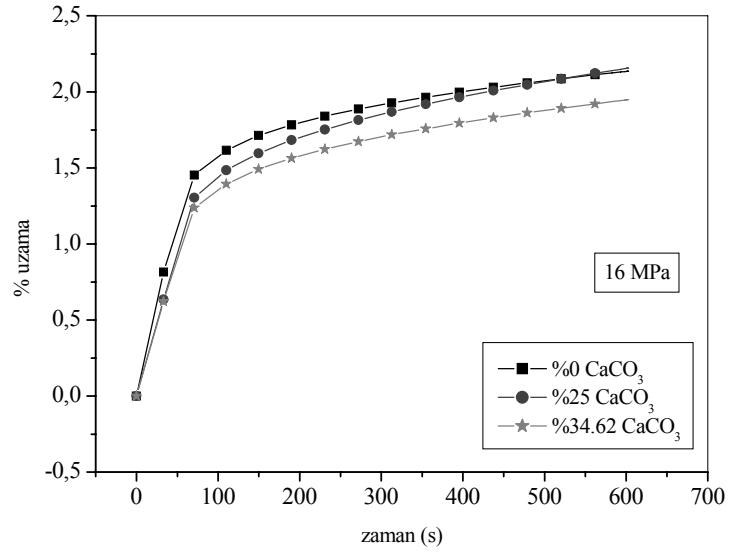
## 4.2. İkinci Grup Çalışma Deney Sonuçları

### 5 µm ortalama partikül çapına sahip CaCO<sub>3</sub> :

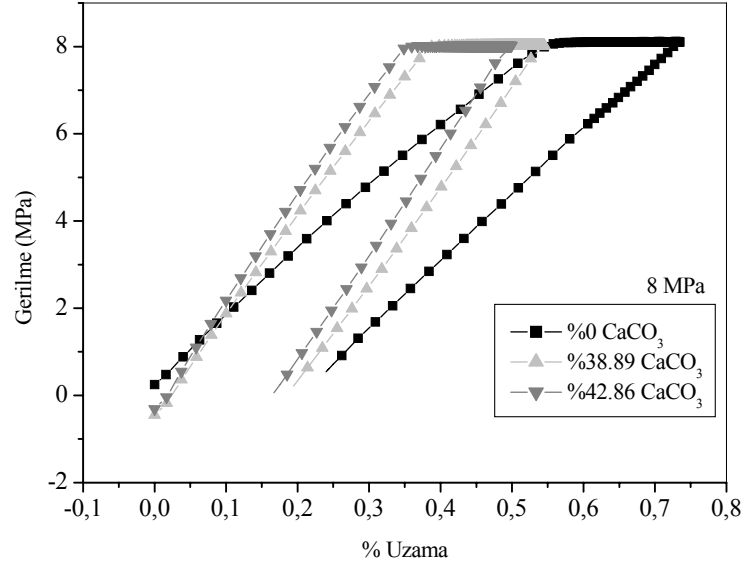
5 µm CaCO<sub>3</sub> katkıli polipropilen malzeme üzerinde gerçekleştirilen 8 ve 16 MPa gerilme seviyesindeki sürünme deneyleri, şekillerden görüldüğü üzere E-3 1/s çekme hızında, 600 sn boyunca yüklenerek elde edilmiştir. Şekil 4.6 ve 4.7' den görüldüğü gibi gerilme değeri arttıkça sürünme değerleride artmaktadır. 8 ve 16 MPa gerilme değerinde birincil sürünme meydana gelmiştir. Malzeme deformasyona karşı bir direnç göstermektedir. Şekil 4.8 ve 4.9' dan görüldüğü gibi gerilmenin ilk yükleme aşamasında lineer viskoelastik bir deformasyon oluşmuş, ve daha sonra artan gerilme oranıyla malzemede kalıcı deformasyon oluşmuştur. Viskoplastik deformasyon modeli bu eğriler için uygundur. CaCO<sub>3</sub> miktarı sadece 16 MPa gerilme değerinde sürünme özelliklerinde artış meydana getirmiştir.



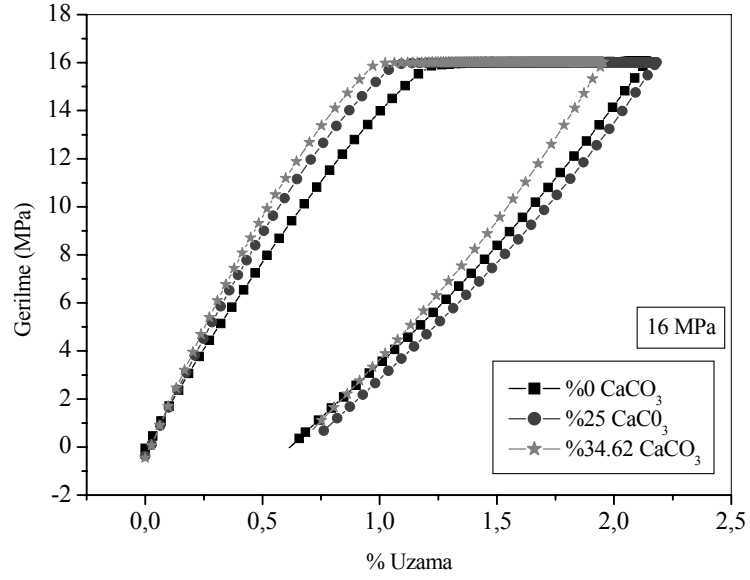
Şekil 4.6: %0, %38.89, %42.86 CaCO<sub>3</sub> katkı polipropilende 8 MPa gerilme değerinde Uzama-Zaman eğrilerinin karşılaştırılması



Şekil 4.7: %0, %25, %34.62 CaCO<sub>3</sub> katkı polipropilende 16 MPa gerilme değerinde Uzama-Zaman eğrilerinin karşılaştırılması



Şekil 4.8: %0, %38.89, %42.86 CaCO<sub>3</sub> katkı polipropilende 8 MPa gerilme değerinde Gerilme-%Uzama eğrileri

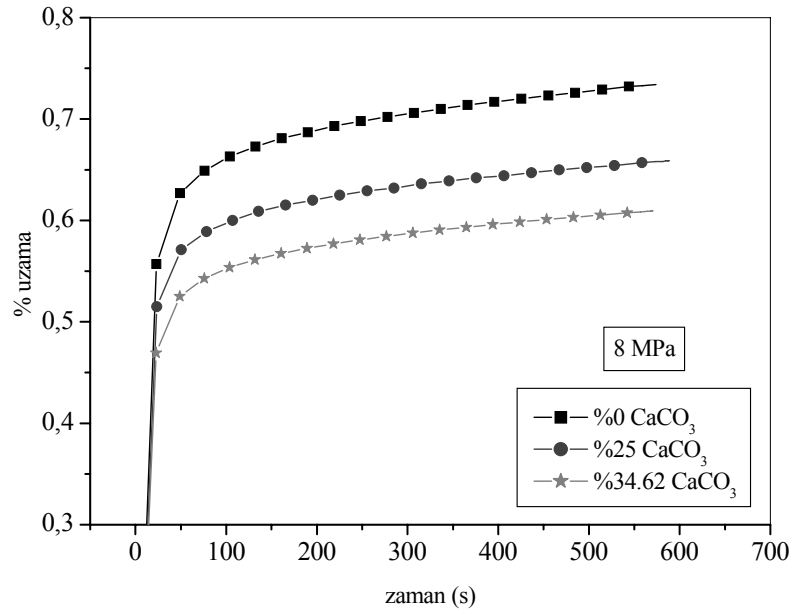


Şekil 4.9: %0, %25, %34.62 CaCO<sub>3</sub> katkı polipropilende 16 MPa gerilme değerinde Gerilme-%Uzama eğrileri

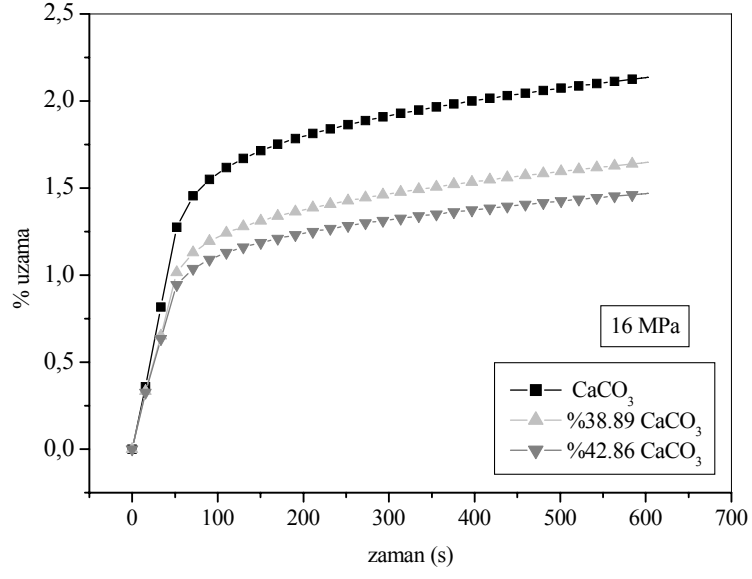


### 1.65 µm ortalama partikül çapına sahip CaCO<sub>3</sub>:

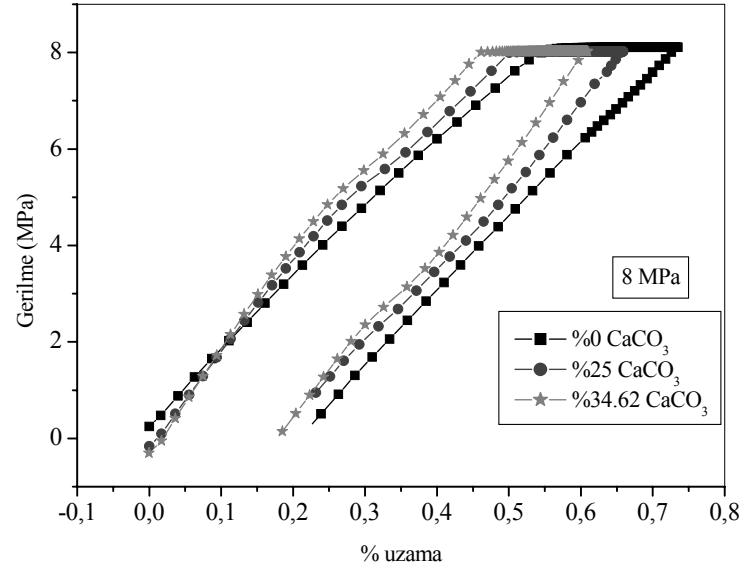
1.65 µm CaCO<sub>3</sub> katkılı polipropilen malzeme üzerinde gerçekleştirilen 8 ve 16 gerilme seviyesindeki sürünme deneyleri, şekillerden görüldüğü üzere E-3 1/s çekme hızında, 600 sn boyunca yüklenerek elde edilmiştir. Şekil 4.10 ve 4.11' den görüldüğü gibi gerilme değeri arttıkça sürünme değerleride ve sürünme için harcanan toplam enerjide artmaktadır. 8 ve 16 MPa gerilme değerinde birincil sürünme meydana gelmiştir. Malzeme deformasyona karşı bir direnç göstermektedir. Şekil 4.12 ve 4.13' den görüldüğü gibi gerilmenin ilk yükleme aşamasında lineer viskoelastik bir deformasyon oluşmuş, ve daha sonra artan gerilme oranıyla malzemede kalıcı deformasyon oluşmuştur. Viskoplastik deformasyon modeli bu eğriler için uygundur. Artan CaCO<sub>3</sub> miktarı ile PP malzeme daha kısa uzamalarda sürünmeye başlamış ve rejimi erken tamamlamıştır.



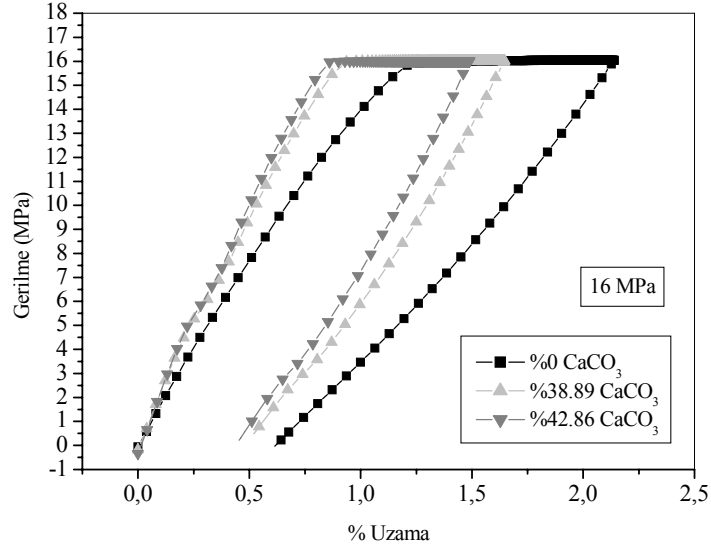
Şekil 4.10: %0, %25, %34.62 CaCO<sub>3</sub> katkılı polipropilende 8 MPa gerilme değeriinde Uzama-Zaman eğrilerinin karşılaştırılması



Şekil 4.11: %0, %38.89, %42.86 CaCO<sub>3</sub> katkıli polipropilende 16 MPa gerilme değerinde Uzama-Zaman eğrilerinin karşılaştırılması



Şekil 4.12: %0, %25, %34.62 CaCO<sub>3</sub> katkıli polipropilende 8 MPa gerilme değerinde Gerilme-%Uzama eğrileri



Şekil 4.13: %0, %38.89, %42.86 CaCO<sub>3</sub> katkılı polipropilende 16 MPa gerilme değerinde Gerilme-%Uzama eğrileri

### 4.3. Polimer Malzemede CaCO<sub>3</sub> Takviyesinin Gerilme Gevşemesine Etkisinin Taguchi Yöntemi İle İncelenmesi

#### 4.3.1 Birinci grup çalışmada Taguchi Yöntemi

##### 4. 3.1.1. L<sub>8</sub> dikey dizisine ait deney sonuçları

Uygun dikey dizi seçimi yapıldıktan sonra gerçekleştirilen deneylerin sonuçları aşağıdadır. Tablo 4.1' de deney sonucunda elde edilen zorlanma, sürünme ve sürünme başlama noktası değerleri verilmiştir. Her bir deney takımı için bir sütun ayrılmıştır.

Tablo 4.1: L<sub>8</sub> Dikey dizisinin oluşturulması.

% CaCO <sub>3</sub>	Gerilme (MPa)	Max. Uzama 1 (mm)	Max. Uzama 2 (mm)	Max. Uzama 3 (mm)	Sürünme 1 (mm)	Sürünme 2 (mm)	Sürünme 3 (mm)
0	8	2,4	2,24	2,22	1,33	1,22	1,23
0	12	2,04	2,15	2,24	0,82	0,86	1,12
5	8	2,05	2	2,03	1,12	1,11	1,15
5	12	6,01	6,1	6,12	3,21	3,5	3,31
10	8	1,95	2,05	2,46	1,18	1,2	1,62
10	12	5,79	5,63	6,44	3,31	3,01	3,6
20	8	2,52	2,47	2,35	1,61	1,57	1,44
20	12	5,95	6,47	6,06	3,29	3,61	2,8

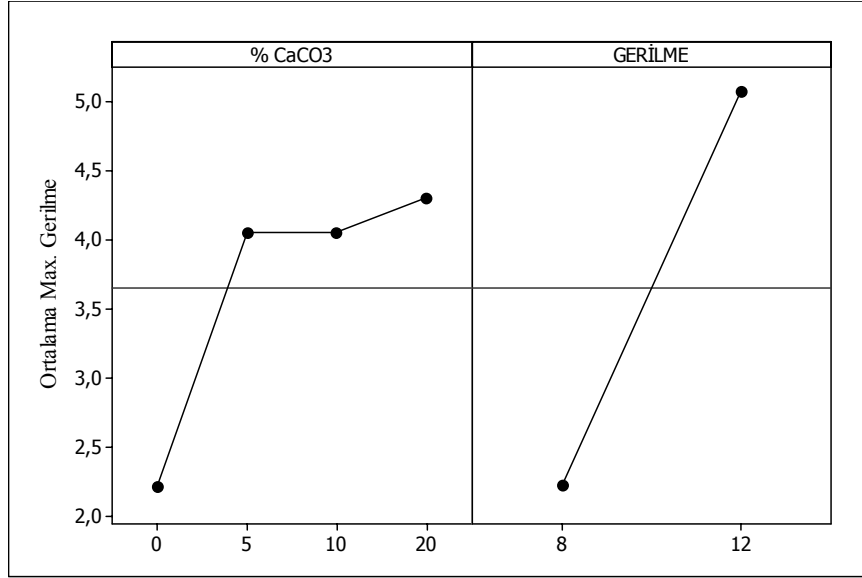
% CaCO <sub>3</sub>	Gerilme (MPa)	Sürünme başlama nok.1 (mm)	Sürünme başlama nok.2 (mm)	Sürünme başlama nok.3 (mm)
0	8	1,07	1,02	0,99
0	12	1,22	1,29	1,12
5	8	0,93	0,89	0,88
5	12	2,81	2,61	2,81
10	8	0,77	0,85	0,84
10	12	2,47	2,63	2,84
20	8	0,92	0,9	0,91
20	12	2,67	2,86	3,26

#### 4.3.1.2. Max. zorlanmanın CaCO<sub>3</sub> ve gerilme faktörlerine göre grafikleri

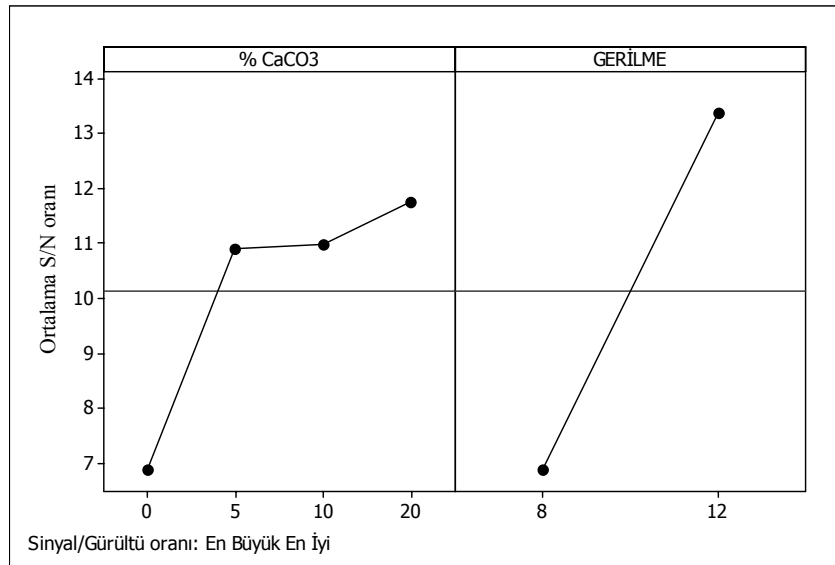
Bu program sayesinde belirlediğimiz değişkenlerin etkilerini grafiksel gösterim ile net bir şekilde görebiliriz.

Max. zorlanma' ya ait sonuçlar Minitab programı ile analiz edildiğinde 4.14, 4.15, 4.16 grafikleri elde edilmektedir. Grafiklerden de görüldüğü gibi değişkenlerin yüksek değerleri Max. zorlanma için en iyi sonucu vermektedir. Buna göre uygulanan gerilme en fazla etkiyi yapmaktadır. CaCO<sub>3</sub> miktarı arttıkça ortalama Max. zorlanma değeri artmakta fakat oransal en fazla etki %5 CaCO<sub>3</sub> miktarında görülmekte %20' lik CaCO<sub>3</sub> oranında ise zorlanma değerleri en yüksek değerine ulaşmaktadır. S/N oranındada yine en fazla etkiyi gerilme değeri yapmaktadır.

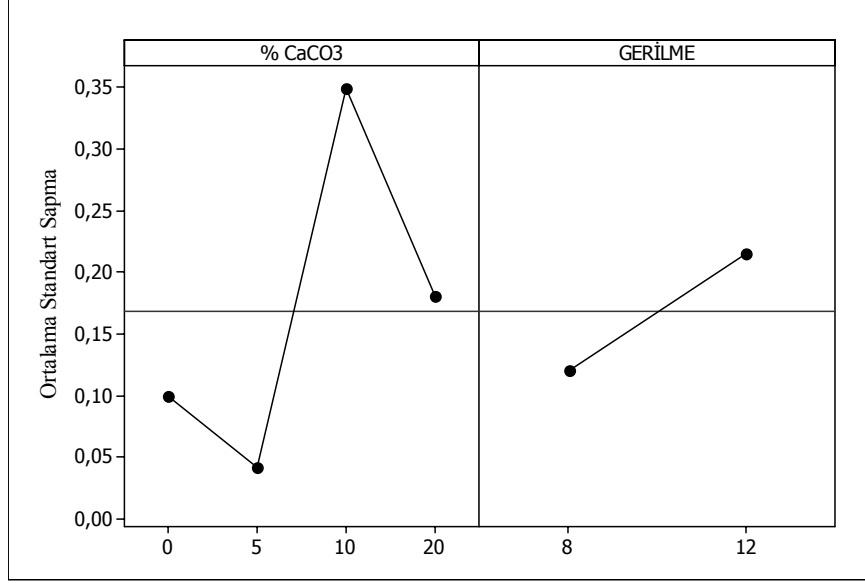
Standart sapma üzerinde  $\text{CaCO}_3$ ' ün %10' luk değeri , gerilmenin yüksek değeri en fazla değişkenlik yaratan faktörlerdir.



Şekil 4.14: Değişkenlerin ortalama "Max. zorlanma" ya etkisi.



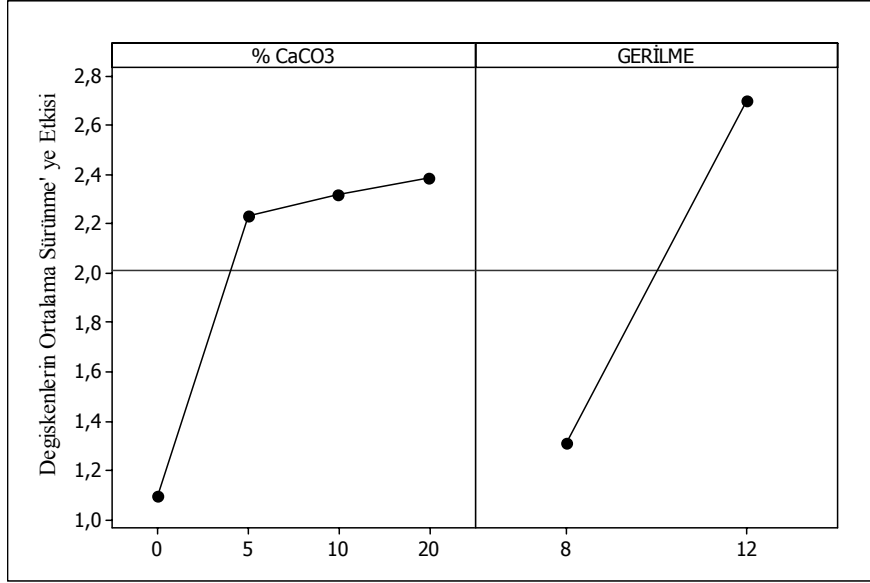
Şekil 4.15: "Max. zorlanma" ya ait S/N oranı



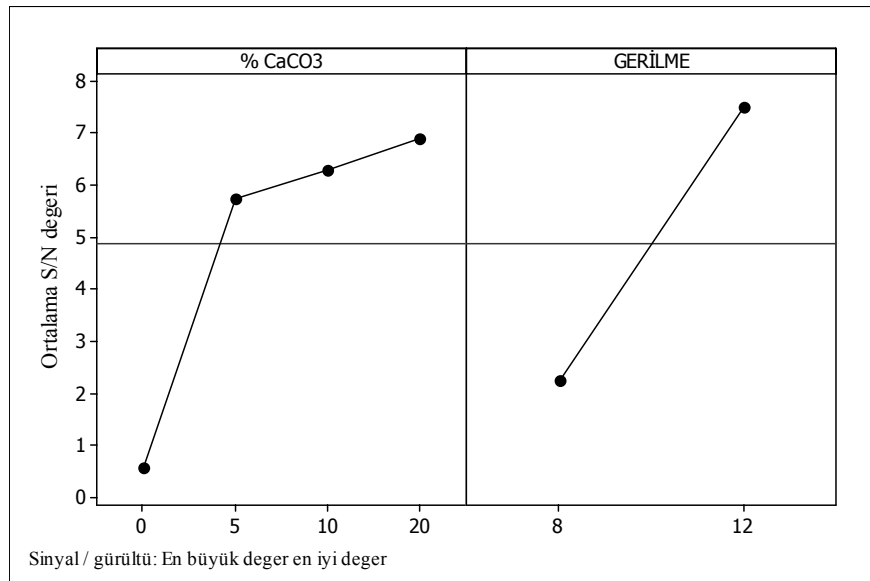
Şekil 4.16: Standart sapmanın ortalama Max. zorlanma' ya etkisi.

#### 4.3.1.3. Sürünme değerlerinin CaCO<sub>3</sub> ve gerilme faktörlerine göre grafikleri

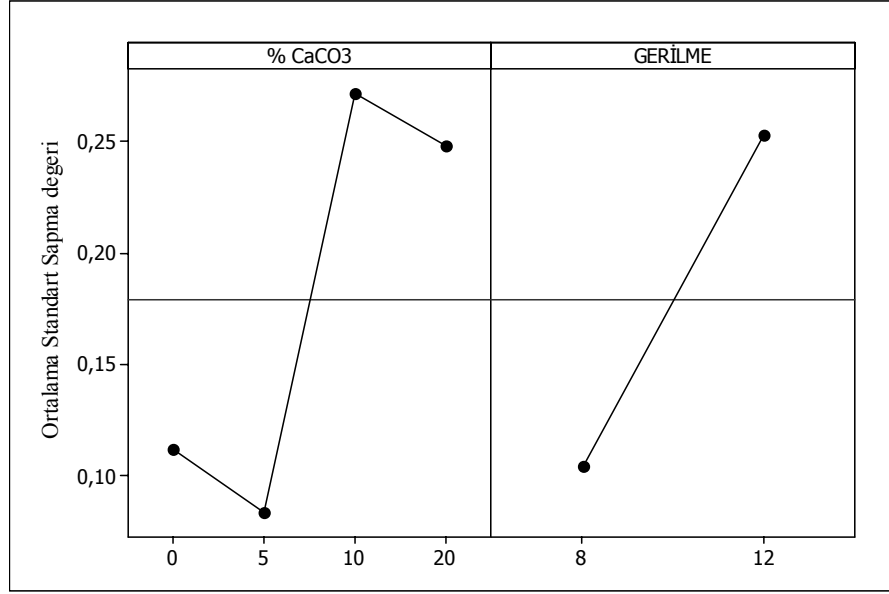
Sürünme' ye ait sonuçlar Minitab programı ile analiz edildiğinde 4.17, 4.18, 4.19 grafikleri elde edilmektedir. Grafiklerden de görüldüğü gibi değişkenlerin yüksek değerleri Sürünme için en iyi sonucu vermektedir. Max. zorlanma için yapılan analiz ile benzer olarak gerilme en fazla etkiyi yapmaktadır. Daha sonra CaCO<sub>3</sub> miktarı sürünmeyi en fazla etkileyen ikinci değişkendir. CaCO<sub>3</sub> miktarı arttıkça ortalama sürünme değeri artmakta fakat oransal en fazla etki %5 CaCO<sub>3</sub> miktarında görülmekte %20'lik CaCO<sub>3</sub> oranında ise sürünme max. değerlerine ulaşmaktadır. S/N oranındada yine en fazla etkiyi gerilme değeri yapmaktadır. Standart sapma üzerinde en fazla CaCO<sub>3</sub>' ün %10'luk değeri , gerilmenin yüksek değeri en fazla değişkenlik yaratan faktörlerdir.



Şekil 4.17: Değişkenlerin ortalama “Sürünme” ye etkisi.



Şekil 4.18: “Sürünme” ye ait S/N oranı



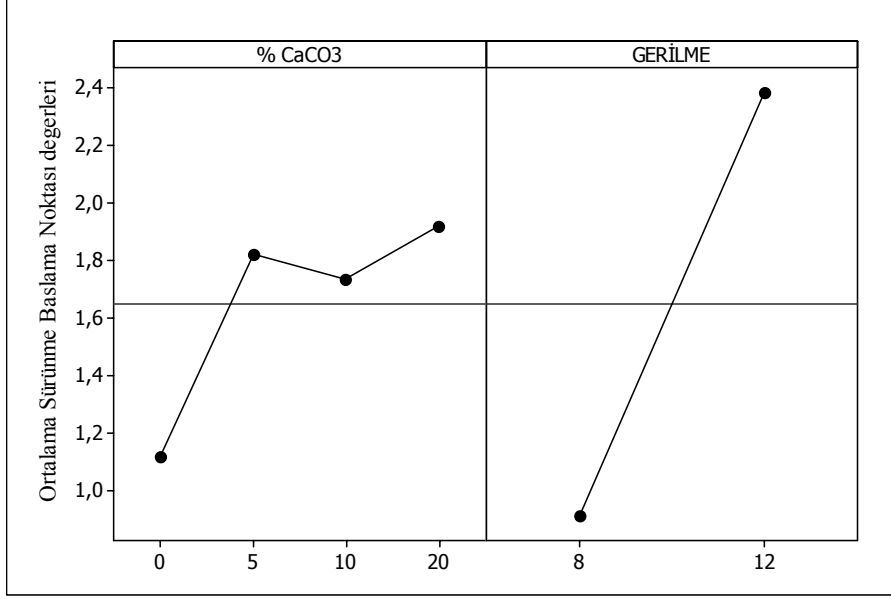
Şekil 4.19: Standart sapmanın ortalama Sürünme' ye etkisi

#### 4.3.1.4. “Sürünme Başlama Noktası” değerlerinin CaCO<sub>3</sub> ve gerilme faktörlerine göre grafikleri

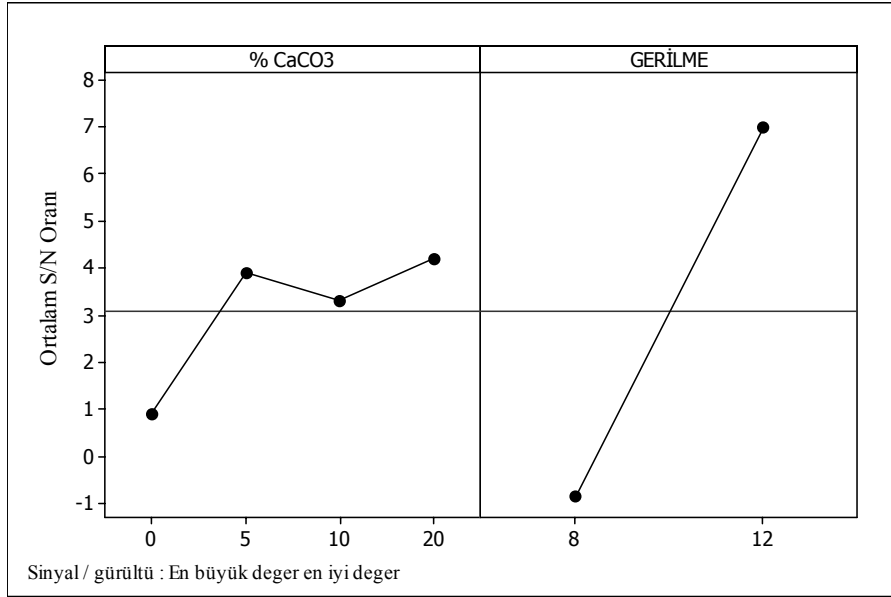
Sürünme Başlama Noktası' na ait sonuçlar Minitab programı ile analiz edildiğinde 4.20, 4.21, 4.22 grafikleri elde edilmektedir. Grafiklerden de görüldüğü gibi değişkenlerin yüksek değerleri “Sürünme Başlama Noktası” için en iyi sonucu vermektedir. Max. zorlanma için yapılan analiz ile benzer olarak gerilme en fazla etkiyi yapmaktadır. Daha sonra CaCO<sub>3</sub> miktarı Sürünme Başlama Noktası'nı en fazla etkileyen ikinci değişkendir.

CaCO<sub>3</sub> miktarı arttıkça ortalama Sürünme Başlama Noktası değerleri genel olarak artmakta ancak %5 ve %10' luk seviyeler arasında düşüş göstermektedir. Ve yine en fazla etkiyi %5 CaCO<sub>3</sub> miktarı yapmaktadır. S/N oranında da yine en fazla etkiyi gerilme değeri yapmaktadır. Standart sapma üzerinde en fazla CaCO<sub>3</sub>' ün en yüksek değeri , gerilmenin yüksek değeri en fazla değişkenlik yaratan faktörlerdir.

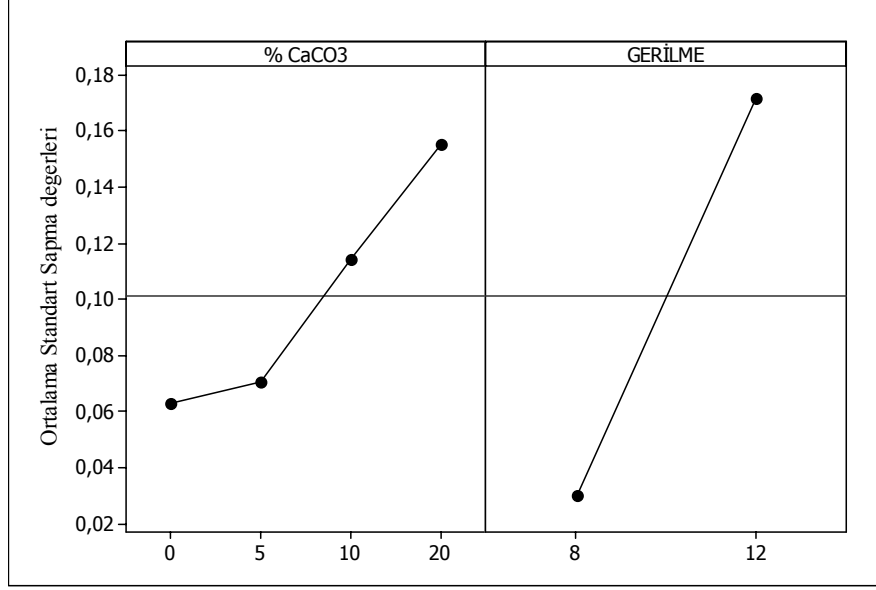




Şekil 4.20: Değişkenlerin ortalama “Sürünme Başlama Noktası” na etkisi.



Şekil 4.21: “Sürünme Başlama Noktası” na ait S/N oranı



Şekil 4.22: Standart sapmanın ortalama Sürünme Başlama Noktası' na etkisi

### 4.3.2. İkinci grup çalışmada Taguchi Yönteminin uygulanması

#### 4.3.2.1. L<sub>16</sub> dikey dizisine ait sonuçlar

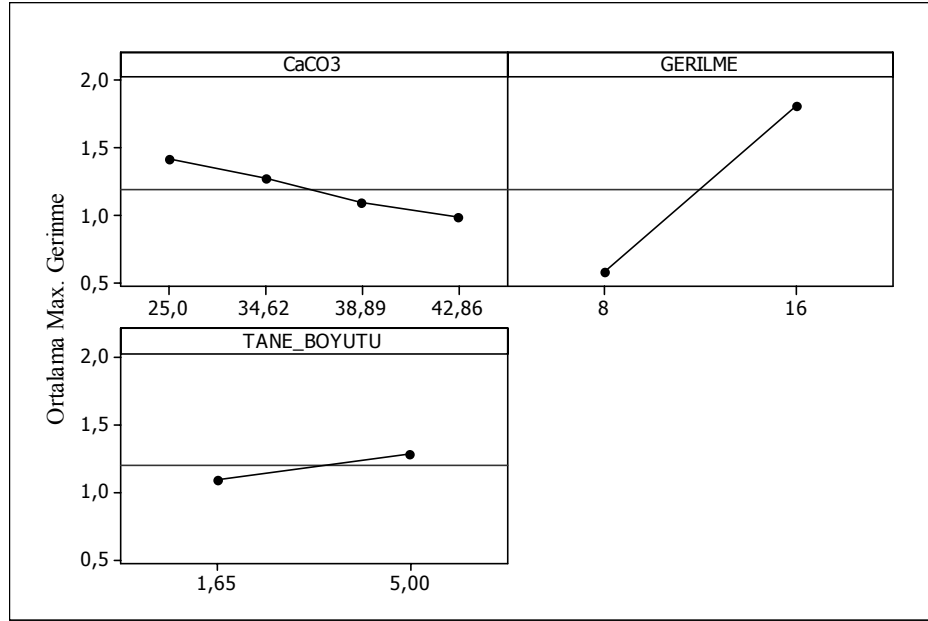
Uygun dikey dizi seçimi yapıldıktan sonra gerçekleştirilen deneylerin sonuçları aşağıdadır. Tablo 4.2 ' de deney sonucunda elde edilen zorlanma, sürünme ve sürünme başlama noktası değerleri verilmiştir. Her bir deney takımı için bir sütun ayrılmıştır.

Tablo 4.2: L<sub>16</sub> Dikey dizisinin oluşturulması.

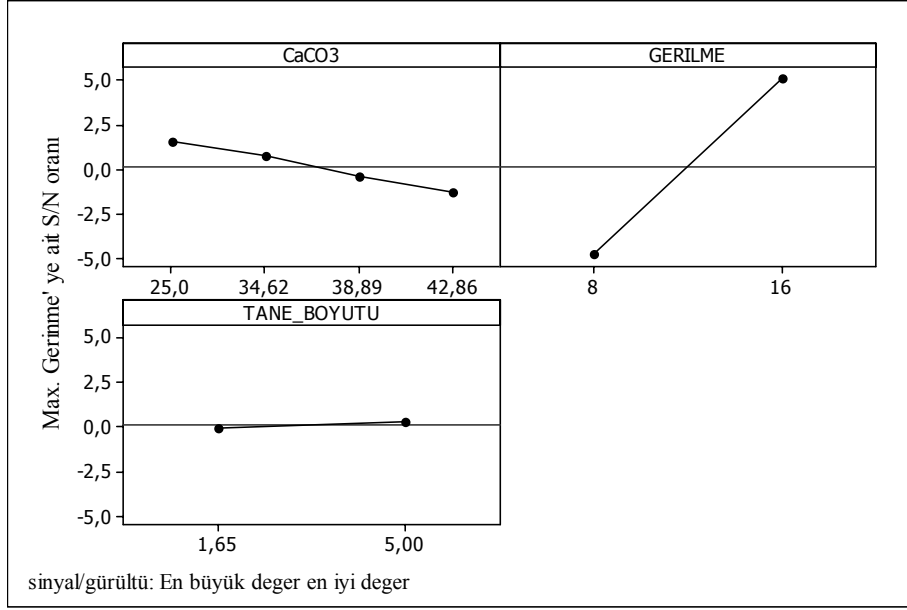
%CaCO <sub>3</sub>	GERİLME (Mpa)	TANE BOYUTU (µm)	MAX. UZAMA 1 (mm)	MAX.UZAMA 2 (mm)	MAX. UZAMA 3 (mm)	SURUNME 1 (mm)	SURUNME 2 (mm)	SURUNME 3 (mm)	SURUNME BASLAMA NOK.1 (mm)	SURUNME BASLAMA NOK.2 (mm)	SURUNME BASLAMA NOK.3 (mm)
25	8	1,65	0,65	0,68	0,65	0,15	0,17	0,16	0,5	0,5	0,49
25	8	1,65	0,65	0,68	0,65	0,15	0,17	0,16	0,5	0,5	0,49
25	16	5	2,2	2,18	2,16	1,13	1,12	1,11	1,07	1,06	1,05
25	16	5	2,2	2,18	2,16	1,13	1,12	1,11	1,07	1,06	1,05
34,62	8	1,65	0,6	0,61	0,62	0,15	0,15	0,15	0,45	0,46	0,46
34,62	8	1,65	0,6	0,61	0,62	0,15	0,15	0,15	0,45	0,46	0,46
34,62	16	5	1,91	1,98	1,97	0,95	0,99	0,99	0,96	1	0,98
34,62	16	5	1,91	1,98	1,97	0,95	0,99	0,99	0,96	1	0,98
38,89	8	5	0,55	0,54	0,55	0,17	0,16	0,16	0,39	0,38	0,38
38,89	8	5	0,55	0,54	0,55	0,17	0,16	0,16	0,39	0,38	0,38
38,89	16	1,65	1,67	1,59	1,69	0,74	0,7	0,76	0,92	0,88	0,93
38,89	16	1,65	1,67	1,59	1,69	0,74	0,7	0,76	0,92	0,88	0,93
42,86	8	5	0,49	0,5	0,5	0,14	0,15	0,15	0,35	0,35	0,35
42,86	8	5	0,49	0,5	0,5	0,14	0,15	0,15	0,35	0,35	0,35
42,86	16	1,65	1,48	1,48	1,51	0,64	0,63	0,65	0,84	0,85	0,85
42,86	16	1,65	1,48	1,48	1,51	0,64	0,63	0,65	0,84	0,85	0,85

#### 4.3.2.2. Max. zorlanmanın CaCO<sub>3</sub> gerilme ve tane boyutu faktörlerine göre grafikleri

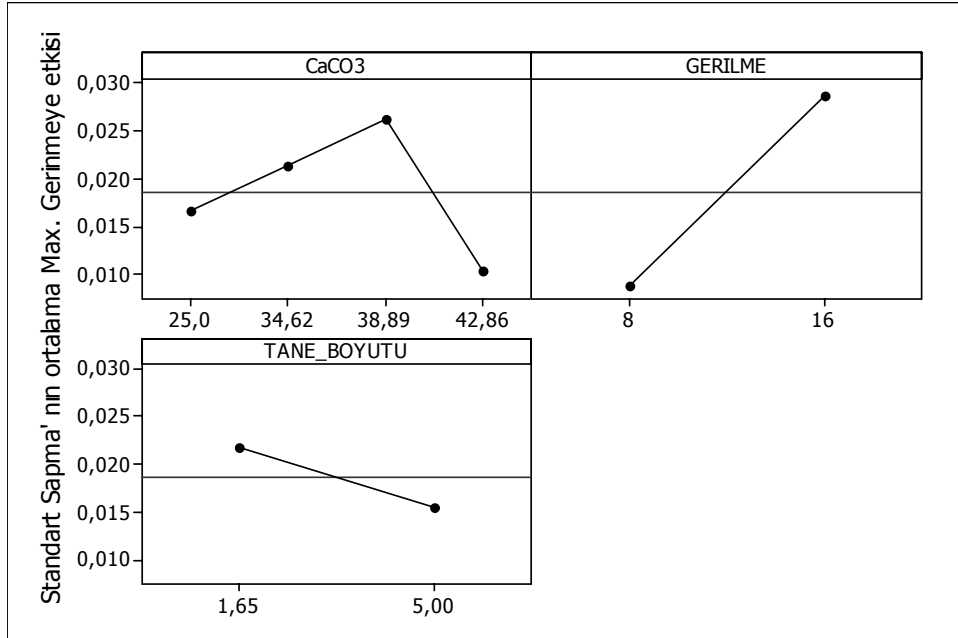
Max. zorlanma' ya ait sonuçlar Minitab programı ile analiz edildiğinde 4.23, 4.24, 4.25 grafikleri elde edilmektedir. Grafiklerden de görüldüğü gibi gerilme ve tane boyutu için değişkenlerin yüksek değerleri Max. zorlanma için en iyi sonucu vermektedir. CaCO<sub>3</sub> için değişkenlerin düşük değerleri Max. zorlanma için en iyi sonucu vermektedir. Buna göre uygulanan gerilme en fazla etkiyi yapmaktadır. Daha sonra CaCO<sub>3</sub> miktarı Max. zorlanma' yı en fazla etkileyen ikinci değişkendir. Tane boyutu farklılığının çok fazla etkisi olmamaktadır. CaCO<sub>3</sub> miktarı %25 değerini aştıktan sonra ortalama Max. zorlanma değeri azalmaktadır. S/N oranındada yine en fazla etkiyi gerilme değeri yapmaktadır. Standart sapma üzerinde, %38,89 CaCO<sub>3</sub> miktarı , gerilmenin yüksek değeri ve 1.65 µm tane boyutu en fazla değişkenlik yaratan faktörlerdir



Şekil 4.23: Değişkenlerin ortalama "Max. zorlanma" ya etkisi.



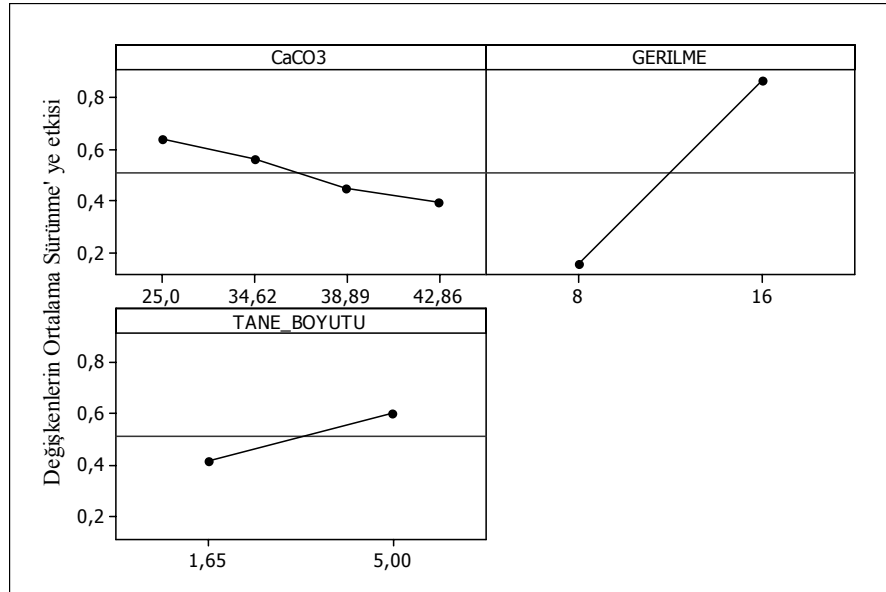
Şekil 4.24: “Max. zorlanma” ya ait S/N oranı



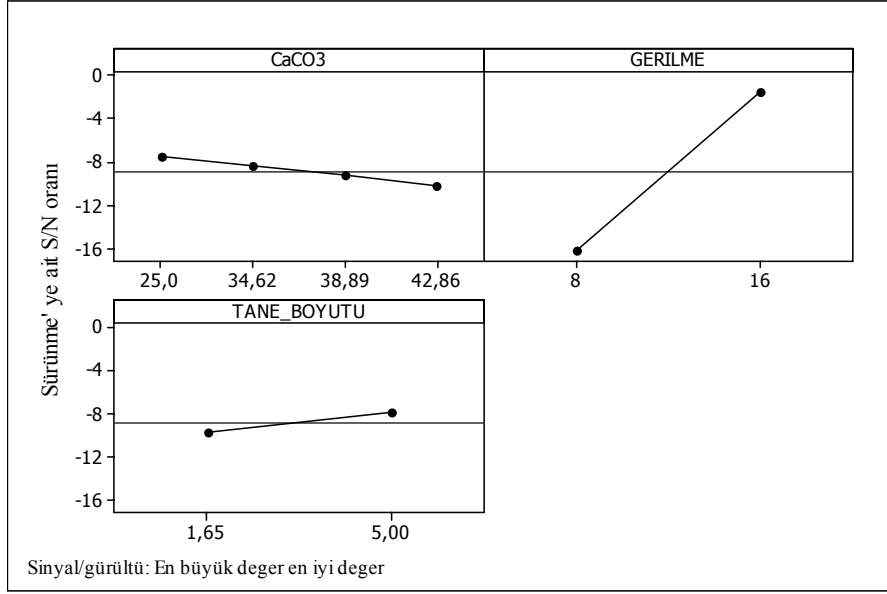
Şekil 4.25: Standart sapmanın ortalama Max. zorlanma' ya etkisi.

#### 4.3.2.3. Sürünmenin CaCO<sub>3</sub> gerilme ve tane boyutu faktörlerine göre grafikleri

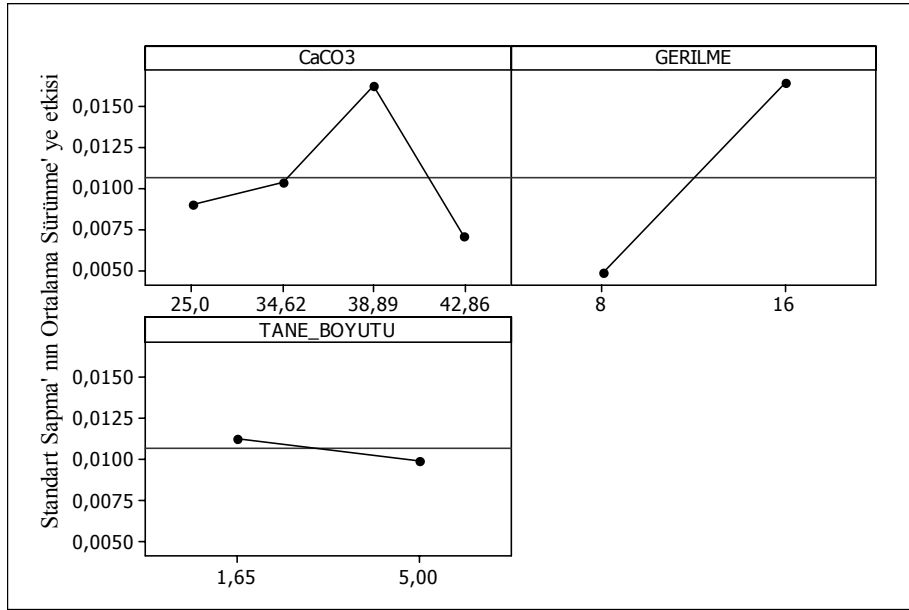
Sürünme' ye ait sonuçlar Minitab programı ile analiz edildiğinde 4.26, 4.27, 4.28 grafikleri elde edilmektedir. Grafiklerden de görüldüğü gibi gerilme ve tane boyutu için değişkenlerin yüksek değerleri sürünme için en iyi sonucu vermektedir. CaCO<sub>3</sub> için değişkenlerin düşük değerleri sürünme için en iyi sonucu vermektedir. Buna göre uygulanan gerilme en fazla etkiyi yapmaktadır. Daha sonra CaCO<sub>3</sub> miktarı Sürünme' yi en fazla etkileyen ikinci değişkendir. Tane boyutu farklılığının çok fazla etkisi olmamaktadır. CaCO<sub>3</sub> miktarı %25 değerini aştıktan sonra ortalama Sürünme değeri azalmaktadır. S/N oranındada yine en fazla etkiyi gerilme değeri yapmaktadır. Standart sapma üzerinde, %38,89 CaCO<sub>3</sub> miktarı , gerilmenin yüksek değeri ve 1.65 µm tane boyutu en fazla değişkenlik yaratan faktörlerdir



Şekil 4.26: Değişkenlerin ortalama "Sürünme" ye etkisi.



Şekil 4.27: “Sürünme” ye ait S/N oranı

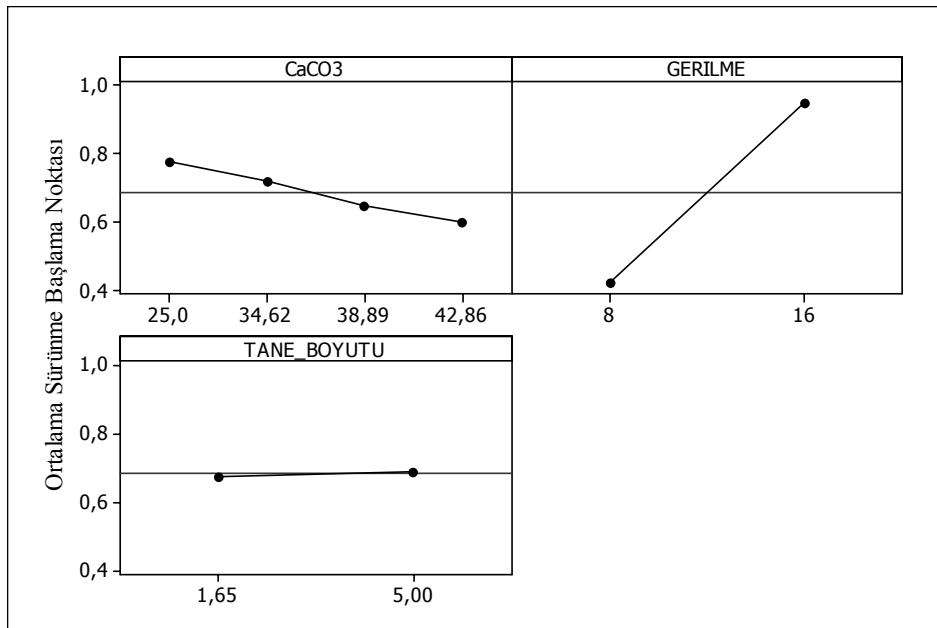


Şekil 4.28: Standart sapmanın ortalama sürünme' ye etkisi.

#### 4.3.2.4. “Sürünme Başlama Noktası” değerlerinin CaCO<sub>3</sub> ve gerilme faktörlerine göre grafikleri

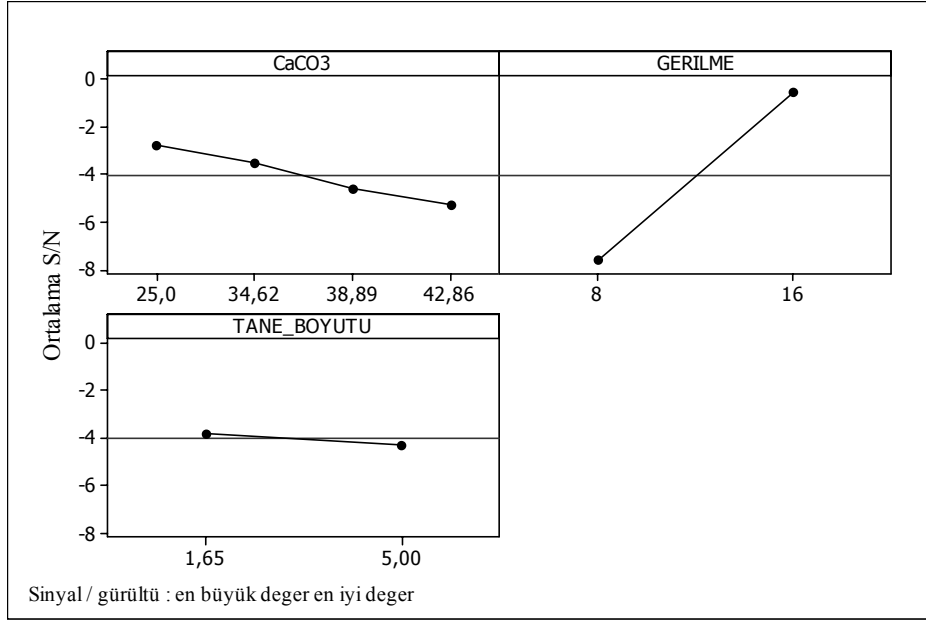
Sürünme Başlama Noktası’ na ait sonuçlar Minitab programı ile analiz edildiğinde 4.29, 4.30, 4.31 grafikleri elde edilmektedir. Grafiklerden de görüldüğü gibi gerilme ve tane boyutu için değişkenlerin yüksek değerleri “sürünme başlama noktası” için en iyi sonucu vermektedir. CaCO<sub>3</sub> için değişkenlerin düşük değerleri “sürünme başlama noktası” için en iyi sonucu vermektedir. Grafiklerden de görüldüğü gibi değişkenlerin yüksek değerleri “Sürünme Başlama Noktası” için en iyi sonucu vermektedir. Max. zorlanma için yapılan analiz ile benzer olarak gerilme en fazla etkiyi yapmaktadır. Daha sonra CaCO<sub>3</sub> miktarı Sürünme Başlama Noktası’nı en fazla etkileyen ikinci değişkendir.

CaCO<sub>3</sub> miktarı arttıkça ortalama Sürünme Başlama Noktası değerleri genel olarak azalmakta Ve en fazla etkiyi %25 CaCO<sub>3</sub> miktarı yapmaktadır. S/N oranında da yine en fazla etkiyi gerilme değeri yapmaktadır. Standart sapma üzerinde, %38,89 CaCO<sub>3</sub> miktarı, 16 MPa’lık gerilme değeri ve 1.65 µm tane boyutu en fazla değişkenlik yaratan faktörlerdir.

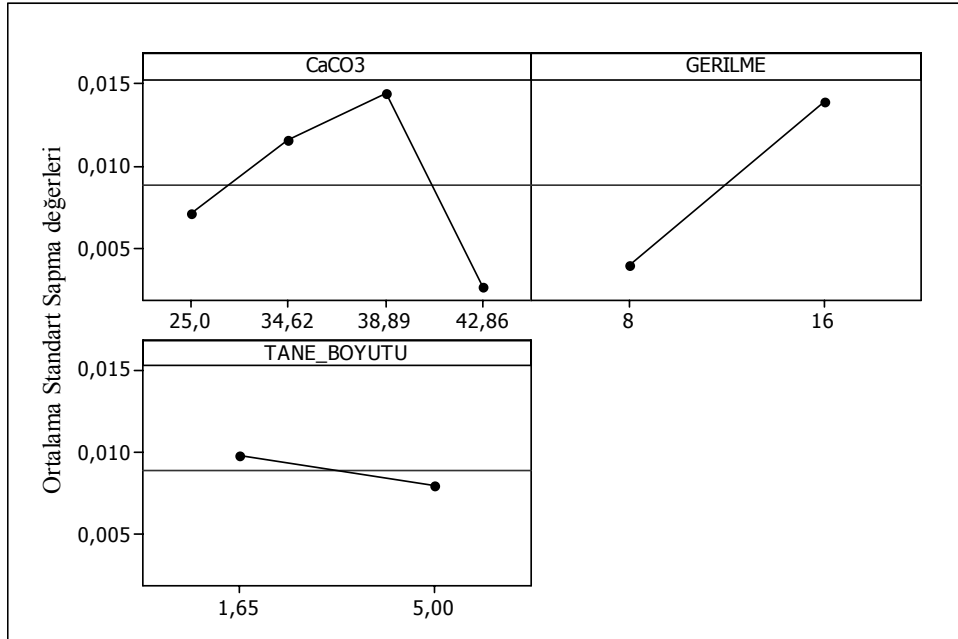


Şekil 4.29: Değişkenlerin ortalama “Sürünme Başlama Noktası” na etkisi.





Şekil 4.30: “Sürünme Başlama Noktası” na ait S/N oranı



Şekil 4.31: Standart sapmanın ortalama Sürünme Başlama Noktası’ na etkisi

## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Katkılı polietilen malzemede;

- Sürünme yükü arttıkça sürünme için harcanan toplam enerjinin arttığı görülmektedir.
- Gerilme seviyesi ve kalsiyum karbonat oranı arttıkça % uzamada dikkate değer bir şekilde arttığı tespit edilmiştir. Fakat gerilme seviyesi % uzamada en fazla etkiyi yapan faktördür.
- Artan yük miktarı ile sürünme başlama noktası değerleri artarken, artan CaCO<sub>3</sub> miktarı ile sürünme başlama noktası değerlerinde önemli bir artış görülmemiştir.
- 8 MPa gerilme değerinde katkı miktarı arttıkça elastik alanda enerji %0, 5, 10 kalsiyum karbonat miktarında artmasına rağmen %20 kalsiyum karbonat miktarında azalmaktadır.
- 12 MPa gerilme elastik alanda enerji %10 kalsiyum karbonat miktarında azalma gösterirken, %0, 5 ve 20 kalsiyum karbonat miktarında artış göstermektedir.
- %20 CaCO<sub>3</sub> katkısında 16 MPa' da PE malzeme için en iyi değerler elde edilmiştir.

Katkılı polipropilen malzemede;

- Sürünme yükü arttıkça sürünme için harcanan toplam enerjinin arttığı görülmektedir.
- Gerilme seviyesi ve kalsiyum karbonat oranı arttıkça % uzamada dikkate değer bir şekilde arttığı tespit edilmiştir. Fakat gerilme seviyesi % uzamada en fazla etkiyi yapan faktördür.
- Tane boyutu zorlanma ve sürünme değerlerini etkilemektedir. Tane boyutu arttıkça zorlanma ve sürünme değerleride artan gerilme faktörü ile birlikte artmaktadır.

- 5 µm tane boyutlu %25 CaCO<sub>3</sub> katkısında 16 MPa' da PP malzeme için en iyi değerler elde edilmiştir.
- Sürünme Başlama Noktası değerleri artan yük ile artış gösterirken Artan CaCO<sub>3</sub> miktarı ile azalmaktadır. Yani PP malzeme daha kısa uzamalarda sürünmeye başlayarak daha erken toparlanmaktadır.
- Deney sayısı Taguchi yöntemi kullanılarak %50 azaltılmıştır.

## KAYNAKLAR

- [1] YAŞAR, H., “Plastikler Dünyası”, 2. Baskı, **TMMOB Makine Mühendisleri Odası**, (2001)
- [2] DPT, 2001a, “Sekizinci beş yıllık kalkınma planı”, **Madencilik özel ihtisas komisyonu raporu**
- [3] SACAĞ, M., “Polimer Kimyası”, **Gazi Kitabevi**, 4.Baskı.
- [4] Aslıhan, A., “Sert Plastik Ambalajlar”, **SEPA-ASD Ortak Yayını**, 41-81
- [5] SAVAŞCI, Ö.T, UYANIK, N., AKOVALI, G., “ Plastikler ve Plastik Teknolojisi”, **Pagev Yayınları**, (2002).
- [6] Necmi, D., “Polimerik Malzemelerin Viskoelastikviskoplastik Davranışlarının Belirlenmesi Ve Modellenmesi”, Doktora Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, 15-25, (2007).
- [7] ÖKSÜZ, M., “ Polipropilenin Yapı ve Özellik İlişkileri”, **Plastik ve Ambalaj Teknolojisi**, 52, 102-107,(2000).
- [8] Tülin, Ş., ve Şenol, Ş., “Kalsiyum Karbonat Mineral Dolgu Maddesinin Polipropilen Random Kopolimer Boru Malzemesinin Performansına Etkisi, **8. Uluslar Arası Kırılma Konferansı Bildiriler Kitabı**, 1-10, (2007).
- [9] SACAĞ, M., “Polimer Teknolojisi”, **Gazi Kitabevi**, 389-402, 97-134, (2005).
- [10] <http://www.mta.gov.tr/mineraller/kalsitterit.html>. (25.04.2009)
- [11] KARACAN, H.E., “Mineral dolgu maddeleri ile polipropilen boruların kısa süreli iç basınç performans özelliklerinin optimasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, **Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, (2007)
- [12] LEONG, Y.W., EBU BAKAR, M.B., MOHD.ISHAK, Z.A., ARIFFIN, A., RUKANSZKY, B., **Journal of Applied Polymer Science**, 91, 3315-3326, 2004
- [13] Findley, W. N., Lai, J. S. and Onaran, K., “Creep and Relaxation of Nonlinear Viscoelastic Materials”, **Dover Publications, Inc.**, Newyork, 7-51, (1976)
- [14] Hashash, N. M. A., “Design and Analysis of Deeply Buried Polyethylene Drainage Pipes”, Ph.D. thesis, **Department of Civil Engineering**, The University of Massachusetts at Amherst, USA, (1991).

- [15] Janson, L. E., “Plastic Pipes for Water Supply and Sewage Disposal”, *Borealis*, Stockholm, 5-22, (1995)
- [16] Ali Osman, K., Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Ders Notları, (2008).
- [17] DOĞAN, Ö., İ., Kalite Uygulamalarının İşletmelerin Rekabet Gücü Üzerine Etkisi. Dokuz Eylül Ün. Sos. Bil. Ens. Der., cilt:2, sayı:1, (2000).
- [18] Mete, Ş., “Kalite İçin Deney Tasarımı Taguchi Yaklaşımı”, *Literatür Yayıncılık*, 11-30, (1997)
- [19] ÇAPRAZ, İ., MERİH, K., Etkin Yönetim Liderlik Eğitim Merkezi.  
<http://www.eylem.com/tqm/wtqm05.htm> (25.05.2009)
- [20] CANIYILMAZ, E., “Kalite Geliştirmede Taguchi Metodu ve Bir Örnek Uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, Ankara 2001
- [21] BİRİNCİ, A., “Plastik Enjeksiyon Kalıplarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul 1997
- [22] KACKAR, Raghu N., “Off-Line Quality Control, Parameter Design, and The Taguchi Method”, *Journal of Quality Technology*, Vol.17, No: 4, Oct. 1985, pp.176-187.
- [23] KAYA, N., 1996. Deney Düzeninde Taguchi Yaklaşımı, Hacettepe Ün. Fen Bil. Ens. Y.L. Tezi, Ankara.
- [24] PEACE, G., S., 1993. Taguchi Methods. Addison-Wesley Publishing Company, Canada
- [25] OMYA, 2004-d. Calcium Carbonate in Blown HDPE Film, malzeme spektleri broşürü, [www.omya.com](http://www.omya.com),
- [26] SOLVAY, Polietilen ELTEX TUB 172 malzeme spektleri broşürü, [www.solvay.com](http://www.solvay.com), (10.04.2009)
- [27] ISO 527-2, “Plastics – Determination of tensile properties – Part-1 : Test conditions for moulding and extrusion plastics”, ISO, Switzerland, (1993)

## ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Kocaeli' de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Kocaeli' de tamamladı. 2000 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü' nden 2004 yılında mezun oldu. 2006 yılında, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı' nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 2005 yılında Yaltes Elektronik A.Ş bünyesinde Ürün geliştirme mühendisi olarak bir yıl çalışmıştır. 2007 yılında ZF Sachs A.Ş' de Ürün geliştirme mühendisi pozisyonunda çalışmaya başlamış ve aynı yerde devam etmektedir. Halen Yüksek Lisans öğrencisi olarak öğrenimine devam etmektedir.