

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MİNERAL DOLGU MADDELERİ İLE YÜKSEK YOĞUNLUKLU
POLİETİLEN BORULARIN HİDROSTATİK İÇ BASINÇ
PERFORMANS ÖZELLİKLERİNİN OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS

Makina Müh. Levent SÖZEN

Anabilim Dalı: Makina Mühendisliği

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Şenol ŞAHİN

KOCAELİ, 2010

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MİNERAL DOLGU MADDELERİ İLE YÜKSEK YOĞUNLUKLU
POLİETİLEN BORULARIN HİDROSTATİK İÇ BASINÇ
PERFORMANS ÖZELLİKLERİNİN OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS

Makina Müh. Levent SÖZEN

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 30 Haziran 2010

Tezin Savunulduğu Tarih: 23 Temmuz 2010

Tez Danışmanı

**Yrd.Doç.Dr.Şenol
ŞAHİN**

(.....)

Üye

**Prof.Dr.Abdullah
MİMAROĞLU**

(.....)

Üye

Doç.Dr. Cüneyt OYSU

(.....)

KOCAELİ, 2010

ÖNSÖZ

Sanayi devriminden bu yana, endüstriyel alanda plastiklerin kullanımının gözle görülür artışını izliyoruz. Özellikle gıda ambalajı üretimlerinde plastiklerin hakimiyeti neredeyse %90'lara ulaşmış durumda. Bunun yanı sıra, endüstride konvensiyonel olarak imal edilen bir çok dövme ve döküm gibi ağır parçalar artık sert plastiklerin kullanımı ile azalmaktadır. Plastik kullanımının artması ile çevreye verdiği zararlarının ortaya çıkması ve insan sağlığına olumsuz etkileri, bazı gelişmiş ülkelerde plastik üretiminde ve tüketiminde sınırlamalar getirilmesine neden olmuştur. Bu sebeplerden dolayı plastik sektöründe tüketimin bundan sonraki aşamasının gelişmekte olan ülkelerde artışa geçeceği düşünülmektedir.

Termoplastik (ısıtılarak şekil verilebilen) poliolefin grubu malzemelerle başta maliyeti düşürmek sonra da mekanik özellikleri artırmak üzere mineral dolguların (bor, fiberglas, kalsiyum karbonat, vs.) ilave edilmesi üzerine çalışmalar yapılmış olmakla beraber sözü geçen bu dolguların özellikle basınçlı borularda kullanımı üzerine literatürde çok az sayıda yayın bulunmaktadır. Bu doğrultuda Tübitak tarafından desteklenen 105M220 numaralı “Mineral Dolgulu Poliolefin Boruların Kısa ve Uzun Süreli İç Basınç Performans Özelliklerinin Optimizasyonu” isimli deneysel araştırma projesi kapsamında yapılan bu çalışmada mineral dolgu maddeleri ile yüksek yoğunluklu polietilen boruların hidrostatik iç basınç performans özelliklerinin optimizasyonu araştırılmış ve mineral katkılandırılmış basınçlı boruların basınç-sıcaklık-zaman (regresyon) eğrileri çalışılmıştır.

Granüllerimizin imalatını gerçekleştiren ve bunların yanında enjeksiyon numune üretimine katkılarından dolayı EMAŞ Plastik A.Ş.'ye teşekkür ederim. Bununla beraber talk ham maddesini bize tedarik eden Mikron'S A.Ş.'ye ve boru üretimini gerçekleştirdiğimiz NOVAPLAST A.Ş.'ye teşekkürlerimi sunarım.

Tüm hayatım boyunca bana olan desteklerini hiç bir zaman eksik etmeyen başta çok değerli aileme teşekkür ederim. Çalışma esnasında bilgi ve tecrübelerini bizlere sunduğu bilgi kaynaklarını paylaştığım Sayın Prof. Dr. Paşa YAYLA'ya teşekkür ederim. Yüksek lisans eğitimimin başlangıcından tezimi hazırladığım güne kadar bilgi birikimi ve tecrübeleriyle bana her konuda yardımcı olan ve yol gösteren çok değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Şenol ŞAHİN'e sonsuz minnet ve şükranlarımı sunar teşekkür ederim. Ayrıca deneylerin yapılmasındaki çok değerli yardımlarından ötürü sevgili Anıl ALTAY ,Arda HAÇADURYAN, Erhan ERÇİK ,Semih MIZRAK, Utku TURAN'a,Mak.Müh. Ece CENGİZ YÜCEL'e,Mak.Müh.Neşe BAHÇECİ'ye ve deneysel süreçte verdiği desteklerinden ötürü Sayın Yrd. Doç. Dr. Tülin ŞAHİN'e teşekkür ederim. Yine çok değerli meslekdaşım Yük. Mak. Müh. Halit Erdem

KARACAN'a ve Yük. Mak. Müh.Erkut FINDIK'a bana yol gösterdiği tezinden dolayı teŖekkr ederim. Son olarak değerli yardımlarından dolayı teknisyenimiz Abdulkadir YAYLA'ya teŖekkr ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
TABLolar DİZİNİ	x
SEMBOLLER.....	xii
ÖZET.....	xiv
İNGİLİZCE ÖZET	xv
1. GİRİŞ	1
1.1. Problemin Oluşma Süreci	3
1.2. Problemin Açıklanması ve Hedefin Belirlenmesi.....	4
2. GENEL KISIMLAR	8
2.1. Plastik Borular	8
2.2. Mineral Dolgu Maddeleri	9
2.2.1. Kalsiyum karbonat minerali ve etkileri	10
2.2.2. Talk minerali ve etkileri	11
2.3. Yüksek Yoğunluklu Polietilen Malzemesinin Fiziksel, Mekanik ve Isıl Özelliklerine Mikro Mineral Dolgu Maddesinin Etkisi.....	12
2.3.1. Yoğunluğuna etkisi	12
2.3.2. Akışkanlığına etkisi.....	13
2.3.3. Isı iletkenliğine etkisi	13
2.3.4. Kristalleşme oranına etkisi.....	14
2.3.5. Sertliğine etkisi.....	15
2.3.6. Darbe dayanımına etkisi.....	15
2.3.7. Çekme özelliklerine etkisi.....	16
2.3.7.1. Elastisite modülüne	17
2.3.7.2. Akma ve kopma gerilmelerine	17
2.3.7.3. Akma ve kopma uzamalarına.....	18
2.3.8. Boruların hidrostatik iç basınç özelliklerine etkisi.....	19
3. MALZEME ve YÖNTEM	23
3.1. Kullanılan Malzemeler.....	23
3.1.1. Yüksek yoğunluklu polietilen hammaddesi	23
3.1.2. Talk minerali	24
3.1.2.1. Modifiyesiz talk minerali	25
3.1.2.2. Modifiyeli talk minerali	26
3.1.3. Kalsiyum karbonat minerali.....	26
3.1.3.1. Modifiyesiz kalsiyum karbonat minerali	27
3.1.3.2. Modifiyeli kalsiyum karbonat minerali.....	27
3.2. Harmanların Üretimi	28
3.2.1. Kalsiyum karbonat dolgulu harmanların hazırlanması	29

3.2.2. Talk dolgulu harmanların hazırlanması	29
3.2.3. Hibrit dolgulu harmanların hazırlanması	30
3.3. Deney Numunesi Üretimi	31
3.3.1. Boruların ekstrüzyon yöntemi ile hazırlanması	31
3.3.2. Makine ile işlenerek çok amaçlı deney numunesi hazırlama	33
3.3.3. Enjeksiyon kalıplama yöntemiyle çok amaçlı deney numunesi üretimi	35
3.3.3.1. Kalsiyum karbonat dolgulu numunelerin hazırlanması	37
3.3.3.2. Talk Dolgulu numunelerin hazırlanması	38
3.3.3.3. Hibrit Dolgulu numunelerin hazırlanması	38
3.4. Deney Programı	39
3.5. Deney Şartları, Araçlar, Makineler ve Donanımlar	40
3.5.1. Yoğunluk deneyi ve cihazı	40
3.5.2. Erime akış hızı deneyi ve cihazı	42
3.5.3. Diferansiyel taramalı kalorimetre deneyi ve cihazı	43
3.5.4. Shore D sertlik ölçme deneyi ve cihazı	44
3.5.5. Çekme numunesi ve çekme deneyi	45
3.5.6. Charpy numunesi ve enstrümante edilmiş charpy deneyi	48
3.5.7. Hidrostatik iç basınç deneyi	51
4. SONUÇLAR VE BULGULAR	53
4.1. Yoğunluk Deneyleri	53
4.1.1. Mikronize toz kalsiyum karbonatın etkisi	53
4.1.2. Mikronize pudra talkın etkisi	56
4.2. Erime Akış Hızı Deneyleri	58
4.2.1. Mikronize toz kalsiyum karbonatın etkisi	59
4.2.2. Mikronize pudra talkın etkisi	65
4.2.3. Mikronize hibrit ve/veya kaplı minerallerin etkisi	69
4.3. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre Deneyleri	72
4.3.1. Mikronize toz kalsiyum karbonatın etkisi	72
4.3.2. Mikronize pudra talkın etkisi	78
4.3.3. Mikronize hibrit ve/veya kaplı minerallerin etkisi	82
4.4. Çekme Deneyleri	85
4.4.1. Mikronize toz kalsiyum karbonatın etkisi	85
4.4.2. Mikronize pudra talkın etkisi	101
4.5. Charpy Çentik Darbe Deneyi	115
4.5.1. Mikronize toz kalsiyum karbonatın etkisi	116
4.5.2. Mikronize pudra talkın etkisi	118
4.5.3. Ortam koşullarının etkisi	121
4.6. Hidrostatik İç Basınç Deneyi	131
4.6.1. Mikronize pudra talkın etkisi	136
4.6.2. Mikronize toz kalsiyum karbonatın etkisi	140
4.6.3. Mikronize hibrit dolgunun etkisi	146
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	156
KAYNAKLAR	171
EKLER	178
ÖZGEÇMİŞ	199

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1: Kalsiyum Karbonat Mineralinin Kristal Kafes Yapısı (Mikron's A.Ş.).....	11
Şekil 2.2: Talk Mineralinin Kristal Kafes Yapısı (Mondo Minerals)	12
Şekil 2.3: Bazı borular için logaritmik çevresel gerilme zaman grafikleri (Ant ve Claus 1997)	20
Şekil 2.4: YYPE nin kısa süreli iç basınç deneylerindeki tipik bir regresyon eğrisi ...	22
Şekil 3.1: Boru numunelerin bölgelere genel ayrılma şekli	34
Şekil 3.2: Ø 63 çapındaki boru numunelerin bölgelere ayrılma şekli	34
Şekil 3.3: Ø 75 çapındaki boru numunelerin bölgelere ayrılma şekli	35
Şekil 3.4: Enjeksiyon kalıbının üstten görünüşü	37
Şekil 3.5: Hassas terazi ve yoğunluk ölçüm seti	41
Şekil 3.6: Shore D sertlik ölçüm noktaları	44
Şekil 3.7: Çekme numunesinin boyutları	45
Şekil 3.8: Charpy numunesi	48
Şekil 3.9: Enstrümanle edilmiş Charpy deneyinde PPB malzemesi için elde edilen tipik bir kuvvet-zaman diyagramı	49
Şekil 3.10: Boru numunesi boyutları	51
Şekil 4.1: YYPE boru malzemesi yoğunluğunun CaCO ₃ tane boyuna bağlı değişimi	54
Şekil 4.2: YYPE boru malzemesi yoğunluğunun CaCO ₃ miktarına bağlı değişimi ortalama tane boyu	55
Şekil 4.3: YYPE boru malzemesi yoğunluğunun talk tane boyuna bağlı değişimi	56
Şekil 4.4: YYPE boru malzemesi yoğunluğunun talk miktarına bağlı değişimi ortalama tane boyu	57
Şekil 4.5: 190°C/5.00 kg'da YYPE boru malzemesi akışkanlığının, CaCO ₃ dolgu miktarına bağlı değişimi	60
Şekil 4.6: 160°C/5.00 kg'da YYPE boru malzemesi akışkanlığının, CaCO ₃ dolgu miktarına bağlı değişimi	62
Şekil 4.7: 190°C/5.00 kg'da YYPE boru malzemesi akışkanlığının, talk dolgu miktarına bağlı değişimi	66
Şekil 4.8: 150°C/5.00 kg'da YYPE boru malzemesi akışkanlığının, talk dolgu miktarına bağlı değişimi	68
Şekil 4.9: 190°C/5.00 kg'da YYPE boru malzemesi akışkanlığının, hibrit ve/veya kaplı dolgu miktarına bağlı değişimi	70
Şekil 4.10: Granül haldeki YYPE boru hammaddesinin kristalleşme derecesinin, CaCO ₃ minerali tane boyuna bağlı değişimi	73
Şekil 4.11: Granül haldeki YYPE boru hammaddesinin kristalleşme derecesinin ve kristalin erime sıcaklığının, CaCO ₃ dolgu miktarına bağlı değişimi	74

Şekil 4.12: Enjeksiyon kalıplama yöntemiyle basılmış YYPE boru malzemesinin kristalleşme derecesinin, CaCO ₃ minerali tane boyuna bağlı değişimi	75
Şekil 4.13: Enjeksiyon kalıplama yöntemiyle basılmış YYPE boru malzemesinin kristalleşme derecesinin ve kristalin erime sıcaklığının, CaCO ₃ dolgu miktarına bağlı değişimi.....	76
Şekil 4.14: Tek vidalı ekstrüzyonda üretilmiş YYPE borunun kristalleşme derecesinin, CaCO ₃ minerali tane boyuna bağlı değişimi.....	77
Şekil 4.15: Tek vidalı ekstrüzyonda üretilmiş YYPE borunun kristalleşme derecesinin ve kristalin erime sıcaklığının, CaCO ₃ dolgu miktarına bağlı değişimi	78
Şekil 4.16: Enjeksiyon kalıplama yöntemiyle basılmış YYPE boru malzemesinin kristalleşme derecesinin, talkın tane boyuna bağlı değişimi	79
Şekil 4.17: Enjeksiyon kalıplama yöntemiyle basılmış YYPE boru malzemesinin kristalleşme derecesinin ve kristalin erime sıcaklığının, talk dolgu miktarına bağlı değişimi.....	80
Şekil 4.18: Tek vidalı ekstrüzyonda üretilmiş YYPE borunun kristalleşme derecesinin, talkın tane boyuna bağlı değişimi	81
Şekil 4.19: Tek vidalı ekstrüzyonda üretilmiş YYPE borunun kristalleşme derecesinin ve kristalin erime sıcaklığının, talk dolgu miktarına bağlı değişimi	82
Şekil 4.20: Granül haldeki YYPE boru hammaddesinin kristalleşme derecesinin, hibrit ve/veya kaplı dolgu miktarına bağlı değişimi	83
Şekil 4.21: Tek vidalı ekstrüzyonda üretilmiş YYPE borunun kristalleşme derecesinin, hibrit ve/veya kaplı dolgu miktarına bağlı değişimi	84
Şekil 4.22: CaCO ₃ dolgulu YYPE boru malzemesi Elastisite Modülünün ortalama tane boyuna bağlı değişimi.....	86
Şekil 4.23: CaCO ₃ dolgulu YYPE boru malzemesi Elastisite Modülünün dolgu miktarına bağlı değişimi.....	87
Şekil 4.24: CaCO ₃ dolgulu YYPE boru malzemesi Akma Gerilmesinin ortalama tane boyuna bağlı değişimi.....	89
Şekil 4.25: CaCO ₃ dolgulu YYPE boru malzemesi akma gerilmesinin dolgu miktarına bağlı değişimi.....	90
Şekil 4.26: CaCO ₃ dolgulu YYPE boru malzemesi akma uzamasının ortalama tane boyuna bağlı değişimi.....	92
Şekil 4.27: CaCO ₃ dolgulu YYPE boru malzemesi akma uzamasının dolgu miktarına bağlı değişimi.....	93
Şekil 4.28: CaCO ₃ dolgulu YYPE boru malzemesi kopma gerilmesinin ortalama tane boyuna bağlı değişimi.....	95
Şekil 4.29: CaCO ₃ dolgulu YYPE boru malzemesi kopma gerilmesinin dolgu miktarına bağlı değişimi.....	97
Şekil 4.30: CaCO ₃ dolgulu YYPE boru malzemesi kopma uzamasının ortalama tane boyuna bağlı değişimi.....	98
Şekil 4.31: CaCO ₃ dolgulu YYPE boru malzemesi kopma uzamasının dolgu miktarına bağlı değişimi.....	100
Şekil 4.32: Talk dolgulu YYPE boru malzemesi Elastisite Modülünün ortalama	

tane boyuna bağılı değişimi.....	102
şekil 4.33: Talk dolgulu YYPE boru malzemesi Elastisite Modülünün dolgu miktarına bağılı değişimi.....	103
şekil 4.34: Talk dolgulu YYPE boru malzemesi akma gerilmesinin ortalama tane boyuna bağılı değişimi	105
şekil 4.35: Talk dolgulu YYPE boru malzemesi akma gerilmesinin dolgu miktarına bağılı değişimi.....	106
şekil 4.36: Talk dolgulu YYPE boru malzemesi akma uzamasının ortalama tane boyuna bağılı değişimi	107
şekil 4.37: Talk dolgulu YYPE boru malzemesi akma uzamasının dolgu miktarına bağılı değişimi.....	108
şekil 4.38: Talk dolgulu YYPE boru malzemesi kopma gerilmesinin ortalama tane boyuna bağılı değişimi.....	110
şekil 4.39: Talk dolgulu YYPE boru malzemesi kopma gerilmesinin dolgu miktarına bağılı değişimi.....	111
şekil 4.40: Talk dolgulu YYPE boru malzemesi kopma uzamasının ortalama tane boyuna bağılı değişimi.....	113
şekil 4.41: Talk dolgulu YYPE boru malzemesi kopma uzamasının dolgu miktarına bağılı değişimi.....	114
şekil 4.42: CaCO ₃ dolgulu YYPE boru malzemesi Charpy çentik darbe dayanımının dolgu miktarına bağılı değişimi.....	116
şekil 4.43: CaCO ₃ dolgulu YYPE boru malzemesi Charpy çentik başlatma enerjisinin dolgu miktarına bağılı değişimi.....	117
şekil 4.44: CaCO ₃ dolgulu YYPE boru malzemesi Charpy çentik ilerletme enerjisinin dolgu miktarına bağılı değişimi.....	118
şekil 4.45: Talk dolgulu YYPE boru malzemesi Charpy çentik darbe dayanımının dolgu miktarına bağılı değişimi.....	119
şekil 4.46: Talk dolgulu YYPE boru malzemesi Charpy çentik (a) başlatma ve (b) ilerletme enerjilerinin dolgu miktarına bağılı değişimleri	120
şekil 4.47: Kalsiyum karbonat mineralinin dolgu miktarının ve partikül boyutunun 0 °C deki charpy çentik darbe özelliklerine etkisinin saf YYPE göre kıyaslanması	122
şekil 4.48: Kalsiyum karbonat mineralinin dolgu miktarının ve partikül boyutunun 10 °C deki charpy çentik darbe özelliklerine etkisinin saf YYPE göre kıyaslanması	122
şekil 4.49: Kalsiyum karbonat mineralinin dolgu miktarının ve partikül boyutunun 20 °C deki charpy çentik darbe özelliklerine etkisinin saf YYPE göre kıyaslanması	123
şekil 4.50: Kalsiyum karbonat mineralinin dolgu miktarının ve partikül boyutunun 40 °C deki charpy çentik darbe özelliklerine etkisinin saf YYPE göre kıyaslanması	123
şekil 4.51: Kalsiyum karbonat mineralinin dolgu miktarının ve tane boyunun 60 °C deki charpy çentik darbe özelliklerine etkisinin saf YYPE göre kıyaslanması	124
şekil 4.52: Kalsiyum karbonatın dolgu miktarının ve tane boyutunun 80 °C deki	

charpy çentik darbe özelliklerine etkisinin saf YYPE göre kıyaslanması.....	124
Şekil 4.53: Imercarb 5G kalsiyum karbonat mineralinin dolgu miktarının charpy çentik darbe özelliklerine sıcaklığın etkisinin saf YYPE göre kıyaslanması.....	125
Şekil 4.54: Imercarb 2XG kalsiyum karbonat mineralinin dolgu miktarının charpy çentik darbe özelliklerine sıcaklığın etkisinin saf YYPE göre kıyaslanması.....	126
Şekil 4.55: Imercarb 1G kalsiyum karbonat mineralinin dolgu miktarının charpy çentik darbe özelliklerine sıcaklığın etkisinin saf YYPE göre kıyaslanması.....	126
Şekil 4.56: Talkın dolgu miktarının ve tane boyutunun 0 °C deki charpy çentik darbe özelliklerine etkisinin saf YYPE göre kıyaslanması.....	127
Şekil 4.57: Talkın dolgu miktarının ve tane boyutunun 10 °C deki charpy çentik darbe özelliklerine etkisinin saf YYPE göre kıyaslanması.....	128
Şekil 4.58: Talkın dolgu miktarının ve tane boyutunun 20 °C deki charpy çentik darbe özelliklerine etkisinin saf YYPE göre kıyaslanması.....	128
Şekil 4.59: Talkın dolgu miktarının ve tane boyutunun 40 °C deki charpy çentik darbe özelliklerine etkisinin saf YYPE göre kıyaslanması.....	129
Şekil 4.60: Talkın dolgu miktarının ve tane boyutunun 60 °C deki charpy çentik darbe özelliklerine etkisinin saf YYPE göre kıyaslanması.....	129
Şekil 4.61: Talkın dolgu miktarının ve tane boyutunun boyutunun 80 °C deki charpy çentik darbe özelliklerine etkisinin saf YYPE göre kıyaslanması.....	130
Şekil 4.62: Talk 5XH mineralinin dolgu miktarının charpy çentik darbe özelliklerine sıcaklığın etkisinin saf YYPE göre kıyaslanması.....	131
Şekil 4.63: Premier Talk mineralinin dolgu miktarının charpy çentik darbe özelliklerine sıcaklığın etkisinin saf YYPE göre kıyaslanması.....	131
Şekil 4.64: ISO 15494 standardına göre PE100 ve PE80 sınıfı yüksek yoğunluklu polietilen basınçlı boruların 20°C test sıcaklığındaki çevresel gerilme-zaman eğrisi.....	132
Şekil 4.65: ISO 15494 standardına göre PE100 ve PE80 sınıfı yüksek yoğunluklu polietilen basınçlı boruların 80°C test sıcaklığındaki çevresel gerilme-zaman eğrisi.....	133
Şekil 4.66: ISO 15494 standardına göre PE100 ve PE80 sınıfı yüksek yoğunluklu polietilen basınçlı boruların farklı test sıcaklıklarında zamana bağlı çevresel gerilmenin yüzde değişimi.....	133
Şekil 4.67: 20°C test sıcaklığında, dış çapları 63 mm ve 75 mm olan yüksek yoğunluklu polietilen basınçlı boruların yaklaşık çevresel gerilme-zaman eğrileri.....	134
Şekil 4.68: 80°C test sıcaklığında, dış çapları 63 mm ve 75 mm olan yüksek yoğunluklu polietilen basınçlı boruların yaklaşık çevresel gerilme-zaman eğrileri.....	135
Şekil 4.69: 13 µm ortalama tane boylu talk dolgulu 75 mm dış çaplı yüksek yoğunluklu polietilen borunun 20°C deki yaklaşık çevresel gerilme-	

zaman eğrileri.....	137
Şekil 4.70: 5,50 µm ortalama tane boylu talk dolgulu 75 mm dış çaplı yüksek yoğunluklu polietilen borunun 20°C deki yaklaşık çevresel gerilme-zaman eğrileri.....	138
Şekil 4.71: Farklı tane boylu hacimce yüzde 10 talk dolgulu 75 mm dış çaplı yüksek yoğunluklu polietilen borunun 20°C deki yaklaşık çevresel gerilme-zaman eğrileri	139
Şekil 4.72: Kalsit dolgulu 63 mm dış çaplı yüksek yoğunluklu polietilen borunun, 20°C deki 1 saat test süresindeki çevresel gerilmesinin dolgu miktarına bağlı değişimi.....	141
Şekil 4.73: Farklı ortalama tane boylu ve hacimce yüzde 10 kalsit dolgulu 63 mm dış çaplı yüksek yoğunluklu polietilen borunun 20°C deki yaklaşık çevresel gerilme-zaman eğrileri.....	142
Şekil 4.74: Farklı tane boylu hacimce yüzde 10 kalsit dolgulu 63 mm dış çaplı yüksek yoğunluklu polietilen borunun 20°C deki yaklaşık çevresel gerilme-zaman eğrileri	144
Şekil 4.75: Farklı tane boylu hacimce yüzde 10 kalsit dolgulu farklı dış çaplı yüksek yoğunluklu polietilen boruların 20°C deki yaklaşık çevresel gerilme-zaman eğrileri	144
Şekil 4.76: Naturel ve, 1,65 µm taneli hacimce yüzde 10 a kalsit dolgulu yüksek yoğunluklu polietilen boruların 80°C deki yaklaşık çevresel gerilme-zaman eğrileri.....	145
Şekil 4.77: Modifiye edilmiş ve edilmemiş kalsit dolgulu 63 mm dış çaplı yüksek yoğunluklu polietilen borunun 20°C deki yaklaşık çevresel gerilme-zaman eğrileri	147
Şekil 4.78: Modifiyeli kalsit dolgulu ve hibrit dolgulu 63 mm dış çaplı yüksek yoğunluklu polietilen boruların 20°C deki yaklaşık çevresel gerilme-zaman eğrileri.....	149
Şekil 4.79: Hacimce yüzde 6 ve 10 oranında hibrit dolgulu 63 mm dış çaplı yüksek yoğunluklu polietilen borunun 20°C deki yaklaşık çevresel gerilme-zaman eğrileri	151
Şekil 4.80: Hacimce yüzde 6 ve 10 modifiyeli kalsit ve hibrit dolgulu 63 mm dış çaplı yüksek yoğunluklu polietilen boruların 20°C deki yaklaşık çevresel gerilme-zaman eğrileri	152
Şekil 4.81: Hacimce 10 modifiyeli kalsit ve hibrit dolgulu 63 mm dış çaplı yüksek yoğunluklu polietilen boruların 80°C deki yaklaşık çevresel gerilme-zaman eğrileri	153
Şekil 4.82: Hacimce yüzde 6 ve 10 oranında hibrit dolgulu 63 mm dış çaplı yüksek yoğunluklu polietilen boruların 80°C deki yaklaşık çevresel gerilme-zaman eğrileri	154
Şekil 4.83: Hacimce 10 oranında modifiyeli kalsit dolgulu ve hacimce yüzde 6 ve 10 oranında hibrit dolgulu 63 mm dış çaplı yüksek yoğunluklu polietilen boruların 80°C deki yaklaşık çevresel gerilme-zaman eğrileri	154

TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1: Çeşitli katkı minerallerinin Mohs sertlik değerleri (Chang, 1995).....	10
Tablo 3.1: YYPE malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerine ait üretici verileri (Borealis 2004)	24
Tablo 3.2: Talk minerali imalatçı verileri (Mikron'S-2008, Mineral Resources-Development,2009).....	26
Tablo 3.3: Kullanılan CaCO ₃ minerallerinin imalatçı verileri (Mikro Mineral A.Ş.2004, Omya Madencilik A.Ş. 2007)	28
Tablo 3.4: Boru hammaddelerinin hazırlanmasında kullanılan yüksek üretim kapasiteli ikiz vidalı ekstruderin teknik bilgileri.....	28
Tablo 3.5: Kalsiyum karbonat katkılı boru hammaddelerinin hazırlanmasında kullanılan yüksek üretim kapasiteli ikiz vidalı ekstruderin teknik bilgileri. (EMAŞ, 2007)	29
Tablo 3.6: Talk boru hammaddelerinin hazırlanmasında kullanılan yüksek üretim kapasiteli ikiz vidalı ekstruderin teknik bilgileri. (EMAŞ, 2007).....	30
Tablo 3.7: Hibrit dolgulu boru hammaddelerinin hazırlanmasında kullanılan yüksek üretim kapasiteli ikiz vidalı ekstruderin teknik bilgileri. (EMAŞ, 2007).....	31
Tablo 3.8: Tek vidalı boru ekstrüzyon makinesine ait teknik bilgiler (Krauss-Maffei, 2007).....	31
Tablo 3.9: Farklı mikronize toz kalsiyum karbonat dolgulu YYPE boru üretimindeki ekstrüzyon sıcaklıkları (Novaplast A.Ş., 2009).....	32
Tablo 3.10: Farklı pudra talk dolgulu YYPE boru üretimindeki ekstrüzyon sıcaklıkları (Novaplast A.Ş., 2009).....	32
Tablo 3.11: Mineralize hibrit dolgulu boru üretimindeki ekstrüzyon sıcaklıkları (Novaplast A.Ş., 2009).....	33
Tablo 3.12: Boru üzerinden makine ile işlenerek hazırlanan çok amaçlı deney numunelerinin bölgelerinin belirlenmesinde göz önüne alınan parametreler(ISO 6259-1 (1997)).....	33
Tablo 3.13: ALLROUNDER 370 CMD model enjeksiyon makinesinin teknik özellikleri. (ARBURG, 2007)	36
Tablo 3.14: HTF90W (MA900/300) model enjeksiyon makinesinin teknik özellikleri (HAITIAN, 2007)	37
Tablo 3.15: Mikronize kalsiyum karbonat dolgulu YYPE deney numunesi üretiminde kullanılan enjeksiyon ayarları ile soğutma suyu sıcaklıkları,(Yonca 2002 , AKSU TOST)	38
Tablo 3.16: Mikronize talk dolgulu YYPE deney numunesi üretiminde kullanılan enjeksiyon ayarları ile soğutma suyu sıcaklıkları,(Yonca 2002 , AKSU TOST).....	38

Tablo 3.17: Hibrit mikronize mineral dolgulu YYPE deney numunesi üretiminde kullanılan enjeksiyon ayarları ile soğutma suyu sıcaklıkları (HTF90W (MA900/300), EMAŞ 2008).....	39
Tablo 3.18: Enstrümante Charpy deneyinde deney programı ayarları	51
Tablo 3.19: İç basınç deney numunelerin boyları.....	52
Tablo 4.1: 5 kg yük ve 190°C sıcaklık kombinasyonunda mikronize toz CaCO ₃ dolgulu YYPE boru malzemesinin MFR ve MVR değerleri ile numune yüzeyi pürüzlülük durumu.....	61
Tablo 4.2 Farklı yük/sıcaklık kombinasyonunda mikronize toz CaCO ₃ dolgulu YYPE boru malzemesinin MFR ve MVR değerleri ile numune yüzeyi pürüzlülük durumu	64
Tablo 4.3: 5 kg yük ve 190°C sıcaklık kombinasyonunda mikronize pudra talk dolgulu YYPE boru malzemesinin MFR ve MVR değerleri ile numune yüzeyi pürüzlülük durumu.....	67
Tablo 4.4: Farklı yük/sıcaklık kombinasyonunda mikronize pudra talk dolgulu YYPE boru malzemesinin MFR ve MVR değerleri ile numune yüzeyi pürüzlülük durumu	69
Tablo 4.5: Farklı yük/sıcaklık kombinasyonunda mikronize hibrit ve/veya kaplı dolgulu YYPE boru malzemesinin MFR ve MVR değerleri ile numune yüzeyi pürüzlülük durumu.....	71

SEMBOLLER

AO	: Ağırlık oranı
HO	: Hacim oranı
L/D	: Boru boyu / boru çapı
b	: Darbe numunesi genişliği
CaCO ₃	:Kalsiyum karbonat
(C _v) _{Fmaks.}	: Maksimum çatlak başlatma enerjisi
C _v	: Charpy çentik darbe mukavemeti
(C _v) _{iler.}	: Çatlak ilerletme enerjisi
%c	: Yüzde kristalleşme derecesi
D, Ø	: Boru çapı
D/t	: Boru çapı / boru et kalınlığı
h	: Darbe numunesi kalınlığı
l ₁	: Toplam boru boyu
l ₂	: Borunun başlıklar içerisinde kalan kısmının uzunluğu
log t	: Logaritmik zaman
log σ	: Logaritmik gerilme
t	: Boru et kalınlığı, süre
T _g	: Camsı geçiş sıcaklığı
T _m	: Erime Sıcaklığı
ε _B	: Kopma uzaması
ε _y	: Akma uzaması
ρ	: Yoğunluk
σ _B	: Kopma gerilmesi
σ _{teo}	: Teorik mukavemet
σ _y	: Akma gerilmesi
Φ _c	: Charpy geometrik düzeltme faktörü
W	: Darbe enerjisi
W _{Fmax}	: Maksimum kuvvetteki darbe enerjisi
t _r	: Hasar süresi

Kısaltmalar

AB	: Avrupa birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
A.Ş.	: Anonim Şirketi
ABS	: Akrilonitril Bütadien Stiren
ASTM.	: American Society for Testing Materials (Amerikan Malzeme Test Birliği)

CRB	: Cracked round bar (kırık yuvarlak bar)
DMA	: Dinamik Mekanik Analiz
DSC	: Differential Scanning Calorimeter (Diferansiyel taramalı kalorimetre)
DPT	: Devlet Planlama Teşkilatı
EAI	: Erime Akış İndeksi
HDPE	: High Density Polyethylene (yüksek yoğunluklu polietilen)
ISO	:Uluslararası standart organizasyonu (International standart organisation)
iPP	: İzotaktik Polipropilen
LLDPE	: Linear Low Density Polyethylene (Liner düşük yoğunluklu polietilen)
MFR	: Melt Flow Rate (Erime Akış Hızı)
MRS	: Minimum required strength (minimum gerekli dayanım)
PA	: Poliamid
PE	: Polietilen
PE-X	: Çapraz bağlı Polietilen
PP	: Polipropilen
PPB	: Polipropilen blok kopolimer
PPC	: Polipropilen heterofazlı kopolimer
PS	: Polistiren
PVC	: Polivinilklörür
PVC-U	: Polivinilklörür plastikleştiricisiz
SDR	: Standart dimension rate (standart boyut oranı)
SEM	:Scanning Electron Microscopy (Taramalı elektron mikroskobu)
TMA	: Termomekanik Analiz
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
YYPE	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen
VYS	: Vicat yumuşama sıcaklığı

MİNERAL DOLGU MADDELERİ İLE YÜKSEK YOĞUNLUKLU POLİETİLEN BORULARIN HİDROSTATİK İÇ BASINÇ PERFORMANS ÖZELLİKLERİNİN OPTİMİZASYONU

Levent SÖZEN

Anahtar Kelimeler: Yüksek yoğunluklu polietilen, talk, kalsiyum karbonat, hibrit, mineral dolgu, plastik boru, mekanik özellikler, fiziksel özellikler, hidrostatik iç basınç özellikleri, regrasyon eğrileri.

Özet: Bu çalışmada, poliolefin grubu plastiklerinden olan ve basınçlı boru sistemlerinde kullanılan yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) borunun kısa ve uzun süreli hidrostatik iç basınç performans özelliklerine mikronize toz kalsiyum karbonat (CaCO_3) ve/veya mikronize pudra talk dolgu maddelerinin etkisi çalışılmıştır. Enjeksiyon kalıplama yöntemi ile üretilen numuneler tek eksenli çekme, charpy çentik darbe, diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC), erime akış hızı (EAH) ve yoğunluk testlerine tabi tutulmuştur. Ayrıca aynı hammadde karışımlarından tek vidalı sürekli ekstrüzyonla üretilen mineral dolgulu borulara farklı sıcaklıklarda kısa ve uzun süreli hidrostatik iç basınç testleri uygulanmıştır. Yapılan tüm testlerde, dolgusuz (saf) YYPE malzemesinin özelliklerindeki değişimler, mineral dolgunun tane boyuna, miktarına ve türüne bağlı olarak açıklanmaya çalışılmıştır. Ayrıca elde edilen verilerle mikronize toz CaCO_3 ve/veya mikronize pudra talk dolgulu boruların basınç-sıcaklık-zaman (regrasyon) eğrileri çizilmiştir.

OPTIMIZATION OF THE HYDROSTATIC INTERNAL PRESSURE PROPERTIES OF THE HIGH DENSITY POLYETHYLENE PIPES WITH MINERAL FILLERS

Levent SÖZEN

Keywords: High Density Polyethylene, Talc, Calcium Carbonate, Hybrid, Mineral Fillers, Plastic Pipe, Mechanical Properties, Physical Properties, Regression Curves, Internal Pressure Performance Properties, Hydrostatic Internal Pressure.

Abstract: In this study, groups of polyolefin plastics and pressurized piping systems used in the short and long term hydrostatic pressure performance characteristics of the high-density polyethylene (HDPE) pipe was studied for the effects of micronized powder CaCO₃ and/or micronized powder talc filler. Samples produced by injection obtained from uniaxial tensile test, Charpy impact test, differential scanning calorimeter (DSC) test, melt flow rate (MFR) test and density test were subjected to tests. Moreover, the raw material produced from the mixture of single screw extrusion constant short and long term hydrostatic internal pressure tests was applied to micronized mineral-filled pipe. In all the tests, the differences on properties of raw material depending on mineral grain size and ratio of mineral filler is explained. Moreover, the data of the pipe filled micronized powder CaCO₃ and/or micronized powder talc obtained with the pressure-temperature-time of the pipes (regression) curves were drawn.

1. GİRİŞ

Bu çalışma 105M220 numaralı “Mineral Dolgulu Poliiolefin Boruların Kısa ve Uzun Süreli İç Basınç Performans Özelliklerinin Optimizasyonu” isimli Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) destekli olarak yürütülen projenin temel konularından birini ele almak üzere gerçekleştirilmiştir. Yürütülen proje kapsamında Kasım 2007 de Mak. Müh. Halit Erdem Karacan tarafından “ Mineral dolgu maddeleri ile polipropilen boruların kısa süreli iç basınç performans özelliklerinin optimizasyonu” ve Temmuz 2009 da da Mak. Müh. Erkut Fındık tarafından ise “Talk mineral dolgu maddesi ile polipropilen blok kopolimer boruların kısa süreli iç basınç performans özelliklerinin optimizasyonu” isimli çalışmalar Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalında yüksek lisans tezi kapsamında savunulmuştur.

Bu çalışma da ise, basınçlı boru iletim sistemlerinde kullanılan yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) boruların kısa ve uzun süreli iç basınç performans özelliklerine mikro partikül ölçekli mineral dolgu maddelerinin etkisi çalışılmıştır.

Termoplastik (ısıtıldıklarında yumuşayan, soğutulduklarında tekrar sertleşen, ısı ve basınç altında plastik özelliklerini koruyan ve defalarca şekil verilebilen) mamül üretiminde Türkçe ve yabancı dilde yayımlanmış çalışmalar ve araştırmalar ile beraber pilot uygulamalar göz önüne alındığında, dünyada olduğu gibi ülkemizde de, şekillendirme sırasında büyük basma kuvveti uygulayabilen (basınç verebilen) örneğin enjeksiyonla kalıplama yöntemi gibi yarı mamül ve mamül üretim yöntemlerinde nihai ürünün gerek maliyetlerini azaltmak gerekse kalitesini iyileştirmek için, polietilen (PE) esaslı hammaddelere de, şekillendirilme esnasında bir takım mikro partikül ölçekli dolgu maddelerinin ilave edilebileceği

ve/veyakullanılabileceği konusunda çalışmalar, araştırmalar ve pilot uygulamalar bulunabilmektedir. Ancak günümüzde, ülkemizde olduğu gibi dünyada da, konvansiyonel termoplastik hammaddelerin (polietilen, polipropilen, polistiren, poliamid, polikarbonat, polibütilen, poliüretan, v.s.) şekillendirme esnasında belirli aalışlagelmiş bir basma kuvveti değerini aşamayan diğer bir ifade ile büyük basma kuvveti oluşturamayan örneğin tek vidalı ekstrüzyon yöntemi ile boru üretimi gibi üretim yöntemlerinde mikro partikül ölçekli mineral dolguların kullanılabileceği ve/veya kullanılamayacağı konusunda yeterli ve doyurucu araştırmalar, çalışmalar ve/veya pilot uygulamalar bulunmamaktadır.

Diğer taraftan Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planında belirtildiği gibi ülkemizdeki plastik sektörü girdi olarak kullandığı termoplastiklerin yaklaşık yüzde 70'lik kısmını yurt dışı pazarlardan sağlamaktadır. Ülkemize dışarıdan ithal edilen termoplastik hammadde fiyatlarında, dış tedarikçiler Petkim fiyatlarını dikkate alarak fiyat politikası uyguladıklarından gelişmiş ülkeler ile ülkemizdeki plastik firmaları arasında haksız bir rekabet yaşanmaktadır. 1999 yılı sonu itibariyle plastik ürünleri sanayii kapasitesi verilerinde boru profil kapasitemizin 906.094 ton/yıl ile toplamdaki payının yüzde 32.4 ile en büyük oranda olduğu göz önüne alınır ve sektörün kullandığı plastik hammaddesinin yaklaşık yüzde 90'ının termoplastik olduğu düşünülürse yurt dışına transfer edilen dövizin büyüklüğü tahmin edilebilir (DPT,2001a).

İlave olarak Sekizinci Kalkınma Planında da belirtildiği üzere ülkemizde bulunan toplam rezervi yüz milyonlarca ton olan kaliteli kalsit ile 106.000 tonu görünür toplam rezervi 1.158.000 ton olan talk yataklarındaki minerallerin, dolgu maddesi olarak, şekillendirme sırasında büyük basma kuvveti oluşturamayan tek vidalı ekstrüzyon yöntemiyle sürekli boru üretiminde de kullanılması sağlanması, hem ülke ekonomisine daha verimli bir şekilde katkısını sağlayabilecek hem de yaklaşık yüzde 70'i yurt dışından ithal edilen plastik boru hammaddesinin birim mamul için kullanımı daha az ve verimli kullanılabileceğinden ülke ekonomisine de ayrıca büyük

katkı sağlayacaktır (DPT,2001a).

1.1 Problemin Oluşma Süreci

Termoplastik boruların hem maliyetlerini düşürüp kalitelerini yükseltmek hem de kullanım alanlarını genişletmek adına ana polimer içine katılabilecek bu mikro partikül ölçekli (mikronize) dolguların doğru ve uygun oranlarda kullanımı, dolgunun sağlayacağı yararı maksimize etmek için bir zorunluluktur.

Türkiye 2004 yılında 172 ülkeye işlenmiş veya işlenmemiş plastik ihracatı gerçekleştirmiştir. 537 milyon ton ve 1,1 milyar ABDdoları olarak gerçekleşen ihracatın yüzde 34'ü Avrupa Birliği (AB) ülkelerine, yüzde 47,6'sı Avrupa ülkelerine ve yüzde 29'u da Asya ülkelerine yönelik olarak yapılmıştır. Diğer taraftan Türkiye aynı yılda 120 ülkeden işlenmiş veya işlenmemiş plastik ithalatı yapmıştır. 2,6 milyon ton ve 3.9 milyar ABDdoları olarak gerçekleşen ithalatın yüzde 65'i AB ülkelerinden, yüzde 71'i Avrupa ülkelerinden ve yüzde 19'u da Asya ülkelerinden yapılmıştır. Rusya, İngiltere, Romanya, Ukrayna, Almanya ve Bulgaristan 50 milyon ABDdoları üzerinde ihracat yaptığımız, Almanya, Belçika, İtalya, Fransa, Hong Kong ve Hollanda da 200 milyon ABDdoları üzerinde ithalat yaptığımız ülkeleri oluşturmuştur (Plast Eurasia İstanbul Plastik ve Kauçuk Fuarı Açılış Brifingi, 2008).

Son 5 yılda, yılda ortalama yüzde 12 artan tüketimin, bu dönemde yaşanan kriz dönemlerini de kapsamı nedeniyle, önümüzdeki yıllarda ekonomideki büyüme hızına bağımlı olarak yılda en az yüzde 15 artış göstereceği ve 2010 yılı sonunda 6,5 milyon tona ulaşacağı tahmin edilmektedir. Bu büyüme hızı ile Türkiye, 2010 yılı sonunda 6,9 milyon ton işleme kapasitesine ulaşarak Avrupa ve Avrasya'nın üçüncü büyük plastik işleme kapasitesine sahip ülkesi konumuna gelebilecektir (PAGEV,Ağustos 2009).

Sektörün gelecek projeksiyonunda, 2014 yılında 39,5 milyar ABDdoları düzeyinde üretim değerine ulaşmak bulunmaktadır. Bu doğrultuda sektörün yaratacağı katma değer ise 15 milyar ABDdoları olabilecektir. Sektörün toplam ihracatının ise 24,7 milyar ABDdolarına ulaşması beklenmektedir (Plast Eurasia İstanbul Plastik ve Kauçuk Fuarı Açılış Brifingi, 2008).

Yukarıda dönemlere göre rakamsal olarak ifade edilen plastik ithalatı göz önüne alındığında sektörde yurt dışına çıkan dövizin büyüklüğü ortaya çıkmaktadır. Termoplastik hammaddesine yapılacak olan hacimce yüzde 10 (ağırlıkça yaklaşık olarak yüzde 20) alternatif bir malzeme kullanımı mümkün olduğu takdirde kağıt üzerinde hesaplanabilen potansiyel tasarruf miktarı yaklaşık olarak 1,5 milyar Türk Lirası (TL) olmaktadır. Bu rakam potansiyelin ve pazarın büyüklüğünü göstermesi açısından çarpıcı olmaktadır. Hacimce bu orandan daha büyük oranlarda alternatif hammadde kullanılabilmesi durumunda da bu rakamın daha da büyüyeceği aşikardır.

1.2 Problemin Açıklanması ve Hedefin Belirlenmesi

Plastik hammaddeler çeşitli (şekillendirme sırasında konvansiyonel olarak büyük basma kuvveti uygulayabilen) yöntemlerle ürünlere dönüştürülürken nihai ürünün gerek maliyetlerini azaltmak, gerekse kalitesini iyileştirmek için şekillendirme esnasında ana plastiğe mikro partikül ölçekli birtakım dolgu maddeleri ilave edilirler. Poliolefin grubu plastiklerden olan Polietilen (PE) hammaddelerinden, alışılagelmiş olarak büyük basma kuvveti uygulayabilen yöntemlerle, üretilen ürünlerde de bu dolguların kullanılabilmesi konusunda son yıllarda yapılmış araştırmalar, çalışmalar ve uygulamalar mevcuttur (Jianxiong Li ve diğerleri 2004 , HUNEAULT 1999).

Şekillendirme sırasında büyük basma kuvveti uygulayabilen mamül üretim yöntemleriyle yapılmış bu araştırmaların, çalışmaların ve uygulamaların ortak sonuçları değerlendirildiğinde kalsiyum karbonat ve talk mineral dolgu maddesinin

ayrı ayrı ve beraber (hibrit) olarak doğru (en uygun) oranlarda kullanılması ile termoplastiklerin bazı özelliklerinin olumsuz bazı özelliklerinin de olumlu yönde etkilenebileceği görülebilmektedir. Dolayısıyla bu dolguların ayrı ayrı veya hibrit olarak ilave edilmesinde doğru ve/veya en uygun oranların optimize edilmesi dolguların sağladıkları ve/veya sağlayabilecekleri olumlu yararlarının maksimize etmek için çok önemlidir.

Şekillendirme esnasında büyük basma kuvveti uygulayabilen alışlagelmiş yarı mamül ve mamül üretim yöntemleriyle (enjeksiyon kalıplama, ısı ile vakumlu ve vakumsuz şekillendirme gibi) şekillendirilmiş konvansiyonel termoplastik malzemelerin fiziksel, mekanik ve ısıl özellikleri üzerine mikro partikül ölçekli mineral dolguların etkisi konu ve konularında Türkçe ve yabancı dilde yayımlanmış birçok araştırma, çalışma ve uygulama sonuçları bulunmaktadır ve ulaşılabilmektedir. Buna karşın, Kasım 2007 ve Temmuz 2009'da Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda savunulmuş olan iki ayrı yüksek lisans tez çalışması haricinde, şekillendirme sırasında büyük basma kuvveti uygulayamayan tek vidalı ekstrüzyon yöntemiyle üretilen ve basınçlı boru sistemlerinde kullanılan boruların; fiziksel, mekanik ve ısıl özelliklerine ve özellikle de hidrostatik iç basınç (HSB) performans özelliklerine, mikro partikül ölçekli mineral dolguların etkisi konu ve konularında yayımlanmış herhangi bir başka araştırma, çalışma ve uygulama sonucu ve/veya sonuçları bulunamamıştır.

Bu nedenlerle yapılan bu çalışmada şekillendirme sırasında büyük basma kuvveti uygulayamayan tek vidalı ekstrüzyon yöntemiyle üretilen ve basınçlı boru sistemlerinde kullanılan yüksek yoğunluklu polietilen boruların hidrostatik iç basınç performans özelliklerine mikro partikül ölçekli mineral dolgu maddelerinin etkilerinin belirlenmesi öncelikli hedef olarak seçilmiştir. Çalışmada elde edilecek sonuçların, kullanılabilirliğini ve dolayısıyla güvenilirliğini sorgulayabilmek için Türkçe ve yabancı dilde yayımlanmış araştırma, çalışma ve uygulama sonuçları ile asgari ölçülerde karşılaştırılabilmesi gerekmektedir. Bu amaçla da büyük basma

kuvveti uygulayabilen enjeksiyon kalıplama yöntemiyle üretilmiş yüksek yoğunluklu polietilen plastik malzemelerin fiziksel, mekanik ve ısıl özellikleri üzerine mikro partikül ölçekli mineral dolgu maddelerinden talk ve CaCO₃ minerallerinin ayrı ayrı ve hibrit olarak etkileri de ayrıca araştırılmıştır.

Farklı yönde paralel dönen çift vidalı ekstrüzyon makinesinde granül halde bulunan YYPE hammaddesi ile toz halde bulunan farklı mikro partikül büyüklüğüne sahip talk ve farklı mikro partikül büyüklüğüne sahip CaCO₃ mineralleri farklı yüzde hacim (veya yüzde ağırlık) oranlarında ayrı ayrı ve beraber karıştırılarak farklı oranlarda dolgulandırılmış granül halde boru hammaddeleri elde edilmiştir. Hem bu şekilde üretilen granül haldeki mineral dolgulu hemde granül haldeki saf YYPE hammaddeleri;

A)Tek vidalı ekstrüzyon yöntemi ile ilgili standartlarda belirtilen SDR (standart dimension rate = standart boyut oranı) 11 çap/et kalınlığı oranına bağlı olarak sürekli üretimle (continue production) üretilmiştir. Elde edilmiş borulara ilgili standartlarda belirtilen hidrostatik iç basınç deneyleri farklı ortam sıcaklıklarında uygulanmıştır. Mineral dolgulu ve saf YYPE boruların hidrostatik iç basınç performans özelliklerine,

a)Kalsiyum karbonat mineral dolgu maddesinin mikro partikül büyüklüğünün etkisi,

b)Talk mineral dolgu maddesinin mikro partikül büyüklüğünün etkisi,

c)Kalsiyum karbonat mineral dolgu maddesi miktarının etkisi,

d)Talk mineral dolgu maddesi miktarının etkisi,

e)Hibrit mineral dolgu maddesi miktarının etkisi,

farklı ortam sıcaklıklarında çalışılarak ilgili boruların çevresel gerilmesi (hoop stress) ile basınç-sıcaklık-zaman (regresyon) eğrilerinin tespit edilmesi hedeflenmiştir.

B)Tek vidalı ekstrüzyon yöntemi ile üretilmiş borular üzerinden makine ile işlenerek (mamülden kesme ile) çok amaçlı deney parçaları hazırlanmıştır. Elde edilmiş olan bu standart çok amaçlı deney parçalarının da fiziksel, mekanik ve ısıl özelliklerinin değişimine,

a)Kalsiyum karbonat mineral dolgu maddesinin mikro partikül büyüklüğünün etkisi,

b)Talk mineral dolgu maddesinin mikro partikül büyüklüğünün etkisi,

c)Kalsiyum karbonat mineral dolgu maddesi miktarının etkisi,

d)Talk mineral dolgu maddesi miktarının etkisi,

C)Enjeksiyon kalıplama yöntemiyle özel olarak hazırlanmış enjeksiyon kalıbına basılarak standart çok amaçlı deney parçaları elde edilmiştir. Elde edilmiş olan bu standart çok amaçlı deney parçaları üzerine yoğunluk ölçme, Shore D sertlik, erime akış hızı (EAH), Vicat yumuşama sıcaklığı tayini (VYS), tek eksenli çekme, farklı ortam sıcaklıklarında Charpy çentik darbe, termomekanik analiz (TMA), diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) deneyleri uygulanmıştır. Bu deneysel çalışmayla da elde edilen sonuçlar hem öncelikle Türkçe ve yabancı dilde yayımlanmış araştırma, çalışma ve uygulama sonuçları ile karşılaştırılabilecek hemde büyük basma kuvveti uygulayabilen üretim yöntemleri ile üretilen mikro partikül dolgulu YYPE malzemelerin fiziksel, mekanik ve ısıl özelliklerinin değişimine;

a)Kalsiyum karbonat mineral dolgu maddesinin mikro partikül büyüklüğünün etkisi,

b)Talk mineral dolgu maddesinin mikro partikül büyüklüğünün etkisi,

c)Kalsiyum karbonat mineral dolgu maddesi miktarının etkisi,

d)Talk mineral dolgu maddesi miktarının etkisi,

e)Hibrit mineral dolgu maddesi miktarının etkisi

belirlenmeye çalışılacaktır.

2. GENEL KISIMLAR

2.1 Plastik Borular

1930'lu yılların ortalarında, yumuşatıcı katkısız sert polivinilklorür (PVC-U) plastik malzemesi ile başlayan plastik boru üretimi, ilk olarak kimya endüstrisi ve içme suyu şebekelerinde kullanım alanı bulmuştur (ANT ve CLAUS 1997). Metal borulara karşı olarak korozyona uğramamaları, paslanma ve kireçlenme yapmamaları, kir ve tortu barındırmamaları (ANT ve CLAUS 1997, AKAR 1994) üretim teknolojilerinin hızla geliştirilmesini sağlamış ve kolay döşenebilirlik, hafiflik gibi özellikleri de tüketiminin hız kazanmasına neden olmuştur (OSMAN ve diğerleri 2004).

1953 yılında Ziegler tarafından keşfedilen yöntem ile elde edilen PE'nin içme suyu tesisatlarında, basınçlı ve basınçsız iletimler ile kablo koruyucu borularda kullanımları ile ikinci plastik malzeme boru üretimi için sektöre girmeyi başarmıştır. Bunun yanında farklı yöntemlerle elde edilen çapraz bağlanma metotları ve derecelerde üretilen sıcaklığa karşı dayanımı artırılmış çapraz bağlı polietilen (PE-X) günümüzde başta yerden ısıtma sistemleri olmak üzere büyük bir kullanım alanı bulmuştur (YAYLA 2002, ANT ve CLAUS 1997, ŞAHİN 1996).

Almanya'da 70'li yılların başlarında PVC-U borularının gereksinim duyulan sıcaklık isteklerine cevap vermemesi ve sıcaklığa dayanımlarını arttırmak üzerine, PP termoplastik malzemesinden üretilen borular, boruların istenilen yüksek sıcaklık bölgelerinde çalışabilmesine imkan sağlamıştır. Hafiflikleri, taşımadaki kolaylıkları, izolasyona gerek duyulmaması, döşenmelerindeki kolaylıklar, montajın firesiz ve kolay yapılabilmesi, korozyona dayanıklılığı, içme suyunun tadı bozulmadan

taşınabilmesi ve uzun ömürlü olmaları gibi özellikleri, termoplastik malzemesinden üretilen boruların bu derece başarılarında en önemli etken olmuştur (YAYLA 2002, AKAR 1994, ANT ve CLAUS 1997).

2.2 Mineral Dolgu Maddeleri

Plastik hammaddelerin farklı yöntemlerle ürünlere dönüştürülmesi esnasında son ürünün gerek maliyetini azaltmak gerekse de mekanik özellikler, görünüm vb. özelliklerini iyileştirmek için şekillendirme esnasında ana plastiğe bir takım katkı ve dolgu maddeleri ilave edilmektedir. Bu bağlamda mikro partikül dolgulu plastik malzemeler yıllardan beri uygulamalarda birçok alanda büyük oranlarda kullanılmaktadır (MARERI ve diğ. 1998, MISRA 2004, ŞAHİN ve YAYLA, 2005, Karger 1999).

İstenilen amaca uygun mineral dolgu maddeleri kendi aralarında inorganik ve organik olmak üzere iki grupta toplanır. Esas itibari ile plastik malzemelere ilave edilen rijit partiküller bu sınıflandırmanın birinci kısmı yani inorganik dolgular içerisinde yer almakla birlikte daha az sıklıkla organik dolgular da kullanılmaktadır. İnorganik dolgu maddeleri içerisinde talk, mika, wollastonit, kaolin, kalsit (CaCO_3) termoplastik malzemeler ile beraber kullanılanlar arasında sayılabilir. Bunlar içerisinde talk (magnezyum silikat) ve kalsiyum karbonat (kalsit veya CaCO_3) en çok kullanılanlardır (MARISA ve diğ. 2005, SILVA ve diğ. 2002).

Polimer yapısı ve morfolojisini modifiye etmenin en yaygın yollarından biri de çekirdeklendiricilerin hammaddeye ilave edilmesidir (RABELLO ve WHITE 1997, CHACKO 1982). Başlarda polimer yığını arttırmak sureti ile hammadde maliyetini düşürmek hedeflenmiştir. Daha sonra yapılan çalışmalarda mekanik özelliklerde bir dizi iyileştirme kabiliyetlerinin fark edilmesi üzerine plastik malzemelerde dolgu maddelerinin kullanımına olan ilgi daha da arttırmıştır (OSMAN ve diğ.2004).

Dolgular katı parçacıklar olup kompozisyon ve yapı olarak plastik matrisinden farklıdır. Bununla bereaber sertlikleri yüksek olan bu minerallerin kalıp maliyetlerini arttırdığı ve ömürlerini düşürdüğü görüşü piyasada yer etmiştir. Ancak bu katkıların eklenmesinin öncelikli nedeni mekanik ve fiziksel özelliklerini iyileştirmek, bunun ardından maliyetleri düşük olan bu mineralleri kullanarak polimer hammadde birim maliyetini de azaltmaktır. Bunların çok ötesinde yapılan bir takım araştırmalar ve çalışmalarla, dünyada tüketimi korkunç hızlarla artan elektronik ekipmanların polimer – fiberglass (cam elyaf) esaslı devre kartlarının geri dönüştürülerek polipropilen dolgu maddesi olarak kullanılabilirliği araştırılmaktadır. Bu tarz araştırmaların kuşkusuz maliyetlerinden çok önüne geçilemeyen çevre kirlenmesinin önüne geçebileceği ve tekrar üretime katılacağı tartışılmaktadır (Y. ZHENG, Z. SHEN ve diğerleri 2008).

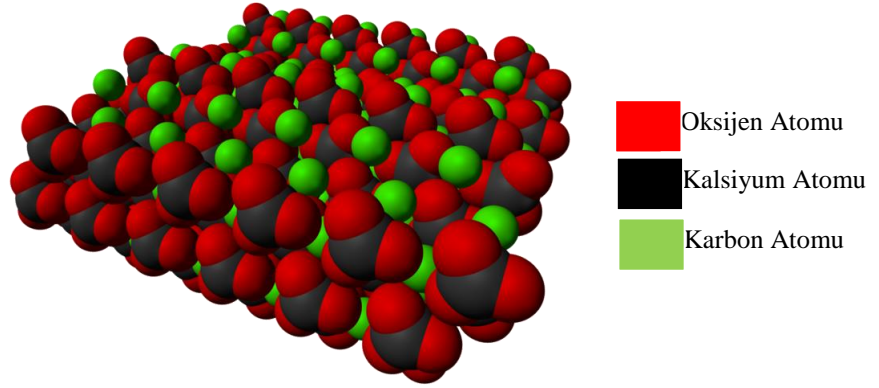
Tablo 2.1: Çeşitli katkı minerallerinin Mohs sertlik değerleri (Chang, 1995)

Mohs Derecesi	Standart Mineral	Diğer Mineraller
1	Talk	
2	Kalsiyum Sülfat	Pirofilit
3	Kalsit	Mika, Klorit, Bakır
4	Florit	Demir
5	Apetit	Vollastonit, Asbest
6	Ortoklaz	Tungusten
7	Kuartz	Çakmak Taşı
8	Topaz	Sertleştirilmiş Çelik
9	Korindon	Safir
10	Elmas	

2.2.1 Kalsiyum karbonat minerali ve etkileri

Kalsiyum karbonat dünyada olduğu gibi ülkemizde de en çok rezervi bulunan beyaz mineral dolgudur (Osman ve diğ. 2004). Plastik, kauçuk, kağıt, kaplama, yapıştırıcı, tekstil, boya, çocuk bezi, ambalaj, halı gibi endüstrilerde yaygın kullanım alanına sahip bir mineraldir. En çok kullanılan CaCO_3 partikül boyutu ortalama 20 μm ' nin altındadır. Plastik uygulamalarında ayrı bir yeri olan CaCO_3 , en çok polivinilklorür

(PVC) ve termoset polyester alanında kullanılmaktadır (Niraj, 1997). Ayrıca bu mineralin kuvvetlendirici karakteristiği, geniş partikül aralığında kullanılabilirliği, ağırlıkça yüzde 40-50 oranlara kadar yükleme yapılabilirliği ve daha bir çok özelliklerinden dolayı çok geniş ölçüde kullanılmaktadır. Dolguların plastiklerde kullanımı plastiğin darbe dayanımını artırma, iyi kopma uzaması, çekme dayanımı, çatlak ilerleme direnci, daha yüksek elastisite modülü, iyi yaşlanma kararlılığı, plastik reolojisi üzerine yararlı etkiler yapmaktadır (Gachter ve Müller, 1990).

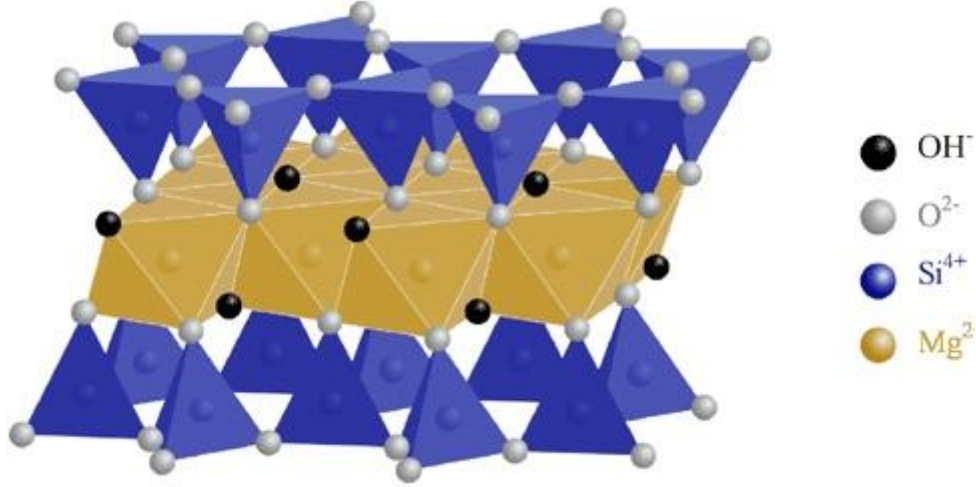


Şekil 2.1: Kalsiyum Karbonat Mineralinin Kristal Kafes Yapısı (Mikron's A.Ş.)

2.2.2 Talk minerali ve etkileri

Talk mineralinin otomotiv başta olmak üzere boya, ev eşyaları ve benzeri alanlarda polipropilene katkı amacıyla kullanılmasının ana nedeni E-modülünü arttırmasıdır. Birçok bilimsel çalışmada ve makalede bu olgu ispatlanmış olmakla birlik talk ilavesinin türü, katkılanılan polipropilenin türü, katkı oranı gibi oldukça belirleyici olan faktörlerin etkileri belirtilmiştir. Aşağıda talk mineralinin çeşitli mekanik ve fiziksel özelliklere etkisi alt başlıklarla sunulmuştur. Talk mineralinin kristal kafes yapısına bakıldığında; su bazlı bir magnezyum tabakası olarak karakterize edilebilen talkın $Mg_3 Si_4 O_{10} (OH)_2$ şeklindedir. Şekil 2.2 Talk mineralini oluşturan bu sandöviç kafes yapısındaki zayıf Wan Der Wall's bağları sebebiyle talk minerali kolaylıkla ayrılabilir, bozunabilir yapıdadır. Ayrıca sabunsu, kaygan bir his vermesi

de bu sebepten ötürüdür. Talk mineralinin çeşitli tipleri olmasına rağmen plastik endüstrisinde sadece saf ve lamelli olanları verimli bir şekilde kullanılmaktadır (Mondo Mineralleri Teknik Bülten, 1301).



Şekil 2.2: Talk Mineralinin Kristal Kafes Yapısı (Mondo Minerals)

2.3 Yüksek Yoğunluklu Polietilen Malzemesinin Fiziksel, Mekanik ve Isıl Özelliklerine Mikro Mineral Dolgu Maddesinin Etkisi

2.3.1 Yoğunluğuna etkisi

Mikro mineral dolgu ilavesinin YYPE ile meydana getirdiği kompozit malzemede yoğunluğun değişimi öncelikle üretim yöntemine bağlı olmakla beraber değişiklikler göstermektedir. Literatürde göze çarpan uygulamalarda talk katkısına bağlı olarak yoğunluğun saf YYPE'e göre dikkat çekici bir oranda arttığını gösteren çalışmalar bulunabilmektedir (Suzuki, 2000).

Sylvia ve arkadaşlarının 2005 yılında yapmış oldukları çalışmada ağırlıkça yüzde 20 oranında katılan iki farklı tane boyutundaki (2 µm ve 4 µm) CaCO₃ mineralinin kompozitin yoğunluğunu arttırdığını buna karşın partikül boyutunun yoğunluk

üzerinde kayda değer bir etkide bulunmadığını gözlemlediklerini bildirmişlerdir (Sylvia ve arkadaşları 2004).

2.3.2 Akışkanlığına etkisi

Aynı dolgu miktarı (ağırlıkça yüzde 15 oranında) ve iki farklı ortalama tane boyuna sahip CaCO_3 dolgusu ile yapılan çalışmada, CaCO_3 dolgusunun kompozitin akışkanlığını arttırdığı ve akışkanlıktaki bu artışı aynı zamanda partikül boyutunun da etkilediği bildirilmiştir. Bunun sebebi olarakta, daha ufak partikül boyuna sahip mineral dolgulu malzemede, mineral partiküllerinin malzeme içerisindeki dağılımının daha iyi olmasından kaynaklandığının düşünüldüğü belirtilmiştir (Sylvia ve arkadaşları,2005).

CaCO_3 mineralinin nano partikül ölçekli olarak malzemeye ilave edilmesiyle ilgili yapılan çalışmalarda mevcuttur. Bununla ilgili Deshmane ve arkadaşlarının yaptıkları ve 2007 yılında yayımlanan çalışmalarında, ağırlıkça yüzde 10 nano partikül ölçekli mineral dolgulu YYPE malzemede, nano partikülün malzemenin kristalleşmesini yüzde 20 oranında artırırken akışkanlığını düşürdüğünü belirlemişlerdir (Deshmane,2007).

2.3.3 Isı iletkenliğine etkisi

Plastiklere çeşitli özellikler kazandırmak adına malzemelere ilave edilen mineral dolguların, malzemelerin ısı iletkenliğinde arttırmaktadır. Matrise göre ilave edilen mineral dolguların ısı iletkenliklerinin çok daha iyi olmasından kaynaklanan bir sonuç olarak, üretilen mineral dolgulu kompozit malzemenin ısı iletkenliği ham malzemeninkine göre daha iyi olmaktadır. Bu durum, üretimde malzemenin soğumasını hızlandırmaktadır (Sahebian ve arkadaşları 2009).

Sahebian ve arkadaşlarının yaptığı ve 2009 yılında yayımlanan çalışmalarında,

hacimce yüzde 10 ilave edilen CaCO_3 mineralinin malzemenin ısı (termal) stabilitesini arttırdığını yani termal genleşme katsayısını düşürdüğünü ve aynı zamanda bu dolgunun malzemenin erime sıcaklığında da kayda değer bir değişiklik yapmadığını gözlemlediklerini bildirmişlerdir (Sahebian ve arkadaşları 2009).

Ağırlıkça yüzde 25 oranına kadar talk ilavesi ile yapılan bir çalışmada, saf malzemeye göre ısı iletiminin yüzde 30 civarlarında arttığı belirlenmiştir (Rothon RN,1995).

2.3.4 Kristalleşme oranına etkisi

Hacimce yüzde 10 civarında nano CaCO_3 dolgusu ile yapılan bir çalışmada, YYPE matriste kristalleşme derecenin düştüğü gözlemlenmiştir (Sahebian ve arkadaşları 2009). Misra ve arkadaşlarının 2004 yılında yayımlandıkları çalışmalarında ise ağırlıkça yüzde 20 oranında mikronize CaCO_3 dolgusu sonucu malzemenin kristalleşmesinde düşme olduğunu gözlemlediklerini bildirmişlerdir (Misra ve arkadaşları,2004). Farklı partikül boylu CaCO_3 mineralinin ağırlıkça yüzde 15 oranına kadar kalsiyum karbonat ilavesi ile yapılan bir başka çalışmada ise artan dolgu miktarı ile kristalleşmenin düştüğü gözlemlenmiştir (Sylvia ve arkadaşları,2004).

Talk mineralinin ağırlıkça yüzde 3 oranına kadar polimer matrisi içerisinde kristal fazın oranını arttırmaktadır(Mondo Minerals). Bunun yanı sıra talk ilavesi ile kristalleşme sıcaklığında da düşüş meydana geldiğini bildiren çalışmalarda bulunmaktadır (Albano, 2003, Naiki, M., 2000). Üretim maliyetleri açısından önem arz eden talk mineralinin, modifikatörler ile kimyasal olarak harmanlama öncesinde işlenmesiyle kristalleştirme derecesinde daha büyük bir artış meydana getirdiğini bildiren çalışmalara rastlamak mümkündür. Talk miktarının hacimce yüzde 20 oranında sabit tutulduğu çalışmalarda polimer içerisindeki kristalleşme faaliyetlerinin arttığının tespit edildiğini bildiren çalışma sonuçları bulunabilmektedir (Alonso,

1996, Hadal R.S., 2004).

2.3.5 Sertliğine etkisi

Nano kalsiyum karbonat dolgusunun YYPE malzemenin kristalleşme derecesini arttırdığı için bu durum dolgulu malzemenin sertliğini de arttırmaktadır. Sertlik, kalsiyum karbonat dolgu miktarına göre lineere yakın bir şekilde artış göstermektedir. Hacimce yüzde 10 oranında nano kalsiyum karbonat dolgusuna kadar sertlikte meydana gelen yüzde 5'lik artışın yanında darbe dayanımında da meydana gelen artıştan dolayı bu tür dolguların kullanımını arttırmaktadır (Maged A. Osman ve diğerleri 2006).

Plastik malzemelerde (PP, PE, PPB, ABS, v.s.) talk ilavesinin sonucu meydana gelen kompozitlerde kristalleşme oranının arttırmasıyla sertliğin de arttığı görülmektedir. Çizilmeye karşı direnç, yüzeyin kaba (pütürlü) bir formda elde edilmesiyle bir noktaya kadar sağlanabilmektedir. Ancak bunun yanı sıra talk katkısı ile YYPE-talk kompozitin çizilme direnci, çizilme sertliği gibi özellikleri iyileştirilebilmektedir (Dasari ve diğerleri, 2008). Yapılan bir çalışmada talk ilaveli PP kompozit malzemelerin üretim sürecinde ağırlıkça yüzde 9 oranında dolgulandırma yapılmaktadır. Böylece talk dolgusuyla meydana gelen genel olgulardan elastisite modülünün artması ve çentik darbe dayanımının düşmesinin yanı sıra önemli bir diğer özellikte kalıplama sonrası büzüşmenin (shrinkage) de azalmakta olduğudur (Suzuki K. ve diğerleri, 2000).

2.3.6 Darbe dayanımına etkisi

Mineral dolgu maddesinin varlığının darbe dayanımına etkisi birçok farklı çalışmada bilim adamlarınca incelenmiştir. Ağırlıkça yüzde 8 oranında CaCO₃ dolgulu termoplastiklerde dolgu miktarına bağlı olarak elastisite modülünün yanında darbe mukavemetinin de arttığını tespit eden çalışmalar bildirilmiştir (Wang, 1999).

Yayımlanan bir çalışmada hacimce yüzde 20 oranına kadar CaCO₃ içeren YYPE numunlerinde darbe dayanımının arttığını bildirmektedir (Misra, 2004). Bunun yanında Sylvia ve arkadaşlarının, ağırlıkça yüzde 15 oranına kadar ve iki farklı partikül boyu kullanarak yaptıkları çalışmada, artan dolgu miktarıyla malzemenin darbe dayanımının yükseldiğini ancak daha küçük partikül boylu mineral dolgulu malzemenin darbe dayanımının diğerine oranla daha yüksek olduğunu gözlemlediklerini bildirmişlerdir (Sylvia ve arkadaşları, 2005).

Almeida ve arkadaşlarının düşük (ağırlıkça yüzde 1 ila 4 oranında) talk mineral dolgusuyla ve üç boyutlu hacimsel deformasyon gradyanlarının incelendiği yöntemi kullanarak yaptıkları çalışmada, talk mineralinin dinamik hasar mekanizmalarında çok önemli rolü olduğunu saptamışlardır (Almeida O. ve diğerleri 2007). Talk mineralinin polietilene ağırlıkça yüzde 12,5 oranından fazla ilave edilmesiyle beraber darbe dayanımının düştüğünü bildiren yayımlarda mevcuttur (Mondo Minerals). Talk mineralinin plastiklerin (PP, PE, v.s.) kristalleşme oranını arttırdığı bilinmektedir (Ferrage, E. ve diğerleri, 2002). Maksimum ağırlıkça yüzde 0,5 talk ilavesi, kompozit malzemenin darbe dayanımında yüzde 100'lere varan oranda bir artışa sebep olabilmektedir (Mondo Minerals).

2.3.7 Çekme özelliklerine etkisi

Kalsiyum karbonat mineralinin saf YYPE içerisine ilavesiyle birçok dolgulu malzemede olduğu gibi elastisite modülü artmaktadır. Elastisite modülündeki bu artışlar dikkat çekici büyüklüktedir. Fakat elastisite modülünde meydana gelen artışa nazaran dolgu ve miktarı malzemenin akma gerilmesini ve akma uzamasını aşırı derecede azaltmaktadır (Additives for Polymers, 2008).

2.3.7.1 Elastisite modülüne

İki farklı partikül boylu mineraller kullanılarak ve ağırlıkça yüzde 15 oranlarında CaCO_3 ilavesiyle yapılan bir çalışma sonucuna göre, artan dolgu miktarıyla Elastisite Modülünde artma eğiliminin hakim olduğunun görüldüğünü ve bu artma eğilimi sonucu Elastisite Modülünde yüzde 200 civarında bir yükselmenin meydana geldiğini saptamışlardır. Bu saptamayla birlikte daha büyük partikül boylu mineral dolgulu malzemenin elastisite modülünde meydana gelen yükselmenin diğerine oranla daha yüksek olduğu da gözlemlenmiştir (Sylvia ve arkadaşları, 2004). Misra ve arkadaşlarının yaptığı ve 2009 yılında yayımlanan çalışmalarında ise hacimce yüzde 20 oranında CaCO_3 ilavesiyle elastisite modülünde yüzde 165' lere varan yükselmelerin elde edildiği bildirilmiştir (Misra ve arkadaşları,2004).

Saf yüksek yoğunluklu polietilen malzemeye talk ilavesiyle elde edilen kompozit malzemenin elastisite modülü (rijitliği) artmaktadır. Elastisite modülünü arttırmada talkın mineral yapısının etkisi bulunmakla beraber lamelli yüzeye sahip, yapışma özellikleri iyi olanlarının etkisinin daha fazla olduğu bildirilmektedir (Leong Y.W. ve diğerleri, 2003).

2.3.7.2 Akma ve kopma gerilmelerine

Mineral dolgulu malzemelerde akma gerilmesi ve uzaması artan dolgu miktarına bağlı olarak azaltılmaktadır. Mineral dolgulu kompozit malzemenin kopma gerilmesi ve uzaması da artan dolgu miktarına bağlı olarak, akma gerilmesi ve uzamasına benzer bir paralellik göstererek düşmektedir. Bunların yanında dolgunun artmasıyla kopma uzaması önemli bir oranda azaldığından darbe dayanımının zayıfladığı görülmektedir (Leong Y.W. ve diğerleri, 2003).

Ağırlıkça yüzde 15 oranına kadar CaCO_3 ilavesi ve iki farklı partikül boylu CaCO_3

minerallerinin kullanılmasıyla yapılan çalışmada, artan dolgu miktarıyla malzemenin kopma gerilmesinde yüzde 50' lere yakın azalmaların gözlemlenmesinin yanında akma gerilmesinde bu azalmaların yüzde 5'lerde kaldığı ve ayrıca daha küçük partikül boyu ile dolgulu kompozit malzemede gelen bu azalmaların diğerine göre daha yavaş gerçekleştiği görülmüştür (Sylvia ve arkadaşları, 2004).

Uygulamada ve çalışmalarda, talk mineralinin ağırlıkça yüzde 40 oranına kadar dolgulandırma amacıyla kullanıldığı görülebilmektedir. Ağırlıkça yüzde 3 oranında nano boylu talk ilavesinin kullanılmasıyla saf YYPE malzemelere göre çekme dayanımında yüzde 18'lere varan yükselmelerin, düşük dolgularda ise darbe dayanımında yüzde 10'lara varan artışların meydana geldiği görülmüştür (Z. H. Liu ve diğerleri,1997). Mineral oranının hacimce yüzde 5 ila 6 olarak belirlenen aralığın üzerine çıkmasıyla çekme ve akma dayanımlarının düştüğü görülebilmektedir (Hadal, H.S. 2003).

YYPE malzemelere ortalama partikül çapı 2 µm olan ağırlıkça yüzde 25 oranına kadar talk minerali ilavesiyle meydana gelen kompozit malzemeler üzerinde yapılan deneylerde, kompozit malzemenin akma gerilmesi ve çekme dayanımının "metallocene ethylene-octene" gibi kimyasalların (modifiye edicilerin) üretim prosesine katılımıyla yüzde 5 ila 8 oranında arttırıldığı çalışmalar da bulunmaktadır (Michel A. Huneault, 2001).

2.3.7.3 Akma ve kopma uzamalarına

Sylvia ve arkadaşlarının 2004 yılında yayımladıkları ve ağırlıkça yüzde 15 oranına kadar CaCO₃ ilavesiyle iki farklı partikül boyuna sahip CaCO₃ minerallerini kullanarak yaptıkları çalışmanın sonucunda, artan dolgu miktarına bağlı olarak malzemede akma ve kopma uzamalarında kayda değer azalmalar meydana gelmiştir(Sylvia ve arkadaşları, 2004).

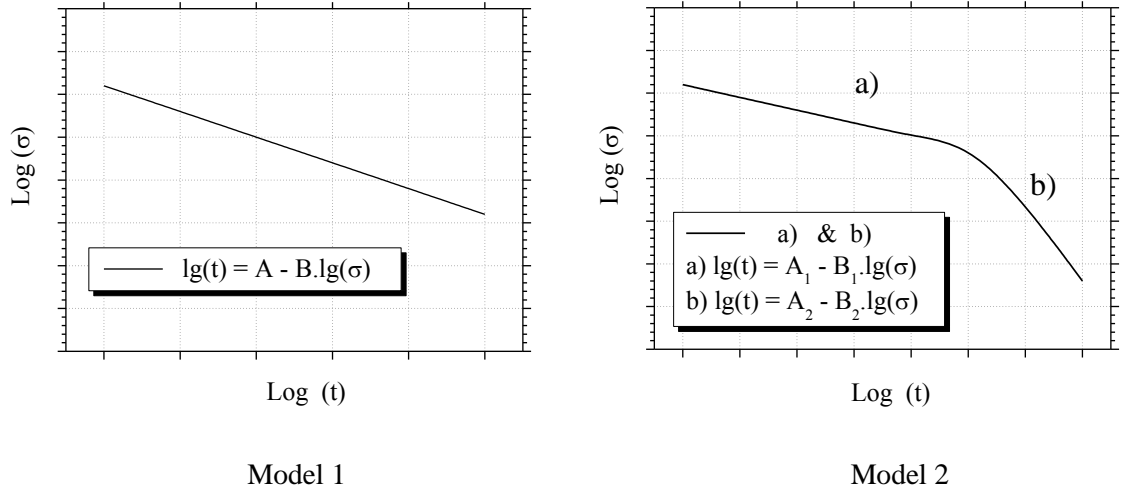
Talk mineral oranının belirlenen hacimce yüzde 5 ila 6 aralığının üzerine çıkmasıyla çekme ve akma uzamalarında yüzde 50'lere varan ciddi düşüşler görülebilmektedir (Hadal, H.S. 2003).

2.3.8 Boruların hidrostatik iç basınç özelliklerine etkisi

Enjeksiyon kalıplama, ısı ile şekillendirme (ısı ile vakumsuz presleme) ve ekstrüzyon yöntemleriyle üretilmiş kalsiyum karbonat ve/veya talk mineral dolgulu termoplastik malzeme, yarı mamül ve mamüller üzerine yapılmış, Türkçe ve yabancı dilde de yayımlanmış araştırma, çalışma ve uygulama sonuçlarına raslamak mümkündür. Ancak, tek vidalı ekstrüzyon yöntemiyle mikro partikül boylu mineral dolgulu poliolefin hammaddelerinden üretilmiş ve basınçlı boru sistemlerinde kullanılan boru ve borular üzerine yapılmış, Türkçe ve yabancı dilde yayımlanmış araştırma, çalışma ve uygulama sonuçlarına raslamak mümkün değildir.

Enjeksiyon kalıplama ve ısı ile şekillendirme (ısı ile vakumsuz presleme) ve basınçlı boru üretim sistematiği dışındaki ekstrüzyon yöntemlerinde, granül veya eriyik haldeki hammaddenin, basma kuvvetleri ve/veya kayma kuvvetleri etkisi altında ilgili kalıp boşluğunu doldurması ve/veya şeklini alması sağlanarak mamül üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Oysa tek vidalı ekstrüzyon yöntemiyle basınçlı boru üretim sistematiğinde eriyik haldeki hammadde ancak matrise kadar basma (itme) ve/veya kayma kuvvetlerinin etkisi altında bulunmaktadır. Matristen sonra, sürekli (sürekli) boru üretiminde, eriyik ilgili boru çapı kalıbından (matristen) geçtikten sonra, yarı mamül (boru) haldeki eriyik, hem vakum hemde ilerleme hareketi nedeniyle, ayrıca çekme kuvvetlerine de maruz kalabilmektedir. Bu nedenle, diğer mamül üretim yöntemlerine göre tek vidalı ekstrüzyonla basınçlı boru üretiminde farklı kuvvetlerin (çekme) tesiri altında üretilen mamülde (boruda), reçine ile mikro tane boyutlu mineral maddeler arasındaki yapışma (bağlanma) derecesinin de daha düşük olduğu veya olabileceği aşikardır (Müllner, H., W., 2006).

Plastik boruların faydalı servis ömür süreleri boruların 3 veya 4 farklı sıcaklıkta farklı çevresel gerilme değerlerine maruz bırakılarak ve her bir koşulda hasar sürelerinin kaydedilmesi ile hesaplanmaktadır. Hasar boru içerisindeki basıncın devamlı olarak düşmesi şeklinde tanımlanmaktadır. Tipik çevresel gerilmenin hasar süresine göre logaritmik olarak değişimini veren grafik elde edilmekte ve arzulan ömür süresine ekstrapole edilmektedir. Yukarıda ifade edilen çevresel gerilmeye ilişkin arzulan ömür süresi ilgilenilen borunun (yaklaşık emniyet katsayısı ile) tasarım basıncı olarak kullanılmaktadır (Krishnaswamy ve Lamborn, 2005, Muksing, 2008).



Şekil 2.3: Bazı borular için logaritmik çevresel gerilme zaman grafikleri (Ant ve Claus 1997)

Şekil 2.3’de mukayeseli formüllerin matematiksel olarak anlaşılmasında ve standarda uygun olarak, stabilite kabulleri ile uyumlu olarak elde edilen grafikler bazı boru malzemeleri için çıkarılmıştır ve geçerli malzeme dışında boyutlardan bağımsızdır. Deneylerde deneme süresi önemlidir. En yaygın olan PVC-U, YYPE ve PP borular için bu denemeler 30 yıldan fazla sürdürülmektedir. Planlanan kullanım süresi için, borunun çalışma sıcaklığı, emniyet katsayısı, borunun çalışma basıncı şeklinde sıralanan durumların belirlenmesi önemlidir (Ant ve Claus 1997).

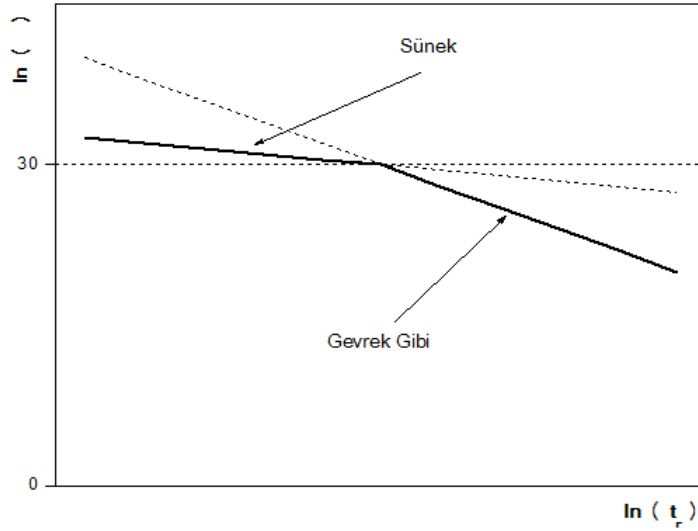
Genellikle uzun dönemli uygulamalar için basınçlı polietilen borularda çatlak başlama ve yavaş çatlak ilerleme hasar mekanizmaları kabul görmektedir.

Malzemelerin uzun dönemli hasar davranışlarının (özellikle yavaş çatlak ilerlemesi) bilgisi ömür ve güvenlik değerlendirilmesi için gerekmektedir (Lang RW.ve diğerleri 1997, Gaube E, ve diğerleri 1985 ,Ifwarson M. Kunststoffe 1989 Barker MB ve diğerleri 1983, Brömstrup H. Essen 2004 Brown N. ve diğerleri 1991-1993). Ömürlerinin tahmin edilmesi ve uzun dönem davranışlarının belirlenmesi için standart metot, boru numunelerinin iç basınç testlerine ve bunların EN ISO 9080:2003 standardına göre ekstrapolasyon edilmesine dayanmaktadır (Janson LE 1999). Artan sıcaklık ve gerilme çatlak sıvısının etkisi yüzünden bu testlerdeki hasar zamanlarındaki azalma kayıtlara geçirilmiştir. Ham malzemedeki gerekli iyileştirmeler boru malzemelerinde çatlak direncinin artmasına yol açmaktadır. Özellikle kısa zincirli dallanmalarındaki ve bimodal moleküler kütle dağılımlarındaki kontrollü uygulamalar, PE 100 sınıfı borular için belirlenmiş 10 MPa ve üzeri gerekli minimum dayanımlı (MRS) malzemeler için sonuçlandırılmıştır (Brown N. ve diğerleri 1992, Pinter G. ve diğerleri 2004).

Test sürelerini azaltmak için bir olasılık olarak, değişken yükler altında çatlak testleri ve veri değerlendirilmesi içinde kırılma mekaniği kavramları kullanılmaktadır (Barker MB. Ve diğerleri 1983, Parsons M. ve diğerleri 2000). Dahası, uygun numune geometrileri seçimi test zamanını etkilerken ve özellikle kırık yuvarlak bar (CRB) test numunelerinde gerçek boruların çalışma sıcaklıklarına çok yakın sıcaklıklarda olan 23 °C sıcaklıklarda ve gerilme çatlak sıvısı olmadan bile ümit verici sonuçlar gözlemlenmektedir (Pinter G. ve diğerleri 2006-2007).

Kısa süreli iç basınç deneyleri genelde uygulamada regresyon eğrileri olarak bilinen: çevresel gerilmenin (σ) ve hasara karşı sürenin (t_r) logaritmik olarak çizildiği grafikler kullanılarak değerlendirilmektedir. Her bir durum içinde yukarıda belirtilen hasar modları sonuçları negatif eğimli olacak şekilde doğrusal olmaktadır. Süneklikten gevrekliğe geçiş sıcaklığı (σ_c) verilen formülasyonun bir karakteristiğidir ve bu oda sıcaklığında yapılan testlerle kolayca gözlenebilecek bir durum değildir. Bunun belirlenebilmesi için daha yüksek sıcaklıklardaki deney

sonuçlarının ekstrapolasyonu gerekmektedir. Malzemeleri (boru şeklinde üretilmiş) sınıflandırmak için kullanılan ISO 9080 numaralı standardına göre, kısa süreli iç basınç deneyleri aynı zamanda tesisatlar için “gerekli minimum dayanım” (MRS) ömrünün 50 yıl olduğunu belirlemek için kullanılmaktadır. Örneğin, ISO 12162 numaralı standardına göre, 50 yıllık değerleri kısa süreli iç basınç deneylerinde 8 ile 10 MPa olarak tahmin edilen YYPE’nin gerekli minimum dayanımı 8.0 MPa dır ve buna göre PE80 borular dizayn edilmektedir.



Şekil 2.4: YYPE nin kısa süreli iç basınç deneylerindeki tipik bir regresyon eğrisi

Analiz sonuçları bu YYPE reçinenin kırılmalardan süneklığe geçiş durumunun dolgu maddelerine duyarlı, ama matriste makromoleküllerin tercih edilen hareket yönünün ve etkistrüde edilen borunun proses koşulları kadar etkili değildir (Fabiano Moreno Peres ve diğerleri 2007).

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1 Kullanılan Malzemeler

Çalışmada Borealis A/S firmasından alınan mavi renkli polietilen esaslı hammadde kullanılmıştır. Yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) boru üretiminde hammadde olarak kullanılan granül şeklinde temin edilmiştir.

Granül halde bulunan mavi renkli YYPE hammaddelerine ilave edilecek olan talk mineral maddeleri Mikron'S Mikronize Mineral Endüstrisi Ticaret (Tic.) Anonim Şirketi (A.Ş.) ile Mineral Resources-Development firmasından ve kimyasal formülü $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$ olan stearik asit kapsız ve kaplı kalsiyum karbonat (CaCO_3 , kalsit) mineral maddeleri ise sırasıyla Mikro Mineral Endüstriyel Mineraller A.Ş. ve Omya Madencilik A.Ş 'nden toz halde ve farklı en büyük tane (D97 ve/veya D98) ve ortalama tane boylarında (D50) temin edilmiştir.

3.1.1 Yüksek yoğunluklu polietilen hammaddesi

İmalatçı firmaların Türkiye'de bulunan dağıtıcılarının yetkilileri ile yapılan görüşmelerde, 105M220 nolu Tübitak projesi kapsamında yüksek elastisite modülü verebilen (gösteren) ve aynı zamanda düşük sıcaklıklardaki (0 °C' nin altındaki) Charpy darbe dayanımı yüksek olan ve ayrıca da mikro partikül ölçekli dolgulandırmaya uygun olmayan PE100 sınıfı basınçlı boru üretiminde kullanılabilen YYPE hammaddesinin temin edilmek üzere arandığı ve istendiği ifade edilmiştir.

Yapılan önerilerden bu özelliklere en uygun olan hammadde belirlenerek seçilmiş ve temin edilmiştir.

Poliiolefin hammadde imalatçı firmaların Türkiye’de bulunan dağıtıcılarının yetkilileri ile yapılan görüşmelerde seçilmiş ve temin edilmiş olan YYPE hammaddesi hem aranan ve istenen özellikleri sağladığından hemde mükemmel uzun süreli termal kararlılık ve UV-direnç sağladığı ve aynı zamanda hızlı çatlak yayılması ve çatlak büyümesi için mükemmel bir direnç gösterdiğinden dolayı tercih edilmiştir. Bu doğrultuda çalışmada kullanılmak için granül halde bulunan, ticari mamul kodu ile mamul adı Borstar HE3494 LS olan ve basınçlı içme suyu sistemlerinde kullanılabilen mavi renkli YYPE Borealis firmasından temin edilmiştir. Önemli bazı fiziksel ve mekanik özellikleri konusunda, enjeksiyonla kalıplama yöntemiyle üretilen standart deney numunelerinden elde edilmiş imalatçı verileri Tablo 3.1’de bir araya getirilmiştir.

Tablo 3.1: YYPE malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerine ait üretici verileri (Borealis 2004)

	Test Metodu	Test Şartları	Birim Sistemi	YYPE HE3494LS
Çekme Akma Gerilmesi	ISO 527-2	50 mm/dak	MPa	25
Çekme Kopma Uzaması	ISO 527-2	50 mm/dak	%	> 600
Çekme Elastisite Modülü	ISO 527-2	1 mm/dak	MPa	1100
Isıl Dayanıklılık	EN 728	+200°C	dak.	> 20
Yoğunluk	ISO 1183-1	(Saf Suda)	g/cm ³	0,951
Eriyik Akış Hızı	ISO 1133	190°C / 5,00 kg	g/10 dak.	0,3

3.1.2 Talk minerali

Talk; yumusaklığı, izolasyon, elektrik direnci, kimyasal tutarlılığı, ısıya dayanımı, yağ absorplaması, kuvvetli kaplama özellikleri nedeniyle seramik, kağıt, tarım ilaçları, boya, lastik, kozmetik, döküm-lastik gibi sanayi dallarında kullanılmaktadır.

Talk doğada bulunan en yumuşak minerallerden biridir. Tırnakla kolayca çizilir ve

sertliği 1'dir. Talk, magnezyum, silis ve oksijenden oluşmuş sulu bir silikattır. Kimyasal formülü $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ 'dir. Teorik olarak %63.5 SiO_2 , %31.7 MgO ve %4.8 H_2O içerir. Bu kompozisyon içinde sınırlı miktarlarda izomorf maddeler bulunabilir. Bunlar, çok az miktarlarda alüminyum, demir, mangan ve titanyumdur ve bunların bileşimine bağlı olarak da talk; beyaz, yeşil, gri renklerde bulunabilir. Talkın yoğunluğu 2,6–2,8 g/cm^3 arasındadır. Talkın ısı ve elektrik iletkenliği zayıftır ancak ateşe dayanıklıdır. Yüksek sıcaklıklarda ısıtıldığında sertlesir, katılaşır ve asitlerle bozulmaz(Sarız ve Nuhoglu, 1992; DPT, 2001; Okay, 1967; Uz, 1990; Kırak vd., 1999; Industrial Minerals of The United States, Manser, 1973). Talk ince kesitte renksizdir. Kayaçlarda özsekilli kristallerine hiğbir zaman rastlanmaz. (001) yüzeyine göre çok iyi dilinime sahiptir. Dilinim levhaları kolay egilebilir ancak elastik değildir. Metamorfizma koşullarının yükselmesi ile talk, manyezit, kummingtonit veya olivine dönüşebilir. Atmosferik kosullar altında oldukça duraylıdır. Ancak bozunmanın ileri evrelerinde manyezit ve kalsedona dönüşebilir (Erkan, 1994; Bozkurt, 1969; MacKenzie and Guilford, 1980).

3.1.2.1 Modifiyesiz talk minerali

DeneySEL çalışmada, ilgili firmaların yetkililerinin önerileri doğrultusunda, kullanılan mineral dolgulardan olan talk; Mikron'S Mikronize Mineral Endüstrisi Tic. A.ř. firmasından tedarik edilen ve pudra halinde olan ve ilgili firmanın yurt içinde üretmiş olduğu ve ticari ismi Talk 5STD olan ve yurt dışından ithal ettiği ve ticari isimleri Talk 5XH ve Premier Talk olan minerallerin ve Mineral Resources-Development firmasından tedarik edilen ve pudra halinde olan ve ticari ismi Mintalc 9715C olan mineralin imalatçı verileri Tablo 3.2'de işlenmiştir.

Tablo 3.2: Talk minerali imalatçı verileri (Mikron’S-2008, Mineral Resources-Development,2009)

Özellikler	Test	Birim	Talk Mineral Dolgu Türü			
	Metodu	Sistemi	Talk 5STD	Talk 5XH	Premier Talk	Mintalc 9715C
Yoğunluk	ISO 787-	g/cm ³	2,78	2,78	2,78	2,7
Ortalama Partikül	ISO 787-7	µm	5,5	13	5,5	2,5
En Büyük Tane	ISO 787-7	µm	24	45	30	-
En Büyük Tane	ISO 787-7	µm	-	-	-	18
2 µm altı	ISO 787-7	%	15	8	15	38
Parlaklık	DIN	%	63	89	94	91
Yağ emme oranı	ISO 787-5	g/100g	42	38	40	-
Fabrika Çıkış	ISO 787-2	%	0,3	0,3	0,3	0,4
pH değeri	ISO 787-9	-	8,5	8,5	8,5	9,0
45 µm elek	ISO 787-7	%	0,1	1	1	0,1

3.1.2.2 Modifiyeli talk minerali

Kaplı talk minerali 105M220 nolu Tübitak destekli proje çalışma takvimi çerçevesinde temin edilememiştir.

3.1.3 Kalsiyum karbonat minerali

Kalsit karbonatlı kayaçları oluşturan ve kimyasal formülü CaCO₃ olan endüstriyel bir mineraldir. Çeşitli şekillerde kristalleşebilen mineral, camsı parlaklıkta ve renksiz saydam yapıdadır. Öğütüldüğünde beyaz renkli bir toz elde edilir. Kalker ya da kireç taşı olarak adlandırılan karbonatlı kayaçlar suyun doğrudan kristalleşmesi veya deniz canlılarının kabuklarının birikip sıkışması ile oluşmuştur.

Kireç taşları grubunda yer alan saf kalsit, dolomit ve aragonit temiz ve beyazdır

ancak safsızlığı bozan katkılar sebebiyle sarımsı kahverengi ve gri renkler alabilmektedir.

Öğütölmüş kalsiyum karbonat (GCC) endüstriyel mineral olarak çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu mineralin kullanımını sırasında kalitesini tanımlayan üç niteliği vardır. Bunlar tane çapı, renk ve kimyasal saflığıdır. Bu özellikler mineralin herhangi bir uygulamadaki uygunluğunu tariflemektedir.

Kalker taşının renkleri parlak bir beyazdan açık griye kadar yayılmakta ve kalsiyum karbonat içeriği ise %80-99.9 arasında değişmektedir. Kalsiyum karbonat sert bir mineral değildir. Saf kalsitin sertliği Moh's skalasına göre 3 civarındadır. İçerdiği silika miktarı kalsitin sertliğini Moh's skalasında 4'e kadar yükseltebilmektedir.

3.1.3.1 Modifiyesiz kalsiyum karbonat minerali

Deneysel çalışmada kullanılan diğer mineral dolgu maddelerinden biri olan kalsiyum karbonat (CaCO_3) toz halinde kullanılmıştır. Günümüzde Imerys Performans Minerals firmasının Türkiye distribütörü olan Mikro Mineral A.ř. firmasından tedarik edilen ticari isimleri İmercarb 1G, İmercarb 2XG ve İmercarb 5G olan CaCO_3 minerallerinin imalatçı verileri Tablo 3.3'de gösterilmiştir.

3.1.3.2 Modifiyeli kalsiyum karbonat minerali

Deneysel çalışmada kullanılan diğer mineral dolgu maddelerinden olan sterik asit kaplı kalsiyum karbonat (CaCO_3) toz hallerinde kullanılmıştır. Omya Madencilik A.ř firmasından tedarik edilen ticari ismi Omyacarb 2T KA olan stearik asit kaplı kalsiyum karbonat minerallerinin imalatçı verileri Tablo 3.3'de gösterilmiştir.

Tablo 3.3: Kullanılan CaCO₃ minerallerinin imalatçı verileri (Mikro Mineral A.Ş.2004, Omya Madencilik A.Ş. 2007)

Özellikler	Test	Birim	Kalsiyum Karbonat Minerali			
	Metodu	Sistemi	İmercarb			Omyacarb 2T KA
			1G	2X	5G	
Yoğunluk	ISO 787-	g/cm ³	2,7			2,7
Ortalama Partikül Çapı	ISO 787-7	µm	1,7	2,2	5,0	3
En Büyük Tane (d97)	ISO 787-7	µm	7,5	11,	28	-
En Büyük Tane (d98)	ISO 787-7	µm	-			16
2 µm altı tanecikler	ISO 787-7	%	57	48	30	39
Parlaklık	DIN	%	97-98			95
Yağ emme oranı	ISO 787-5	g / 100gr	19	19	14	14
Fabrika Çıkış Nem	ISO 787-2	%	0,3			0,3
pH değeri	ISO 787-9	g / 100 gr	9,4			9,5
45 µm elek bakiyesi	ISO 787-7	%	-			0,1

3.2 Harmanların Üretimi

Boru üretimi için gerekli mineral dolgulu harmanların hazırlanmasında Bursa'da yerleşik EMAŞ Plastik Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi bünyesinde bulunan ve teknik özellikleri Tablo 3.4'de verilen, COPERION Marka ZSK 70 Mcc çift vidalı ekstrüzyon makinesi kullanılmıştır.

Tablo 3.4: Boru hammaddelerinin hazırlanmasında kullanılan yüksek üretim kapasiteli ikiz vidalı ekstruderin teknik bilgileri

Özellikler	Birim	ZSK 70 Mcc, Coperion
L/D		38,5
Burgu	mm	2700 mm
Kesim		Kafadan Kesme
Sıcaklıklar	°C	10 bölgesi (zone)
Devir (1/dak	1000
Kapasite (Kg/h	1600-1800

Sürekli üretim ile boru numunesi üretilecek boru hammaddelerinin üretim sonrası nihai ürüne olan etkisinin farklılığını düşürmek ve sadece hammaddeleri doğru olarak karşılaştırabilmek için hammaddelerin aynı üretim parametrelerinde kullanılarak üretilmesine azami özen gösterilmiştir.

3.2.1 Kalsiyum karbonat dolgulu harmanların hazırlanması

Toz haldeki üç farklı (1,65 µm, 2,15 µm ve 5 µm) ortalama tane boyuna sahip kalsiyum karbonat ile granül haldeki yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) hammaddesi ayrı ayrı 10, 15 ve 20 farklı yüzde hacim oranında dolgulu YYPE karışımlar granül halde boru hammaddesi olarak Tablo 3.5 de verilen üretim parametrelerinde üretilmiştir.

Tablo 3.5: Kalsiyum karbonat katkılı boru hammaddelerinin hazırlanmasında kullanılan yüksek üretim kapasiteli ikiz vidalı ekstruderin teknik bilgileri. (EMAŞ, 2007)

Özellikler	Birim Sistemi	ZSK 70 Mcc, Coperion
Sıcaklıklar	°C	190-200-210-210-210-210-210-210-220
Devir	1/dak	450
Kapasite	Kg/h	500

Üretilmiş olan granül haldeki kalsiyum karbonat dolgulu YYPE boru hammaddelerinde soğutma sonrası fiziksel olarak nem görülmemiş olmasına karşın TS EN ISO 291 standardı göz önüne alınarak dolgulu harmanlar nem alma fırınında 80°C’da 4 saat kondisyonlanmıştır. Dolgulu harmanlar güneş ışığı geçirmeyen ve nem almayan torbalarda/ambalajlarda oda sıcaklığı koşullarında depolanmıştır.

3.2.2 Talk dolgulu harmanların hazırlanması

Pudra haldeki üç farklı (24 µm, 30µm ve 45 µm) en büyük tane(top-cut) boyuna sahip talk ile granül haldeki yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) hammaddesi ayrı ayrı 10, 15, 17,5 ve 20 farklı yüzde hacim oranında dolgulu YYPE karışımlar granül

halde boru hammadesi olarak Tablo 3.6 da verilen üretim parametrelerinde üretilmiştir.

Tablo 3.6: Talk boru hammaddelerinin hazırlanmasında kullanılan yüksek üretim kapasiteli ikiz vidalı ekstruderin teknik bilgileri. (EMAŞ, 2007)

Özellikler	Birim Sistemi	ZSK 70 Mcc, Coperion
Sıcaklıklar	°C	190-200-210-210-210-210-210-210-220
Devir	1/dak	450
Kapasite	Kg/h	500

Üretilmiş olan granül haldeki talk dolgulu YYPE boru hammaddelerinde soğutma sonrası fiziksel olarak nemli olduğu tespit edilmiş ve TS EN ISO 291 standardı göz önüne alınarak dolgulu harmanlar nem alma fırınında 80°C’da 12 saat kondisyonlanmıştır. Dolgulu harmanlar güneş ışığı geçirmeyen ve nem almayan torbalarda/ambalajlarda oda sıcaklığı koşullarında depolanmıştır.

3.2.3 Hibrit dolgulu harmanların hazırlanması

3.2.1 ve 3.2.2 başlığı altında üretilmiş olan dolgulu harmanlardan 4.BULGULAR ve TARTIŞMA başlığı altında yapılmış olan deney sonuçlarına göre tesbit edilmiş olan optimum mikro partikül boyu ve mineral miktarı sonucunda hibrit dolgulu harmanlar aşağıdaki şekilde üretilmiştir.

Toz haldeki 3 µm ortalama tane boyuna sahip sterik asit kaplı kalsiyum karbonat (CaCO₃) ve pudra haldeki 2,5 µm ortalama tane boyuna sahip talk ile granül haldeki yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) hammaddesi dolgu miktarları (YYPE/KCaCO₃/Talk) yüzde hacim olarak 90/10/0, 90/6,7/3,3 ve 94/4/2 (yüzde ağırlık olarak 76,02/23,98, 75,84/16/8,16 ve 84,53/10,25/5,22) oranında toplamda ise aynı sıra ile yüzde hacimce 10, 10 ve 6 oranında dolgulu YYPE karışımlar granül halde boru hammaddesi olarak Tablo 3.7 da verilen üretim parametrelerinde üretilmiştir.

Tablo 3.7: Hibrit dolgulu Boru hammaddelerinin hazırlanmasında kullanılan yüksek üretim kapasiteli ikiz vidalı ekstruderin teknik bilgileri. (EMAŞ, 2007)

Özellikler	Birim Sistemi	ZSK 70 Mcc, Coperion
Sıcaklıklar	°C	190-200-210-210-210-210-210-210-220
Devir	l/dak	450
Kapasite	Kg/h	500

Üretilmiş olan granül haldeki stearik asit kaplı kalsiyum karbonat dolgulu ve hibrit dolgulu YYPE boru hammaddelerinde soğutma sonrası fiziksel olarak nem görülmemiş olmasına karşın TS EN ISO 291 standardı göz önüne alınarak dolgulu harmanlar nem alma fırınında 80°C’da 4 saat kondisyonlanmıştır. Dolgulu harmanlar güneş ışığı geçirmeyen ve nem almayan torbalarda/ambalajlarda oda sıcaklığı koşullarında depolanmıştır.

3.3 Deney Numunesi Üretimi

3.3.1 Boruların ekstrüzyon yöntemi ile hazırlanması

Boruların üretiminde Kocaeli, Kullar’da yerleşik NOVAPLAST A.Ş. bünyesinde bulunan ve bazı özellikleri Tablo 3.8’de verilen, Krauss-Maffei firmasına ait KME 1-90-30-B model tek vidalı ekstrüzyon plastik boru üretim makinesi kullanılmıştır.

Tablo 3.8: Tek vidalı boru ekstrüzyon makinesine ait teknik bilgiler (Krauss-Maffei, 2007)

Üretici Firma	Krauss-Maffei
Marka / Model	KME 1-90-30B
Ağırlık (kg)	5200
Maksimum Vida Hızı (1/dak)	1765
Isıtma / Soğutma Bölgesi Sayısı	04 / 04
Vida Uzunluğu [L / D]	30
Vida Çapı (mm)	90
Vida Deviri (1/dak)	1765
Vida Hızı (1/dak)	137
Maks. Vida Torku (Nm)	12000
Ekstrüzyon Yüksekliği (mm)	1000
Çekiş Uzunluğu (mm)	3870
Huni Yüksekliği (mm)	2180

Mikronize toz kalsiyum karbonat dolgulu boruların üretimi sırasında tek vidalı

ekstrüzyon makinesinde uygulanan şekillendirme parametreleri Tablo 3.9 da; üretim sonrası kesit görüntüleri EK C1 ve iç ve dış yüzey görüntüleri ise EK C4 de verilmiştir.

Tablo 3.9: Farklı mikronize toz kalsiyum karbonat dolgulu YYPE boru üretimindeki ekstrüzyon sıcaklıkları (Novaplast A.Ş., 2009)

Numun Boru Adı	Dolgulandırma		Sıcaklıklar (°C)										
	d50 (µm)	Miktar (%HO)	soğutma (°C)	Arka ekstruder				malzeme		Ön kafa kısmı			
								İç (Net)	Basınç				
YYPE	-	-	20 ⁺⁵	19	19	19	19	215	200	20	20	20	210
6-1	1,65	10	20 ⁺⁵	19	19	19	19	210	215	20	20	20	210
6-2	1,65	15	20 ⁺⁵	18	18	18	18	200	200	19	19	19	200
6-3	1,65	20	20 ⁺⁵	16	16	16	16	197	194	17	17	17	180
5-1	2,15	10	20 ⁺⁵	19	19	19	19	210	205	20	20	20	210
5-2	2,15	15	20 ⁺⁵	16	16	16	16	199	198	19	19	19	200
5-3	2,15	20	20 ⁺⁵	16	16	16	16	197	196	19	20	20	200
4-1	5	10	20 ⁺⁵	19	19	19	19	210	205	20	20	20	210
4-2	5	15	20 ⁺⁵	16	16	16	16	193	130	19	19	19	200
4-3	5	20	20 ⁺⁵	15	15	15	15	197	187	17	17	17	175

Pudra halde talk dolgulu boruların üretimi sırasında tek vidalı ekstrüzyon makinesinde uygulanan şekillendirme parametreleri Tablo 3.10 da; üretim sonrası kesit görüntüleri EK C2 ve iç ve dış yüzey görüntüleri ise EK C5 de verilmiştir.

Tablo 3.10: Farklı pudra talk dolgulu YYPE boru üretimindeki ekstrüzyon sıcaklıkları (Novaplast A.Ş., 2009)

Numune Boru Adı	Dolgulandırma		Sıcaklıklar (°C)										
	d50 (µm)	Miktar (%HO)	soğutma (°C)	Arka ekstruder				malzeme		Ön kafa kısmı			
								İç (Net)	Basınç				
YYPE	-	-	20 ⁺⁵	195	195	195	195	215	200	200	200	205	210
10-1	1,65	10	20 ⁺⁵	195	195	195	195	210	200	210	210	210	220
10-2	1,65	15	20 ⁺⁵	150	155	160	165	209	200	175	175	215	220
10-3	1,65	20	20 ⁺⁵	180	180	180	180	214	196	185	185	185	210
10-4	2,15	10	20 ⁺⁵	180	180	180	180	212	228	180	190	200	220
11-1	2,15	15	20 ⁺⁵	175	180	190	195	208	193	215	215	215	215
11-2	2,15	20	20 ⁺⁵	150	155	160	165	209	191	175	175	215	220
11-3	5	10	20 ⁺⁵	170	170	170	170	210	218	220	220	220	220
11-4	5	15	20 ⁺⁵	180	180	180	180	215	228	180	190	200	220

Hibrit dolgulu boruların üretimi sırasında tek vidalı ekstrüzyon makinesinde

uygulanan şekillendirme parametreleri ise Tablo 3.11 da; üretim sonrası kesit görüntüleri EK C3 ve iç ve dış yüzey görüntüleri ise EK C6 de verilmiştir.

Tablo 3.11: Mineralize hibrit dolgulu boru üretimindeki ekstrüzyon sıcaklıkları (Novaplast A.Ş., 2009)

Numune	Dolgulandırma		Sıcaklıklar (°C)											
	Boru Adı	d50 (µm)	Miktar (%HO)	soğutma (°C)	Arka ekstruder				malzeme		Ön kafa kısmı			
					İç (Net)	Basınç								
YYPE	-	-	20 ⁺⁵	195	195	195	195	215	200	200	200	205	210	
14	3	10	20 ⁺⁵	165	165	165	165	200	224	170	170	170	170	
15	3:2,5	6,7:3,3	20 ⁺⁵	165	165	165	165	200	210	180	185	185	200	
16	3:2,5	4:2	20 ⁺⁵	165	165	165	165	200	210	180	185	185	200	

Yukarıdaki parametreler doğrultusunda üretilen saf ve dolgulu YYPE borular Novaplast KOCAELİ fabrikasında 2009 yılında yapılmıştır.

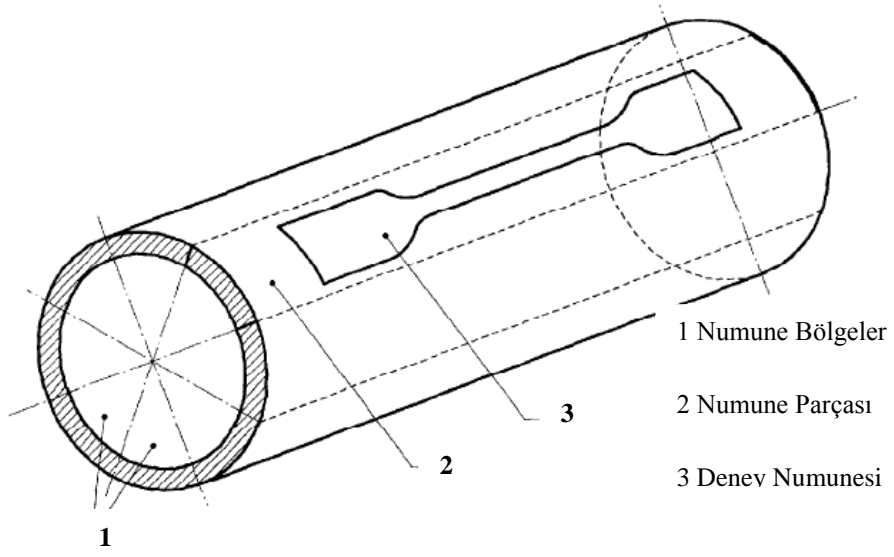
3.3.2 Makine ile işlenerek çok amaçlı deney numunesi hazırlama

Farklı dolgu miktarlarındaki ve türlerdeki mikronize kalsiyum karbonat dolgulu olarak Tablo 3.9, Tablo 3.10 ve Tablo 3.11 lardaki parametreler doğrultusunda üretilen boru numunelerinden çok amaçlı deney numuneleri TS 3779 EN ISO 2818 (1999) standardı dikkate alınarak makine ile işlenerek hazırlanmıştır. Ayrıca boru üzerinden çıkarılan deney numuneleri ISO 6259-1 (1997) standardı doğrultusunda boru çapı dikkate alınarak Tablo 3.12’ de gösterilen sayıda bölgelere ayrılmıştır.

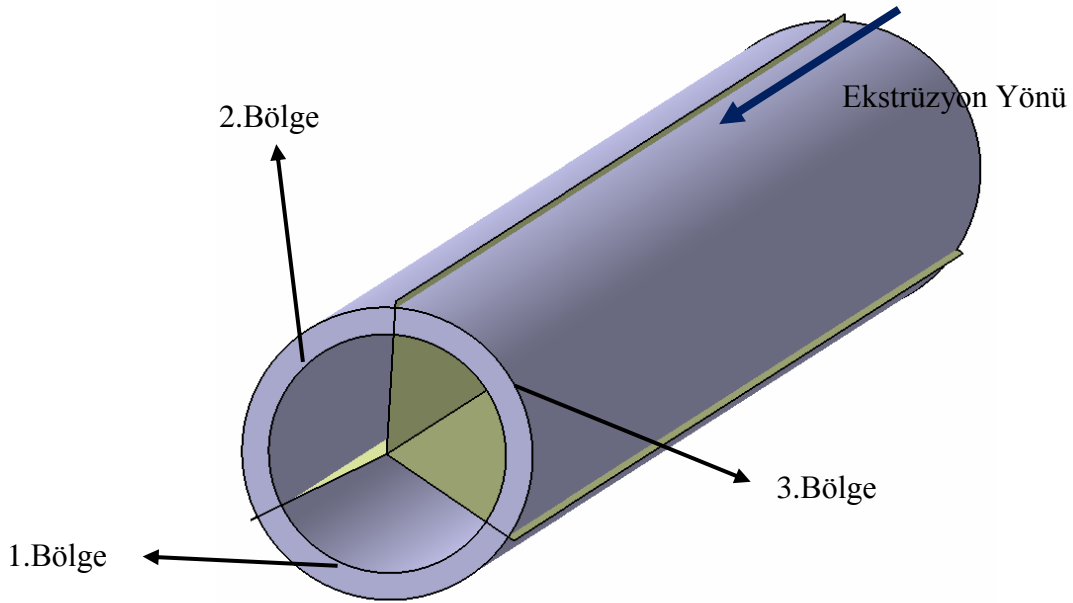
Tablo 3.12: Boru üzerinden makine ile işlenerek hazırlanan çok amaçlı deney numunelerinin bölgelerinin belirlenmesinde göz önüne alınan parametreler(ISO 6259-1)

	Birim Sistemi		
Dış Anma Çap (d _n)	mm	15 ≤ d _n < 75	75 ≤ d _n < 280
Bölge Sayısı	adet	3	5

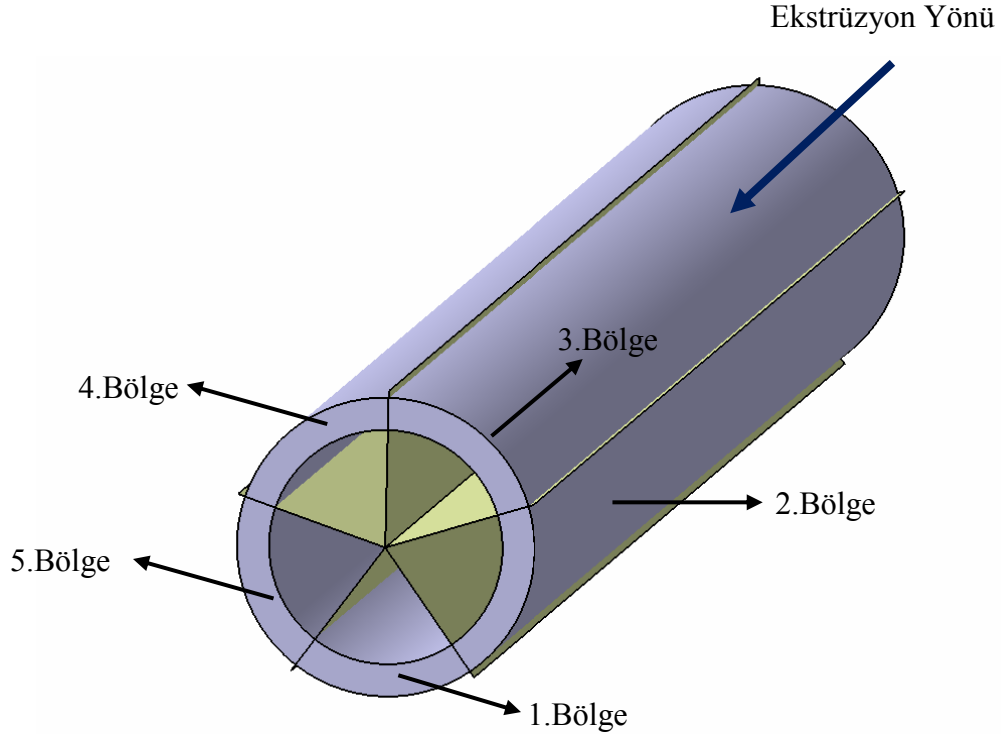
Ø 63 çapındaki boru numuneleri Şekil 3.2 ; Ø 75 çapındaki boru numuneleri ise Şekil 3.3 de gösterilen şekilde bölgelere ayrılmıştır. Ayrıca bölgeler belirlenirken numunenin ekstrüzyon doğrultusundaki en alt kısmı 1 bölge olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.1: Boru numunelerin bölgelere genel ayrılma şekli



Şekil 3.2: Ø 63 çapındaki boru numunelerin bölgelere ayrılma şekli



Şekil 3.3: Ø 75 çapındaki boru numunelerin bölgelere ayrılma şekli

Boruların üretiminde TS 8084 ISO 4065 (1998) numaralı standard göz önüne alınmış ve SDR 11 çap / et kalınlığı (D/t) oranı dikkate alınarak dış çapı 63 mm ve 75 mm olan borular tek vidalı ekstrüzyon yöntemiyle üretilmiştir.

3.3.3 Enjeksiyon kalıplama yöntemiyle çok amaçlı deney numunesi üretimi

Granül haldeki saf ve farklı mikro tane boylu talk dolgulu YYPE hammaddeler, TSE'nin TS 1149 EN ISO 294 (2002) numaralı standard dikkate alınarak, enjeksiyon kalıplama yöntemiyle ilgili deneylere ait deney numunelerine basılmıştır.

Enjeksiyon numunelerinin üretiminde hem Bursa'da yerleşik EMAŞ Plastik Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi bünyesinde bulunan ve teknik özellikleri Tablo 3.13'de verilen, ARBURG ALLROUNDER Enjeksiyon makineleri firmasına ait 370 CMD Model Enjeksiyon Makinesi hemde İstanbul'da yerleşik AKSU TOST Makinaları

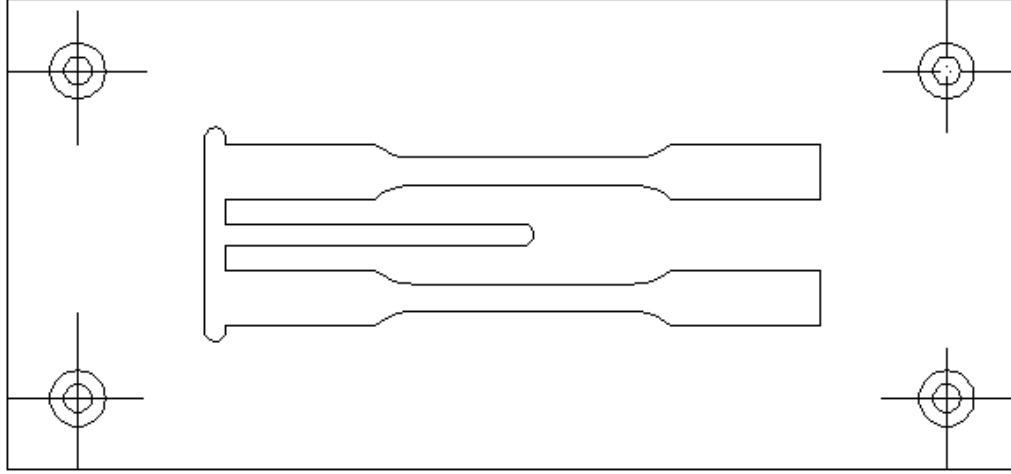
Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi bünyesinde bulunan ve teknik özellikleri Tablo 3.14’de verilen, HAITIAN PLASTICS MACHINERY Enjeksiyon makineleri firmasına ait HTF 90W Model Enjeksiyon Makinesi kullanılmıştır.

Mikronize kalsiyum karbonat dolgulu YYPE çok amaçlı enjeksiyon numuneleri İstanbul’da yerleşik AKSU TOST Makinaları Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi bünyesinde bulunan HAITIAN PLASTICS MACHINERY Enjeksiyon makineleri firmasına ait Yonca 2002 Model Enjeksiyon Makinesi ile; pudra halinde talk dolgulu YYPE çok amaçlı numuneler;

Tablo 3.13: ALLROUNDER 370 CMD model enjeksiyon makinesinin teknik özellikleri. (ARBURG, 2007)

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 ³	31 / 49 / 70
Spesifik enjeksiyon basıncı	kg/cm ²	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

Ön görünüşü Şekil 3.4’de verilen kalıba, Naturel YYPE hammaddeleri Tablo 3.15 ve 3.17’de ve katkılandırılmış YYPE hammaddeleri Tablo 3.16 ve 3.18’de verilen enjeksiyon ayarlarında ve kalıp soğutma suyu sıcaklıklarında iki adet çekme numunesinden oluşan çok amaçlı deney parçası grubuna basılmıştır.



Şekil 3.4: Enjeksiyon kalıbının üstten görünüşü

Tablo 3.14: HTF90W (MA900/300) model enjeksiyon makinesinin teknik özellikleri (HAITIAN, 2007)

Enjeksiyon Ünitesi	Birim Sistemi	Boyutları
Vida çapı	Mm	36
Etkili vida uzunluğu	L / D	20
Vida hızı	devir/dak	295
Vida stroku (maksimum)	mm	100
Maksimum enjeksiyon hacmi	cm ³	153
Spesifik enjeksiyon basıncı	MPa	197
Enjeksiyon meme dayanma kuvveti	kN	900
Eritme kapasitesi	g/s	12,6
Isıtma gücü	kW	6,2
Isıtma bölgesi	bölge	4

3.3.3.1 Kalsiyum karbonat dolgulu numunelerin hazırlanması

Enjeksiyon kalıplama yöntemiyle granül halde üretilmiş olan farklı mikro tane boyalı ve farklı yüzde hacim oranlarında kalsiyum karbonat dolgulu YYPE boru hammaddeleri Tablo 3.15'te verilen enjeksiyon ayarlarında çok amaçlı deney parçalarına basılmıştır.

Tablo 3.15: Mikronize kalsiyum karbonat dolgulu YYPE deney numunesi üretiminde kullanılan enjeksiyon ayarları ile soğutma suyu sıcaklıkları,(Yonca 2002 , AKSU TOST)

Üretim	Meme	1. Bölge	2. Bölge	3.Bölge	4.Bölge		
Sıcaklık [°C]	225 ⁺⁵	225 ⁺⁵	220 ⁺⁵	220 ⁺⁵	215 ⁺⁵		
Basınç ve hızlar	Enjeksiyon	Ütüleme Bas. (bar)			Ütüleme Hızı	Enjeksiyon	
	1450 bar	1	2	3	6 m /s	1	2
		650	575	350		25	10
Bekleme	60 s	Soğutma Suyu Sıcaklığı			30 ° C		

3.3.3.2 Talk Dolgulu numunelerin hazırlanması

Enjeksiyon kalıplama yöntemiyle granül halde üretilmiş olan farklı mikro tane boyllu ve farklı yüzde hacim oranlarında talk dolgulu YYPE boru hammaddeleri Tablo 3.16’da verilen enjeksiyon ayarlarında çok amaçlı deney parçalarına basılmıştır.

Tablo 3.16: Mikronize talk dolgulu YYPE deney numunesi üretiminde kullanılan enjeksiyon ayarları ile soğutma suyu sıcaklıkları,(Yonca 2002 , AKSU TOST)

Üretim	Meme	1. Bölge	2. Bölge	3.Bölge	4.Bölge	
Sıcaklık [°C]	235 ⁺⁵	235 ⁺⁵	230 ⁺⁵	225 ⁺⁵	220 ⁺⁵	
Basınç ve hızlar	Enjeksiyon	Ütüleme Bas. (bar)		Ütüleme Hızı	Enjeksiyon Hızı	
	1400 bar	1	2	5m /dak. ~	1	2
		700	500	12m/dak.	45	20
Bekleme	60 s	Soğutma Suyu Sıcaklığı			30°C	

3.3.3.3 Hibrit Dolgulu numunelerin hazırlanması

Enjeksiyon kalıplama yöntemiyle granül halde üretilmiş olan modifiyeli kalsiyum karbonat ve farklı yüzde hacim oranlarında hibrit dolgulu YYPE boru hammaddeleri Tablo 3.17’de verilen enjeksiyon ayarlarında çok amaçlı deney parçalarına basılmıştır.

Tablo 3.17: Hibrit mikronize mineral dolgulu YYPE deney numunesi üretiminde kullanılan enjeksiyon ayarları ile soğutma suyu sıcaklıkları (HTF90W (MA900/300), EMAŞ 2008)

Üretim	Meme	1. Bölge	2. Bölge	3.Bölge	4.Bölge		
Sıcaklık [°C]	225 ⁺⁵	225 ⁺⁵	220 ⁺⁵	220 ⁺⁵	215 ⁺⁵		
Basınç ve hızlar	Enjeksiyon	Ütüleme Bas. (bar)			Ütüleme Hızı	Enjeksiyon	
	1450 bar	1	2	3	6 m /s	1	2
		650	575	350		25	10
Bekleme	60 s	Soğutma Suyu Sıcaklığı			30 ° C		

Enjeksiyon kalıplama yöntemiyle üretilen tüm deney numunelerinin şartlandırılması kısmen TS 720 (1999) numaralı standardında belirtilen şekli ile yapılmıştır. Numuneler üretildikten sonra uygun boyutlarda poşetlere yerleştirilip konfor şartlarında depolanmıştır.

3.4 Deney Programı

Talk, stearik asit kaplı ve kapsız kalsiyum karbonat ve hibrit mineral dolgulu YYPE malzemelerinin fiziksel, mekanik ve ısı özelliklerine mineral dolgunun;

a)partikül büyüklüğüne (tane boyuna),

b)ağırlıkça farklı oranlarda ve farklı çeşitlerde dolgu maddesi miktarına göre hazırlanan hammaddelerden enjeksiyon kalıplama yöntemiyle elde edilen standart deney numunelerine çekme, enstrümante edilmiş Charpy, Sertlik, EAH, TMA, VYS tayini, DSC ve yoğunluk deneyleri uygulanmıştır.

c)tek vidalı ekstrüzyon yöntemi ile üretilen farklı yüzde hacim (veya ağırlık) oranlarında mineral dolgu maddelerinin ve mineral dolgu çeşitlerinden talk, kalsiyum karbonat ve hibrit mineral dolgu katkısının boruların iç basınç performans özellikleri üzerine etkilerinin araştırılması için farklı sıcaklıklarda (20°C ve 80°C) ve farklı sürelerde (1 saat,100 saat,165 saat) hidrostatik iç basınç deneyleri uygulanmıştır.

d)ayrıca tek vidalı ekstrüzyon yöntemi ile üretilen borulara EAH ve yoğunluk deneyleri ile boruların iç (ve kısmende dış) yüzeylerinden elde edilen ilgili standart deney numunelerine VYS, TMA, DSC deneyleri tatbik edilmiştir.

e) bunların yanısıra üretilmiş olan boru numuneleri TS EN ISO 6259-1 isimli standartta belirtildiği üzere bölgelere ayrılmış ve bu bölgelerden TS 1398-1 EN ISO 527-1 nolu standarda uygun şekilde elde edilen deney numuneleri tek eksenli çekme deneyine tabi tutulmuştur.

3.5. Deney Şartları, Araçlar, Makineler ve Donanımlar

YYPE malzemelerin fiziksel ve mekanik özellikleri, enjeksiyon kalıplama yöntemiyle elde edilmiş numunelere uygulanan çekme, enstrümante edilmiş Charpy, Shore D sertlik, EAH, TMA, VYS tayini, DSC ve yoğunluk deneyleri ile belirlenmeye çalışılmıştır. Sıcaklık ve nem oranı belirtilmeyen tüm deneyler $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ sıcaklık ve $\%50 \pm 10$ nem oranındaki deney şartlarında gerçekleştirilmiştir. Her bir deneyden elde edilen değerler, TS 2629 (1977) standardı göz önünde bulundurularak, Chauvenet Kriterine (Holman, 1994) göre istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve ortalama değerleri alınarak karşılaştırmalı diyagramları çizilmiştir. Ayrıca numune kırılma yüzeylerinin dijital fotoğraf makinesi ile makro fotoğrafları çekilmiştir.

3.5.1 Yoğunluk deneyi ve cihazı

Yoğunluk deneyleri KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ Makine Mühendisliği Mekanik Ana Bilim Dalı bünyesinde bulunan ve Şekil 3.5'de görülen Sartorius marka BP2105 model maksimum kapasitesi 210 g (gram) olan ve 0,1 miligram (mg) hassasiyetle ölçüm yapabilen, yoğunluk ölçme setine sahip, terazi kullanılarak yapılmıştır. Deney uygulamasında TS EN ISO 1183-1 (2006) standardı göz önünde bulundurularak standart içerisinde adı geçen A metodu (daldırma metodu) kullanılmıştır. Daldırma

sıvısı olarak saf su kullanılmış olup, deney süresince su sıcaklığı sürekli olarak ölçülerek ilgili sıcaklıktaki saf suyun yoğunluğu dikkate alınarak analiz yapılmıştır.



Şekil 3.5: Hassas terazi ve yoğunluk ölçüm seti

Çift vidalı birbirine paralel dönen ekstrüzyon makinasında elde edilen granül haldeki boru hammaddelerinden, enjeksiyon kalıplama yöntemi ile basılan çok amaçlı deney parçalarının yoğunlukları;

Çok amaçlı deney parçasının enjeksiyon girişine en uzak bölgesinde disk testere ile kesilerek çıkarılmış olan 10 mm x 20 mm x 4 mm boyutlarındaki numuneler kullanılarak ölçülmüştür.

Yoğunluk deneylerinde her bir yoğunluk değerinin tespiti için en az 3'er adet numune kullanılmış ve tekrar edilmiştir.

Çalışmada, YYPE boru malzemesinin yoğunluğuna mikronize toz ve/veya pudra mineralinin; mikro partikül büyüklüğünün (mikro tane boyunun), miktarının ve türünün etkisi belirlenmiştir.

3.5.2 Erime akış hızı deneyi ve cihazı

Bu deney, özellikle plastik hammaddesi üreten ve işleyen firmaların, üretimlerinin aynı kalitede olmasını kontrol edebilmeleri açısından çok yararlıdır. Deneyde plastiğin erimiş haldeki viskozitesi ölçülmektedir. EAH, (melt flow rate=MFR ve melt flow volume = MVR) deneyi, polimerin bozulma tipini (zincir kopması, çapraz bağlama gibi) ve bozulmanın genişlemesini karakterize etmek için kullanılan basit ama uygun bir metoddur. MFR (MVR), polimerin moleküler ağırlığının tersi ile ilişkilidir ve erimiş polimerin akış karakteristiklerini gösterir. Genel bir kural olarak, akmaya direnci daha fazla olan plastiğin (küçük MFR değerine sahip) moleküler ağırlığı; direnci daha küçük olana göre (yüksek MFR) daha fazladır (Savaşçı ve diğ. 2002).

Ekstrüderlerde polimerin akış davranışları, hem dış faktörler olan basınç, akış oranı, sıcaklık ve kanal geometrisi (giriş açısı, daralma oranı, uzunluk, çap oranı, seçilen kanalın şekli) gibi faktörler hem de iç faktörlerden olan moleküler zincir yapısı, moleküler ağırlık, moleküler ağırlık dağılımı ve malzemenin formülünden etkilenir. Mikroreolojik görüş olarak akış, moleküller birbiri içerisinde kaydığı zaman meydana gelir ve kolay akış moleküler zincirlerin hareketlerine bağlıdır. (Liang ve Ness, 1999).

EAH deneyleri, TS EN ISO 1133 (2007) standardı göz önünde bulundurularak bir kılcal kanallı erime viskometresi kullanılarak yapılmıştır. Çalışmada Makine Mühendisliği Bölümü Mekanik Anabilim Dalı bünyesinde bulunan Zwick/Roell marka 4106 E model erime akış indeksi deney cihazı kullanılmıştır. 20 mm ön ısıtma batma derinliği, 116 mm hurda alma mesafesinden sonra belirli aralıklarla 3'er adet numune, hem önerilen üretici verilerinde hemde akış durumuna ve numune yüzeyi pürüzsüzlüğüne göre farklı bekleme sürelerinde, farklı sıcaklıklarda ve farklı deney yüklerinde alınmış ve değerler [g/10 dak] olarak ifade edilmiştir.

Çift vidalı birbirine paralel dönen ekstrüzyon makinasında elde edilen granül haldeki boru hammaddelerine farklı sıcaklık ve deney yüklerinde EAH deneyi uygulanmıştır. Uygulama sırasında, deney değişkenlerini azaltmak için deney numune miktarı standartlaştırılarak numune yoğunluğunun 4,4 katı olarak seçilmiş ve kullanılmıştır. Deney sonrası elde edilen EAH deney numunesi yüzeyini pürüzsüz yapabilecek en uygun sıcaklık ve yük kombinasyonu tespit edilmeye çalışılmıştır.

Bu hedefle, çalışmada, YYPE boru malzemesinin akışkanlığına mikronize toz ve/veya pudra mineralinin; mikro partikül büyüklüğünün (mikro tane boyunun), miktarının ve türünün etkisi belirlenmiştir.

3.5.3 Diferansiyel taramalı kalorimetre deneyi ve cihazı

Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) deneyi, deney numunesine ve referans numuneye kontrollü sıcaklık artım programı uygulanırken, deney numunesi ve referans numune arasındaki ısı akışı (güç akışı) değişimini sıcaklığın ve/veya zamanın bir fonksiyonu olarak ölçerek kaydetme esasına göre işleyen tekniktir. Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümünde bulunan Mettler Toledo-Marka DSC cihazı ile numunenin kristalleşme derecesi, kristalleşme sıcaklığı, kristalin erime sıcaklığı, camsı geçiş sıcaklığı, erime ve kaynama sıcaklıkları, öz ısı, reaksiyon kinetiği, ısıl kararlılık gibi termal özellikleri hakkında bilgi edinilebilmektedir.

TS 1065-1 ISO 11359-1 (2004) nolu standart dikkate alınarak, çift vidalı birbirine paralel dönen ekstrüzyon makinasında elde edilen granül haldeki boru hammaddelerinden, enjeksiyon kalıplama yöntemi ile basılan çok amaçlı deney parçalarının enjeksiyon girişine en uzak bölgesinden ve tek vidalı ekstrüzyon yöntemiyle üretilen boruların iç ve dış yüzeyleri üzerinden

TS EN ISO 11357-1(2001) nolu standard göz önüne alınarak 10 mg kütlesindeki DSC numuneleri, çok keskin bir bıçak ile numune yüzeyinde belirgin bıçak izi

olmadan, cihazda kullanılan alüminyum haznenin (pan) tabanını tam kaplayacak ve homojen bir kalınlığa sahip olacak şekilde hazırlanmış ve DSC deneyine tabi tutulmuştur. Ayrıca deney sonuçlarının sağlıklı olabilmesi için DSC deneylerinde herbir değerin tespiti için en az 3 er adet numune kullanılmış ve tekrar edilmiştir.

Yukarıda yapılan DSC deneylerinden başka, tek vidalı ekstrüzyon yöntemi ile üretilen boru numunelerinden TS EN ISO 6259-1 nolu standardı dikkate alınarak, boru çapına göre çevresel bölgelere (ø63 borular 3 bölge; ø75 borular 5 bölge) ayrılmış ve her bölgenin boru iç ve dış yüzeylerinden TS EN ISO 11357-1 (2001) standardına uygun ve yukarıda tarif edildiği şekilde DSC deney numuneleri çıkarılmış ve DSC deneyinde herbir değerin tespiti için en az 3 er adet numune kullanılmış ve tekrar edilmiştir.

3.5.4 Shore D sertlik ölçme deneyi ve cihazı

Shore D metodu kullanılarak sertlik ölçümü yapılmıştır. Bu yöntemde, belirli şartlarda numuneye bastırılan belirli bir ucun batma miktarı ölçülmektedir. Sertlik değeri batma miktarı ile ters orantılıdır ve malzemenin elastiklik modülü ile viskoelastik özelliklerine bağlıdır. Değişik tip durometre ile elde edilen sonuçlarla diğer sertlik ölçme cihazıyla elde edilen sonuçlar arasında direkt bir bağıntı basit değildir (TS EN ISO 868 (2006)).

TS EN ISO 868 (2006) numaralı standart göz önünde tutularak gerçekleştirilen Shore D sertlik deneyleri, Şekil 3.6.'da görülen çok amaçlı deney parçası üzerinde işaretlenmiş olan sertlik ölçüm noktalarından, CV Instruments marka Tip D sertlik (Shore D) ölçen durometre ile gerçekleştirilmiştir.

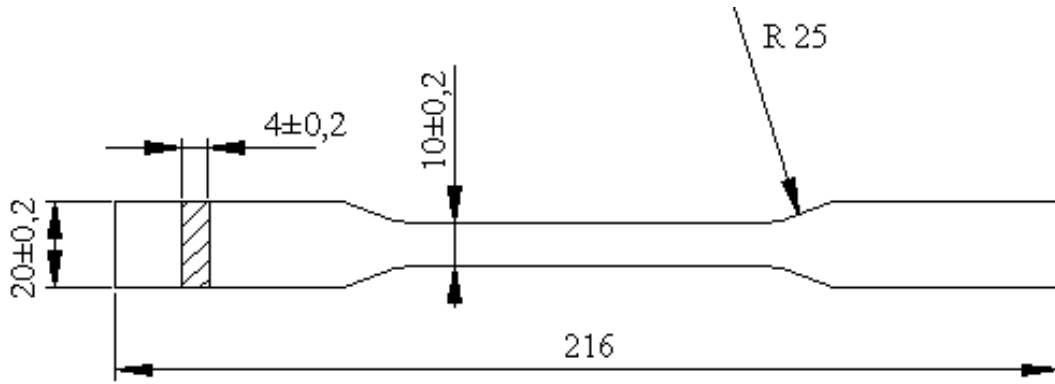


Şekil 3.6: Shore D sertlik ölçüm noktaları

Enjeksiyon kalıplama yöntemi ile TS EN ISO 11357-1(2001) nolu standard göz önüne alınarak üretilen çok amaçlı deney parçalarının enjeksiyon girişi tarafından başlamak üzere amaçlı deney parçalarının eşit mesafelerde orta noktasının beş adet sağından ve beş adet solundan ve numunelerin ön ve arka yüzeyinden 10'ar adet Shore D ölçüm değeri alınarak gerçekleştirilmiştir.

3.5.5 Çekme numunesi ve çekme deneyi

Çekme deneylerinde, enjeksiyon kalıplama ve makine ile işlenerek üretilmiş bütün çekme numuneleri, TS 1398-2 ISO 527-2 (1997) standardında verilen ve Şekil 3.7'de görülen Tip 1A çekme numunesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.7: Çekme numunesinin boyutları

Çekme deneyi, plastik mazemelerin tek eksenli ve sabit bir hızda çekme zorlanmasında özel çekme numunesinin kopmasına kadarki gerilme-uzama davranışının incelenmesine (Schmiedel, 1992) ve bu sayede incelenen malzemenin Hook doğrusunun artmasıyla elastisite (Young's) modülü (E), ilk maksimum gerilme değeri olan akma gerilmesi (σ_y), akma anındaki uzaması (ϵ_y), kopma gerilmesi (σ_B) ve kopmasındaki uzaması (ϵ_B) gibi farklı tanım değerlerinin elde edilmesi için uygulanmaktadır.

Çekme deneyleri, TS 1398-1 EN ISO 527-1 (1997) standardı dikkate alınarak

gerçekleştirilmiştir. Deneylelerden elde edilen gerilme-uzama diyagramlarından;

a) Elastisite Modülü E [N/mm^2],

b) akma gerilmesi σ_y [N/mm^2] dolayısıyla maksimum gerilme σ_M [N/mm^2] ve kopma gerilmesi σ_B [N/mm^2],

c) akma uzaması ϵ_y [%] ve kopma uzaması ϵ_B [%]

gibi malzeme karakteristik büyüklüklerinin belirlenmesinde, çekme hızı olarak, $V=50$ mm/dak tercih edilmiştir.

Ayrıca test programının çekme deneyi süresince farklı çekme hızı uygulanabilmesine olanak sağlamasından yararlanılmıştır. Bu nedenle, üretimden sonraki çekme deneylerinde birim uzamanın $\epsilon_1=0.0005$ mm/mm ve $\epsilon_2=0.0025$ mm/mm arasındaki elastisite modülü esas alınmış olup elastisite modülünün tespitinde çekme hızı $V=1$ mm/dak ve $\epsilon_2=0.0025$ mm/mm birim uzamanın üstünde ise çekme hızı $V=50$ mm/dak olarak uygulanmıştır.

Tek eksenli çekme deneyi hem enjeksiyon yöntemi ile üretilen deney numunelerine hem de tek vidalı ekstrüzyon yöntemi ile üretilen boru numunelerinde işleme yoluyla elde edilen deney numunelerine uygulanmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

Tek eksenli çekme deneyi numuneleri,

a) Enjeksiyon yöntemi ile farklı ağırlık oranlarında ve farklı mineral çeşitleri içeren çekme numuneleri, çekme cihazındaki çekme çenelerine, enjeksiyon girişi sabit çene tarafında olacak şekilde yerleştirilmiştir ve TS 1398-1 EN ISO 527-1 (1997) nolu standard göz önüne alınarak tek eksenli çekme deneyine tabi tutulmuştur. Deney

belirsizliklerinin minimize edilmesi ve deney sonuçlarının daha homojen olması için her üretimden 5 deney numunesi kullanılmıştır.

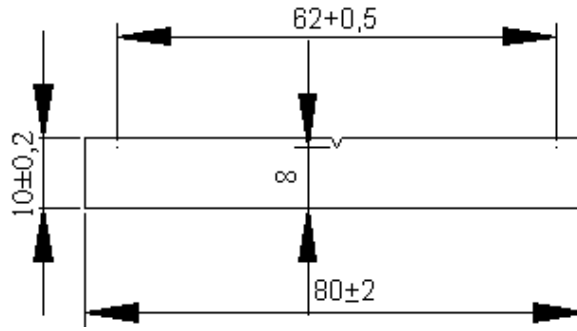
b) Tek vidalı ekstrüzyon yöntemi kullanılarak üretilen boru numunelerinden TS EN ISO 6259-1 nolu standard dikkate alınarak boru çapına göre çevresel bölgelere (ø63 borular 3 bölge; ø75 borular 5 bölge) ayrılmış boru bölgelerinden TS 1398-1 EN ISO 527-1 (1997) nolu standard göz önüne alınarak ekstrüzyon doğrultusunda zımba ile kesilerek hazırlanan tek eksenli çekme deneyi numuneleri TS 1398-1 EN ISO 527-1 (1997) nolu standard göz önüne alınarak deney belirsizliklerinin minimize edilmesi ve deney sonuçlarının daha homojen olması için her üretimden 5 deney numunesi kullanılarak tek eksenli çekme deneyine tabi tutulmuştur.

Sistem kodu 4411 H 4240 ve kapasitesi 5 kN olan Instron çekme makinesi, mekanik tahrikli olup düşey hareketi, her iki yanında bulunan vidalı sütunlar sayesinde gerçekleştirmektedir. Kuvvet ve uzunluk değişimlerini elektronik olarak algılayan cihazın, bir kablo ve soket vasıtasıyla, bilgisayarla irtibatı sağlanmıştır. Bilgisayar hafızasında bulunan Bluehill-2 versiyon 2.6 yazılım programı ile bilgisayar klavyesinden kumanda edilen cihaz, test süresince kuvvette ve uzunlukta meydana gelen değişimleri 200 ms’de 1 değer algılayarak hafızasına kaydetmektedir.

Instron marka ekstansometre (Clip-on static extensometer 2630-111, uzama ölçer), iki çift çubuk ayakları, üzerinde bulunan yaylar sayesinde, çekme numunesini her iki yüzeyinden (ölçme uzunluğunda) kavrar ve böylece deney numunesi ile sürekli bir temas halinde bulunur. Çubuk ayaklarında bulunan “strain gauge”lerin kompanzasyonunu yapan bir sisteme sahip olan eleman uzama ve kuvvet değişimlerini yüksek hassasiyette algılayarak elektronik sinyallerle test programına aktarır. Böylece çekme numunesinin çekme çenelerine bağlanması esnasında numune üzerinde oluşan ön yükleme kuvveti ile bu kuvvette bağlı olarak meydana gelen uzamalar devre dışı bırakılır.

3.5.6 Charpy numunesi ve enstrümante edilmiş charpy deneyi

Enstrümante edilmiş Charpy deneylerinde, soğuma ve katılaşma etkisinin yarattığı farklı belirsizlikleri ortadan kaldırmak için enjeksiyon kalıplama ile üretilen çekme numunelerinden makine ile işlenerek çıkarılmıştır. Deneylerde TS EN ISO 179-1 (2006) standardında verilen ve Şekil 3.8’de görülen Tip 1’e göre ve enjeksiyon yönünde Charpy numuneleri kullanılmıştır.



Şekil 3.8: Charpy numunesi

Dış şartlara bağlı olarak, her bir numunenin kırılma davranışını belirgin bir şekilde belirleyebilecek deney koşullarını saptayabilmek için hazırlık deneyleri yapılmıştır. Hazırlık deneyleri sonucunda $V=2,74$ m/s hız ve enerjinin 4,72 J olması durumunda, her bir numunenin kırılma davranışının en uygun Şekil 3.9’a benzer bir şekilde saptanılabilirdiği sonucuna varılmıştır.

TS EN ISO 179-2 (2006) standardına uygun olarak yapılan enstrümante edilmiş Charpy deneyleri ile elde edilen kuvvet (F) - zaman (t) ve kuvvet (F) - yol (x) diyagramlarından;

- a- Maksimum kuvvet F_{Maks} [N],
- b- Maksimum enerjisi W [J],
- c- Maksimum kuvvetteki enerji W_{Fmaks} [J]

gibi malzeme büyüklükleri saptanmıştır. Her bir deneyden elde edilen enerji (W) değerleri denklem 3.1'de yerine konarak malzemelerin kJ/m^2 cinsinden Charpy Çentik darbe mukavemeti (C_v) hesaplanmıştır.

$$C_v = \frac{W}{h \cdot b \cdot \phi_c} \quad (3.1)$$

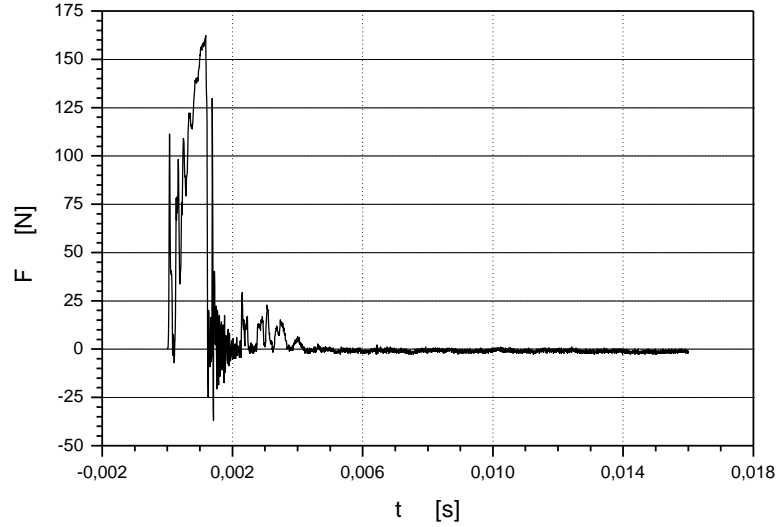
Burada;

C_v : Charpy Çentik darbe mukavemeti [kJ/m^2]

W: Enerji [J], h: Malzemenin kalınlığı [m], b: Malzemenin genişliği [m]

Φ_c : Charpy geometri düzeltme faktörü

Charpy geometri düzeltme faktörü (ϕ_c), çentik numunesi geometrisine bağlı olarak Williams tarafından önerilen düzeltme katsayısıdır (Williams, 1987).



Şekil 3.9: Enstrümante edilmiş Charpy deneyinde PPB malzemesi için elde edilen tipik bir kuvvet-zaman diyagramı

Charpy çentik darbe deneyi hem enjeksiyon yöntemi ile üretilen deney numunelerine hemde tek vidalı ekstrüzyon yöntemi ile üretilen ve daha sonra talaş kaldırılarak şekil verilen deney numunelerine uygulanmıştır.

Charpy çentik darbe deney numuneleri;

a) Enjeksiyon yöntemi ile TS 1398-1 EN ISO 527-1 (1997) nolu standard göz önüne alınarak üretilen çekme numunelerinin orta bölgelerinin talaş kaldırılarak işlenmesi ile hazırlanmış ve TS EN ISO 179-2 (2006) nolu standard göz önüne alınarak farklı sıcaklıklarda (0°C, 10°C, 20°C, 40°C, 60°C, 80°C) charpy çentik darbe deneyleri gerçekleştirilmiştir.

b) Tek vidalı ekstrüzyon yöntemi ile üretilen boru numuneleri üzerinden elde edilen charpy çentik darbe deney numuneleri TS EN ISO 6259-1 nolu standard dikkate alınarak boru çapına göre çevresel bölgelere (ø63 borular 3 bölge; ø75 borular 5 bölge) ayrılmış boru bölgelerinden TS 1398-1 EN ISO 527-1 (1997) nolu standard göz önüne alınarak ekstrüzyon doğrultusunda zımba ile kesilerek hazırlanan tek eksenli çekme deneyi numunelerinin orta bölgeleri TS EN ISO 179-2 (2006) standard göz önüne alınarak talaş kaldırılarak hazırlanmış ve TS EN ISO 179-2 (2006) nolu standarda uygun şekilde deneye tabi tutulmuştur. Ayrıca uygun standartlara uygun şekilde boru numuneleri üzerinden ekstrüzyon doğrultusunda hazırlanan darbe deney numunelerinin kırılıp kırılmadığına da bakılmıştır.

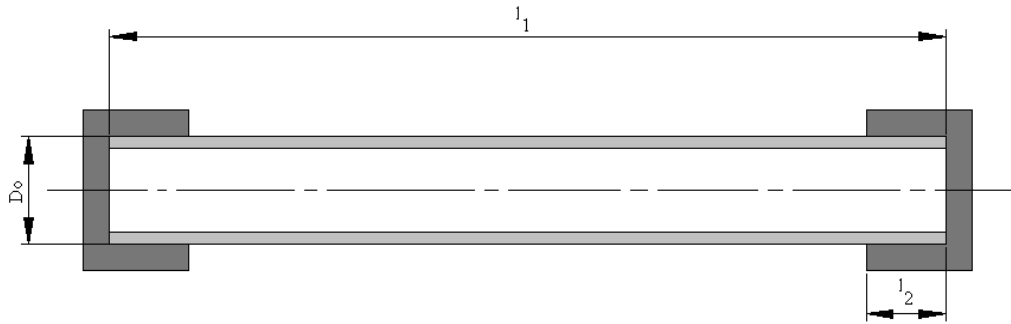
Sistem kodu 6545/000 olan CEAST Charpy test cihazının, sarkaca bağlı çekicinin hareketi elektromanyetik olarak sağlanmaktadır. 7.5 J' luk çekicinin ucuna yerleştirilmiş bir uzama ölçer (strain gauge) vasıtasıyla kuvvet değişimleri zamana bağlı bir şekilde elektronik olarak algılanır. Uzama ölçerinin, bir kablo ve soket vasıtasıyla, bilgisayarla irtibatı sağlanmıştır. Bilgisayar hafızasında bulunan D.A.S. 2000 (Data Acquisition System = Veri Edinme Sistemi) programı, uzama ölçerinin 16 milisaniye (ms) toplam test süresi boyunca her 8 mikro saniyede (μ s) kuvvette meydana gelen değişimleri kaydeder. 16 ms'de kaydedilen 2000 adet değer yardımıyla kuvvet Newton (N), enerji Joule (J), yol metre (m) ve zaman saniye (ms) olmak üzere, kuvvet ve enerjinin zaman ve yola bağlı olarak diyagramları her bir test için elde edilmiştir. YYPE malzemelere uygulanan enstümante Charpy deneyi program ayarları Tablo 3.19'de verilmiştir.

Tablo 3.18: Enstrümante Charpy deneyinde deney programı ayarları

Algılanan değer sayısı	2000
Test süresi	16 ms
Değer algılama aralığı	8 μ s
Çekiç uzunluğu	0.327 m
Çekiç kütlesi	1.254 kg
Çekiç düşme açısı	100°
Çarpma (darbe) hızı	2.74 m/s
Çarpma enerjisi	4,72 J

3.5.7 Hidrostatik iç basınç numunesi ve hidrostatik iç basınç deneyi

TS 8084 ISO 4065 (1998) standardı Çizelge 4.'e göre SDR 11 çap / et kalınlığı (D/t) oranında üretilen borulardan TS 9937 (2009) standardı göz önünde bulundurularak çaplara göre Şekil 3.10'da verilen boyutlar 3.2 numaralı formül ile hesaplanmış ve Tablo 3.20'de verilen boylarda kesilerek iç basınç deney numuneleri çıkarılmıştır. Deney numunelerine TS EN ISO 15874-2 (2006) nolu standartta yer alan beklenen mukavemet değerlerine göre hasar süreleri dikkate alınarak hidrostatik iç basınç deneyleri uygulanmıştır.



Şekil 3.10: Boru numunesi boyutları

$$l_1 = 3.D_0 + 2.l_2 + 250 \quad (3.2)$$

Burada,

l_1 : toplam boy, (mm) , D_0 : boru anma dış çapı (mm) ve l_2 : uçlardaki tapalar içerisinde kalan kısmın uzunluğunu (mm) ifade etmektedir.

Tablo 3.19: İç basınç deney numunelerin boyları

Çap, D_o (mm)	Boy, l_1 (mm)
63	575
75	635

Hisrostatik iç basınç deneyleri TS 9937 (2009) belirtilen şekilde hazırlanarak ve standarda uygun şekilde kondüsyonlanarak deneye tabi tutulmaktadır. Hidrostatik iç basınç deneyleri 20°C 1 saatlik ve 100 saatlik olarak ve 80 °C’de 1 saatlik ve 165 saatlik olarak gerçekleştirilmiştir. Deneyler her bir borudan alınan en az 5’er adet numunelere uygulanmış ve elde edilen sonuçlar standartlara uygun şekilde yorumlanmış ve grafikleştirilmiştir.

Deneyler KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ Mühendisliği Bölümü Mekanik Ana Bilim Dalı bünyesinde bulunan ve TÜBİTAK 105M220 numaralı araştırma projesi kapsamında IPT (Institut für Prüftechnik) firmasından alınan 1586-0212 model hidrostatik iç basınç deney cihazında gerçekleştirilmiştir. Cihaz deneylerin yapıldığı içi su dolu bir havuz, sisteme veri girişi ile kontrolü ve bilgisayar ile irtibatı sağlayan kontrol ünitesi ve su sıcaklığının istenilen deney şartlarında olmasını sağlayan soğutma ünitesi birimlerinden oluşmaktadır. Havuz içerisinde bulunan 10 adet istasyon aynı anda farklı basınçları uygulanabilmesine olanak sağlamaktadır. Bu istasyonların her birinde aynı basınçta boruların bağlanabilmesine olanak veren 3’er adet bağlantı kısımları bulunmaktadır. Cihaz ile bağlantıda bulunan bilgisayarda var olan IPT Datalogging V4.0 sürüm yazılıma gerekli veriler girilerek direk bilgisayardan aktarılabilme olanağının yanında manuel olarak kontrol ünitesinden de veri girişinin yapılmasına olanak sağlamaktadır. Bu cihaz sadece yapılan deneyler TS EN ISO 1167-1 (2007) standardında belirtilen A tipi boru testleri mümkün olmaktadır.

4.SONUÇLAR VE BULGULAR

4.1 Yoğunluk Deneyleri

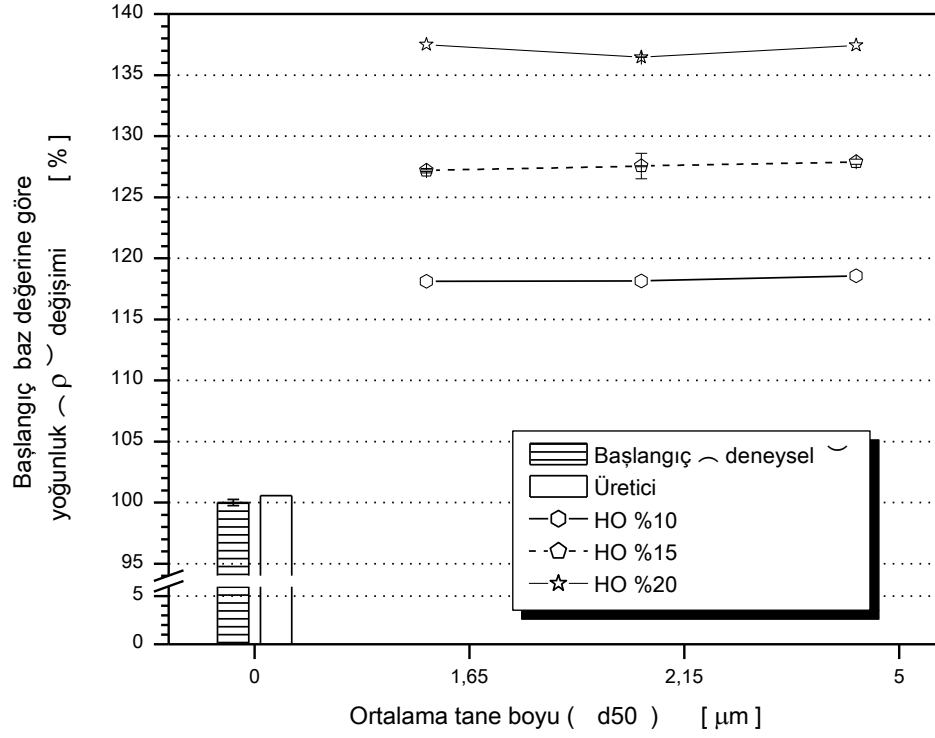
Yapılan deneysel yoğunluk ölçümlerinden, elde edilen değerler hem teorik yoğunluk değeri hemde mavi renkli naturel (saf) YYPE hammaddesi/malzemesi üretici verisi ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, saf YYPE malzemesinin deneysel yoğunluk değeri baz (referans) değer alınarak, yoğunlukta meydana gelen değişimler bu baz değere göre yüzde olarak grafikleştirilmiştir.

4.1.1 Mikronize toz kalsiyum karbonatın etkisi

Granül haldeki mavi renkli naturel (saf) YYPE boru malzemesinin yoğunluğuna, dolgunun ortalama tane boyunun ve dolgu miktarının etkileri, üç farklı ve sırasıyla hacimce yüzde 10, 15 ve 20 dolgu oranlarında ve aynı cins ancak üç farklı ve küçükten büyüğe doğru 1,65 μm , 2,15 μm ve 5 μm ortama tane boylarına sahip mikronize toz CaCO_3 mineralleri kullanılarak tespit edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda ayrı ayrı ve sırasıyla verilmiştir.

Saf malzemeye göre, dolgulu YYPE boru malzemesinin yoğunluğunun ortalama tane boyuna bağlı değişimi Şekil 4.1’de ve dolgu miktarına bağlı değişimi ise Şekil 4.2 de verilmiştir.

Şekil 4.1 incelendiğinde, hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize toz CaCO_3 dolgulu YYPE boru malzemesinin yoğunluğunun, dolgunun ortalama tane boyunun küçülmesiyle ve/veya artmasıyla değişmediği sonucuna varılabilmektedir.

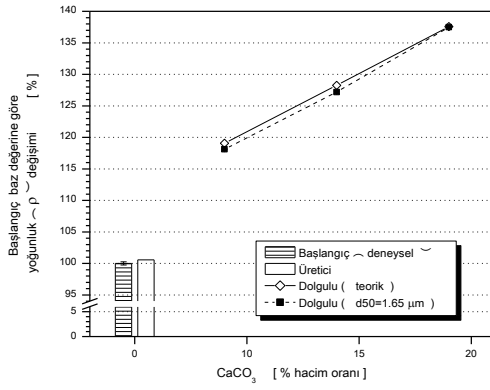


Şekil 4.1: YYPE boru malzemesi yoğunluğunun CaCO₃ tane boyuna bağlı değişimi

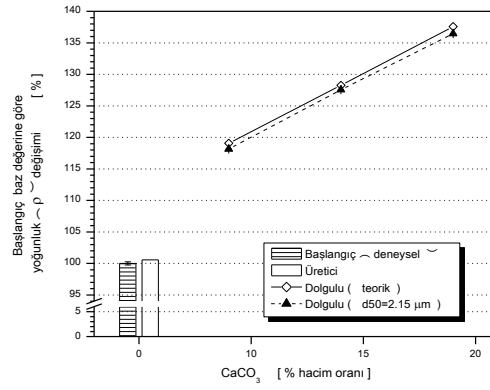
Şekil 4.2’de verilmiş olan a, b ve c grafikleri ayrı ayrı incelendiğinde, hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize toz CaCO₃ dolgulu YYPE boru malzemesinin yoğunluğunun, saf malzemeye göre, ilave edilen ve artan dolgu miktarıyla arttığı anlaşılabilmektedir.

Şekilden, yukarıda belirtilmiş dolgu miktarları arasında, YYPE boru malzemesi yoğunluğunun da, mikronize toz CaCO₃ dolgu miktarı ile meydana gelen artışın, aynı cins dolgunun ortalama tane boyundan bağımsız, artan dolgu miktarı oranı ile orantılı olarak gerçekleştiği görülebilmektedir.

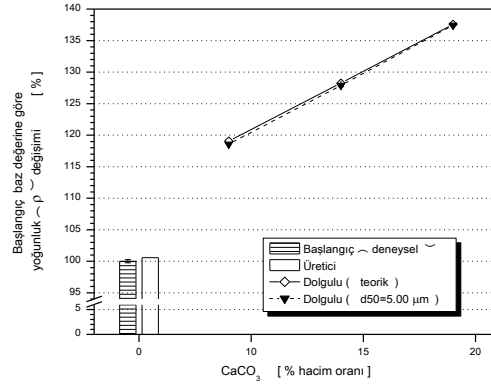
Ayrıca, hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında, farklı ortalama tane boyu ile dolgulu YYPE boru malzemesinin yoğunluk değerlerinin, teorik ve deneysel sonuç değerleri, kısmen aynı değerde ve artan dolgu miktarı ile değişimlerinin de kısmen örtüştüğü ve/veya paralel olduğu gözlemlenebilmektedir.



a) 1,65 µm ortalama tane boyu CaCO₃



b) 2,15 µm ortalama tane boyu CaCO₃



c) 5,00 µm ortalama tane boyu CaCO₃

Şekil 4.2: YYPE boru malzemesi yoğunluğunun CaCO₃ miktarına bağlı değişimi ortalama tane boyu a) 1,65 µm, b) 2,15 µm, c) 5 µm CaCO₃ minerali

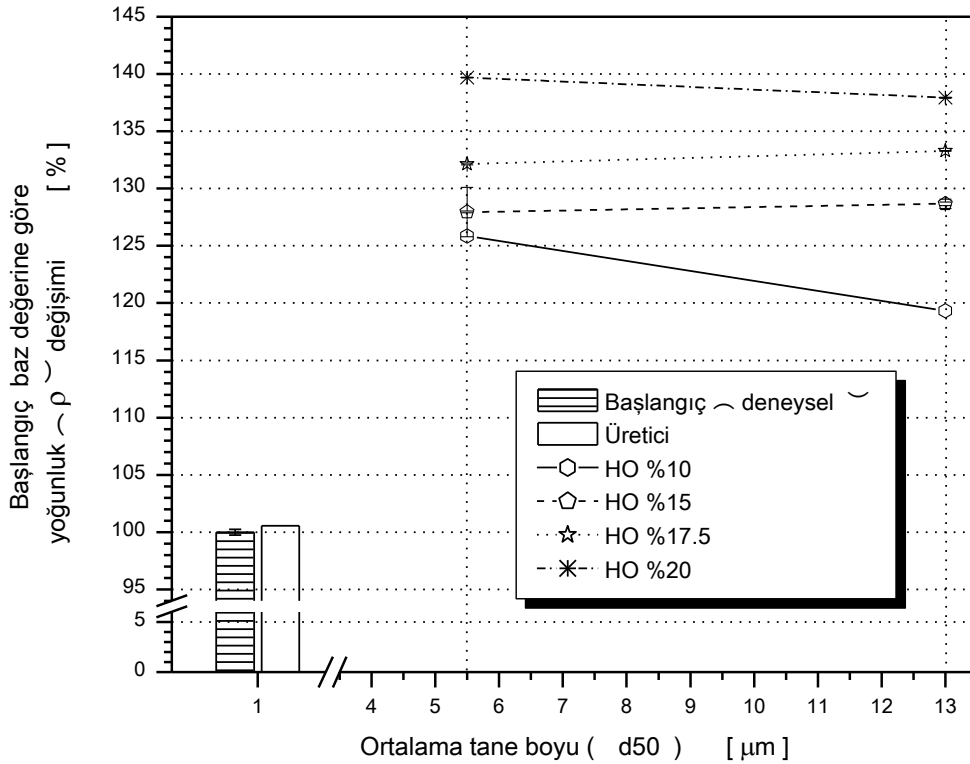
Şekiller birlikte değerlendirildiğinde, elde edilen veriler ve bilgiler, Sylvia ve arkadaşlarının 2005 yılında yapmış oldukları çalışmada elde ettikleri veriler ve bilgilerle de aynı olduğu sonucuna varılabilmektedir.

Dolayısıyla, bu çalışmada, saf malzemeye göre, ilave edilen ve artan mikronize toz CaCO₃ dolgu miktarının YYPE boru malzemesinin yoğunluğunu arttırdığı, buna karşın aynı tip CaCO₃ mineralinin farklı ortalama tane boyunun, yoğunluk üzerinde kayda değer bir etkisinin olmadığı tespit edilebilmektedir.

4.1.2 Mikronize pudra talkın etkisi

Granül haldeki mavi renkli naturel (saf) YYPE boru malzemesinin yoğunluğuna, dolgunun ortalama tane boyunun ve dolgu miktarının etkileri, dört farklı ve sırasıyla hacimce yüzde 10, 15, 17,5 ve 20 dolgu oranlarında ve ortalama tane boyları 5,50 μm ve 13,00 μm olan farklı cins mikronize pudra talk mineralleri kullanılarak tespit edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda ayrı ayrı ve sırasıyla verilmiştir.

Saf malzemeye göre, dolgulu YYPE boru malzemesinin yoğunluğunun ortalama tane boyuna bağlı değişimi Şekil 4.3’de ve dolgu miktarına bağlı değişimi ise Şekil 4.4’te bir araya getirilmiştir.

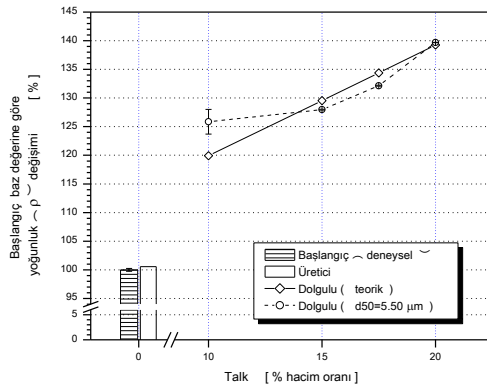


Şekil 4.3: YYPE boru malzemesi yoğunluğunun talk tane boyuna bağlı değişimi

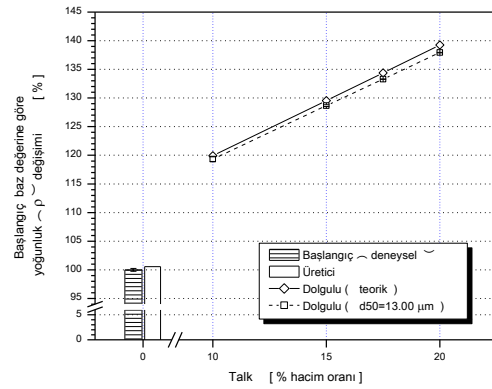
Şekil 4.3 incelendiğinde, hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize pudra talk dolgulu YYPE boru malzemesinin yoğunluğunun,

dolgunun ortalama tane boyunun küçülmesiyle ve/veya artmasıyla değişmediği sonucuna varılabilmektedir. Ancak şekilden, hacimce yüzde 10 mikronize pudra talk dolgulu YYPE boru malzemesinin yoğunluğunun, dolgunun ortalama tane boyunun küçülmesiyle arttığı izlenimi oluşabilmektedir. Bu sonuca ve izlenime sebep olan neden ve/veya nedenlerin belirlenebilmesinin, bu dolgu miktarında farklı ortalama tane boyu ile dolgulu malzemelerin SEM görüntülerinin çekilmesi ve incelenmesiyle mümkün olabileceği düşünülmektedir.

Şekil 4.4’de verilmiş olan a ve b grafikleri ayrı ayrı incelendiğinde, hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize pudra talk dolgulu YYPE boru malzemesinin yoğunluğunun, saf malzemeye göre, ilave edilen ve artan dolgu miktarıyla arttığı anlaşılabilmektedir.



a) 5,50 μm ortalama tane boylu talk



b) 13,00 μm ortalama tane boylu talk

Şekil 4.4: YYPE boru malzemesi yoğunluğunun talk miktarına bağlı değişimi ortalama tane boyu a) 5,50 μm, b) 13,00 μm talk minerali

Şekilden, yukarıda belirtilmiş dolgu miktarları arasında, YYPE boru malzemesi yoğunluğunun da, mikronize pudra talk dolgu miktarı ile meydana gelen artışın, farklı cins dolgunun ortalama tane boyundan bağımsız, artan dolgu miktarı oranı ile orantılı olarak gerçekleşebileceği görülebilmektedir.

Ayrıca, hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında, farklı ortalama tane boyu ile dolgulu YYPE boru malzemesinin yoğunluk değerlerinin, teorik ve deneysel sonuç değerleri, büyük ortalama tane boyulu dolgulu malzemede kısmen aynı değerde ve artan dolgu miktarı ile değişimlerinin de kısmen örtüştüğü ve/veya paralel olduğu gözlemlenebilirken, küçük ortalama tane boyulu dolgulu malzemede ise sadece ve özellikle hacimce yüzde 10 dolgu miktarında örtüşmenin gerçekleşmediği görülebilmektedir.

Hacimce yüzde 10 mikronize pudra talk dolgulu YYPE boru malzemesinin yoğunluk değerinin, teorik ve deneysel sonuç değerlerinin, küçük ortalama tane boyulu dolgulu malzemede örtüşmemesine sebep olan neden ve/veya nedenlerin belirlenebilmesinin, yine bu dolgu miktarında farklı ortalama tane boyu ile dolgulu malzemelerin SEM görüntülerinin çekilmesi ve incelenmesiyle mümkün olabileceği düşünülmektedir.

Şekiller birlikte değerlendirildiğinde, elde edilen veriler ve bilgiler, Suzuki'nin 2000 yılında yapmış olduğu çalışmada elde ettiği veriler ve bilgilerle benzerlikler gösterdiği sonucuna varılabilmektedir.

Dolayısıyla, bu çalışmada, saf malzemeye göre, ilave edilen ve artan mikronize pudra talk dolgu miktarının YYPE boru malzemesinin yoğunluğunu arttırdığı, buna karşın farklı tip talk mineralinin farklı ortalama tane boyunun, yoğunluk üzerinde kayda değer bir etkisin olmayabileceği tespit edilebilmektedir.

4.2 Erime akış hızı deneyleri

Üretim ve şekillendirme parametrelerinin tespit edilebilmesi için granül haldeki mavi renkli naturel (saf) ve granül haldeki dolgulu hammaddeler erime akış hızı (EAH) deneyine tabi tutulmuşlardır. Yapılan deneysel EAH ölçümlerinden elde edilen sonuçlar granül haldeki mavi renkli naturel (saf) YYPE

hammaddesinin/malzemesinin deneysel EAH değeri baz (referans) değeri alınarak, EAH'da meydana gelen değişimler bu baz değere göre yüzde olarak grafikleştirilmiştir.

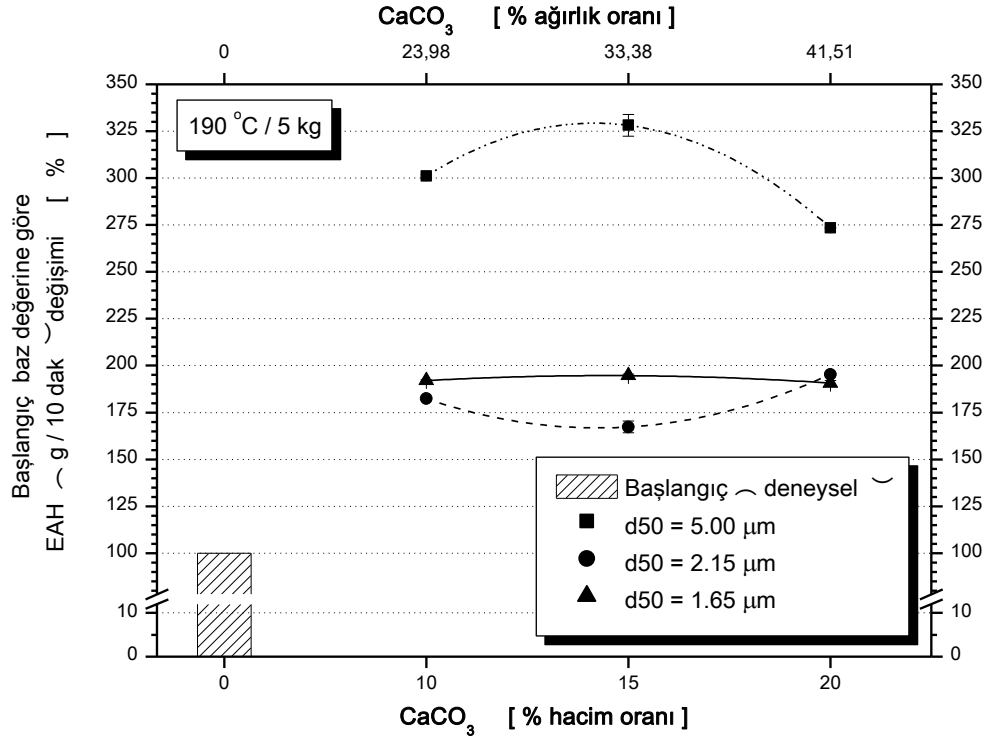
Çalışmada ayrıca, EAH deneyi uygulanan numunelerin, deney sonrası yüzey pürüzlülüğü nitel olarak incelenmiş ve deney sonrası numune yüzeyini pürüzsüz yapabilecek en uygun sıcaklık/yük kombinasyonu bulunmaya çalışılmıştır.

4.2.1 Mikronize toz kalsiyum karbonatın etkisi

Granül haldeki mavi renkli naturel (saf) YYPE boru malzemesinin EAH'na, dolgu miktarının ve dolgunun ortalama tane boyunun etkileri, üç farklı ve sırasıyla hacimce yüzde 10, 15 ve 20 dolgu oranlarında ve aynı cins ancak üç farklı ve küçükten büyüğe doğru 1,65 µm , 2,15 µm ve 5 µm ortama tane boylarına sahip mikronize toz CaCO₃ mineralleri kullanılarak tespit edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Şekil 4.5'te, üretici verileri dikkate alınarak 5 kg yük ve 190°C sıcaklıkta, saf malzemeye göre, dolgulu YYPE boru malzemesinin, EAH'nın dolgu miktarına bağlı değişimi grafikleştirilmiştir.

Şekil incelendiğinde, hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize toz CaCO₃ dolgulu YYPE boru malzemesinin EAH'nın, saf malzemeye göre, ilave edilen dolgu miktarıyla arttığı ve artan dolgu miktarıyla da ortalama tane boyuna göre artma, azalma ve sabit kalma gibi üç farklı eğilim gösterebileceği anlaşılabilmektedir. Ancak, artan dolgu miktarına bağlı olarak özellikle sabit kalma eğiliminin dikkat çekici olduğu ve ayrıca farklı eğilimlere sebep olan neden ve/veya nedenlerin belirlenmesinin, farklı üretim yöntemleri kullanılan bu çalışma için gerekli olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.5: 190°C/5.00 kg'da YYPE boru malzemesi akışkanlığının, CaCO₃ dolgu miktarına bağlı değişimi

Şekil 4.5'ten, saf malzemenin EAH değerinde, hacimce yüzde 10 CaCO₃ dolgu miktarında yaklaşık yüzde 200'lük en büyük yükselmenin, en büyük ortalama tane boyu CaCO₃ mineraliyle meydana geldiği görülebilmektedir.

Şekilden, artan dolgu miktarıyla, hacimce yüzde 15 dolgu oranına kadar, büyük ortalama tane boyu dolgulu malzemenin EAH değerinin yaklaşık yüzde 10 daha yükseldiği, 2,15 µm ortalama tane boyu dolgulu malzemenin EAH değerinin yaklaşık yüzde 7 daha azaldığı ve en küçük ortalama tane boyu dolgulu malzemenin EAH değerinin ise kısmen değişmediği, dolgu miktarının hacimce yüzde 20 dolgu oranına kadar artmaya devam etmesiyle, büyük ortalama tane boyu dolgulu malzemenin EAH değerinin azaldığı, 2,15 µm ortalama tane boyu dolgulu malzemenin EAH değerinin arttığı ve en küçük ortalama tane boyu dolgulu malzemenin EAH değerinin ise yine kısmen değişmediği tespit edilebilmektedir.

Tablo 4.1 'de 5 kg yük ve 190°C sıcaklık kombinasyonundaki EAH değerleri ile beraber deney sonucu EAH numunelerinin yüzeylerinin pürüzlülük durumu verilmiştir.

Tablo 4.1: 5 kg yük ve 190°C sıcaklık kombinasyonunda mikronize toz CaCO₃ dolgulu YYPE boru malzemesinin MFR ve MVR değerleri ile numune yüzeyi pürüzlülük durumu

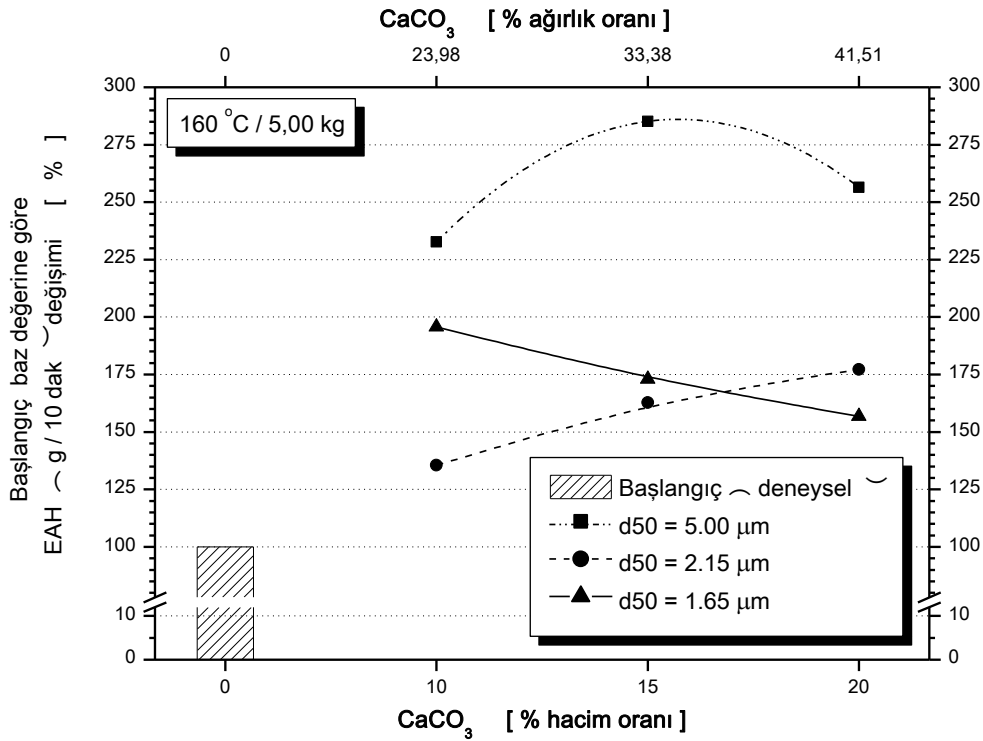
Sıcaklık (°C)	Yük (kg)	Yoğunluk (g/cm ³)	CaCO ₃ Ort. Tane Boyu (µm)	Dolgu Oranı (% hacim)	MFR (g / 10 dak)	MVR (cm ³ / 10 dak)	Yüzey Pürüzlülüğü
190	5	0,951	-	0	0,33	0,35	Pürüzsüz
		1,1259	5	10	0,98	0,87	Pürüzsüz
		1,3008		15	1,16	0,89	<i>Pürüzlü</i>
		1,4757		20	0,93	0,63	<i>Pürüzlü</i>
		1,1259		10	0,60	0,54	Pürüzsüz
		1,3008	2,15	15	0,59	0,45	<i>Pürüzlü</i>
		1,4757		20	0,71	0,48	Pürüzsüz
		1,1259		10	0,63	0,55	Pürüzsüz
		1,3008	1,65	15	0,67	0,52	Pürüzsüz
		1,4757		20	0,69	0,47	<i>Pürüzlü</i>

Tablo incelendiğinde, 5 kg yük ve 190°C sıcaklık kombinasyonunda, ortalama tane boyundan bağımsız olarak hacimce yüzde 10 dolgulu YYPE numunelerinin yüzeylerinin pürüzsüz olduğu ancak daha yüksek miktarlarda dolgulu YYPE numunelerinin yüzeylerinin ise pürüzlü olduğu görülebilmektedir.

Çalışmada, üretici verileri dikkate alınarak 5 kg yük ve 190°C sıcaklık kombinasyonunda yapılan EAH deneylerinde, artan dolgu miktarına bağlı olarak farklı ortalama tane boyu CaCO₃ dolgulu numunelerde (malzemelerde) gözlemlenen, artma, azalma ve sabit kalma gibi üç farklı eğilim isteklerinin yanında, bu farklı eğilimlere bağlı olduğu düşünülen, numune yüzeylerinin farklı pürüzlülük derecelerindeki durumlarından dolayı saf ve her bir dolgulu malzemenin EAH deneyi sonunda, nitel olarak olsa gözlemlenen, numune yüzeylerini pürüzsüz yapan (veren) yük/sıcaklık kombinasyonunun tespit edilmesi düşünülmüştür. Bu düşünceyle saf ve dolgulu malzemelere farklı yük/sıcaklık kombinasyonunda EAH deneyleri uygulanmıştır.

Burada sadece, numunelerin yüzeylerini pürüzsüz yapan (veren) yük/sıcaklık kombinasyonu dikkate alınmış ve saf malzemeye göre, dolgulu YYPE boru malzemesinin, 5 kg yük ve 160°C sıcaklık kombinasyonunda EAH'nın dolgu miktarına bağlı değişimi Şekil 4.6'da grafikleştirilmiştir

Şekil 4.6'nın incelenmesi, Şekil 4.5 gözönünde bulundurularak yapıldığı takdirde yine hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize toz CaCO_3 dolgulu YYPE boru malzemesinin EAH'nın, saf malzemeye göre, ilave edilen dolgu miktarıyla arttığı ve ancak yine artan dolgu miktarıyla ortalama tane boyuna göre bu sefer sadece artma ve azalma gibi iki farklı eğilim gösterdiği görülebilmektedir.



Şekil 4.6: 160°C/5.00 kg'da YYPE boru malzemesi akışkanlığının, CaCO_3 dolgu miktarına bağlı değişimi

Dolayısıyla, saf malzemeye göre, hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında aynı tip fakat farklı ortalama tane boylu mikronize toz CaCO_3 dolgulu YYPE boru malzemesinin EAH'nın, artan dolgu miktarıyla sabit kalma

eğilimine sebep olan nedenlerden biri olarak, deneyin, kompozite uygun olmayan yük/sıcaklık kombinasyonunda gerçekleştirilmiş olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Bu düşünceye sebep ise, deneyin, kompozite uygun yük/sıcaklık kombinasyonunda gerçekleştirilmesi sonucu, malzemesinin EAH'da, artan dolgu miktarına bağlı olarak, sabit kalma eğiliminin oluşmaması gösterilebilmektedir.

Şekil 4.6'dan, EAH deneyinin, 5 kg üretici verisi yükünde ancak 160°C sıcaklıkta gerçekleştirilmesi sonucunda, hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında aynı tip fakat farklı ortalama tane boyu mikronize toz CaCO₃ dolgulu YYPE boru malzemesinin EAH'nın, saf malzemeye göre, ilave edilen dolgu miktarıyla arttığı ve artan dolgu miktarıyla da, en büyük ortalama tane boyu dolgulu malzemenin EAH'nın önce artma eğiliminden sonra azalma eğilimi gösterdiği, ortalama tane boyunun küçülmesiyle, 2,15 µm ortalama tane boyu dolgulu malzemenin EAH'nın artma eğilimi ve en küçük ortalama tane boyu dolgulu malzemenin EAH'nın ise azalma eğilimi görülebilmektedir.

Tablo 4.2 'de farklı yük/sıcaklık kombinasyonlarında gerçekleştirilmiş EAH değerleri ile beraber deney sonucu EAH numunelerinin yüzeylerinin pürüzlülük durumu verilmiştir.

Tablo incelendiğinde, EAH deneyinin, 190°C üretici verisi sıcaklığında ancak 21,6 kg gibi büyük yükte (diğer bir ifade şekliyle de yüksek basınçta) gerçekleştirilmesi sonucunda, hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında aynı tip fakat farklı ortalama tane boyu mikronize toz CaCO₃ dolgulu YYPE boru malzemesinin EAH'nın, saf malzemeye göre, ilave edilen dolgu miktarıyla arttığı ve artan dolgu miktarıyla da, en büyük ortalama tane boyu dolgulu malzemenin EAH'nın azalma eğilimi gösterirken, 2,15 µm ve en küçük ortalama tane boyu dolgulu malzemelerin EAH'larının artma eğilimi gösterdikleri ve bütün numunelerin yüzeylerinin de, 5 kg üretici verisi yükünde 160°C sıcaklıkta gerçekleştirilen EAH

deneyindeki gibi, pürüzsüz oldukları görülebilmektedir.

Tablo 4.2: Farklı yük/sıcaklık kombinasyonunda mikronize toz CaCO₃ dolgulı YYPE boru malzemesinin MFR ve MVR değerleri ile numune yüzeyi pürüzlülük durumu

Sıcaklık (°C)	Yük (kg)	Yoğunluk (g/cm ³)	CaCO ₃ Ort. Tane Boyu (µm)	Katkı Oranı (% hacim)	MFR (g / 10 dak)	MVR (cm ³ / 10 dak)	Yüzey Pürüzlülüğü		
190	21,6	0,951	-	0	14,64	15,40	Pürüzsüz		
		1,1259	5	10	27,68	18,75	Pürüzsüz		
		1,3008		15	25,95	19,95	Pürüzsüz		
		1,4757		20	21,59	14,63	Pürüzsüz		
		1,1259	2,15	10	16,12	14,31	Pürüzsüz		
		1,3008		15	19,03	14,63	Pürüzsüz		
		1,4757		20	31,42	21,29	Pürüzsüz		
		1,1259	1,65	10	18,10	16,08	Pürüzsüz		
		1,3008		15	19,47	14,97	Pürüzsüz		
		1,4757		20	26,71	18,10	Pürüzsüz		
		180	21,6	0,951	-	0	13,04	13,72	Pürüzsüz
				1,1259	5	10	17,75	15,77	Pürüzsüz
1,3008	15			21,95		15,77	<i>Pürüzlü</i>		
1,4757	20			21,34		14,46	<i>Pürüzlü</i>		
1,1259	2,15			10	14,45	12,83	Pürüzsüz		
1,3008				15	16,99	13,06	<i>Pürüzlü</i>		
1,4757				20	26,25	17,79	Pürüzsüz		
1,1259	1,65			10	16,12	14,31	Pürüzsüz		
1,3008				15	18,32	14,09	Pürüzsüz		
1,4757				20	21,97	14,88	<i>Pürüzlü</i>		
170	21,6			0,951	-	0	7,79	8,19	Pürüzsüz
				1,1259	5	10	15,54	13,80	Pürüzsüz
		1,3008	15	19,07		14,66	Pürüzsüz		
		1,4757	20	14,91		10,10	<i>Pürüzlü</i>		
		1,1259	2,15	10	12,01	10,67	Pürüzsüz		
		1,3008		15	14,29	10,98	Pürüzsüz		
		1,4757		20	15,96	10,81	Pürüzsüz		
		1,1259	1,65	10	13,17	11,69	Pürüzsüz		
		1,3008		15	16,95	13,03	Pürüzsüz		
		1,4757		20	21,04	14,26	Pürüzsüz		
		160	5	0,951	-	0	0,21	0,22	Pürüzsüz
				1,1259	5	10	0,48	0,42	Pürüzsüz
1,3008	15			0,62		0,48	Pürüzsüz		
1,4757	20			0,55		0,37	Pürüzsüz		
1,1259	2,15			10	0,28	0,25	Pürüzsüz		
1,3008				15	0,36	0,28	Pürüzsüz		
1,4757				20	0,40	0,27	Pürüzsüz		
1,1259	1,65			10	0,40	0,36	Pürüzsüz		
1,3008				15	0,38	0,29	Pürüzsüz		
1,4757				20	0,36	0,24	Pürüzsüz		

Tablodan ayrıca, büyük yükte (diğ er bir ifade şek liyle de yüksek basınç ta) ancak

190°C üretici verisi sıcaklığından düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilen deneylerde, EAH'nın, saf malzemeye göre, ilave edilen dolgu miktarıyla arttığı ve artan dolgu miktarıyla, farklı ortalama tane boylu dolgulu malzemelerin, pürüzsüz yüzeylemlerin eğilimleri, pürüzsüz yüzey veren kombinasyonların gerçekleştirdiği eğilimlere benzerlik gösterdiği, yüzeyleri pürüzlü olanların eğilimlerinin ise farklılık gösterebildiği alınabilmektedir.

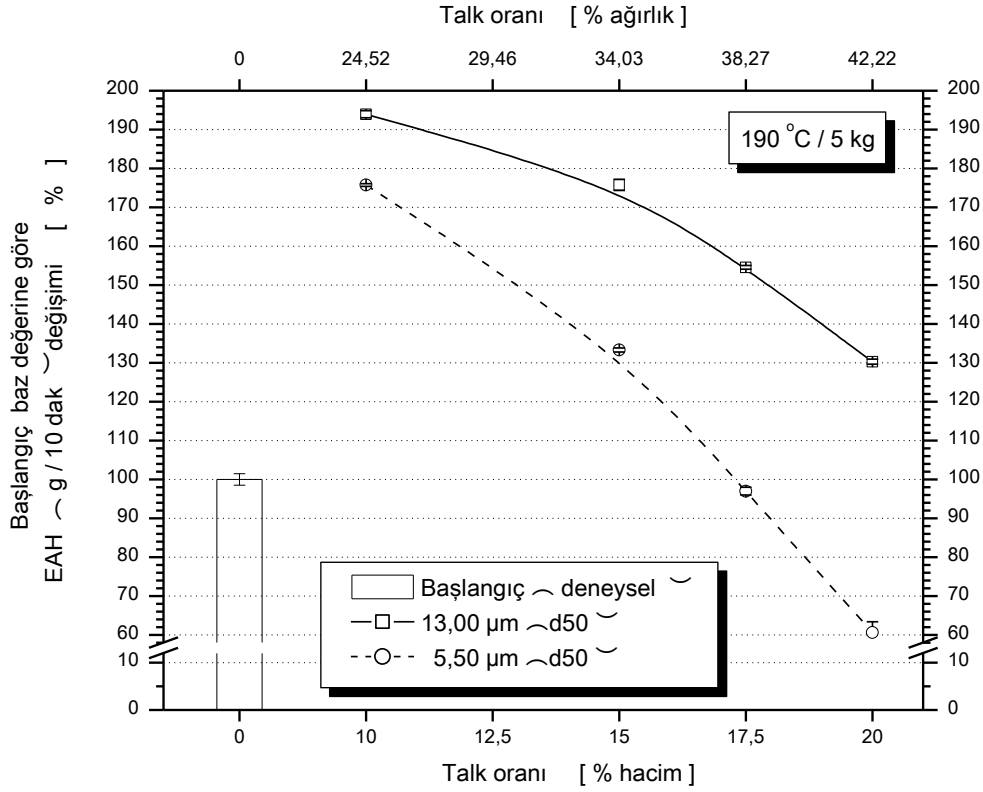
4.2.2 Mikronize pudra talkın etkisi

Granül haldeki mavi renkli naturel (saf) YYPE boru malzemesinin EAH'na, dolgu miktarının ve dolgunun ortalama tane boyunun etkileri, dört farklı ve sırasıyla hacimce yüzde 10, 15, 17,5 ve 20 dolgu oranlarında ve ortalama tane boyları 5,50 µm ve 13,00 µm olan farklı cins mikronize pudra talk mineralleri kullanılarak tespit edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Şekil 4.7'te, üretici verileri dikkate alınarak 5 kg yük ve 190°C sıcaklıkta, saf malzemeye göre, dolgulu YYPE boru malzemesinin, EAH'nın dolgu miktarına bağlı değişimi grafikleştirilmiştir.

Şekil incelendiğinde, hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize pudra talk dolgulu YYPE boru malzemesinin EAH'nın, saf malzemeye göre, ilave edilen dolgu miktarıyla arttığı ve artan dolgu miktarıyla da azalma eğilimi gösterdiği görülmektedir.

Şekil 4.7'den, saf malzemenin EAH değerinde, hacimce yüzde 10 talk dolgu miktarında yaklaşık yüzde 100'lük en büyük yükselmenin, büyük ortalama tane boylu talk mineraliyle meydana geldiği, küçük ortalama tane boylu talk mineraliyle de yaklaşık yüzde 80'lik artmanın oluşabildiği görülebilmektedir.



Şekil 4.7: 190°C/5.00 kg'da YYPE boru malzemesi akışkanlığının, talk dolgu miktarına bağlı değişimi

Diğer taraftan, saf malzemeye göre, dolgu miktarının artmasıyla meydana gelen azalma eğilimlerinin sonucunda, hacimce yüzde 20 talk dolgu miktarında, büyük ortalama tane boylu dolgulu malzemedede yaklaşık yüzde 30 daha yüksek, küçük ortalama tane boylu dolgulu da ise yaklaşık yüzde 40 daha düşük EAH'nın elde edilebileceği tespit edilebilmektedir.

Tablo 4.3 'de 5 kg yük ve 190°C sıcaklık kombinasyonundaki EAH değerleri ile beraber deney sonucu EAH numunelerinin yüzeylerinin pürüzlülük durumu verilmiştir. Tablo incelendiğinde, 5 kg yük ve 190°C sıcaklık kombinasyonunda, dolgu miktarından bağımsız olarak büyük ortalama tane boylu dolgulu YYPE numunelerinin yüzeylerinin pürüzlü, saf malzeme ile küçük ortalama tane boylu dolgulu YYPE numunelerinin yüzeylerinin ise pürüzsüz görülebilmektedir.

Tablo 4.3: 5 kg yük ve 190°C sıcaklık kombinasyonunda mikronize pudra talk dolgulu YYPE boru malzemesinin MFR ve MVR değerleri ile numune yüzeyi pürüzlülük durumu

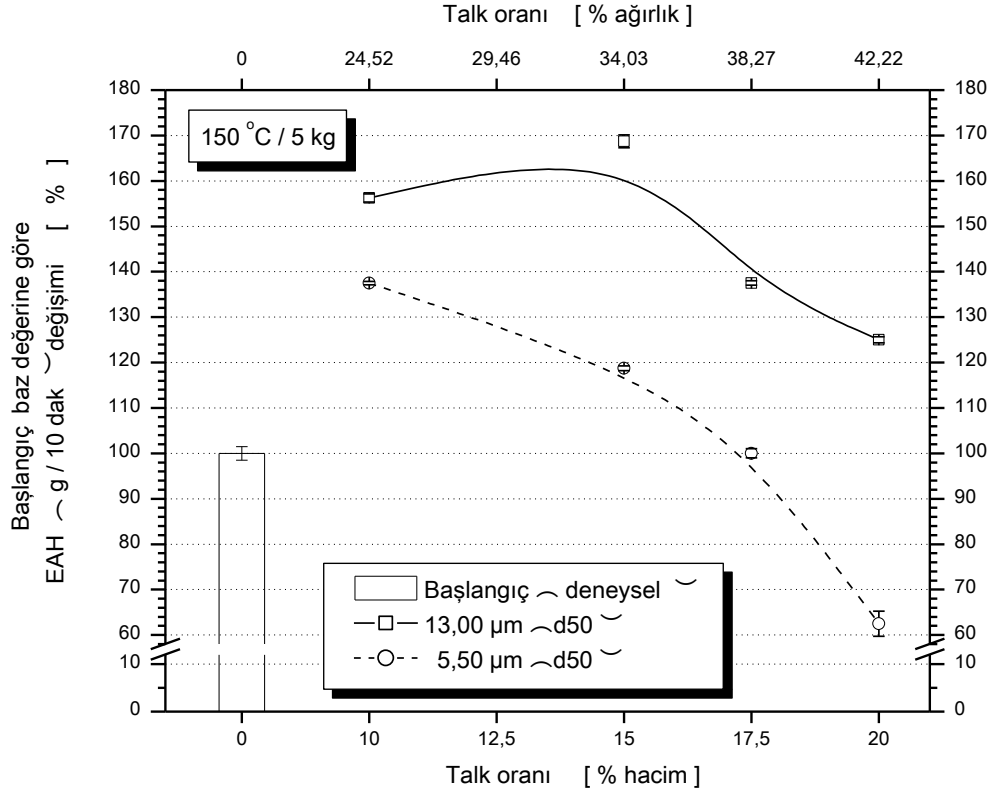
Sıcaklık (°C)	Yük (kg)	Yoğunluk (g / cm ³)	Talk Ort. Tane Boyu (µm)	Katkı Oranı (% hacim)	MFR (g / 10 dak)	MVR (cm ³ / 10 dak)	Yüzey Pürüzlülüğü
190	5	0,951	-	0	0,33	0,35	Pürüzsüz
		1,134	13	10	0,64	0,56	Pürüzlü
		1,225		15	0,58	0,47	Pürüzlü
		1,271		17,5	0,51	0,40	Pürüzlü
		1,317		20	0,43	0,32	Pürüzlü
		1,134	5,5	10	0,58	0,51	Pürüzsüz
		1,225		15	0,44	0,36	Pürüzsüz
		1,271		17,5	0,32	0,25	Pürüzsüz
		1,317		20	0,20	0,15	Pürüzsüz

Çalışmada, üretici verileri dikkate alınarak 5 kg yük ve 190°C sıcaklık kombinasyonunda yapılan EAH deneylerinde, artan dolgu miktarıyla farklı ortalama tane boylu talk dolgulu numunelerde (malzemelerde) gözlemlenen, azalma eğilimlerindeki farklı azalma miktarlarından ve numune yüzeylerinin farklı pürüzlülük derecelerindeki durumlarından dolayı saf ve herbir dolgulu malzemenin EAH deneyi sonunda, nitel olarak olsa gözlemlenen, numune yüzeylerini pürüzsüz yapan (veren) yük/sıcaklık kombinasyonunun tespit edilmesi düşünülmüştür. Bu düşünceyle saf ve dolgulu malzemelere farklı yük/sıcaklık kombinasyonunda EAH deneyleri uygulanmıştır.

Burada sadece, numunelerin yüzeylerini pürüzsüz yapan (veren) yük/sıcaklık kombinasyonu dikkate alınmış ve saf malzemeye göre, dolgulu YYPE boru malzemesinin, 5 kg yük ve 150°C sıcaklık kombinasyonunda EAH'nın dolgu miktarına bağlı değişimi Şekil 4.8'de grafikleştirilmiştir.

Şekil 4.8'in incelenmesi, Şekil 4.7 gözönünde bulundurularak yapıldığı takdirde yine hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize pudra talk dolgulu YYPE boru malzemesinin EAH'nın, saf malzemeye göre, ilave edilen dolgu

miktariyla arttığı ve yine artan dolgu miktarıyla yine azalma eğilimi gösterdiği görülebilmektedir.



Şekil 4.8: 150°C/5.00 kg'da YYPE boru malzemesi akışkanlığının, talk dolgu miktarına bağlı değişimi

Tablo 4.4 'de farklı yük/sıcaklık kombinasyonlarında gerçekleştirilmiş EAH değerleri ile beraber deney sonucu EAH numunelerinin yüzeylerinin pürüzlülük durumu verilmiştir.

Tablo incelendiğinde, EAH deneyinin, 190°C üretici verisi sıcaklığında ancak 10 kg gibi üretici verisi yükünden daha büyük yükte (diğer bir ifade şekliyle de daha yüksek basınçta) gerçekleştirilmesi sonucunda, hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında farklı tip ve farklı ortalama tane boylu mikronize pudra talk dolgulu YYPE boru malzemesinin EAH'nın, saf malzemeye göre, ilave edilen dolgu miktarıyla arttığı ve artan dolgu miktarıyla da, büyük ortalama tane boylu dolgulu malzemenin EAH'nın her farklı dolgu oranında azalma/artma/azalma

eğilimleri gösterirken, küçük ortalama tane boylu dolgulu malzemenin EAH'nın önce artma sonrada azalma eğilimi gösterdiği ve bütün numunelerin yüzeylerinin de, pürüzsüz olmadıkları görülebilmektedir. Yüzey pürüzlülük durumuna bakıldığında artan yük ile pürüzlülüğün giderilemediği tespit edilebilmektedir.

Tablo 4.4 Farklı yük/sıcaklık kombinasyonunda mikronize pudra talk dolgulu YYPE boru malzemesinin MFR ve MVR değerleri ile numune yüzeyi pürüzlülük durumu

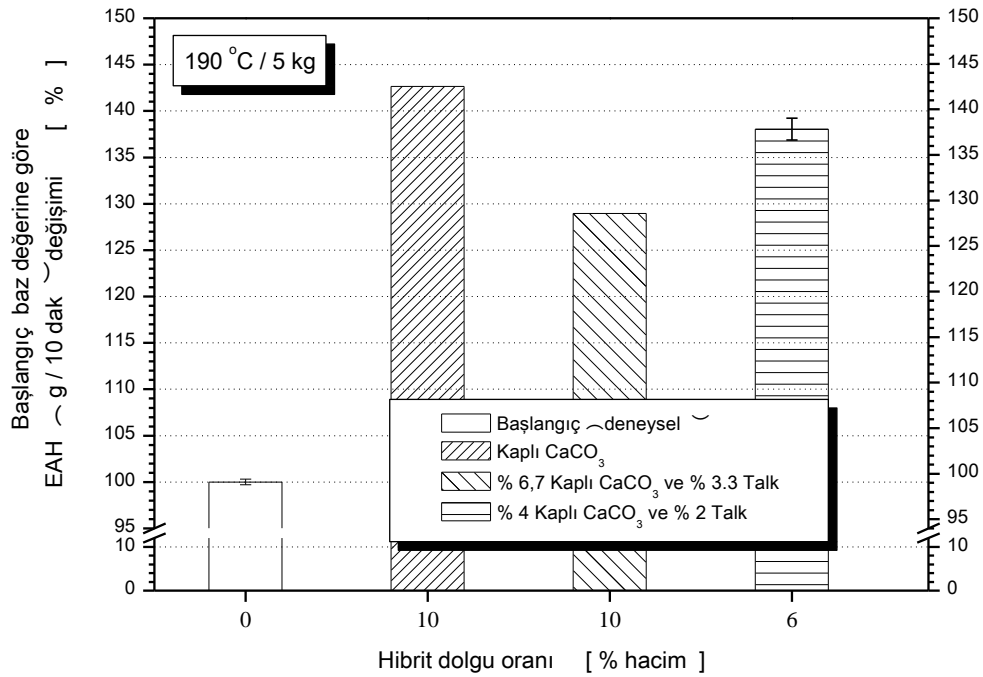
Sıcaklık (°C)	Yük (kg)	Yoğunluk (g/cm ³)	Talk Ort. Tane Boy. (µm)	Katkı Oranı (% hacim)	MFR (g/10 dak)	MVR (cm ³ /10 dak)	Yüzey Pürüzlülüğü		
190	10	0,951	-	0	2,21	2,32	Pürüzsüz		
		1,134	13	10	2,82	2,49	Pürüzsüz		
		1,225		15	2,53	2,07	Pürüzsüz		
		1,271		17,5	2,65	2,08	<i>H.Pürüzlü</i>		
		1,317		20	2,12	1,61	<i>H.Pürüzlü</i>		
		1,134	5,5	10	2,45	2,16	<i>Pürüzlü</i>		
		1,225		15	2,54	2,07	<i>Pürüzlü</i>		
		1,271		17,5	1,67	1,31	Pürüzsüz		
		1,317		20	1,22	0,93	<i>Pürüzlü</i>		
		0,951		-	0	0,16	0,17	Pürüzsüz	
		150	5	1,134	13	10	0,25	0,22	Pürüzsüz
				1,225		15	0,27	0,22	Pürüzsüz
				1,271		17,5	0,22	0,17	Pürüzsüz
				1,317		20	0,20	0,15	Pürüzsüz
1,134	5,5			10	0,22	0,19	Pürüzsüz		
1,225				15	0,19	0,15	Pürüzsüz		
1,271				17,5	0,16	0,12	Pürüzsüz		
1,317				20	0,10	0,08	Pürüzsüz		

4.2.3 Mikronize hibrit ve/veya kaplı minerallerin etkisi

Granül haldeki mavi renkli naturel (saf) YYPE boru malzemesinin EAH'na, hibrit ve/veya kaplı dolgu miktarının etkisi, üç farklı ve sırasıyla hacimce yüzde 10, 10 ve 6 dolgu oranlarında ve toz haldeki 3 µm ortalama tane boyuna sahip sterik asit kaplı kalsiyum karbonat (KCaCO₃) ve pudra haldeki 2,5 µm ortalama tane boyuna sahip talk mineralleri kullanılarak ve YYPE/KCaCO₃/Talk şeklinde yüzde hacim olarak 90/10/0, 90/6,7/3,3 ve 94/4/2 (yüzde ağırlık olarak ise 76,02/23,98/0, 75,84/16/8,16

ve 84,53/10,25/5,22) oranında hibrit karışımlar ile tespit edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Şekil 4.9'da, üretici verileri dikkate alınarak 5 kg yük ve 190°C sıcaklıkta, saf malzemeye göre, dolgulu YYPE boru malzemesinin EAH'nın hibrit ve/veya kaplı dolgu miktarına bağlı değişimi grafikleştirilmiştir.



Şekil 4.9: 190°C/5.00 kg'da YYPE boru malzemesi akışkanlığının, hibrit ve/veya kaplı dolgu miktarına bağlı değişimi

Şekil 4.9 incelendiğinde saf YYPE'e göre, hacimce yüzde 10, ortalama tane boyu 2,5 µm olan ve sterik asit kaplı CaCO₃ dolgulu YYPE boru malzemesinin EAH değerinin yüzde 43 arttığı görülebilmektedir. Toplamda yine aynı hacimce yüzde 10 hibrit dolgu (% 6,7 sterik asit kaplı CaCO₃ ve % 3,3 Talk) ilaveli YYPE boru malzemesinin EAH değeri, saf YYPE'e göre yüzde 29 artarken, sadece hacimce yüzde 10 sterik asit kaplı CaCO₃ dolgulu YYPE' e göre ise yüzde 10 azalmaktadır. Diğer taraftan hacimce yüzde 6 hibrit dolgusu (% 4 sterik asit kaplı CaCO₃ ve % 2 Talk) ilaveli YYPE malzemesinin EAH değeri saf YYPE'e göre yüzde 38 artarken, sadece hacimce yüzde 10 sterik asit kaplı CaCO₃ dolgulu YYPE' e göre ise yüzde 5

azalırken hacimce yüzde 10 hibrit dolgulu (% 6,7 sterik asit kaplı CaCO₃ ve % 3,3 Talk) YYPE' e göre de yüzde 7 artmakta olduğu görülebilmektedir.

Üretici verileri kullanılarak gerçekleştirilen EAH deneyleri ile elde edilen numunelerin yüzey kontrolü sonucu, yüzeylerinin pürüzsüz olduğu gözlemlenmiştir. Buna karşın, mamül üretiminin diğer bir ifade ile de şekillendirmenin, daha düşük sıcaklık ve yük kombinasyonlarında yapılabilirliğinin araştırılması amacıyla Tablo 4.5' teki farklı yük/sıcaklık kombinasyonlarında deneme deneyleri yapılmıştır. Daha düşük yük/sıcaklık kombinasyonlarında yapılan EAH deneyleri sonucu elde edilen numunelerin yüzeylerinin de pürüzsüz olduğu gözlemlenmiştir. Mamül üretiminin daha düşük bir yük/sıcaklık kombinasyonunda, mamül kalitesini düşürmeden ve/veya iyileştirerek gerçekleştirilebilmesinin sağlanabilmesi, özellikle ekolojik ve ekonomik açılardan önemli olduğu düşünülmektedir.

Tablo 4.5: Farklı yük/sıcaklık kombinasyonunda mikronize hibrit ve/veya kaplı dolgulu YYPE boru malzemesinin MFR ve MVR değerleri ile numune yüzeyi pürüzlülük durumu

Sıcaklık (°C)	Yük (kg)	Yoğunluk (g/cm ³)	CaCO ₃ / talk Ort. Tane Boy. (µm)	Dolgu miktarı % Hacim CaCO ₃ / Talk	MFR (g / 10 dak)	MVR (cm ³ / 10 dak)	Yüzey Pürüzlülüğü
190	5	0,951	-	0/0	0,30	0,32	Pürüzsüz
		1,126	3/-	10/0	0,46	0,41	Pürüzsüz
		1,128	3/2,5	6,7/3,3	0,42	0,37	Pürüzsüz
		1,058	3/2,5	4/2	0,46	0,43	Pürüzsüz
170	5	0,951	-	0/0	0,23	0,24	Pürüzsüz
		1,126	3/-	10/0	0,33	0,30	Pürüzsüz
		1,128	3/2,5	6,7/3,3	0,34	0,30	Pürüzsüz
		1,058	3/2,5	4/2	0,34	0,32	Pürüzsüz
160	5	0,951	-	0/0	0,19	0,19	Pürüzsüz
		1,126	3/-	10/0	0,27	0,24	Pürüzsüz
		1,128	3/2,5	6,7/3,3	0,24	0,21	Pürüzsüz
		1,058	3/2,5	4/2	0,26	0,25	Pürüzsüz

4.3 Diferansiyel taramalı kalorimetre deneyleri

Yapılan diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) deneylerinden, elde edilen değerler, saf YYPE malzemesinin deneysel kristalleşme derecesi (c) ve kristalin erime sıcaklığı (T_m) değerleri ayrı ayrı baz (referans) değerler alınarak, kristalleşme derecesi ve kristalin erime sıcaklığı değerlerinde meydana gelen değişimler bu baz değerlere göre ayrı ayrı yüzde olarak grafikleştirilmiştir.

4.3.1 Mikronize toz kalsiyum karbonatın etkisi

Granül haldeki mavi renkli naturel (saf) YYPE boru malzemesinin kristalleşme derecesine (c) ve kristalin erime sıcaklığına (T_m), dolgu miktarının ve dolgunun ortalama tane boyunun etkileri, üç farklı ve sırasıyla hacimce yüzde 10, 15 ve 20 dolgu oranlarında ve aynı cins ancak üç farklı ve küçükten büyüğe doğru 1,65 μm , 2,15 μm ve 5 μm ortama tane boylarına sahip mikronize toz CaCO_3 mineralleri kullanılarak tespit edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

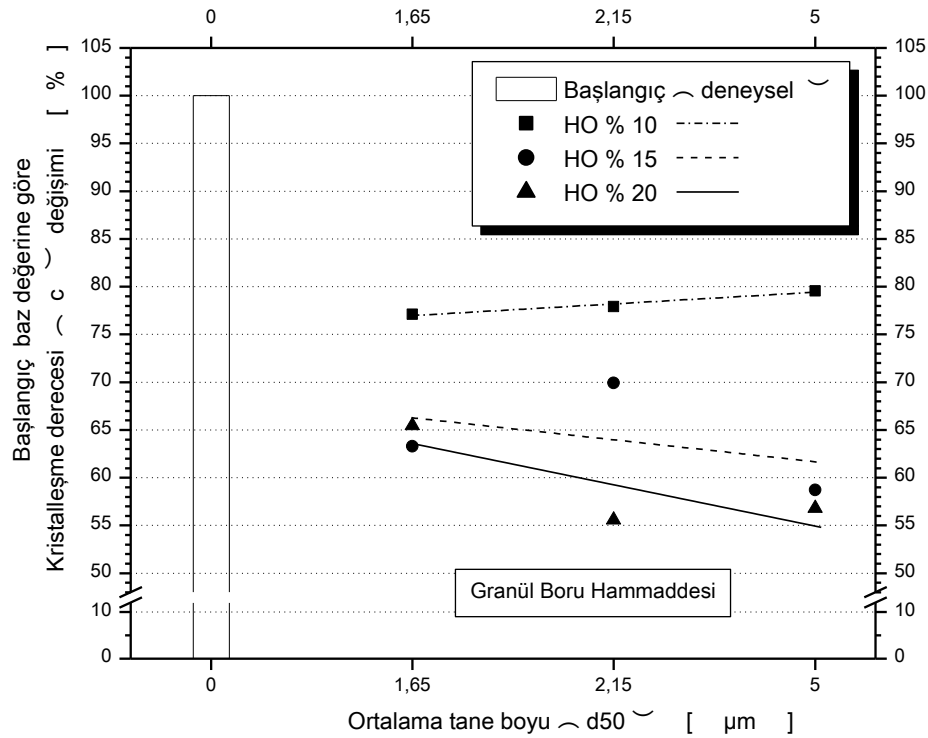
DSC deneyleri sırasıyla, çift vidalı birbirine paralel dönen ekstrüzyon makinasında elde edilen granül haldeki boru hammaddelerine (hammaddeden alınan numunelere), enjeksiyon kalıplama yöntemi ile basılan çok amaçlı deney parçalarına (enjeksiyon girişine en uzak bölgesinden alınan numunelere) ve tek vidalı ekstrüzyon yöntemiyle üretilen borulara (iç yüzeylerinden alınan numunelere) uygulanmıştır.

Şekil 4.10'da, granül haldeki saf hammaddeye göre, granül haldeki dolgulu YYPE boru hammaddesinin, kristalleşme derecesinin CaCO_3 mineralinin ortalama tane boyuna bağlı değişimi grafikleştirilmiştir.

Şekilden, saf hammaddeye göre, hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize toz CaCO_3 dolgulu YYPE boru hammaddesinin

kristalleşme derecesinin, ortalama tane boyunun küçülmesiyle, dolgu miktarına bağı olarak artan ve azalan iki farklı eğilimler gösterdiği alınabilmektedir.

Dolayısıyla, yukarıda belirtilen dolgu miktarları arasında, saf hammaddeye göre, aynı tip fakat farklı ortalama tane boylu mikronize toz CaCO_3 dolgulu YYPE boru hammaddesinin kristalleşme derecesinin, dolgu miktarına bağı olarak, ortalama tane boyunun küçülmesiyle artma ve azalma gibi iki farklı eğilim göstermesine sebep olan nedenlerden biri olarak, granül hammaddelerden alınan ve DSC deneyine tabi tutulan ve sadece 10 mg kütlesine sahip numunenin, granül hammaddenin üzerindeki bir bölgesinde dolgunun iyi dağılmamış yerinden alınmış olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

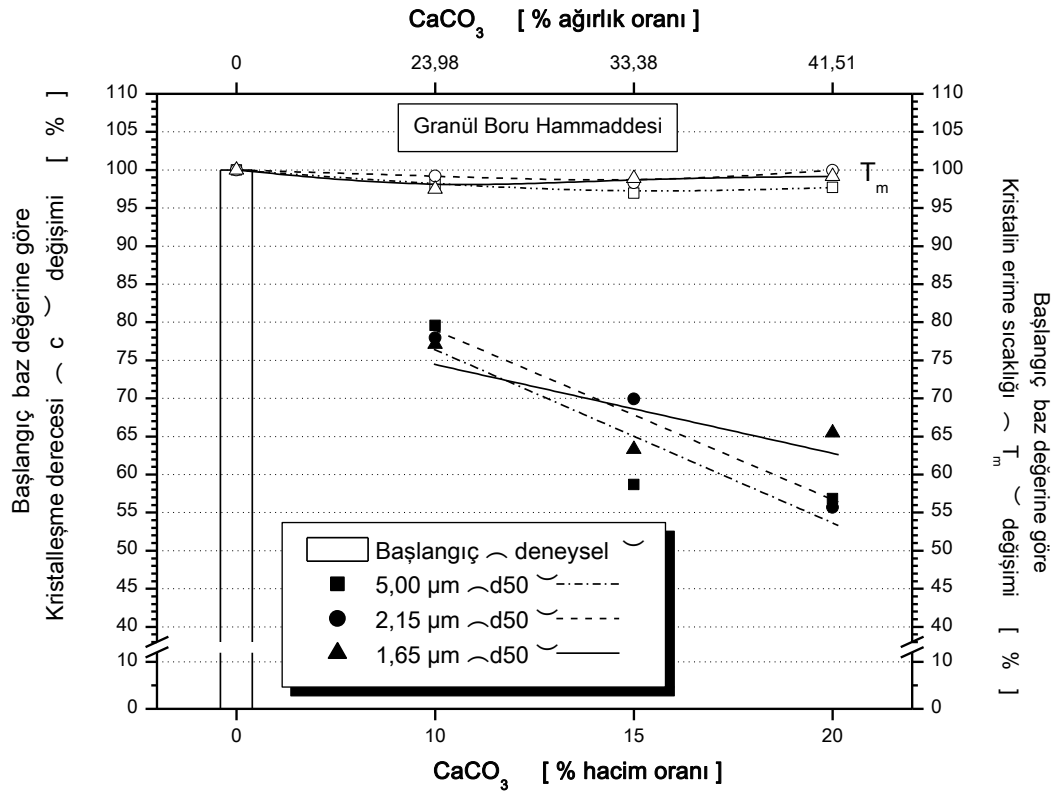


Şekil 4.10: Granül haldeki YYPE boru hammaddesinin kristalleşme derecesinin, CaCO_3 minerali tane boyuna bağı değişimi

Bu düşünceye sebep ise, aynı tip fakat farklı ortalama tane boylu mikronize toz CaCO_3 dolgunun kompozit içerisinde farklı dağılımlar verebileceği

gösterilebilmektedir. Sebep olan neden ve/veya nedenlerin belirlenebilmesinin, ilgili dolgu miktarında farklı ortalama tane boyu ile dolgulu DSC hammaddelerin SEM görüntülerinin çekilmesi ve incelenmesiyle mümkün olabileceği kanaati taşınmaktadır.

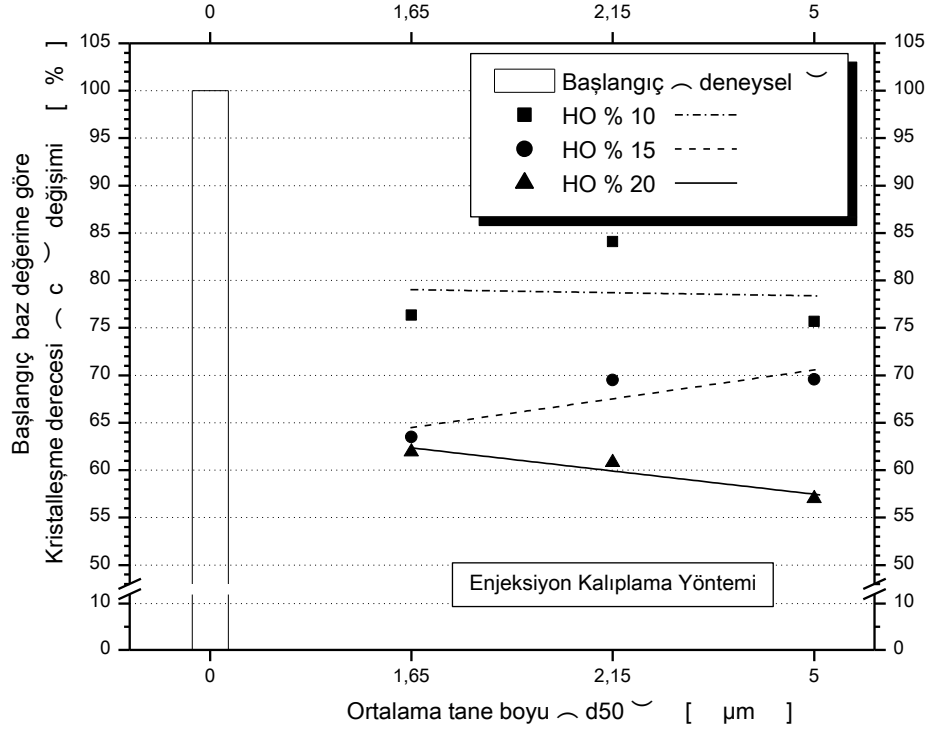
Şekil 4.11’de, granül haldeki saf hammaddeye göre, granül haldeki dolgulu YYPE boru hammaddesinin, kristalleşme derecesinin ve kristalin erime sıcaklığının dolgu miktarına bağlı değişimi bir arada grafikleştirilmiştir.



Şekil 4.11: Granül haldeki YYPE boru hammaddesinin kristalleşme derecesinin ve kristalin erime sıcaklığının, CaCO₃ dolgu miktarına bağlı değişimi

Şekilden, hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize toz CaCO₃ dolgulu YYPE boru hammaddesinin kristalleşme derecesinin (c), saf malzemeye göre, ilave edilen ve artan dolgu miktarıyla azaldığı, kristalin erime sıcaklığının (T_m) ise değişmediği anlaşılabilmektedir.

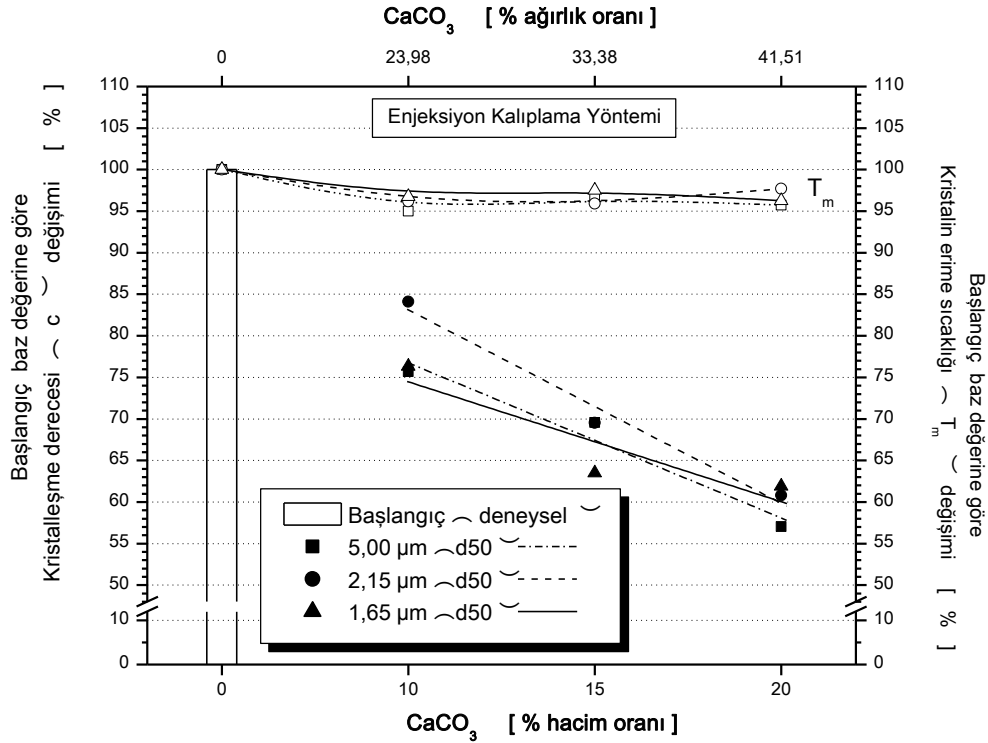
Enjeksiyon kalıplama yöntemiyle basılmış saf malzemeye göre, dolgulu YYPE boru malzemesinin, kristalleşme derecesinin CaCO_3 mineralinin ortalama tane boyuna bağlı değişimi Şekil 4.12’de grafikleştirilmiştir.



Şekil 4.12: Enjeksiyon kalıplama yöntemiyle basılmış YYPE boru malzemesinin kristalleşme derecesinin, CaCO_3 minerali tane boyuna bağlı değişimi

Şekilden, saf malzemeye göre, hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize toz CaCO_3 dolgulu YYPE boru malzemesinin kristalleşme derecesinin, ortalama tane boyunun küçülmesiyle, dolgu miktarına bağlı olarak artan ve azalan iki farklı eğilimler gösterdiği görülebilmektedir. Meydana gelen eğilimlerin şekil 4.10’na benzerliği dikkat çekici olduğundan ve DSC deneyine tabi tutulan 10 mg kütlesine sahip numunenin, enjeksiyon kalıplama yöntemiyle basılmış çok amaçlı deney parçasının, enjeksiyon girişine en uzak yerinden alınmış olmasından dolayı farklı eğilimlerin, DSC numunelerinin, malzeme içinde dolgunun iyi dağılmamış olan bir bölgesinden alınmış olmasından, kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Şekil 4.13’de, enjeksiyon kalıplama yöntemiyle basılmış saf malzemeye göre, dolgulu YYPE boru malzemesinin, kristalleşme derecesinin ve kristalin erime sıcaklığının dolgu miktarına bağlı değişimi bir arada grafikleştirilmiştir.



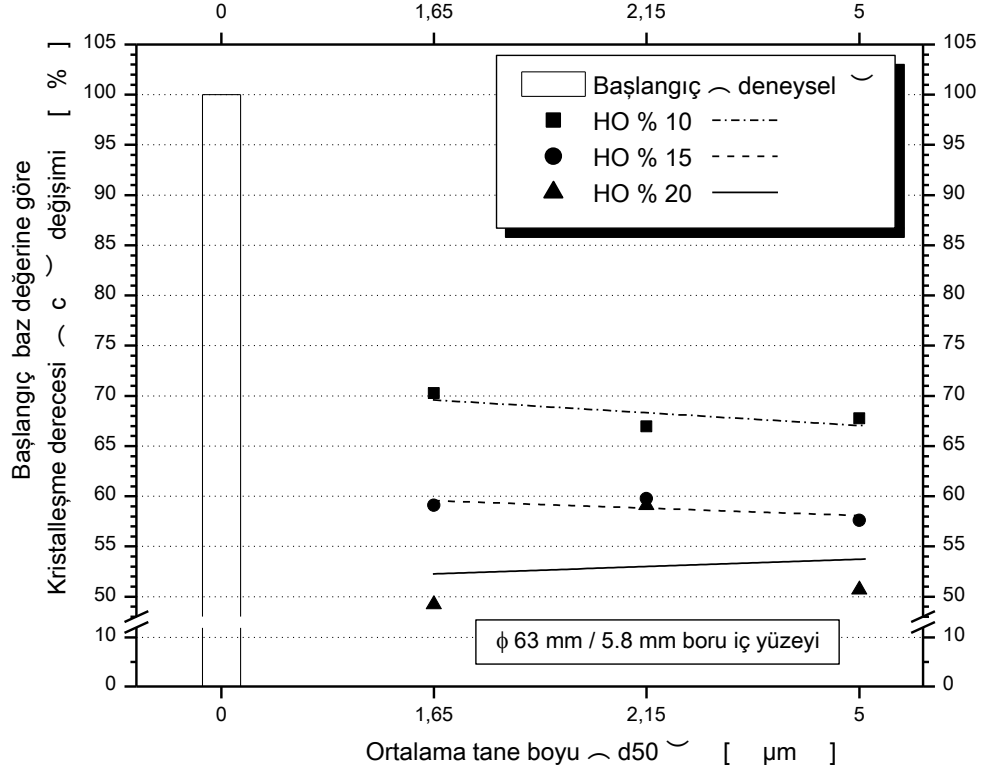
Şekil 4.13: Enjeksiyon kalıplama yöntemiyle basılmış YYPE boru malzemesinin kristalleşme derecesinin ve kristalin erime sıcaklığının, CaCO₃ dolgu miktarına bağlı değişimi

Şekilden, hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize toz CaCO₃ dolgulu YYPE boru hammaddesinin kristalleşme derecesinin (c), saf malzemeye göre, ilave edilen ve artan dolgu miktarıyla azaldığı, kristalin erime sıcaklığının (T_m) ise değişmediği anlaşılabilmektedir.

Şekil 4.14’de, tek vidalı ekstrüzyonda üretilmiş saf boruya göre, dolgulu YYPE borunun, kristalleşme derecesinin CaCO₃ mineralinin ortalama tane boyuna bağlı değişimi grafikleştirilmiştir.

Şekilden, saf boruya göre, hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları

arasında mikronize toz CaCO_3 dolgulu YYPE borunun kristalleşme derecesinin, ortalama tane boyunun küçülmesiyle, dolgu miktarına bağlı olarak, kısmen değişmediği görülebilmektedir.

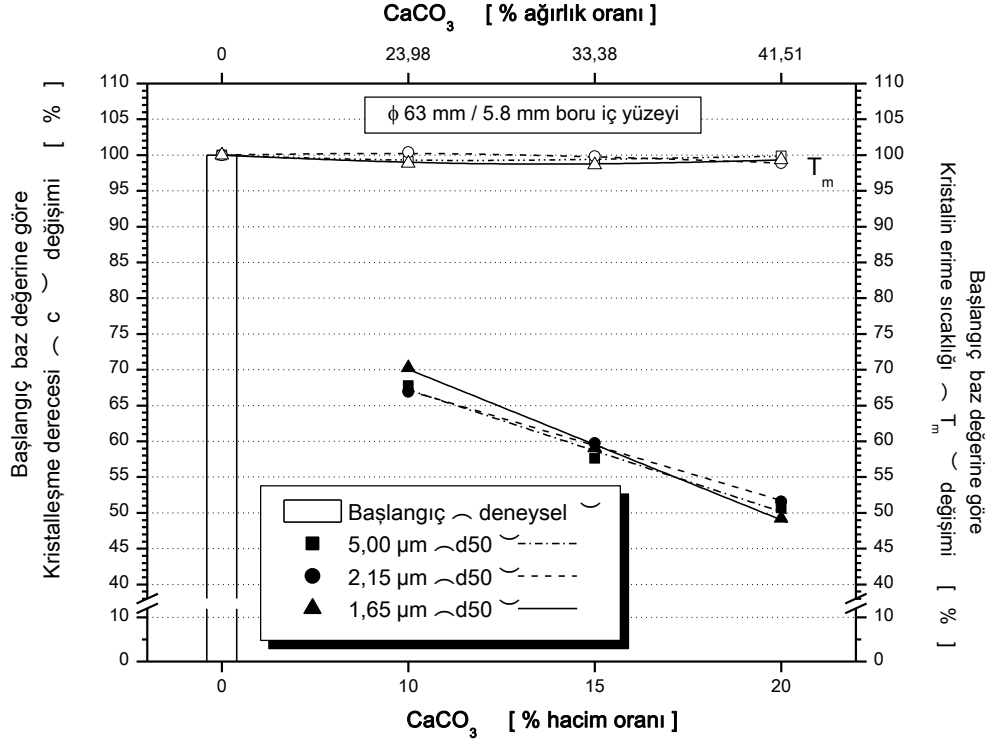


Şekil 4.14: Tek vidalı ekstrüzyonda üretilmiş YYPE borunun kristalleşme derecesinin, CaCO_3 minerali tane boyuna bağlı değişimi

Şekil 4.15’de, tek vidalı ekstrüzyonda üretilmiş saf boruya göre, dolgulu YYPE borunun, kristalleşme derecesinin ve kristalin erime sıcaklığının dolgu miktarına bağlı değişimi bir arada grafikleştirilmiştir.

Şekilden, hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize toz CaCO_3 dolgulu YYPE borunun kristalleşme derecesinin (c), saf boruya göre, ilave edilen ve artan dolgu miktarıyla azaldığı, kristalin erime sıcaklığının (T_m) ise değişmediği anlaşılabilmektedir.

Bu çalışmada, hemde üretim yöntemine göre, literatürde yapılmış önceki çalışmalara benzer bir şekilde, artan mikronize toz kalsiyum karbonat dolgu miktarının malzemelerin kristalleşmesini düşürdüğü tespit edilmiştir.



Şekil 4.15: Tek vidalı ekstrüzyonda üretilmiş YYPE borunun kristalleşme derecesinin ve kristalin erime sıcaklığının, CaCO₃ dolgu miktarına bağlı değişimi

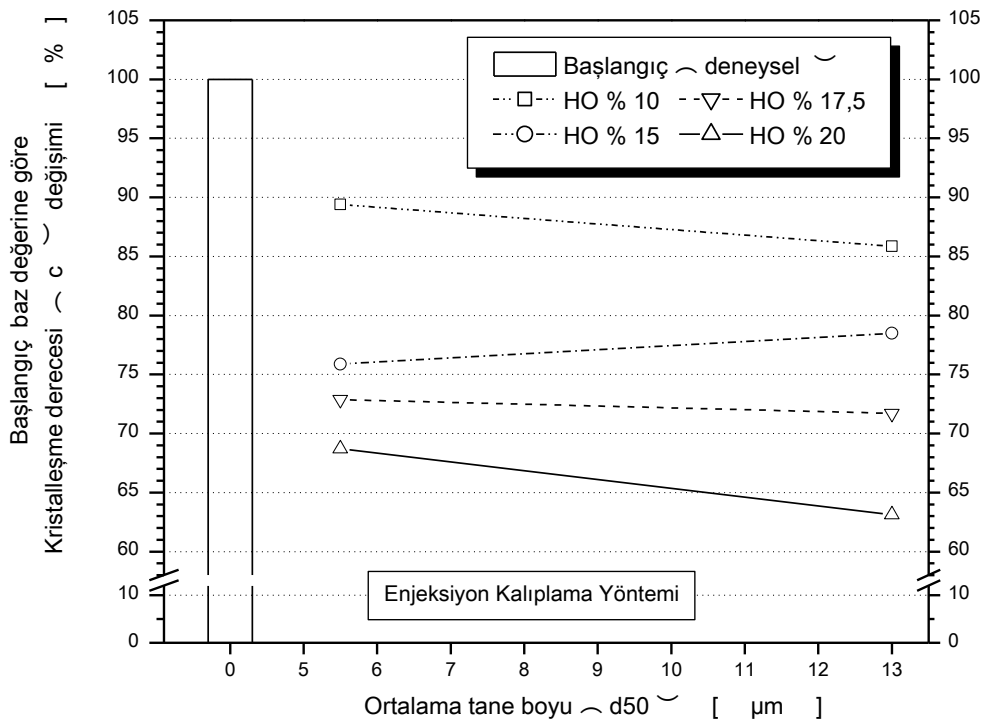
4.3.2 Mikronize pudra talkın etkisi

Granül haldeki mavi renkli naturel (saf) YYPE boru malzemesinin kristalleşme derecesine (c) ve kristalin erime sıcaklığına (T_m), dolgu miktarının ve dolgunun ortalama tane boyunun etkileri, dört farklı ve sırasıyla hacimce yüzde 10, 15, 17,5 ve 20 dolgu oranlarında ve ortalama tane boyları 5,50 µm ve 13,00 µm olan farklı cins mikronize pudra talk mineralleri kullanılarak tespit edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

DSC deneyleri sırasıyla, enjeksiyon kalıplama yöntemi ile basılan çok amaçlı deney

parçalarına (enjeksiyon girişine en uzak bölgesinden alınan numunelere) ve tek vidalı ekstrüzyon yöntemiyle üretilen borulara (iç yüzeylerinden alınan numunelere) uygulanmıştır.

Şekil 4.16'da, enjeksiyon kalıplama yöntemiyle basılmış saf malzemeye göre, dolgulu YYPE boru malzemesinin, kristalleşme derecesinin talkın ortalama tane boyuna bağlı değişimi grafikleştirilmiştir.

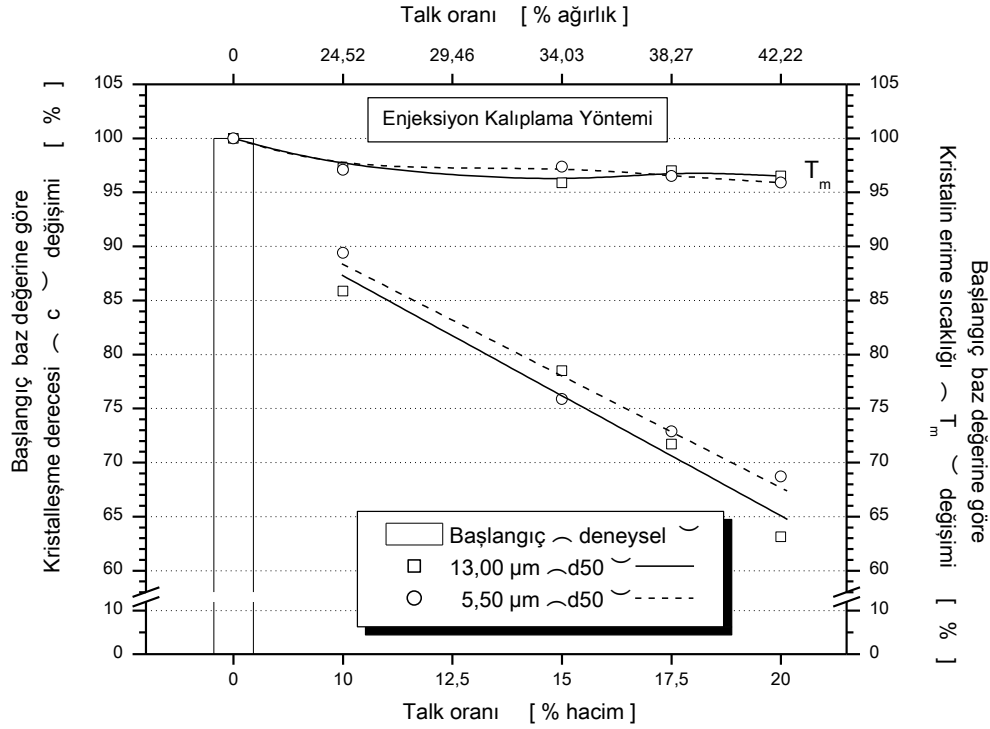


Şekil 4.16: Enjeksiyon kalıplama yöntemiyle basılmış YYPE boru malzemesinin kristalleşme derecesinin, talkın tane boyuna bağlı değişimi

Şekilden, saf malzemeye göre, hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize pudra talk dolgulu YYPE boru malzemesinin kristalleşme derecesinin, ortalama tane boyunun küçülmesiyle, dolgu miktarına bağlı olarak, kısmen artan ve azalan gibi iki farklı eğilim verdiği görülebilmektedir.

Şekil 4.17'de, enjeksiyon kalıplama yöntemiyle basılmış saf malzemeye göre,

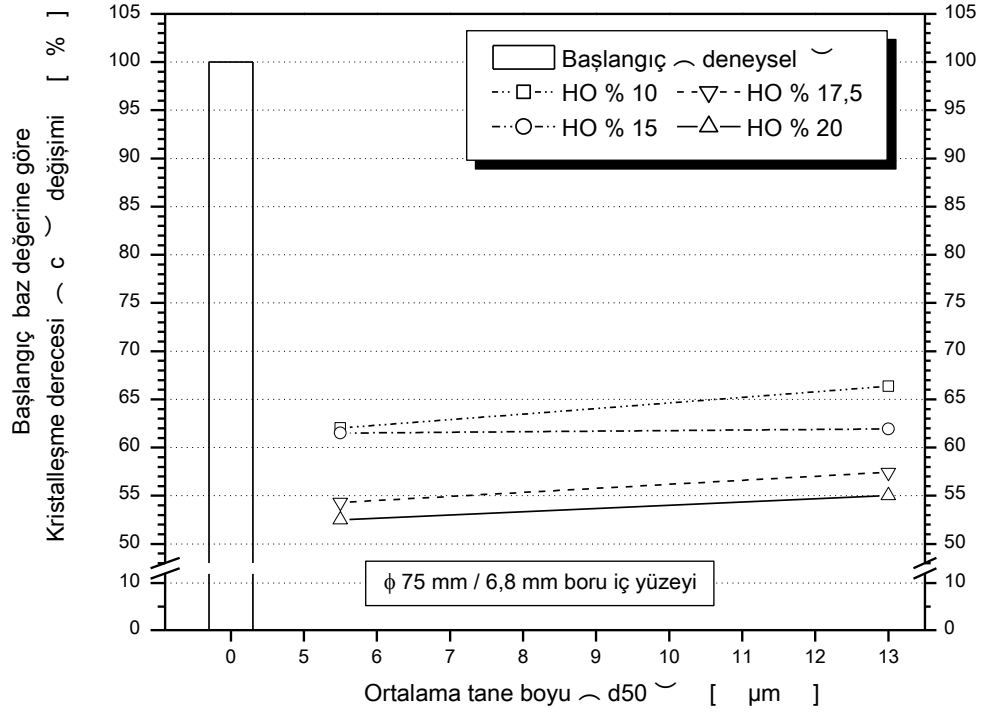
dolgu YYPE boru malzemesinin, kristalleşme derecesinin (c) ve kristalin erime sıcaklığının (T_m) dolgu miktarına bağlı değişimi bir arada grafikleştirilmiştir.



Şekil 4.17: Enjeksiyon kalıplama yöntemiyle basılmış YYPE boru malzemesinin kristalleşme derecesinin ve kristalin erime sıcaklığının, talk dolgu miktarına bağlı değişimi

Şekilden, hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize pudra talk dolgu YYPE malzemenin kristalleşme derecesinin (c), saf malzemeye göre, ilave edilen ve artan dolgu miktarıyla azaldığı, kristalin erime sıcaklığının (T_m) ise gözardı edilebilecek çok küçük bir düşüş göstermekle birlikte değişmediği anlaşılabilmektedir.

Şekil 4.18'de, tek vidalı ekstrüzyonda üretilmiş saf boruya göre, dolgu YYPE borunun, kristalleşme derecesinin talkın ortalama tane boyuna bağlı değişimi grafikleştirilmiştir.

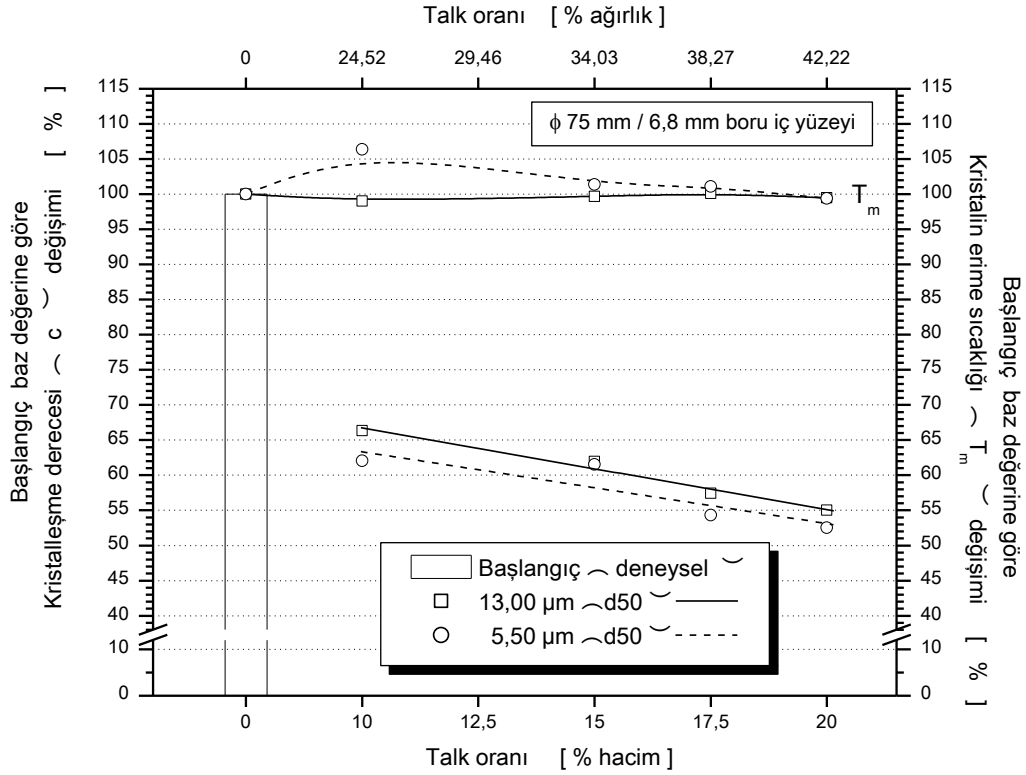


Şekil 4.18: Tek vidalı ekstrüzyonda üretilmiş YYPE borunun kristalleşme derecesinin, talkın tane boyuna bağlı değişimi

Şekilden, saf boruya göre, hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize pudra talk dolgulu YYPE borunun kristalleşme derecesinin, ortalama tane boyunun büyümesiyle, dolgu miktarına bağlı olarakta, kısmen değişmediği görülebilmektedir.

Şekil 4.19'da, tek vidalı ekstrüzyonda üretilmiş saf boruya göre, dolgulu YYPE borunun, kristalleşme derecesinin (c) ve kristalin erime sıcaklığının (T_m) dolgu miktarına bağlı değişimi bir arada grafikleştirilmiştir.

Şekilden, hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize pudra talk dolgulu YYPE borunun kristalleşme derecesinin (c), saf boruya göre, ilave edilen ve artan dolgu miktarıyla azaldığı, kristalin erime sıcaklığının (T_m) ise gözardı edilebilecek çok küçük yükselmeler ve düşüşlerle beraber değişmediği anlaşılabilmektedir.



Şekil 4.19: Tek vidalı ekstrüzyonda üretilmiş YYPE borunun kristalleşme derecesinin ve kristalin erime sıcaklığının, talk dolgu miktarına bağlı değişimi

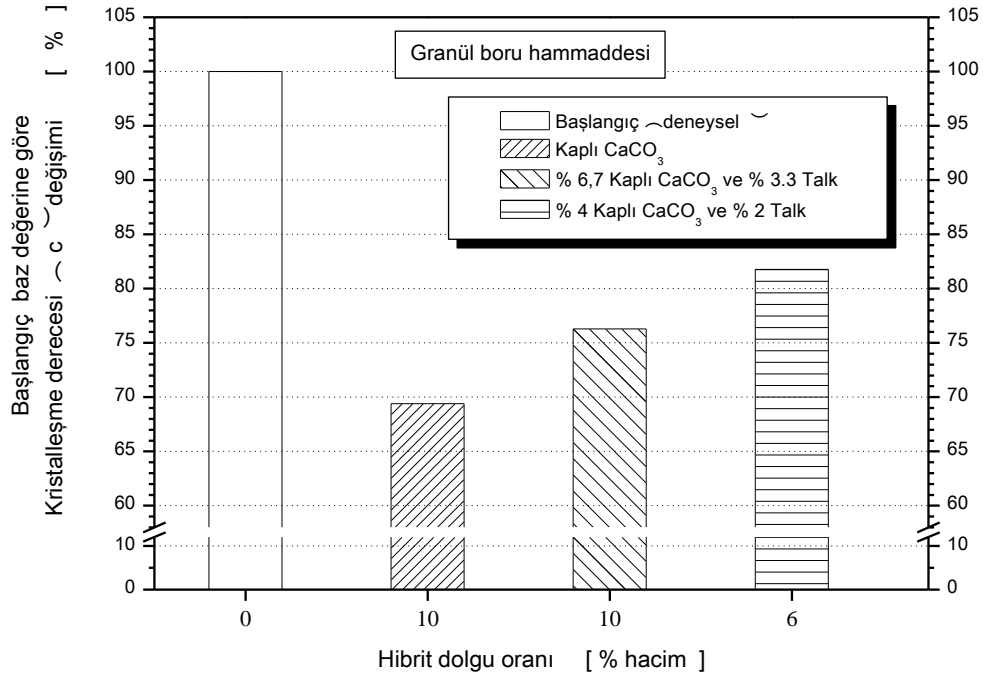
Bu çalışmada, hemde üretim yöntemine göre, literatürde yapılmış önceki çalışmalara benzer bir şekilde, yüksek (ağırlıkça yüzde 3'ten yüksek) oranda mikronize pudra talk dolgusunun malzemelerin kristalleşmesini düşürdüğü tespit edilmiştir.

4.3.3 Mikronize hibrit ve/veya kaplı minerallerin etkisi

Granül haldeki mavi renkli naturel (saf) YYPE boru malzemesinin kristalleşme derecesine (c) ve kristalin erime sıcaklığına (T_m), hibrit ve/veya kaplı dolgu miktarının etkisi, üç farklı ve sırasıyla hacimce yüzde 10, 10 ve 6 dolgu oranlarında ve toz haldeki 3 µm ortalama tane boyuna sahip sterik asit kaplı kalsiyum karbonat (KCaCO₃) ve pudra haldeki 2,5 µm ortalama tane boyuna sahip talk mineralleri kullanılarak ve YYPE/KCaCO₃/Talk şeklinde yüzde hacim olarak 90/10/0, 90/6,7/3,3 ve 94/4/2 (yüzde ağırlık olarak ise 76,02/23,98/0, 75,84/16/8,16 ve 84,53/10,25/5,22

) oranında hibrit karışımlar ile tespit edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Şekil 4.20'de, granül haldeki saf hammaddeye göre, granül haldeki hibrit ve/veya kaplı dolgulu YYPE boru hammaddesinin, kristalleşme derecesinin dolgu miktarına bağlı değişimi grafikleştirilmiştir.

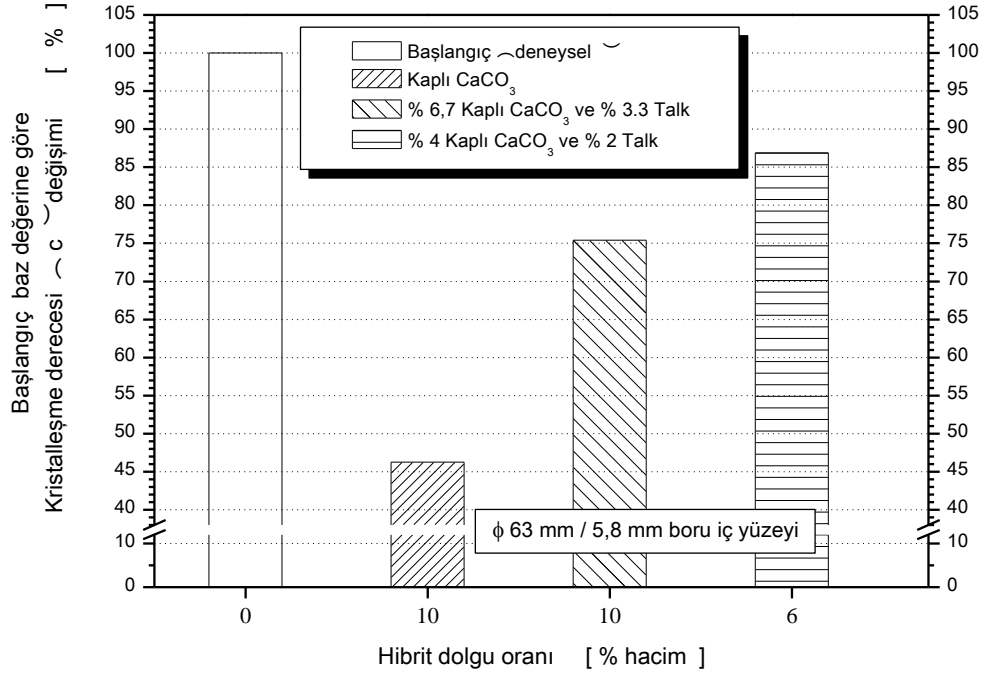


Şekil 4.20: Granül haldeki YYPE boru hammaddesinin kristalleşme derecesinin, hibrit ve/veya kaplı dolgu miktarına bağlı değişimi

Şekilden, hacimce en az yüzde 6 ile en fazla yüzde 10 oranları arasında mikronize toz hibrit ve/veya kaplı dolgulu YYPE boru hammaddesinin kristalleşme derecesinin (c), saf malzemeye göre, ilave edilen kaplı kalsiyum karbonata göre azaldığı, hibrit dolgu içindeki kaplı kalsiyum karbonatın azalmasıyla diğer bir ifade ile talk mineralinin artmasıyla azalmanın azaldığı ve hibrit dolgu miktarının azalmasıyla da azalmanın daha da azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.21'de, tek vidalı ekstrüzyonda üretilmiş saf boruya göre, hibrit ve/veya kaplı

dolgulu YYPE borunun, kristalleşme derecesinin dolgu miktarına bağlı değişimi grafikleştirilmiştir.



Şekil 4.21: Tek vidalı ekstrüzyonda üretilmiş YYPE borunun kristalleşme derecesinin, hibrit ve/veya kaplı dolgu miktarına bağlı değişimi

Şekilden, hacimce en az yüzde 6 ile en fazla yüzde 10 oranları arasında mikronize hibrit ve/veya kaplı dolgulu YYPE borunun kristalleşme derecesinin (c), saf boruya göre, ilave edilen kaplı kalsiyum karbonata göre azaldığı, hibrit dolgu içindeki kaplı kalsiyum karbonatın azalmasıyla diğer bir ifade ile talk mineralinin artmasıyla azalmanın azaldığı ve hibrit dolgu miktarının azalmasıyla da azalmanın daha da azaldığı anlaşılabilmektedir.

Bu çalışmada, hemde, literatürde yapılmış önceki çalışmalara benzer bir şekilde, kaplı kalsiyum karbonatın malzemenin kristalleşme derecesini düşürdüğü ve düşük oranlarda (ağırlıkça yüzde 3'e kadar) mikronize pudra talkın bulunduğu hibrit dolguların malzemenin kristalleşmesine katkı sağladığı yönündeki bulgulara benzer sonuçlar tespit edilebilmiştir.

4.4 Çekme Deneyleri

Çalışmada elde edilecek sonuçların, öncelikle kullanılabilirliğini ve dolayısıyla güvenilirliğini sorgulayabilmek, Türkçe ve yabancı dilde yayımlanmış araştırma, çalışma ve uygulama sonuçları ile karşılaştırılabilmek için enjeksiyon kalıplama (bilhassa şekillendirme sırasında büyük basma kuvveti uygulayabilen) yöntemiyle basılmış mikronize toz ve/veya pudra dolgulu YYPE malzemelerin çekme özelliklerine mikronize dolgu maddesinin; mikro partikül büyüklüğünün (mikro tane boyunun) ve miktarının etkisi ile türünün etkisini tespit etmek üzere tek eksenli çekme deneyleri uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar mavi renkli naturel (saf) YYPE malzemedan elde edilen veriler baz (referans) alınarak, çekme özelliklerindeki değişimler naturele (safa) göre yüzde olarak, farklı mikro tane boyuna, farklı yüzde hacim (veya ağırlık) oranına ve farklı mineral dolgu türüne göre grafikleştirilmiştir. Enjeksiyon kalıplama sonrası çok amaçlı çekme deney parçalarının resimleri EK D-1 ve EK D-2'de verilmiştir.

Ayrıca şekillendirme sırasında büyük basma kuvveti uygulayamayan tek vidalı ekstrüzyon yöntemiyle üretilen boruların üzerinden makina ile işlenerek (zımba kalıbı ile) çok amaçlı çekme deney parçaları çıkarılmış ve çekme özelliklerindeki değişimler naturel (saf) boruya göre yüzde olarak, farklı mikro tane boyuna, farklı yüzde hacim (veya ağırlık) oranına ve farklı mineral dolgu türüne göre grafikleştirilmiştir.

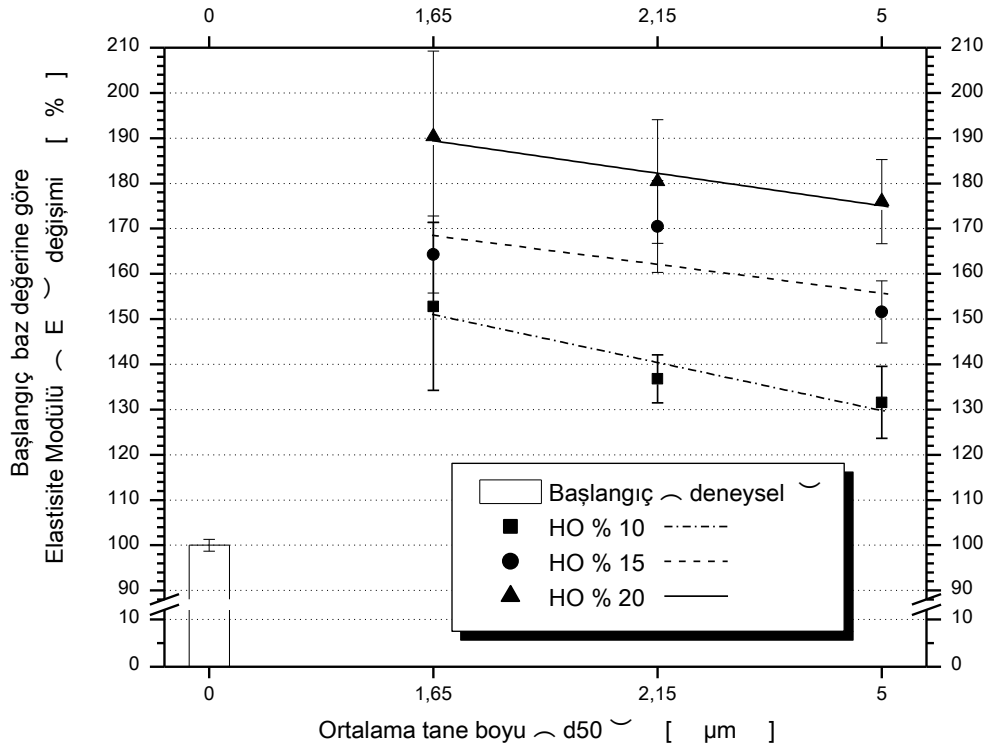
4.4.1 Mikronize toz kalsiyum karbonatın etkisi

Granül haldeki mavi renkli naturel (saf) YYPE boru malzemesinin Elastisite (Young's) Modülüne, akma gerilmesine, akma uzamasına, kopma gerilmesine ve kopma uzamasına, üç farklı ve sırasıyla hacimce yüzde 10, 15 ve 20 dolgu oranlarında ve aynı cins ancak üç farklı ve küçükten büyüğe doğru 1,65 µm , 2,15 µm ve 5 µm ortama tane boylarındaki mikronize toz CaCO₃ minerallerinin ayrı ayrı

etkisi aşağıda ayrı ayrı ve sırasıyla verilmiştir.

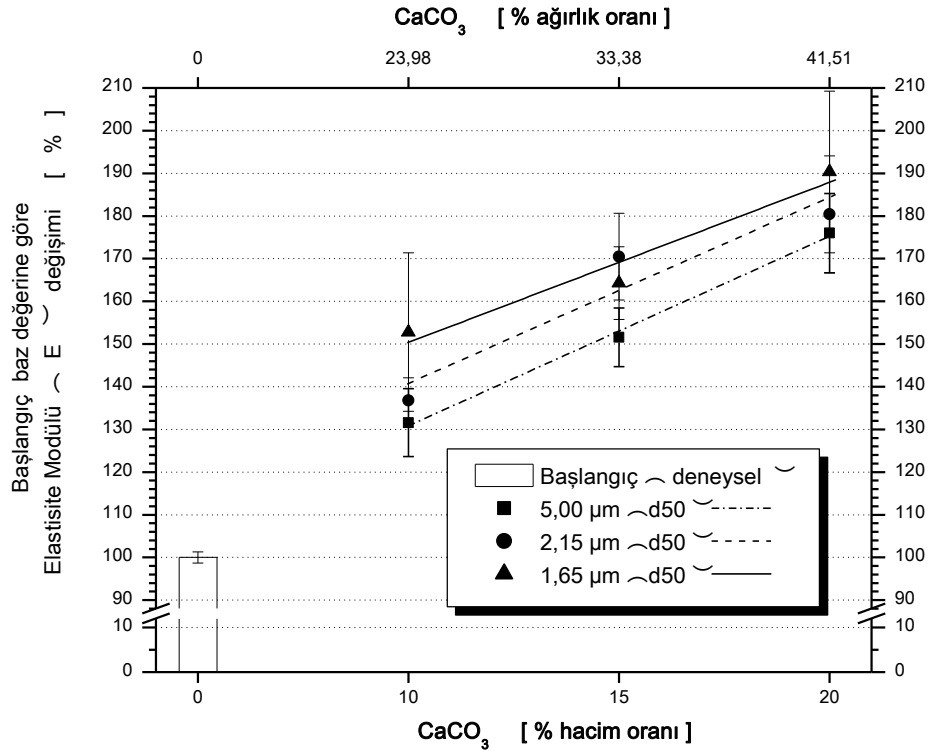
Saf malzemeye göre, dolgulu YYPE boru malzemesinin elastisite modülünün ortalama tane boyuna bağlı değişimi Şekil 4.22’de ve dolgu miktarına bağlı değişimi ise Şekil 4.23’ de verilmiştir.

Şekil 4.22’den, hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize toz CaCO_3 dolgulu YYPE boru malzemesinin E Modülü değerinin, dolgunun ortalama tane boyunun küçülmesiyle artmakta olduğu görülebilmektedir. Şekilden, saf malzemenin E modülü değerinde, hacimce yüzde 10 CaCO_3 dolgu miktarında yüzde 32’lik en küçük yükselmenin, en büyük ortalama tane boylu CaCO_3 mineraliyle meydana gelebileceği görülebilmektedir.



Şekil 4.22: CaCO_3 dolgulu YYPE boru malzemesi Elastisite Modülünün ortalama tane boyuna bağlı değişimi

Şekilden ayrıca, şekil 4.23'den de gözlenebileceği gibi, yukarıda belirtilmiş dolgu miktarları arasında, en küçük ortalama tane boylu CaCO_3 dolgulu malzemenin elastisite modülü değerinde meydana gelen yükselmenin, en büyük ortalama tane boylu CaCO_3 dolgulu malzemeye oranla, hacimce yüzde 10 dolgu miktarında yaklaşık yüzde 15 daha yüksek olduğu, hacimce yüzde 20 dolgu miktarında ise bu yüksekliğin yüzde 8'lerde kaldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.23: CaCO_3 dolgulu YYPE boru malzemesi Elastisite Modülünün dolgu miktarına bağlı değişimi

Şekil 4.23'den, hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize toz CaCO_3 dolgulu YYPE boru malzemesinin E Modülü değeri, saf malzemeye göre, ilave edilen ve artan dolgu miktarıyla arttığı anlaşılabilmektedir.

Şekilden, saf malzemenin E modülü değerinde, hacimce yüzde 10 CaCO_3 dolgu miktarında yüzde 32'lik en küçük yükselmenin, en büyük ortalama tane boylu CaCO_3 mineraliyle meydana gelebileceği görülebilmektedir.

Şekilden ayrıca, şekil 4.22'den de takip edilebileceği gibi, dolgu miktarının hacimce yüzde 10 'dan yüzde 20'ye artmasıyla, en büyük ortalama tane boyu CaCO_3 dolgulu malzemenin elastisite modülü değerinde meydana gelen yükselmenin yüzde 33 daha yüksek olduğu, en küçük ortalama tane boyu CaCO_3 dolgulu malzemede ise bu yüksekliğin azalarak yüzde 25 daha yüksek olduğu tespit edilebilmektedir.

Ancak, aynı yüzde hacim oranında dolgunun, ortalama tane boyu E Modülü değerinde, hacimce yüzde 10 dolgu miktarında yüzde 15'lik ve hacimce yüzde 20 dolgu miktarında yüzde 8'lik bir değer artışı meydana getirirken, aynı ortalama tane boyu artan dolgu miktarıyla da, hacimce yüzde 10'da yüzde 25'lik ve hacimce yüzde 20'de de yüzde 33'lük bir yükselmeye neden olduğu saptanabilmektedir.

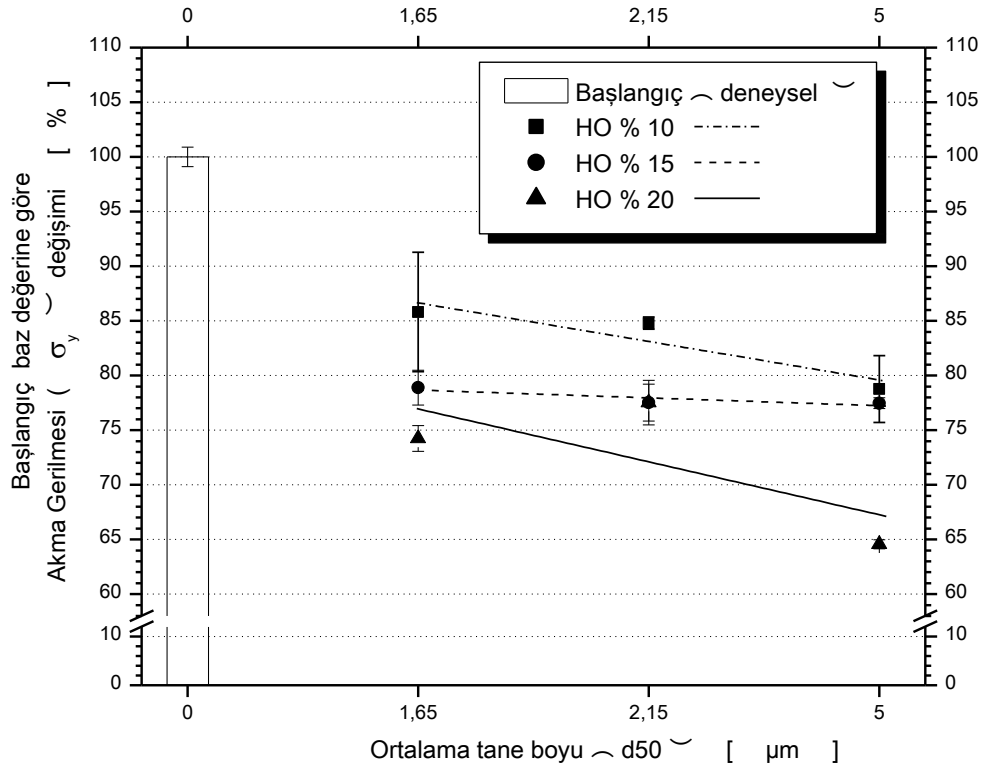
Elde edilen veriler, CaCO_3 dolgulu malzemenin E-Modülü değerinde ortalama tane boyunun büyükten küçüğe doğru hacimce yüzde 10 dolgu miktarında yaklaşık yüzde 15 ve hacimce yüzde 20 dolgu miktarında ise yüzde 8 daha yüksek değerler meydana getirirken artan dolgu miktarı ile büyükte yüzde 33'lük artışa ve küçükte yüzde 25'lik artışa neden olduğu görülmektedir.

Dolayısıyla, saf YYPE boru malzemesinin E-Modülü değerinde, mikronize toz CaCO_3 mineralinin hem küçülen ortalama tane boyunun hemde dolgu miktarının arttırma (yükseltme) etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Ancak, hacimce yüzde 10 dolguda, dolgu miktarından çok ortalama tane boyu küçülmesinin etkisi daha yüksek olurken, artan dolgu miktarıyla dolgu miktarının yükseltme etkisinin ortalama tane boyu küçülmesine göre daha fazla etkili olduğu anlaşılmaktadır. Saf malzemeye göre, hacimce yüzde 20 dolgu oranında en küçük ortalama tane boyu ile yüzde 90 daha büyük değerlerin elde edilebileceği görülebilmektedir.

Saf malzemeye göre, mikronize toz CaCO_3 dolgulu YYPE boru malzemesinin akma gerilmesinin ortalama tane boyuna bağlı değişimi Şekil 4.24'de ve dolgu miktarına

bağlı değişimi ise Şekil 4.25 de verilmiştir.

Hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize toz CaCO_3 dolgulu YYPE boru malzemesinde akma gerilmesi değeri, dolgunun büyüyen ortalama tane boyu ile azalma eğilimi gösterdiği şekil 4.24'te görülebilmektedir.



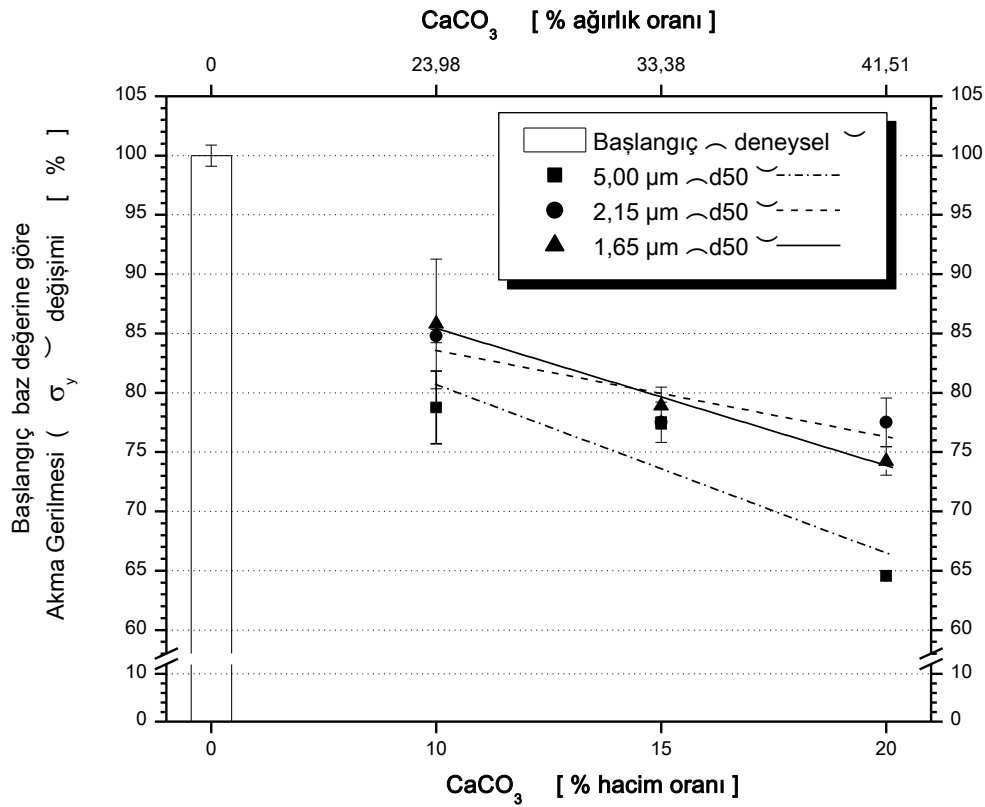
Şekil 4.24: CaCO_3 dolgulu YYPE boru malzemesi Akma Gerilmesinin ortalama tane boyuna bağlı değişimi

Şekilden, saf malzemenin akma gerilmesi değerinde, hacimce yüzde 10 CaCO_3 dolgu miktarında yüzde 14'lük en küçük azalmanın, en küçük ortalama tane boyu CaCO_3 mineraliyle meydana gelebileceği tespit edilebilmektedir.

Şekil 4.24'den ayrıca, şekil 4.25'den de gözlenebileceği gibi, belirtilmiş dolgu miktarları arasında, en büyük ortalama tane boyu CaCO_3 dolgulu malzemenin akma gerilmesi değerinde meydana gelen azalmanın, en küçük ortalama tane boyu CaCO_3

dolgu malzemeye oranla, hacimce yüzde 10 dolgu miktarında yaklaşık yüzde 8 daha yüksek olduğu, hacimce yüzde 20 dolgu miktarında ise bu yüksekliğin yüzde 12'lere arttığı gözlemlenmiştir. Ancak, hacimce yüzde 15 oranında CaCO₃ dolgu malzemenin akma gerilmesi değerinde meydana gelen azalmanın en fazla yaklaşık yüzde 1 olduğu şekilden ayrıca farkedilebilmektedir.

Şekil 4.25'den hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize toz CaCO₃ dolgu YYPE boru malzemesinin akma gerilmesi değeri, saf malzemeye göre, ilave edilen ve artan dolgu miktarıyla azaldığı anlaşılabilmektedir.



Şekil 4.25: CaCO₃ dolgu YYPE boru malzemesi akma gerilmesinin dolgu miktarına bağlı değişimi

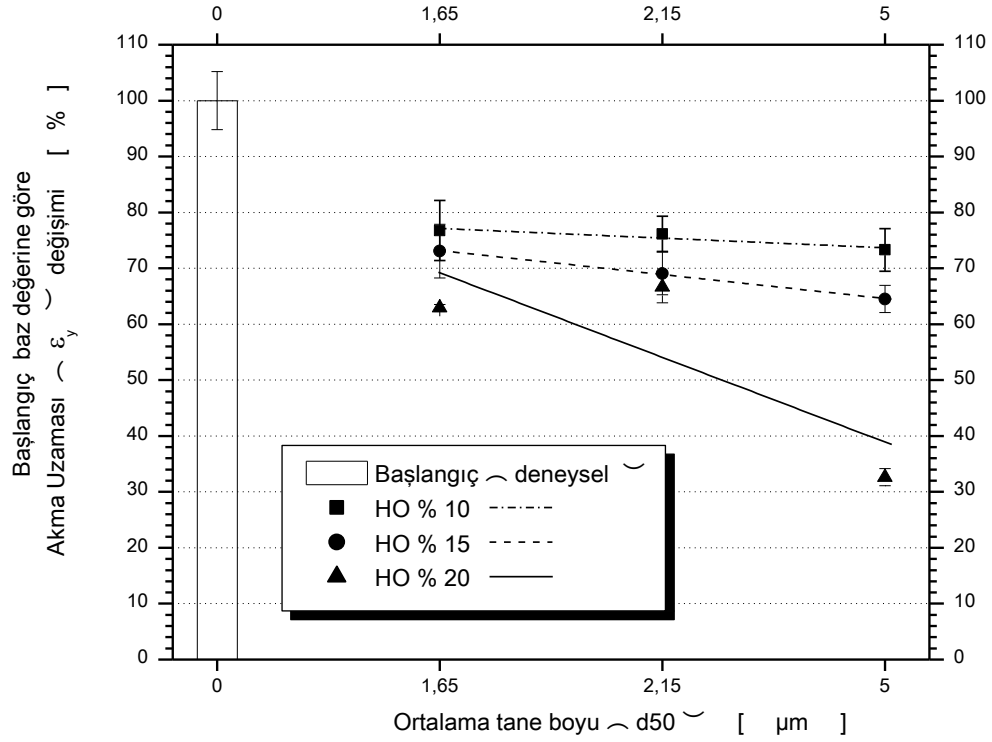
Şekilden, saf malzemenin akma gerilmesi değerinde, hacimce yüzde 10 CaCO₃ dolgu miktarında yüzde 14'lük en küçük azalmanın, en küçük ortalama tane boyulu CaCO₃ mineraliyle meydana gelebileceği görülebilmektedir.

Şekilden ayrıca, şekil 4.24'den de takip edilebileceği gibi, dolgu miktarının hacimce yüzde 10 'dan yüzde 20'ye artmasıyla, en büyük ortalama tane boylu CaCO_3 dolgulu malzemenin akma gerilmesi değerinde meydana gelen azalmanın yüzde 18 daha yüksek olduğu, en küçük ortalama tane boylu CaCO_3 dolgulu malzemede ise bu azalmanın azalarak yüzde 14'lerde kaldığı tespit edilebilmektedir. Ancak, en büyük ile en küçük ortalama tane boyu arasında bulunan CaCO_3 dolgulu malzemenin akma gerilmesi değerinde meydana gelen azalmanın en fazla yaklaşık yüzde 8 olduğu şekilden ayrıca farkedilebilmektedir.

Elde edilen veriler, CaCO_3 dolgulu malzemenin akma gerilmesi değerinde ortalama tane boyunun büyükten küçüğe doğru hacimce yüzde 10 dolgu miktarında yaklaşık yüzde 8 ve hacimce yüzde 20 dolgu miktarında ise yüzde 12 daha yüksek değerler meydana getirirken artan dolgu miktarı ile büyükte yüzde 18'lik artışa ve küçükte yüzde 14'lük artışa neden olduğu görülmektedir.

Dolayısıyla, saf YYPE boru malzemesinin akma gerilmesi değerinde, mikronize toz CaCO_3 mineralinin hem küçülen ortalama tane boyunun hemde dolgu miktarının azaltma (düşürme) etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Ancak, hacimce yüzde 10 dolguda, ortalama tane boyu küçülmesinden çok dolgu miktarının etkisi daha yüksek olurken, artan dolgu miktarıyla dolgu miktarının yükseltme etkisine paralel ortalama tane boyu küçülmesinin etkisi de benzer oranda yükselmekte olduğu anlaşılmaktadır. Saf malzemeye göre, hacimce yüzde 20 dolgu oranında en küçük ortalama tane boyu ile yüzde 22'lerde kalabilen azalmaların elde edilebileceği görülebilmektedir.

Saf malzemeye göre, mikronize toz CaCO_3 dolgulu YYPE boru malzemesinin akma uzamasının ortalama tane boyuna bağlı değişimi Şekil 4.26'da ve dolgu miktarına bağlı değişimi ise Şekil 4.27 de görülebilmektedir.



Şekil 4.26: CaCO₃ dolgulu YYPE boru malzemesi akma uzamasının ortalama tane boyuna bağımlı değişimi

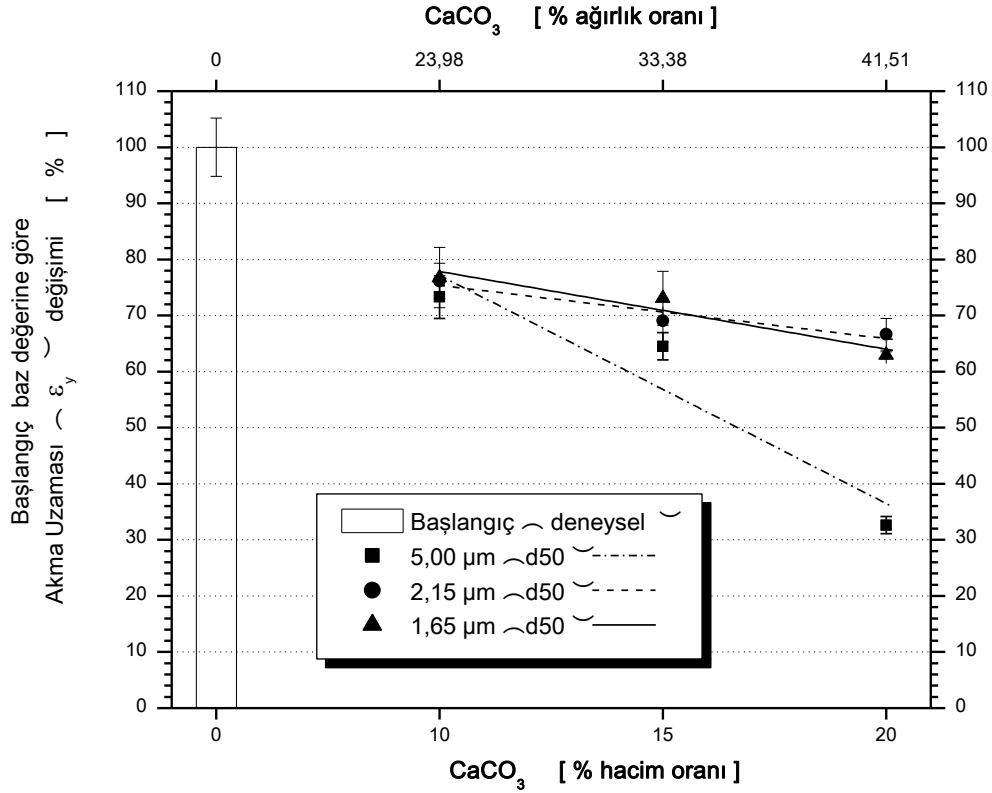
Şekil 4.26'dan, hacimce en az yüzde 10 en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize toz CaCO₃ dolgulu YYPE boru malzemesinde akma uzaması değeri, dolgunun büyüyen ortalama tane boyu ile azalma eğilimi verdiği görülebilmektedir.

Şekilden, saf malzemenin akma uzaması değerinde, hacimce yüzde 10 CaCO₃ dolgu miktarında yüzde 23'lük en küçük azalmanın, en küçük ortalama tane boyulu CaCO₃ mineraliyle oluşabileceği görülebilmektedir.

Belirtilmiş dolgu miktarları arasında, en büyük ortalama tane boyulu CaCO₃ dolgulu malzemenin akma uzaması değerinde meydana gelen azalmanın, en küçük ortalama tane boyulu CaCO₃ dolgulu malzemeye oranla, hacimce yüzde 10 dolgu miktarında yaklaşık yüzde 5 daha yüksek olduğu, hacimce yüzde 20 dolgu miktarında ise bu azalmadaki yüksekliğin yüzde 48'lere arttığı gözlemlenmiştir. Ancak, hacimce yüzde 15 oranında CaCO₃ dolgulu malzemenin akma uzaması değerinde meydana gelen

azalmanın en fazla yaklaşık yüzde 11 olduğu şekilden ayrıca farkedilebilmektedir.

Şekil 4.27'den hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize toz CaCO_3 dolgulu YYPE boru malzemesinin akma uzaması değeri, saf malzemeye göre, ilave edilen ve artan dolgu miktarıyla azaldığı anlaşılabilmektedir.



Şekil 4.27: CaCO_3 dolgulu YYPE boru malzemesi akma uzamasının dolgu miktarına bağlı değişimi

Şekilden, saf malzemenin akma uzaması değerinde, hacimce yüzde 10 CaCO_3 dolgu miktarında yüzde 23'lük en küçük azalmanın, en küçük ortalama tane boylu CaCO_3 mineraliyle meydana geldiği görülebileceği gibi aynı yüzde hacim oranında en büyük ortalama tane boylu CaCO_3 mineraliyle de yüzde 26'lük azalmanın oluştuğu görülebilmektedir.

Dolgu miktarının hacimce yüzde 10 'dan yüzde 20'ye artmasıyla, en büyük ortalama

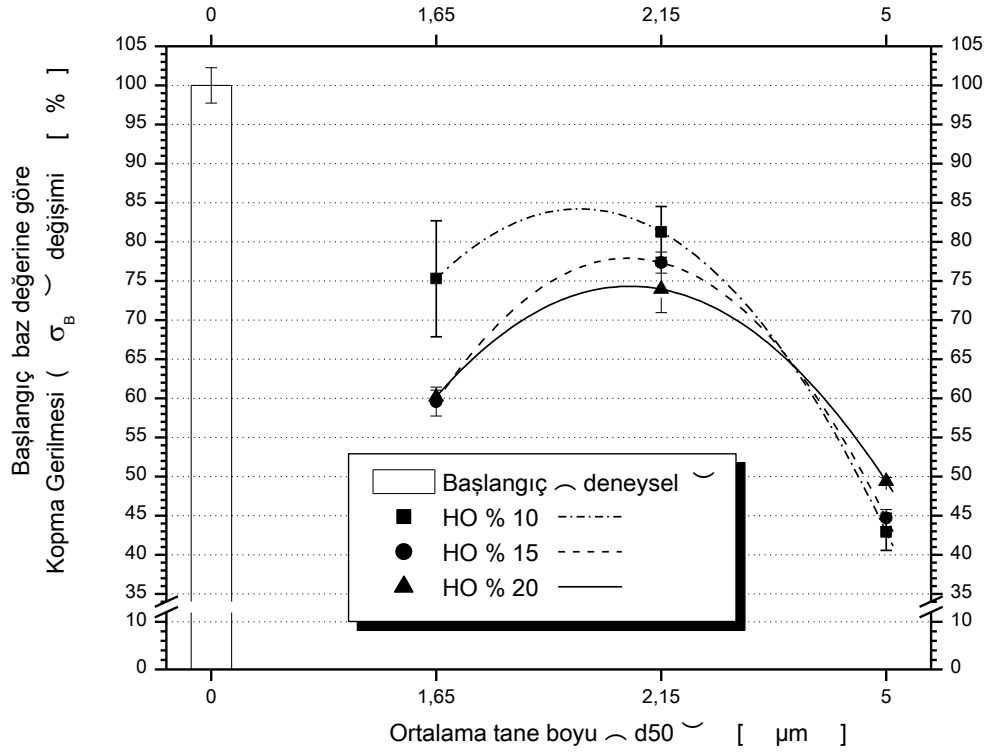
tane boylu CaCO_3 dolgulu malzemenin akma uzaması değerinde meydana gelen azalmanın yüzde 55 daha yüksek olduğu, en küçük ortalama tane boylu CaCO_3 dolgulu malzemede ise bu azalmanın azalarak yüzde 19'larda kaldığı tespit edilebilmektedir. Ancak, en büyük ila en küçük ortalama tane boyu arasında bulunan CaCO_3 dolgulu malzemenin akma uzaması değerinde meydana gelen azalmanın en fazla yaklaşık yüzde 13 olduğu şekilden ayrıca farkedilebilmektedir.

Elde edilen veriler, CaCO_3 dolgulu malzemenin akma uzaması değerinde ortalama tane boyunun büyükten küçüğe doğru hacimce yüzde 10 dolgu miktarında yaklaşık yüzde 5 ve hacimce yüzde 20 dolgu miktarında ise yüzde 48 daha yüksek değerler meydana getirirken artan dolgu miktarı ile büyükte yüzde 55'lik değer kaybına ve küçükte ise yüzde 19'luk kayba neden olduğu görülmektedir.

Dolayısıyla, saf YYPE boru malzemesinin E-Modülü değerinde, mikronize toz CaCO_3 mineralinin hem küçülen ortalama tane boyunun hemde dolgu miktarının arttırma (yükseltme) etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla, YYPE boru malzemesinin akma uzaması değerinde, hem büyüyen ortalama tane boyunun hemde dolgu miktarının azaltma (düşürme) etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Ancak, hacimce yüzde 10 dolguda, ortalama tane boyu küçülmesinden çok dolgu miktarının etkisi daha yüksek olurken, artan dolgu miktarıyla dolgu miktarının yükseltme etkisinin ortalama tane boyu küçülmesine göre daha fazla etkili olduğu anlaşılmaktadır. Saf malzemeye göre, hacimce yüzde 20 dolgu oranında en küçük ortalama tane boyu ile yüzde 33'lerde kalabilen azalmaların elde edilebileceği görülebilmektedir.

Kopma gerilmesi değerinin mikronize toz CaCO_3 mineralinin ortalama tane boyuna bağlı değişimi şekil 4.28 'de ve dolgu miktarına bağlı değişimi ise şekil 4.29'da bir araya getirilmiştir.

Şekil 4.28'den, hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize toz CaCO_3 dolgulu YYPE boru malzemesinde kopma gerilmesi değeri, dolgunun belirli en uygun ortalama tane boyuna (burada $2,15 \mu\text{m}$) göre küçülen ve büyüyen ortalama tane boyu ile azalma eğilimi gösterdiği görülebilmektedir.



Şekil 4.28: CaCO_3 dolgulu YYPE boru malzemesi kopma gerilmesinin ortalama tane boyuna bağlı değişimi

Şekilden, saf malzemenin akma gerilmesi değerinde, hacimce yüzde 10 CaCO_3 dolgu miktarında yüzde 18'lik en küçük azalmanın, ne en küçük ne de en büyük ortalama tane boyulu mineral dolgusuyla değil de, $2,15 \mu\text{m}$ ortalama tane boyulu CaCO_3 mineraliyle meydana geldiği anlaşılabilmektedir.

Ancak, belirli en uygun ortalama tane boyuna göre, mikronize toz CaCO_3 mineralinin ortalama tane boyunun büyümesiyle dolgulu malzemenin kopma gerilmesi değerinde meydana gelen azalmanın, mikronize toz CaCO_3 mineralinin ortalama tane boyunun küçülmesiyle meydana gelen azalmadan daha yüksek olduğu şekil 4.28'den ayrıca

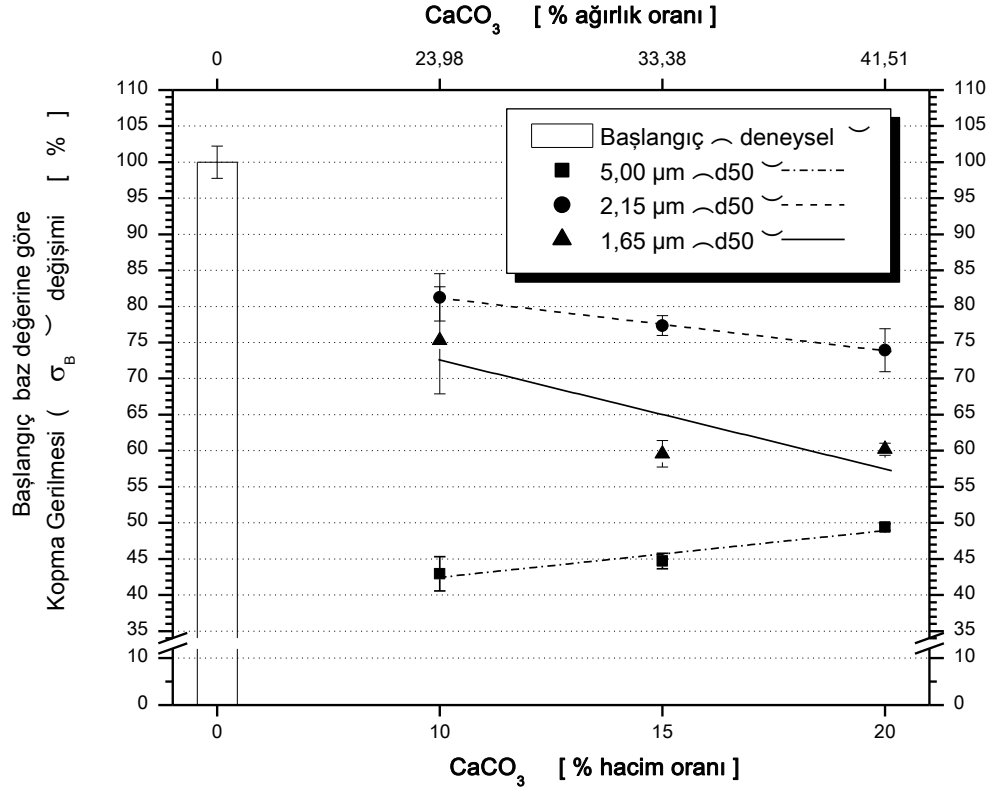
farkedilebilmektedir.

Belirtilmiş dolgu miktarları arasında, en büyük ortalama tane boylu CaCO_3 dolgulu malzemenin kopma gerilmesi değerinde meydana gelen azalmanın, en küçük ortalama tane boylu CaCO_3 dolgulu malzemeye oranla, hacimce yüzde 10 dolgu miktarında yaklaşık yüzde 43 daha yüksek olduğu, hacimce yüzde 20 dolgu miktarında ise bu yüksekliğin yüzde 17,5'lere düştüğü gözlemlenmiştir. Ancak, en küçük ortalama tane boylu CaCO_3 dolgulu malzemenin kopma gerilmesi değerinde meydana gelen azalmanın, 2,15 μm ortalama tane boylu mikronize toz CaCO_3 dolgulu malzemeye oranla, hacimce yüzde 10 dolgu miktarında yaklaşık yüzde 7 daha yüksek olurken, hacimce yüzde 20 dolgu miktarında ise yüzde 19'lara yükseldiği saptanabilmektedir.

Şekil 4.29'dan hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize toz CaCO_3 dolgulu YYPE boru malzemesinin kopma gerilmesi değeri, saf malzemeye göre, ilave edilen dolgu miktarıyla azaldığı ancak artan dolgu miktarıyla en büyük ortalama tane boylu mikronize toz CaCO_3 dolgulu malzemenin değerinin arttığı diğerlerinin ise azaldığı görülebilmektedir.

Şekilden, saf malzemenin kopma gerilmesi değerinde, hacimce yüzde 10 CaCO_3 dolgu miktarında yüzde 18'lik en küçük azalmanın, ne en küçük ne de en büyük ortalama tane boylu mineral dolgusuyla değil de, 2,15 μm ortalama tane boylu CaCO_3 mineraliyle meydana geldiği anlaşılabilmektedir.

Dolgu miktarının hacimce yüzde 10 'dan yüzde 20'ye artmasıyla, 2,15 μm ortalama tane boylu CaCO_3 dolgulu malzemenin kopma gerilmesi değerinde meydana gelen azalmanın yüzde 10 daha yüksek olduğu, en küçük ortalama tane boylu CaCO_3 dolgulu malzemedeki bu azalmanın artarak yüzde 31'lere ulaştığı görülebilmektedir.



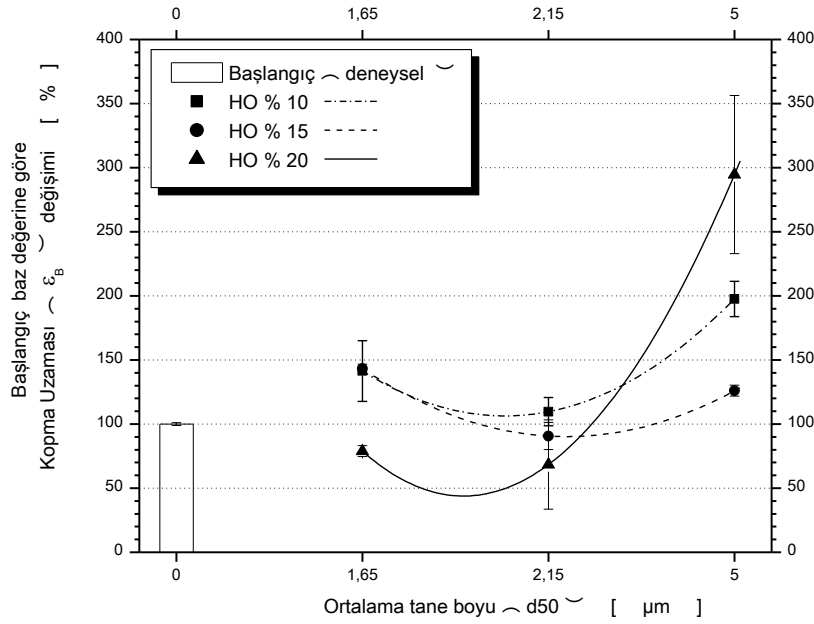
Şekil 4.29: CaCO₃ dolgulu YYPE boru malzemesi kopma gerilmesinin dolgu miktarına bağlı değişimi

Diğer taraftan, en büyük ortalama tane boyulu mineral dolgusuyla saf malzemenin kopma gerilmesi değerinde, hacimce yüzde 10 CaCO₃ dolgu miktarında yüzde 57'lik en büyük azalmanın oluştuğu ancak, en büyük ortalama tane boyulu mineral dolgulu malzemenin kopma gerilmesi değerinde ise artan dolgu miktarıyla, diğerlerinde meydana gelen azalma eğiliminden farklı olarak yükselme eğiliminin oluştuğu ve yüzde 14'lere varan daha yüksek değerlerin hacimce yüzde 20 dolgu oranında elde edilebileceği tespit edilebilmektedir.

Elde edilen veriler, CaCO₃ dolgulu malzemenin kopma gerilmesi değerinde ortalama tane boyunun küçükten büyüğe doğru hacimce yüzde 10 dolgu miktarında yaklaşık yüzde 43'lük ve hacimce yüzde 20 dolgu miktarında ise yüzde 17,5'lik daha düşük değerler meydana getirirken artan dolgu miktarı ile büyükte yüzde 13'lük artışa ve küçükte yüzde 21'lik artışa neden olduğu görülmektedir.

Dolayısıyla, YYPE boru malzemesinin kopma gerilmesi değerinde, hem büyüyen ortalama tane boyunun hemde dolgu miktarının azaltma (düşürme) etkisinin olduğu görülmüştür. Hacimce yüzde 10 dolgu miktarında dolgunun ortalama tane boyunun etkisinin, miktarının etkisinden daha büyük olduğu, dolgu miktarının artmasıyla ortalama tane boyunun etkisinin miktarının etkisinden daha çok arttığı ve hacimce yüzde 20 dolgu oranında en fazla yaklaşık yüzde 51'lere varan ve en az yaklaşık yüzde 26'larda kalabilen azalmaların elde edilebileceği tespit edilebilmiştir.

Saf malzemeye göre, mikronize toz CaCO_3 dolgulu YYPE boru malzemesinin akma uzamasının ortalama tane boyuna bağlı değişimi Şekil 4.30'da ve dolgu miktarına bağlı değişimi ise Şekil 4.31'de görülebilmektedir.



Şekil 4.30: CaCO_3 dolgulu YYPE boru malzemesi kopma uzamasının ortalama tane boyuna bağlı değişimi

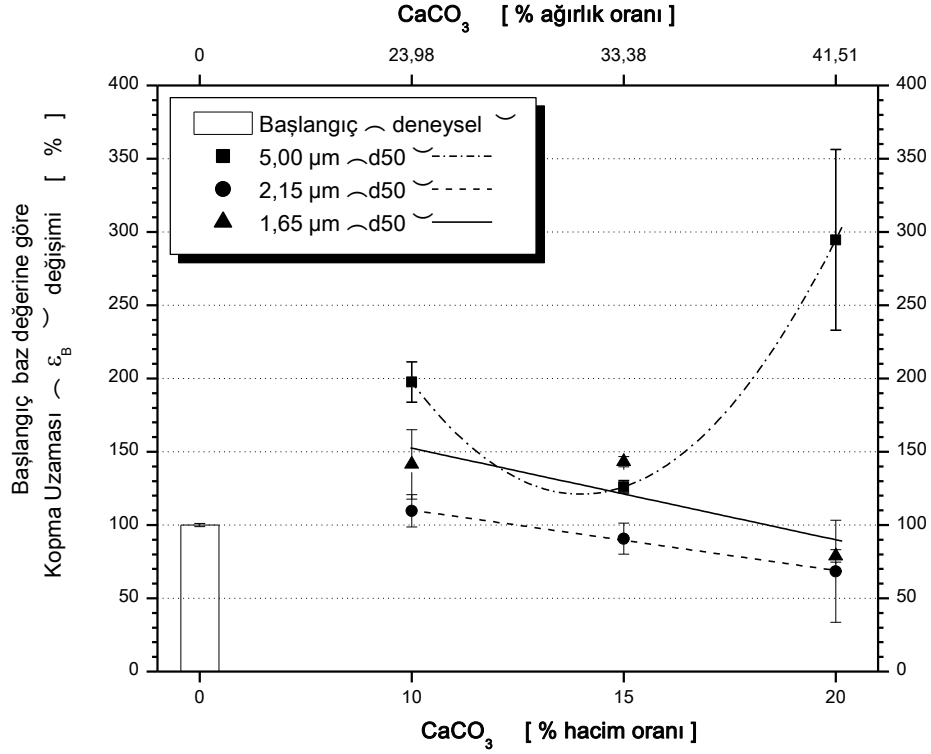
Şekil 4.30'dan, hacimce en az yüzde 10 en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize toz CaCO_3 dolgulu YYPE boru malzemesinde kopma uzaması değeri, dolgunun önceden belirli olmayan ortalama tane boyuna (burada 2,15 µm) göre küçülen ve büyüyen ortalama tane boyu ile artma eğilimi gösterdiği görülebilmektedir.

Şekilden, saf malzemenin kopma uzaması değerinde, hacimce yüzde 10 CaCO₃ dolgu miktarında yüzde 100'lük en büyük yükselmenin, en büyük ortalama tane boylu CaCO₃ mineraliyle meydana geldiği anlaşılabilmektedir.

Ancak, önceden belirli olmayan ortalama tane boyuna göre, mikronize toz CaCO₃ mineralinin ortalama tane boyunun büyümesiyle dolgu malzemenin kopma uzaması değerinde meydana gelen yükselmenin, mikronize toz CaCO₃ mineralinin ortalama tane boyunun küçülmesiyle meydana gelen yükselmeden daha yüksek olduğu şekil 4.30'dan ayrıca farkedilebilmektedir.

Belirtilmiş dolgu miktarları arasında, en küçük ortalama tane boylu CaCO₃ dolgu malzemenin kopma uzaması değerinde meydana gelen azalmanın, en büyük ortalama tane boylu CaCO₃ dolgu malzemeye oranla, hacimce yüzde 10 dolgu miktarında yaklaşık yüzde 30 daha düşük olduğu, hacimce yüzde 20 dolgu miktarında ise bu azalmanın yüzde 73 daha düşük değerlere ulaşabildiği gözlemlenmiştir. Diğer taraftan, en küçük ortalama tane boylu CaCO₃ dolgu malzemenin kopma uzaması değerinde meydana gelen artmanın, 2,15 µm ortalama tane boylu mikronize toz CaCO₃ dolgu malzemeye oranla, hacimce yüzde 10 dolgu miktarında yaklaşık yüzde 27 daha yüksek olurken, hacimce yüzde 20 dolgu miktarında ise yüzde 14 daha yüksekte kaldığı saptanabilmektedir.

Şekil 4.31'den hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize toz CaCO₃ dolgu YYPE boru malzemesinin kopma uzaması değeri, saf malzemeye göre, ilave edilen dolgu miktarıyla arttığı, artan dolgu miktarıyla azaldığı ancak yüzde 15 dolgu miktarından sonra en büyük ortalama tane boylu dolgu malzemedede kopma uzaması değerinin artan dolgu miktarıyla tekrar arttığı diğerlerinin ise azalma eğilimlerini koruduğu görülebilmektedir.



Şekil 4.31: CaCO₃ dolgulu YYPE boru malzemesi kopma uzamasının dolgu miktarına bağlı değişimi

Şekilden, saf malzemenin kopma uzaması değerinde, hacimce yüzde 10 CaCO₃ dolgu miktarında yüzde 100'lük en büyük yükselmenin, en büyük ortalama tane boylu CaCO₃ mineraliyle meydana geldiği anlaşılabilmektedir.

Dolgu miktarının hacimce yüzde 10 'dan yüzde 20'ye artmasıyla, en büyük ortalama tane boylu CaCO₃ dolgulu malzemenin kopma uzaması değeri yüzde 47,5 daha yükselirken, en küçük ortalama tane boylu CaCO₃ dolgulu malzemenin kopma uzaması değerinin ise yüzde 43 daha da azaldığı Şekil 4.10'dan görülebilmektedir.

Elde edilen veriler, CaCO₃ dolgulu malzemenin kopma uzaması değerinde ortalama tane boyunun büyükten küçüğe doğru hacimce yüzde 10 dolgu miktarında yaklaşık yüzde 30'lük ve hacimce yüzde 20 dolgu miktarında ise yüzde 73'lük daha düşük değerler meydana getirirken artan dolgu miktarı ile büyükte yüzde 47,5'lik artışa ve küçükte yüzde 43'lük azalmalar neden olduğu görülmektedir.

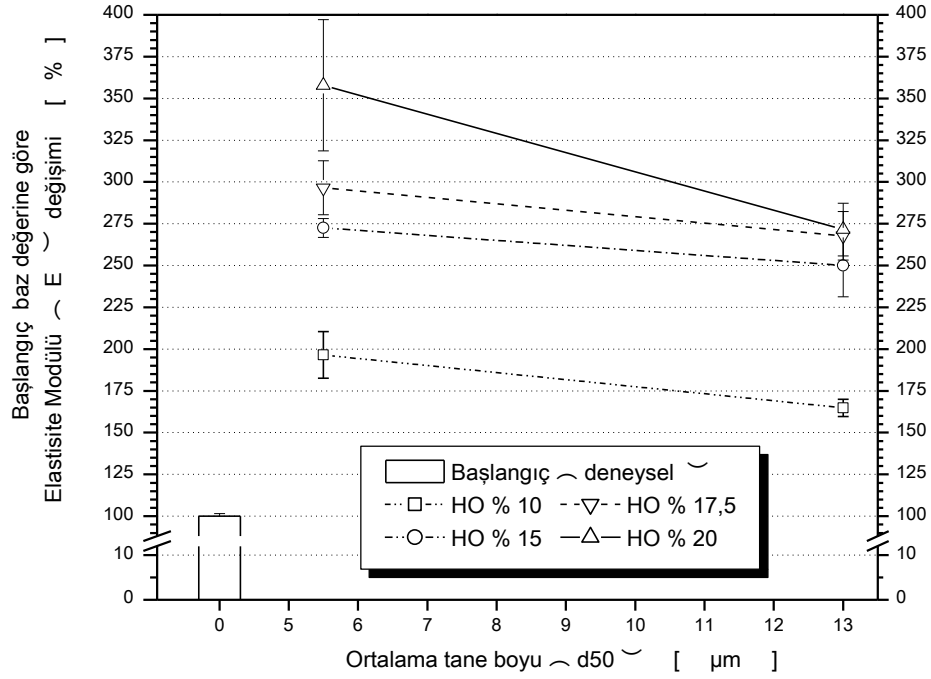
Dolayısıyla, YYPE boru malzemesinin kopma uzaması değerinde, hem küçülen ortalama tane boyunun hemde dolgu miktarının hem yükseltme (arttırma) hemde azaltma (düşürme) etkisinin olduğu tespiti yapılabilmektedir. Hacimce yüzde 10 dolgu miktarında dolgunun ortalama tane boyunun, miktarına göre daha büyük yükseltme etkisinin olduğu, dolgu miktarının artmasıyla meydana gelen azalmaya, ortalama tane boyunun, dolgu miktarından daha çok etkisinin olduğu görülebilmektedir. Saf malzemeye göre de, hacimce yüzde 20 dolgu oranında en fazla yaklaşık yüzde 295 daha yüksek ve yaklaşık yüzde 30 daha az uzamaların elde edilebileceği tespit edilebilmektedir.

4.4.2 Mikronize pudra talkın etkisi

Granül haldeki mavi renkli naturel (saf) YYPE boru malzemesinin Elastisite (Young's) Modülüne, akma gerilmesine, akma uzamasına, kopma gerilmesine ve kopma uzamasına, dört farklı ve sırasıyla hacimce yüzde 10, 15, 17,5 ve 20 dolgu oranlarında ve farklı cins ancak iki farklı ve küçükten büyüğe doğru 5,50 μm ve 13,00 μm ortama tane boylarındaki mikronize pudra talk minerallerinin ayrı ayrı etkisi aşağıda ayrı ayrı ve sırasıyla verilmiştir.

Saf malzemeye göre, mikronize pudra talk dolgulu YYPE boru malzemesinin elastisite modülünün ortalama tane boyuna bağlı değişimi Şekil 4.32'de ve dolgu miktarına bağlı değişimi ise Şekil 4.33' de verilmiştir.

Şekil 4.32'den, hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize pudra talk dolgulu YYPE boru malzemesinin E Modülü değerinin, dolgunun ortalama tane boyunun küçülmesiyle artmakta olduğu görülebilmektedir.

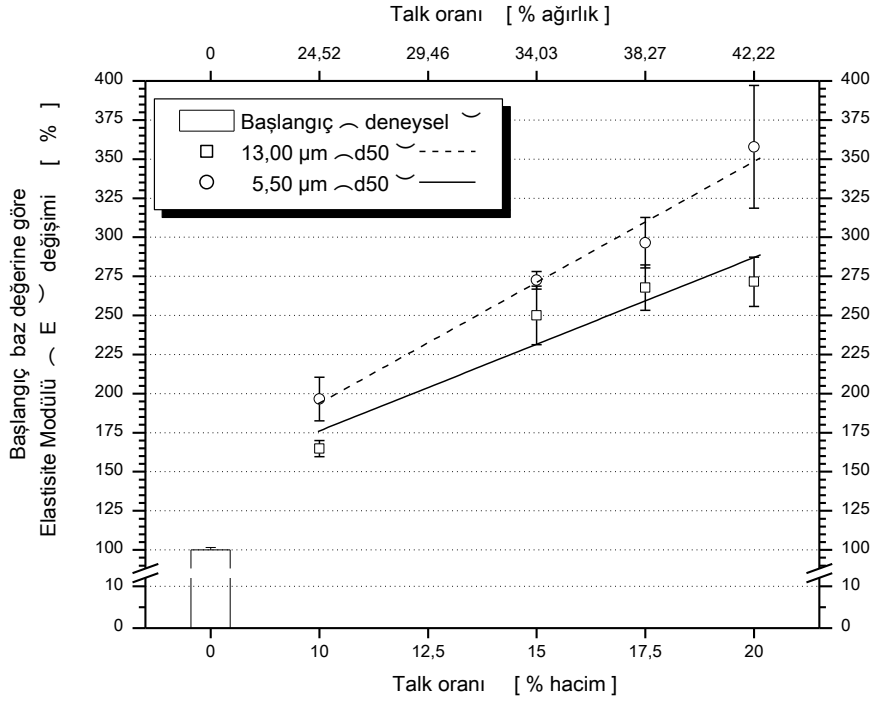


Şekil 4.32: Talk dolgulu YYPE boru malzemesi Elastisite Modülünün ortalama tane boyuna bağlı değişimi

Şekilden, saf malzemenin E modülü değerinde, hacimce yüzde 10 CaCO₃ dolgu miktarında yüzde 65'lik en küçük yükselmenin, büyük ortalama tane boylu talk mineraliyle meydana gelebileceği tespit edilebilmektedir.

Şekil 4.32'den ayrıca, şekil 4.33'den de gözlenebileceği gibi, yukarıda belirtilmiş dolgu miktarları arasında, küçük ortalama tane boylu talk dolgulu malzemenin elastisite modülü değerinde meydana gelen yükselmenin, büyük ortalama tane boylu CaCO₃ dolgulu malzemeye oranla, hacimce yüzde 10 dolgu miktarında yaklaşık yüzde 18 daha yüksek olduğu, hacimce yüzde 20 dolgu miktarında ise bu yüksekliğin daha da artarak yüzde 33'lere ulaşabildiği gözlemlenmiştir.

Şekil 4.33'den, hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize pudra talk dolgulu YYPE boru malzemesinin E Modülü değeri, saf malzemeye göre, ilave edilen ve artan dolgu miktarıyla arttığı anlaşılabilmektedir.



Şekil 4.33: Talk dolgulı YYPE boru malzemesi Elastisite Modülünün dolgu miktarına bağılı değişimi

Şekilden, saf malzemenin E modülü değerinde, hacimce yüzde 10 talk dolgu miktarında yüzde 65'lik en küçük yükselmenin, büyük ortalama tane boylu talk mineraliyle meydana gelebileceği görülebilmektedir.

Şekil 4.33'den ayrıca, şekil 4.32'den de takip edilebileceği gibi, dolgu miktarının hacimce yüzde 10 'dan yüzde 20'ye artmasıyla, büyük ortalama tane boylu talk dolgulı malzemenin elastisite modülü değerinde meydana gelen yükselmenin yüzde 64 daha yüksek olduğu, küçük ortalama tane boylu talk dolgulı malzemede ise bu yüksekliğin artarak yüzde 85 daha yüksek olduğu tespit edilebilmektedir.

Elde edilen veriler, talk dolgulı malzemenin E-Modülü değerinde ortalama tane boyunun büyükten küçüğe doğru hacimce yüzde 10 dolgu miktarında yaklaşık yüzde 18 ve hacimce yüzde 20 dolgu miktarında ise yüzde 33 daha yüksek değerler meydana getirirken artan dolgu miktarı ile büyükte yüzde 64'lük artışa ve küçükte yüzde 85'lik artışa neden olduğu görülmektedir.

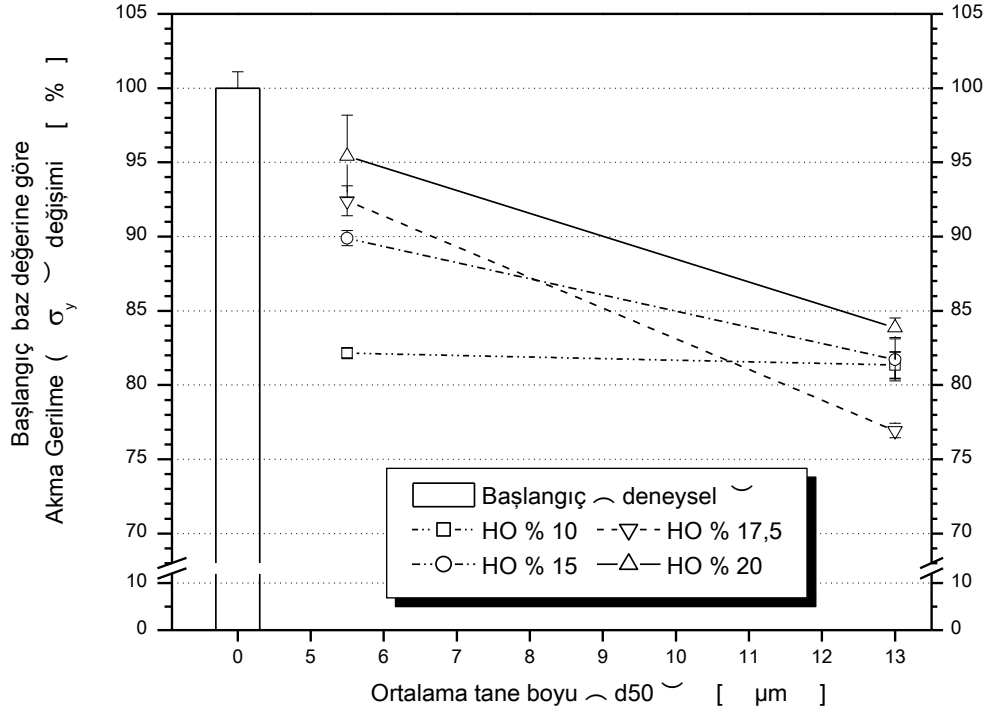
Dolayısıyla, saf YYPE boru malzemesinin E-Modülü değerinde, mikronize pudra talk mineralinin hem küçülen ortalama tane boyunun hemde dolgu miktarının arttırma (yükseltme) etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Ancak, hacimce yüzde 10 dolguda, ortalama tane boyu küçülmesinden çok dolgu miktarının etkisi daha yüksek olurken, artan dolgu miktarıyla ortalama tane boyu küçülmesinin yükseltme etkisinin dolgu miktarına göre daha fazla etkili olduğu gözlemlenmiştir. Saf malzemeye göre, hacimce yüzde 20 dolgu oranında küçük ortalama tane boyu ile yüzde 260 daha büyük değerlerin elde edilebileceği görülebilmektedir.

Saf malzemeye göre, mikronize pudra talk dolgulu YYPE boru malzemesinin akma gerilmesinin ortalama tane boyuna bağlı değişimi Şekil 4.34’de ve dolgu miktarına bağlı değişimi ise Şekil 4.35’de verilmiştir.

Hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize pudra talk dolgulu YYPE boru malzemesinde akma gerilmesi değeri, dolgunun büyüyen ortalama tane boyu ile azalma eğilimi gösterdiği şekil 4.34’te görülebilmektedir.

Şekilden, saf malzemenin akma gerilmesi değerinde, hacimce yüzde 10 talk dolgu miktarında yüzde 18’lik en küçük azalmanın, küçük ortalama tane boylu talk mineraliyle meydana gelebileceği tespit edilebilmektedir.

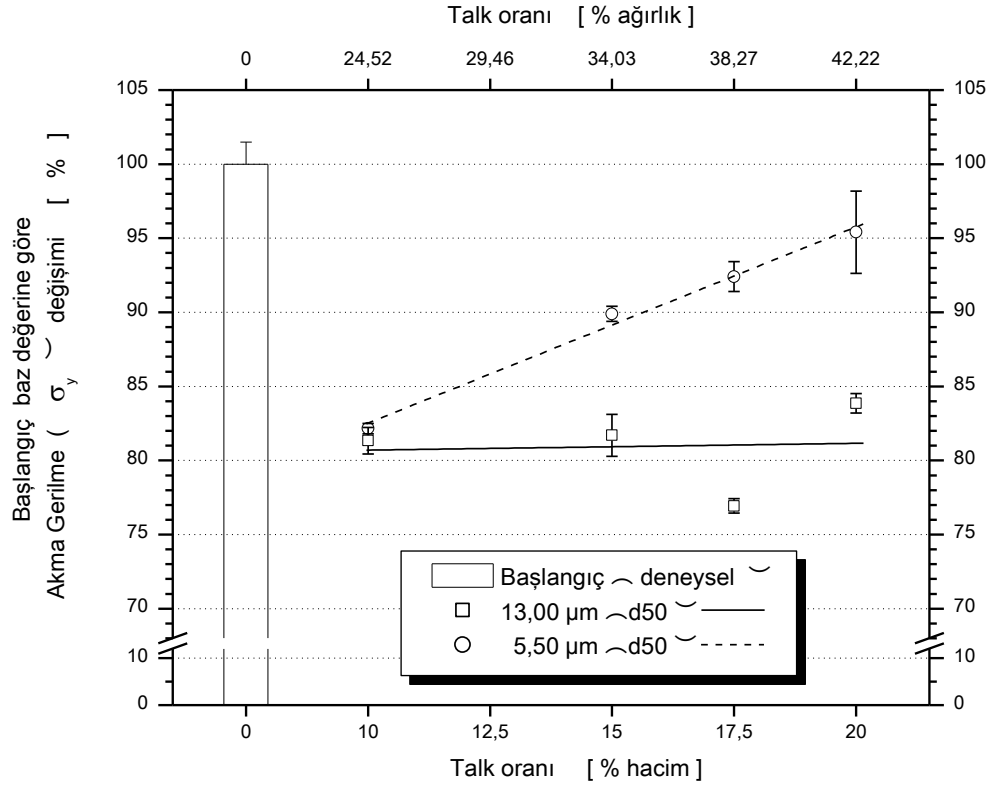
Şekil 4.34’den ayrıca, şekil 4.35’den de gözlenebileceği gibi, belirtilmiş dolgu miktarları arasında, büyük ortalama tane boylu talk dolgulu malzemenin akma gerilmesi değerinde meydana gelen azalmanın, küçük ortalama tane boylu talk dolgulu malzemeye oranla, hacimce yüzde 10 dolgu miktarında yaklaşık yüzde 1 daha yüksek olduğu, hacimce yüzde 20 dolgu miktarında ise bu yüksekliğin yüzde 12’lere arttığı gözlemlenmiştir. Ancak, en büyük azalmanın meydana geldiği dolgu miktarı hacimce yüzde 17,5 olduğu ve bu oranda talk dolgulu malzemenin akma gerilmesi değerinde yaklaşık yüzde 16’lık azalmanın meydana geldiği şekilden ayrıca farkedilebilmektedir.



Şekil 4.34: Talk dolgulu YYPE boru malzemesi akma gerilmesinin ortalama tane boyuna bağılı değişimi

Şekil 4.35'den hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize pudra talk dolgulu YYPE boru malzemesinin akma gerilmesi değeri, saf malzemeye göre, ilave edilen dolgu miktarıyla azaldığı ancak artan dolgu miktarıyla artma eğilimi gösterdiği anlaşılabilmektedir.

Şekilden, saf malzemenin akma gerilmesi değerinde, hacimce yüzde 10 talk dolgu miktarında yüzde 18'lik en küçük azalmanın, küçük ortalama tane boyulu talk mineraliyle meydana gelebileceği görülebilmektedir.



Şekil 4.35: Talk dolgulu YYPE boru malzemesi akma gerilmesinin dolgu miktarına bağlı değişimi

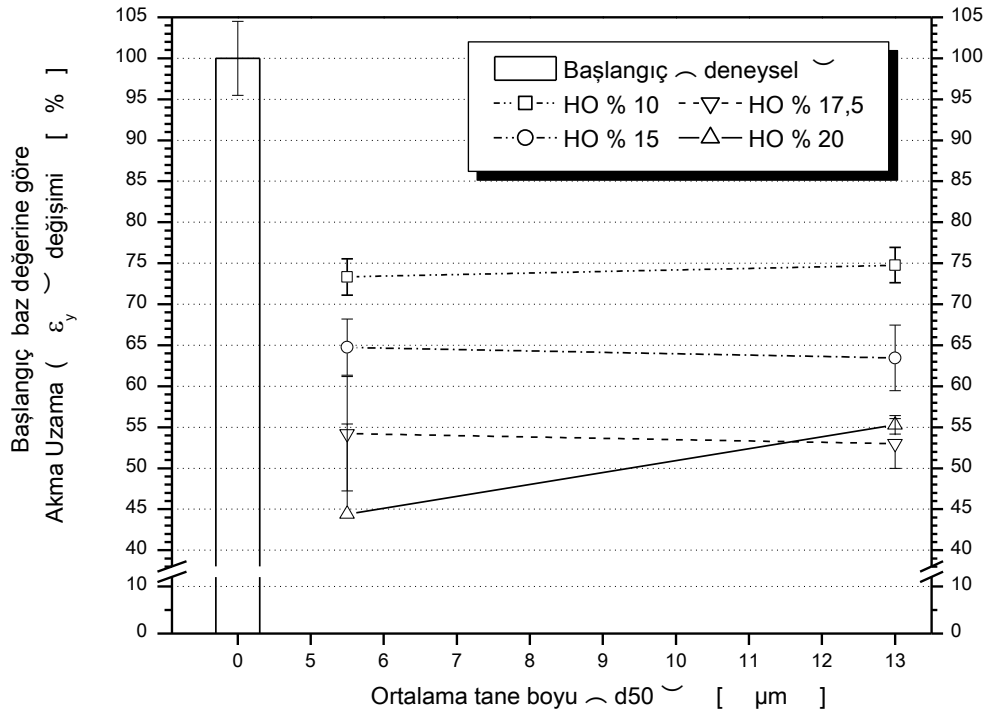
Şekilden ayrıca, şekil 4.34'den de takip edilebileceği gibi, dolgu miktarının hacimce yüzde 10 'dan yüzde 20'ye artmasıyla, büyük ortalama tane boylu talk dolgulu malzemenin akma gerilmesi değerinde meydana gelen yükselmenin yüzde 3 daha yüksek olduğu, küçük ortalama tane boylu talk dolgulu malzemede ise bu yükselmenin artarak yüzde 17'lere ulaşabildiği tespit edilebilmektedir. Elde edilen veriler, talk dolgulu malzemenin akma gerilmesi değerinde ortalama tane boyunun büyükten küçüğe doğru hacimce yüzde 10 dolgu miktarında yaklaşık yüzde 1 ve hacimce yüzde 20 dolgu miktarında ise yüzde 12 daha yüksek değerler meydana getirirken artan dolgu miktarı ile büyükte yüzde 3'lük artışa ve küçükte yüzde 17'lik artışa neden olduğu görülmektedir.

Dolayısıyla, saf YYPE boru malzemesinin akma gerilmesi değerinde, mikronize pudra talk mineralinin hem küçülen ortalama tane boyunun hemde dolgu miktarının arttırma (yükseltme) etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Ancak, hacimce yüzde 10

dolguda, ortalama tane boyu küçülmesinden çok dolgu miktarının etkisi daha yüksek olurken, artan dolgu miktarıyla ortalama tane boyu küçülmesinin yükseltme etkisinin dolgu miktarına göre daha fazla etkili olduğu izlenebilmiştir. Saf malzemeye göre, hacimce yüzde 20 dolgu oranında küçük ortalama tane boyu ile yüzde 4,5 daha küçük değerlerin elde edilebileceği görülebilmektedir.

Saf malzemeye göre, mikronize pudra talk dolgulu YYPE boru malzemesinin akma uzamasının ortalama tane boyuna bağlı değişimi Şekil 4.36'da ve dolgu miktarına bağlı değişimi ise Şekil 4.37 de görülebilmektedir.

Şekil 4.36'dan, hacimce en az yüzde 10 en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize pudra dolgulu YYPE boru malzemesinde akma uzaması değeri, dolgunun büyüyen ortalama tane boyu ile ya kısmen azalma eğilimi yada artma eğilimi verdiği görülebilmektedir.



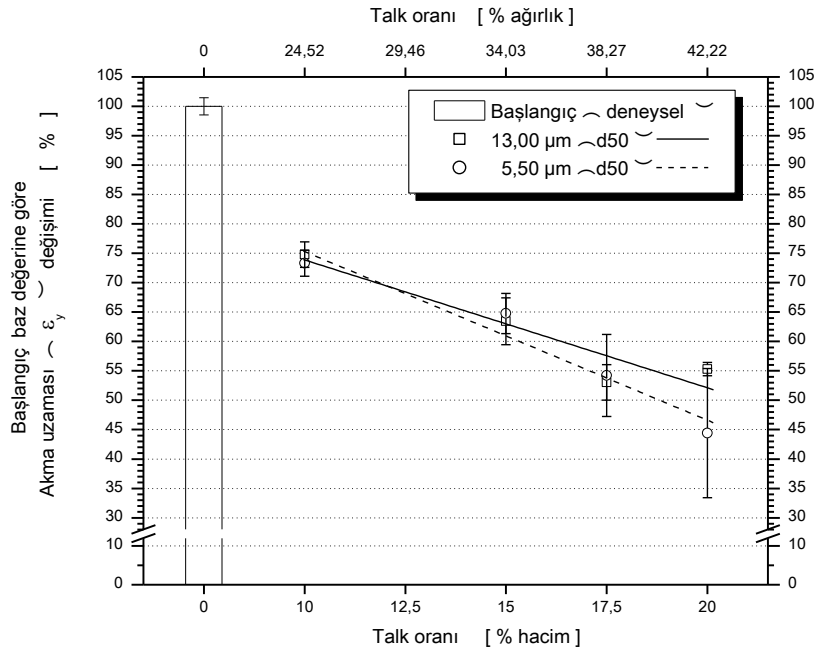
Şekil 4.36: Talk dolgulu YYPE boru malzemesi akma uzamasının ortalama tane boyuna bağlı değişimi

Şekilden, saf malzemenin akma uzaması değerinde, hacimce yüzde 10 talk dolgu

miktarında yüzde 25'lik en küçük azalmanın, büyük ortalama tane boylu talk mineraliyle meydana geldiği görülebileceği gibi aynı yüzde hacim oranında küçük ortalama tane boylu talk mineraliyle de yüzde 27'lik azalmanın olduğu görülebilmektedir.

Belirtilmiş dolgu miktarları arasında, büyük ortalama tane boylu talk dolgulu malzemenin akma uzaması değerinde meydana gelen yükselmenin, küçük ortalama tane boylu talk dolgulu malzemeye oranla, hacimce yüzde 10 dolgu miktarında yaklaşık yüzde 3 daha yüksek olduğu, hacimce yüzde 20 dolgu miktarında ise bu yüksekliğin yüzde 22'lere arttığı gözlemlenmiştir. Ancak, hacimce yüzde 15 ve yüzde 17,5 oranlarında talk dolguluların akma uzamalarında yüzde 2'şerlik azalmaların meydana geldiği şekilden ayrıca farkedilebilmektedir.

Şekil 4.37'den hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize pudra talk dolgulu YYPE boru malzemesinin akma uzaması değeri, saf malzemeye göre, ilave edilen ve artan dolgu miktarıyla azaldığı anlaşılabilmektedir.



Şekil 4.37: Talk dolgulu YYPE boru malzemesi akma uzamasının dolgu miktarına bağlı değişimi

Şekilden, saf malzemenin akma uzaması değerinde, hacimce yüzde 10 talk dolgu miktarında yüzde 25'lik en küçük azalmanın, büyük ortalama tane boyulu talk mineraliyle meydana geldiği görülebileceği gibi aynı yüzde hacim oranında küçük ortalama tane boyulu talk mineraliyle de yüzde 27'lik azalmanın oluştuğu görülebilmektedir.

Dolgu miktarının hacimce yüzde 10 'dan yüzde 20'ye artmasıyla, büyük ortalama tane boyulu talk dolgulu malzemenin akma uzaması değerinde meydana gelen azalmanın yüzde 27 daha yüksek olduğu, küçük ortalama tane boyulu talk dolgulu malzemede ise bu azalmanın artarak yüzde 39'lara ulaşabildiği tespit edilebilmektedir.

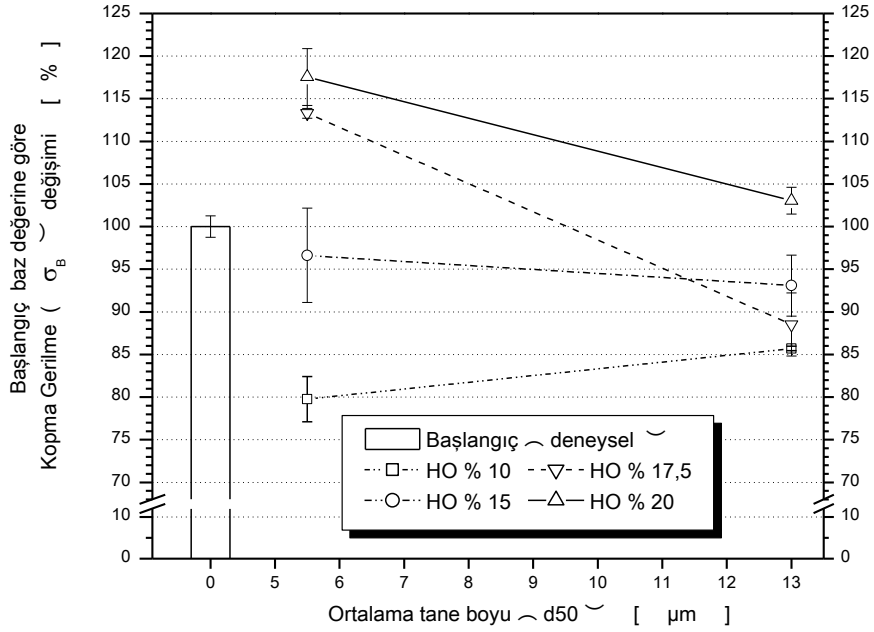
Elde edilen veriler, talk dolgulu malzemenin akma uzaması değerinde ortalama tane boyunun küçükten büyüğe doğru hacimce yüzde 10 dolgu miktarında yaklaşık yüzde 3 ve hacimce yüzde 20 dolgu miktarında ise yüzde 22 daha büyük değerler meydana getirirken artan dolgu miktarı ile büyükte yüzde 27'lik azalmaya ve küçükte yüzde 39'luk azalmaya neden olduğu görülmektedir.

Dolayısıyla, saf YYPE boru malzemesinin akma uzaması değerinde, mikronize pudra talk mineralinin hem küçülen ortalama tane boyunun hemde dolgu miktarının düşürme (azaltma) etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Ancak, hacimce yüzde 10 dolguda, ortalama tane boyu küçülmesinden çok dolgu miktarının etkisi daha yüksek olurken, artan dolgu miktarıyla ortalama tane boyu küçülmesinin azaltma etkisinin dolgu miktarına göre daha fazla etkili olduğu görülebilmektedir. Saf malzemeye göre, hacimce yüzde 20 dolgu oranında büyük ortalama tane boyu ile yüzde 45 daha küçük değerlerin elde edilebileceği gözlemlenmiştir.

Kopma gerilmesi değerinin mikronize pudra talk mineralinin ortalama tane boyuna bağlı değişimi şekil 4.38 'de ve dolgu miktarına bağlı değişimi ise şekil 4.39'da bir araya getirilmiştir.

Şekil 4.38'den, hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında

mikronize pudra talk dolgulu YYPE boru malzemesinde kopma gerilmesi değeri, dolgunun büyüyen ortalama tane boyu ile ya artma eğilimi yada azalma eğilimi verdiği görülebilmektedir.



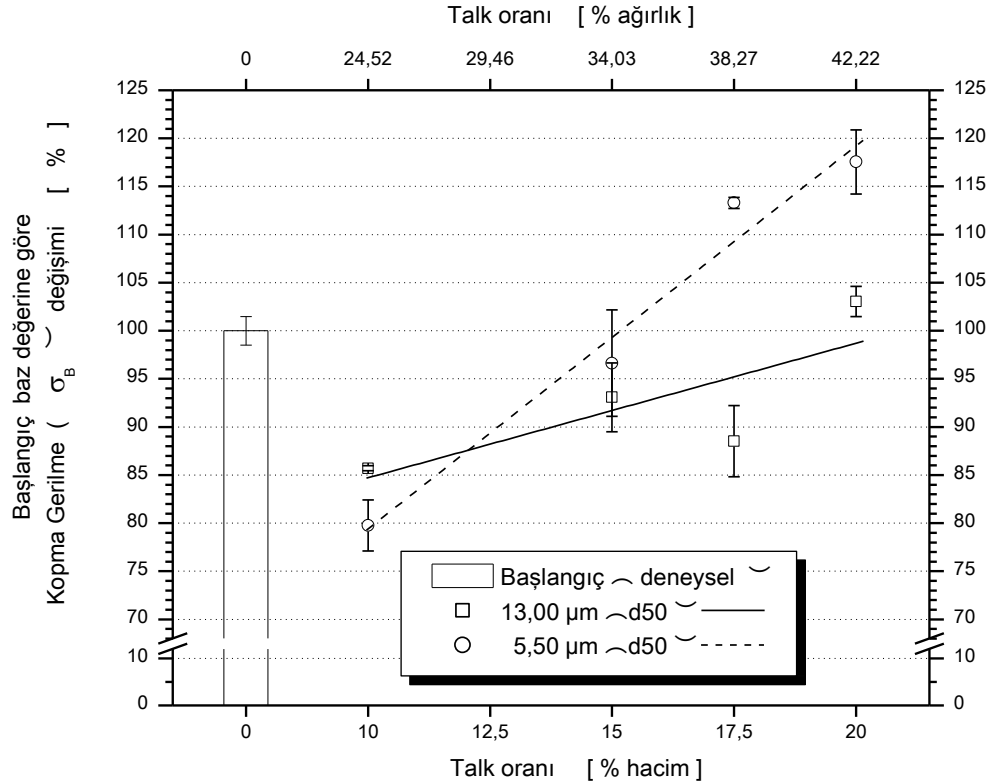
Şekil 4.38: Talk dolgulu YYPE boru malzemesi kopma gerilmesinin ortalama tane boyuna bağlı değişimi

Şekilden, saf malzemenin kopma gerilmesi değerinde, hacimce yüzde 10 talk dolgu miktarında yüzde 14'lük en küçük azalmanın, büyük ortalama tane boylu talk mineraliyle meydana geldiği görülebileceği gibi aynı yüzde hacim oranında küçük ortalama tane boylu talk mineraliyle de yüzde 20'lik azalmanın olduğu görülebilmektedir.

Belirtilmiş dolgu miktarları arasında, büyük ortalama tane boylu talk dolgulu malzemenin kopma gerilmesi değerinde meydana gelen yükselmenin, küçük ortalama tane boylu talk dolgulu malzemeye oranla, hacimce yüzde 10 dolgu miktarında yaklaşık yüzde 7,5 daha yüksek olduğu, ancak hacimce yüzde 20 dolgu miktarında ise azalmanın meydana geldiği ve meydana gelen azalmanın yüzde 12 daha büyük olduğu gözlemlenmiştir. Ancak, hacimce yüzde 15 ve yüzde 17,5 oranlarında talk dolguların kopma gerilmelerinde sırasıyla yüzde 3'lük ve yüzde 22'lik azalmaların

meydana geldiği şekilden ayrıca farkedilebilmektedir.

Şekil 4.39'dan hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize pudra talk dolgulu YYPE boru malzemesinin kopma gerilmesi değeri, saf malzemeye göre, ilave edilen dolgu miktarıyla azaldığı ve artan dolgu miktarıyla da arttığı anlaşılabilmektedir.



Şekil 4.39: Talk dolgulu YYPE boru malzemesi kopma gerilmesinin dolgu miktarına bağlı değişimi

Şekilden, saf malzemenin kopma gerilmesi değerinde, hacimce yüzde 10 talk dolgu miktarında yüzde 14'lük en küçük azalmanın, büyük ortalama tane boyulu talk mineraliyle meydana geldiği görülebileceği gibi aynı yüzde hacim oranında küçük ortalama tane boyulu talk mineraliyle de yüzde 20'lik azalmanın oluştuğu görülebilmektedir.

Dolgu miktarının hacimce yüzde 10 'dan yüzde 20'ye artmasıyla, büyük ortalama tane boyulu talk dolgulu malzemenin kopma gerilmesi değerinde meydana gelen

yükselmenin yüzde 20 daha yüksek olduğu, küçük ortalama tane boylu talk dolgulu malzemede ise bu yükselmenin artarak yüzde 47,5 daha yükseklerle ulaşabildiği tespit edilebilmektedir.

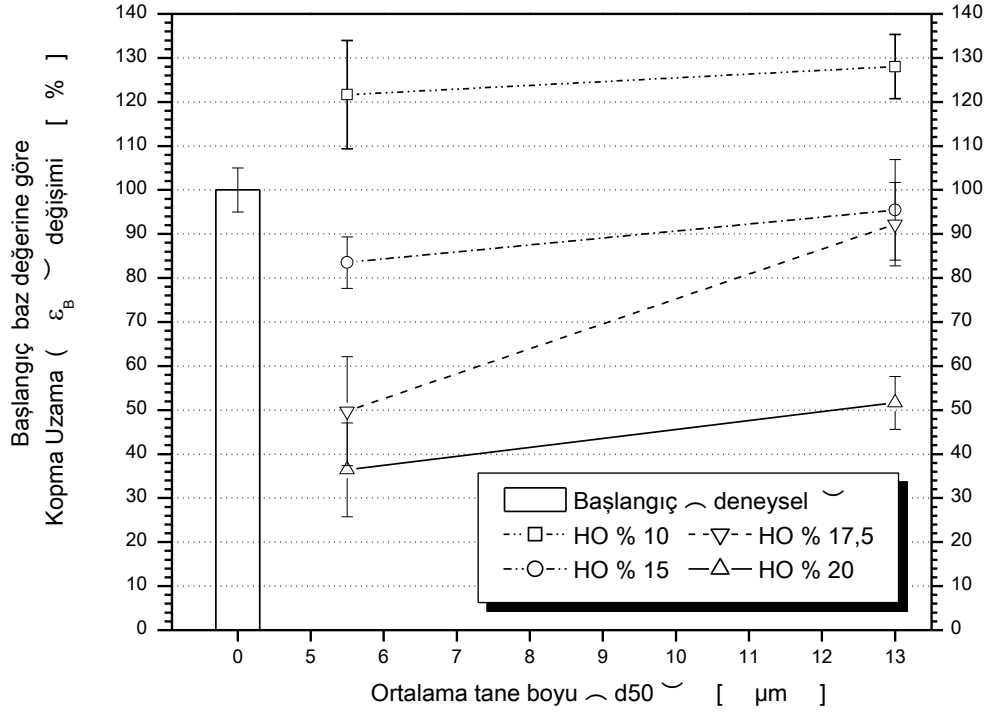
Elde edilen veriler, talk dolgulu malzemenin kopma gerilmesi değerinde ortalama tane boyunun küçükten büyüğe doğru hacimce yüzde 10 dolgu miktarında yaklaşık yüzde 7,5 daha büyük ve hacimce yüzde 20 dolgu miktarında ise yüzde 12 daha küçük değerler meydana getirirken artan dolgu miktarı ile büyükte yüzde 20'lik artmaya ve küçükte yüzde 47,5'lik artmaya neden olduğu görülmektedir.

Dolayısıyla, saf YYPE boru malzemesinin kopma gerilmesi değerinde, mikronize pudra talk mineralinin hem küçülen ortalama tane boyunun hemde dolgu miktarının düşürme (azaltma) ve yükseltme (arttırma) etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Ancak, hacimce yüzde 10 dolguda, ortalama tane boyu küçülmesinden çok dolgu miktarının etkisi daha yüksek olurken, artan dolgu miktarıyla ortalama tane boyu küçülmesinin yükseltme etkisinin dolgu miktarına göre daha fazla etkili olduğu izlenmiştir. Saf malzemeye göre, hacimce yüzde 20 dolgu oranında küçük ortalama tane boyu ile yüzde 18 daha büyük değerlerin elde edilebileceği görülebilmektedir.

Kopma uzaması değerinin mikronize pudra talk mineralinin ortalama tane boyuna bağlı değişimi şekil 4.40'da ve dolgu miktarına bağlı değişimi ise şekil 4.41'de verilmiştir.

Şekil 4.40'dan, hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize pudra talk dolgulu YYPE boru malzemesinde kopma uzaması değeri, dolgunun büyüyen ortalama tane boyu ile artma eğilimi verdiği görülebilmektedir.

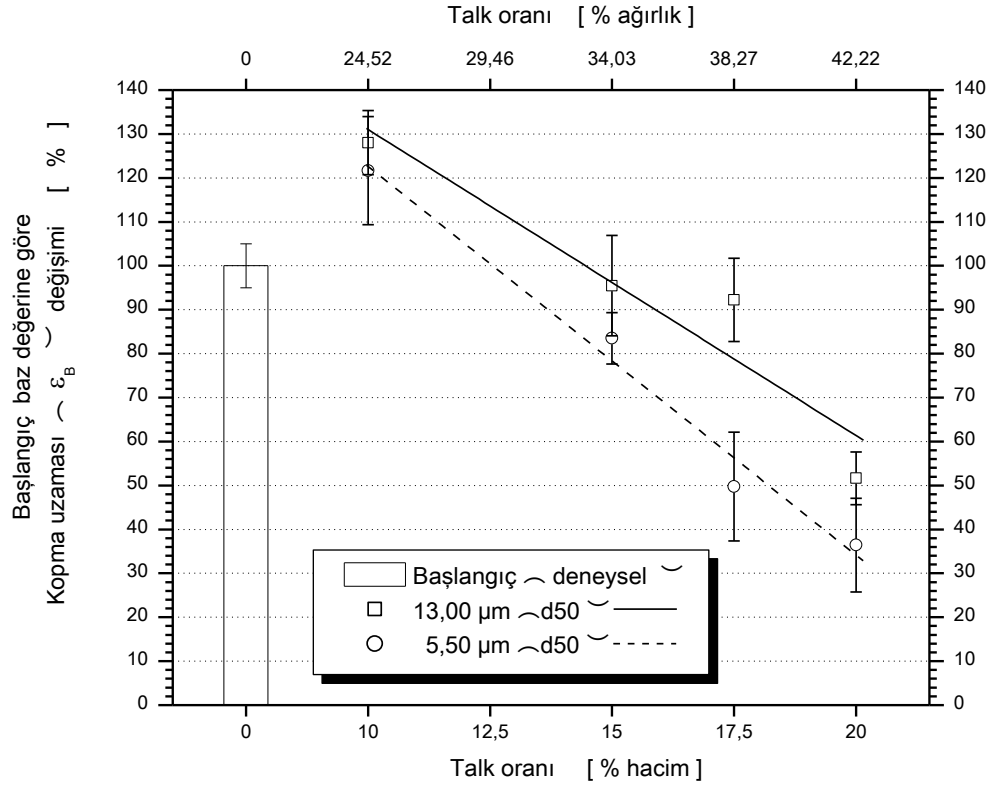
Şekilden, saf malzemenin kopma uzaması değerinde, hacimce yüzde 10 talk dolgu miktarında yüzde 28'lik en büyük yükselmenin, büyük ortalama tane boylu talk mineraliyle meydana geldiği görülebileceği gibi aynı yüzde hacim oranında küçük ortalama tane boylu talk mineraliyle de yüzde 22'lik yükselmenin olduğu görülebilmektedir.



Şekil 4.40: Talk dolgulu YYPE boru malzemesi kopma uzamasının ortalama tane boyuna bağılı değişimi

Belirtilmiş dolgu miktarları arasında, büyük ortalama tane boyulu talk dolgulu malzemenin kopma uzaması değerinde meydana gelen yükselmenin, küçük ortalama tane boyulu talk dolgulu malzemeye oranla, hacimce yüzde 10 dolgu miktarında yaklaşık yüzde 5 daha yüksek olduğu, ancak hacimce yüzde 20 dolgu miktarında ise bu yüksekliğin yüzde 44'lere arttığı gözlemlenmiştir. Ancak, hacimce yüzde 15 ve yüzde 17,5 oranlarında talk dolguların kopma uzamalarında sırasıyla yüzde 14'lük ve yüzde 84'lük yükselmelerin meydana geldiği şekilden ayrıca farkedilebilmektedir.

Şekil 4.41'den hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize pudra talk dolgulu YYPE boru malzemesinin kopma uzaması değeri, saf malzemeye göre, ilave edilen dolgu miktarıyla arttığı ve artan dolgu miktarıyla da azaldığı anlaşılabilmektedir.



Şekil 4.41: Talk dolgulu YYPE boru malzemesi kopma uzamasının dolgu miktarına bağlı değişimi

Şekilden, saf malzemenin kopma gerilmesi değerinde, hacimce yüzde 10 talk dolgu miktarında yüzde 28'lik en büyük yükselmenin, büyük ortalama tane boylu talk mineraliyle meydana geldiği görülebileceği gibi aynı yüzde hacim oranında küçük ortalama tane boylu talk mineraliyle de yüzde 22'lik yükselmenin oluştuğu görülebilmektedir.

Dolgu miktarının hacimce yüzde 10 'dan yüzde 20'ye artmasıyla, büyük ortalama tane boylu talk dolgulu malzemenin kopma uzaması değerinde meydana gelen azalmanın yüzde 59 daha düşük olduğu, küçük ortalama tane boylu talk dolgulu malzemede ise bu azalmanın artarak yüzde 71 daha düşük değerlere ulaşabildiği tespit edilebilmektedir.

Elde edilen veriler, talk dolgulu malzemenin kopma gerilmesi değerinde ortalama tane boyunun küçükten büyüğe doğru hacimce yüzde 10 dolgu miktarında yaklaşık

yüzde 7,5 daha büyük ve hacimce yüzde 20 dolgu miktarında ise yüzde 12 daha küçük değerler meydana getirirken artan dolgu miktarı ile büyükte yüzde 20'lik artmaya ve küçükte yüzde 47,5'lik artmaya neden olduğu görülmektedir.

Dolayısıyla, saf YYPE boru malzemesinin kopma gerilmesi değerinde, mikronize pudra talk mineralinin hem küçülen ortalama tane boyunun hemde dolgu miktarının düşürme (azaltma) ve yükseltme (arttırma) etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Ancak, hacimce yüzde 10 dolguda, ortalama tane boyu küçülmesinden çok dolgu miktarının etkisi daha yüksek olurken, artan dolgu miktarıyla ortalama tane boyu küçülmesinin yükseltme etkisinin dolgu miktarına göre daha fazla etkili olduğu görülebilmektedir. Saf malzemeye göre, hacimce yüzde 20 dolgu oranında küçük ortalama tane boyu ile yüzde 18 daha büyük değerlerin elde edilebileceği gözlemlenmiştir.

4.5 Charpy Çentik Darbe Deneyi

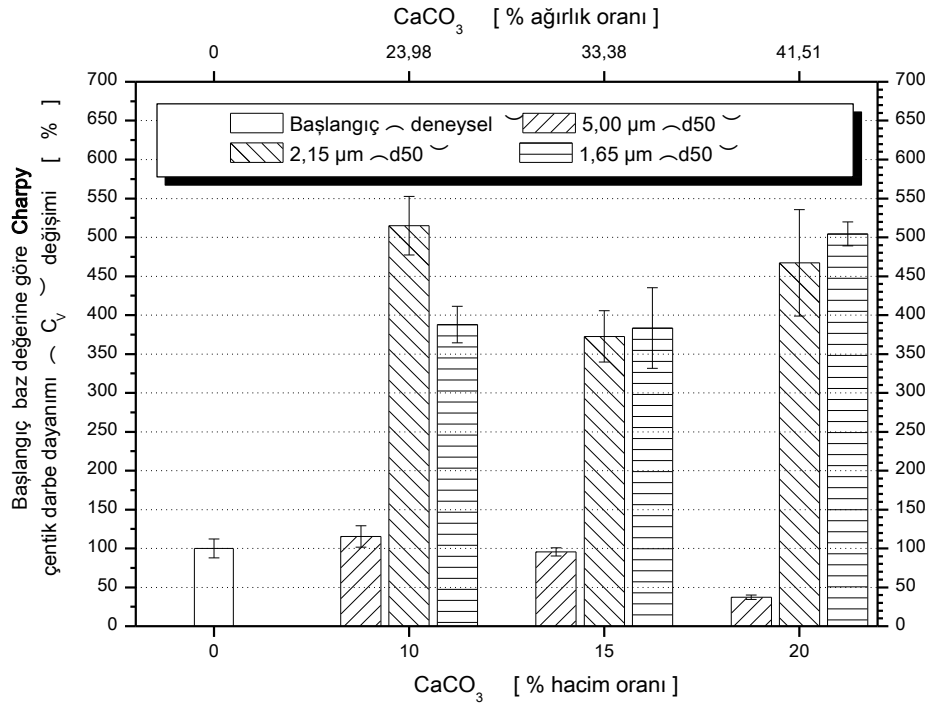
Çalışmada elde edilecek sonuçların, kullanılabilirliğini ve dolayısıyla güvenilirliğini sorgulayabilmek, Türkçe ve yabancı dilde yayımlanmış araştırma, çalışma ve uygulama sonuçları ile karşılaştırılabilmek için mikronize toz ve/veya pudra dolgulu YYPE malzemelerin darbe özelliklerine; mikronize dolgu maddesinin; mikro partikül büyüklüğünün (mikro tane boyunun) ve miktarının etkileri ile ortam koşullarının (sıcaklığının) mikronize dolgulu malzemelere etkisini tespit edebilmek üzere 20°C oda (konfor) şartlarında ve farklı ortam koşullarında (0, 10, 40, 60 ve 80 °C sıcaklıklarda) Charpy çentik darbe deneyi uygulanmıştır. Elde edilen deneysel veriler, mavi renkli naturel (saf) YYPE malzemenin, 20°C oda (konfor) şartlarındaki deneysel verisi baz (referans) değer alınarak, farklı mikro tane boyuna, farklı yüzde hacim (veya ağırlık) oranına, farklı mineral dolgu türüne ve farklı ortam sıcaklıklarına göre Charpy çentik darbe mukavemetinde meydana gelen değişimler, naturel (saf) malzemeninin 20°C sıcaklığındaki baz değerine göre yüzde olarak grafikleştirilmiştir. Charpy çentik darbe numunelerinin deney sonrası sonrası resimleri EK B-1, EK B-2, EK B-3 ve EK B-4'de charpy çentik darbe deneyi

uygulanmış deney numunelerinin kırılma yüzey resimleri ise EK B-5 ve EK B-6'da verilmiştir.

4.5.1 Mikronize toz kalsiyum karbonatın etkisi

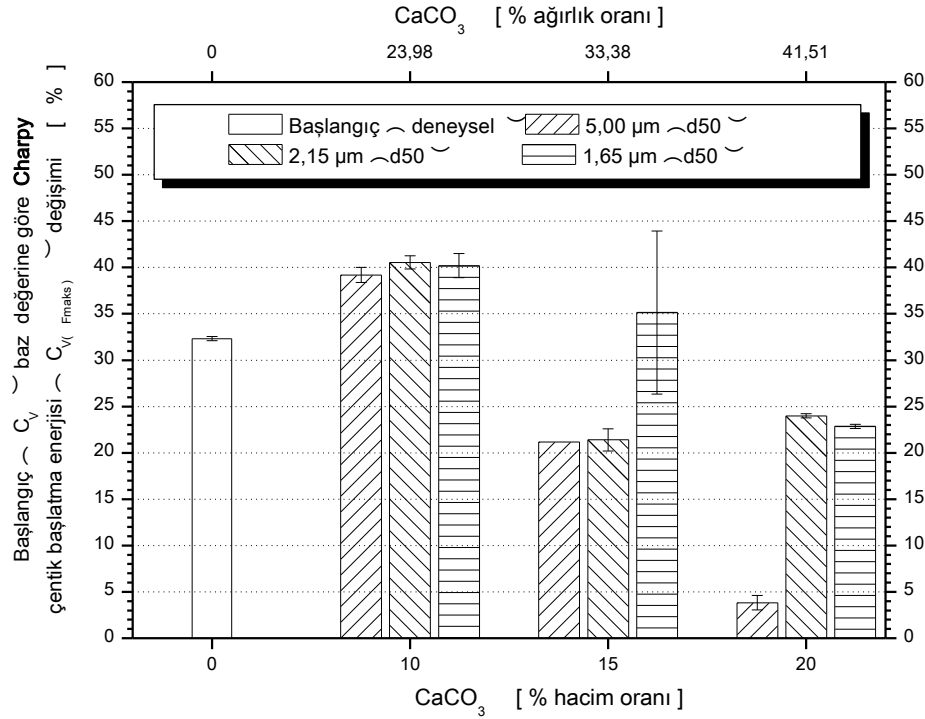
Enjeksiyon yöntemi ile üretilen malzemeden hazırlanan ve 5 µm tane boyutuna sahip partikül içeren numunelere ait toplam çatlak enerjisinin, çatlak başlatma enerjisinin ve çatlak ilerletme enerjisinin değişimini gösteren grafik Şekil 4.42' dir.

İlgili grafikteki veriler saf YYPE referans alınarak değerlendirildiğinde %15 dolgu miktarına kadar toplam çatlak enerjisinde bir artış görülürken %20 dolgulu numunede toplam çatlak enerjisi aniden saf YYPE nin de altına düşmektedir. Çatlak başlatma enerjisi ise dolgu miktarı arttıkça azalırken çatlak ilerletme enerjisi aynı toplam enerji gibi bir dalgalanma göstermektedir.



Şekil 4.42: CaCO₃ dolgulu YYPE boru malzemesi Charpy çentik darbe dayanımının dolgu miktarına bağlı değişimi

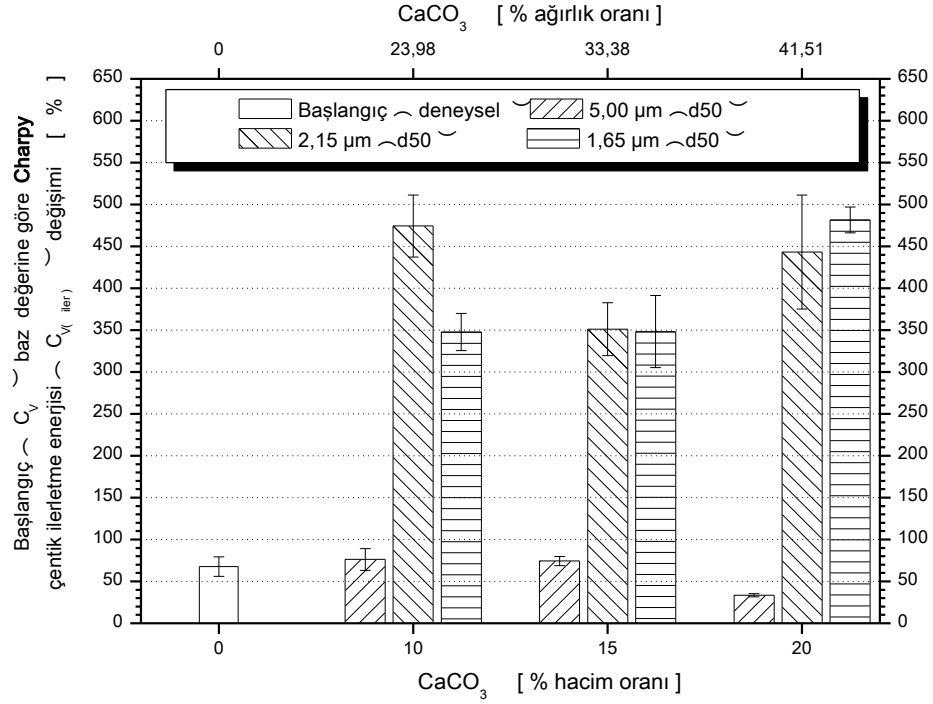
Şekil 4.43’de, 2,15 µm tane boyutuna sahip partikül içeren numunelere ait toplam çatlak enerjisinin, çatlak başlatma enerjisinin ve çatlak ilerletme enerjisinin değişimini çizilmiştir.



Şekil 4.43: CaCO₃ dolgulı YYPE boru malzemesi Charpy çentik başlatma enerjisinin dolgu miktarına bağlı değişimi

Bahsedilen grafikteki veriler incelendiğinde toplam çatlak enerjisi %400’lerin üzerinde bir artış göstermektedir. Çatlak başlatma enerjisi ise saf YYPE göre dolgu miktarı arttıkça az da olsa bir düşüşü işaret etmektedir. Çatlak ilerletme enerjisi ise aynı toplam enerji gibi dalgalanmaktadır.

Şekil 4.44’de ise 1,65 µm ortalama tane çapına sahip numunelere ait charpy verileri bulunmaktadır. 1,65 µm ortalama tane çapına sahip numunelerde diğer boyutlarda partikül içeren numunelerden farklı olarak toplam çatlak enerjisinde, çatlak başlatma enerjisinde ve çatlak ilerletme enerjisinde dolgu miktarı arttıkça artan bir çizgi gözlemlenmektedir.



Şekil 4.44: CaCO₃ dolgulu YYPE boru malzemesi Charpy çentik ilerletme enerjisinin dolgu miktarına bağlı değişimi

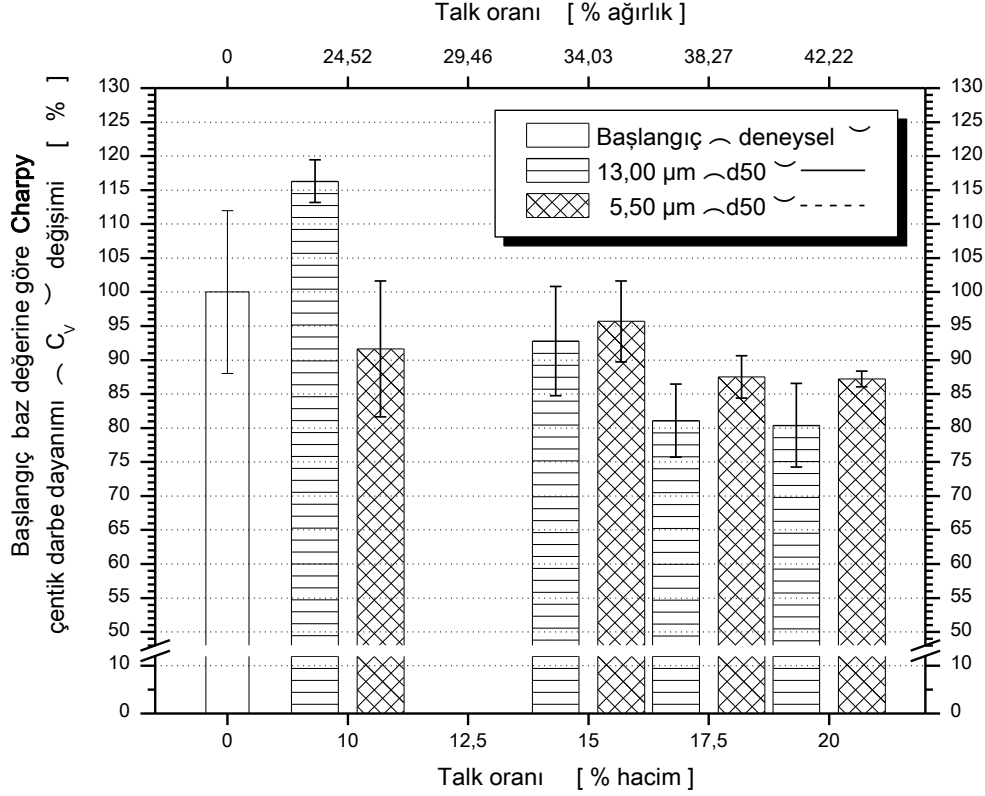
Bu üç grafik ortak olarak incelendiğinde ise % 10 dolgu içeren numunelerde 2,15 µm ortalama tane çapına sahip numuneler en iyi çatlak enerjisine sahipken dolgulandırma arttıkça 1,65 µm ortalama tane çapına sahip mineralleri içeren numunelerin daha iyi bir çatlak enerjisi, çatlak başlatma ve ilerletme enerjisi sunduğu tespit edilmiştir.

4.5.2 Mikronize pudra talkın etkisi

Enjeksiyon yöntemi ile üretilen malzemedan hazırlanan ve 13 µm tane boyutuna sahip mikronize pudra talk minerali içeren numunelere ait toplam çatlak enerjisinin, çatlak başlatma enerjisi(CvFmax)nin ve çatlak ilerletme enerjisinin değişimini Şekil 4.45’de gösterilmektedir.

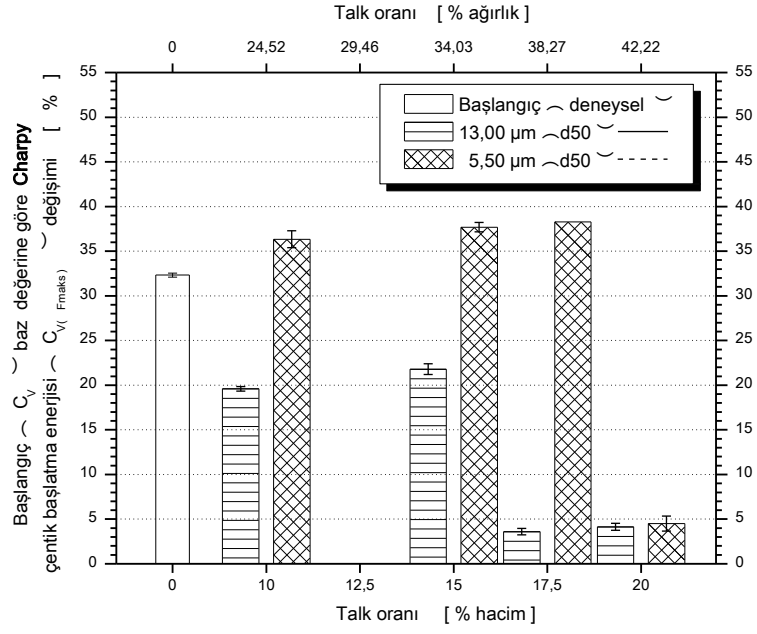
İlgili grafikte toplam çatlak enerjisinin hacimce % 10 dolgu içeren numunelerde saf YYPE ye göre artış gösterirken dolgu miktarı arttıkça toplam çatlak enerjisinde bir azalma görülmektedir. Çatlak başlatma enerjisinde ise dolgulandırma miktarının

artması (Cv_{Fmax})' in azalmasına neden olmaktadır. Çatlak ilerletme enerjisi ise aynı toplam enerjideki gibi bir dalgalanma göstermektedir.

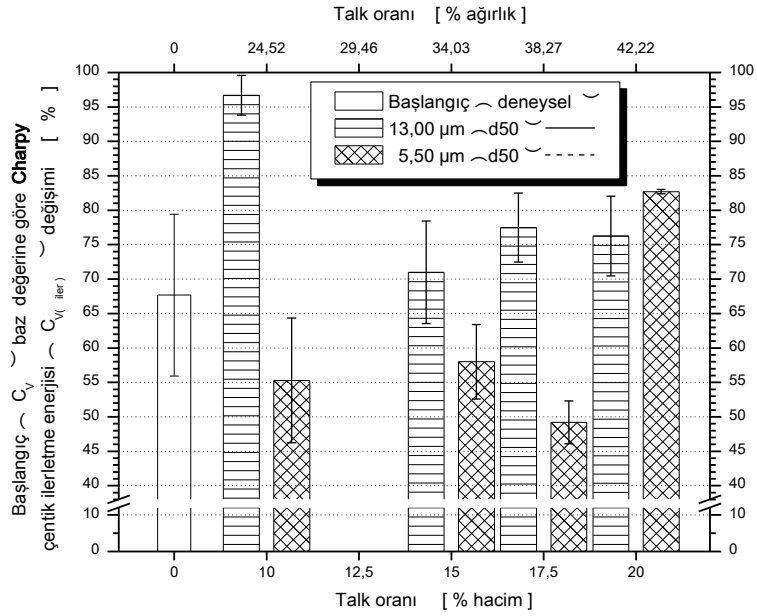


Şekil 4.45: Talk dolgulu YYPE boru malzemesi Charpy çentik darbe dayanımının dolgu miktarına bağlı değişimi

Şekil 4.46 a ve b'de 5,5 µm ortalama tane boyuna sahip mikronize mineral içeren numunelere ait charpy enerjilerinin değişimleri gösterilmektedir. Dolgulandırma miktarının artması toplam çatlak enerjisini istikrarlı bir şekilde azaltırken % 15 dolgu içeren numuneler bu düzeni bozmaktadır. Çatlak başlatma enerjisi de aynı toplam enerjideki gibi bir dalgalanma göstermektedir. Çatlak ilerletme enerjisi ise farklı olarak en düşük çatlak başlatma enerjisine sahip olan % 20 lik dolgu içeren numunede en yüksektir.



a) başlatma enerjisi değişimi



b) iletme enerjisi değişimi

Şekil 4.46: Talk dolgulı YYPE boru malzemesi Charpy çentik (a) başlatma ve (b) iletme enerjilerinin dolgu miktarına bağlı değişimleri

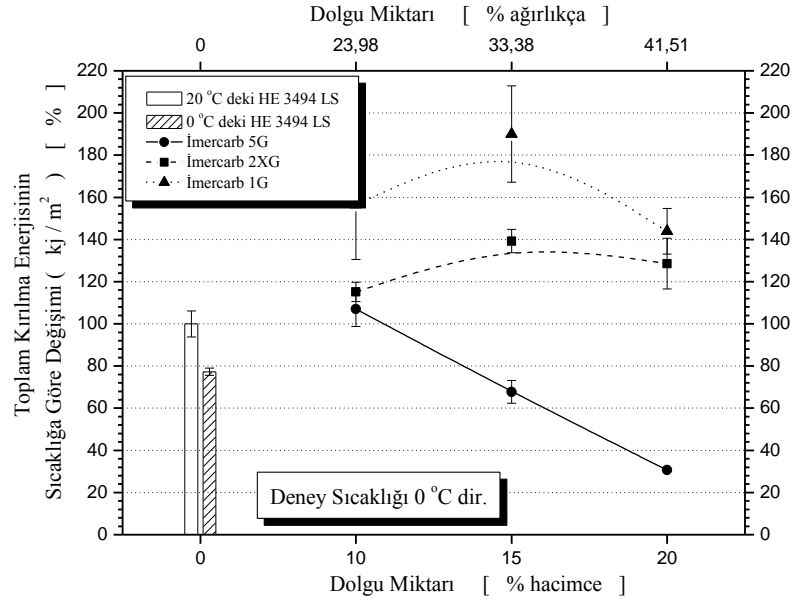
Tane boyunun charpy üzerindeki etkisine bakıldığında ise % 10 dolgulu numunelerde 13 µm ortalama tane boyuna sahip malzeme 5,5 µm tane boyuna sahip malzemedenden daha fazla toplam çatlak enerjisine sahiptir. Fakat katkılandırma arttıkça 5,5 µm lik tane boyutuna sahip numunelerin daha iyi bir charpy çatlak enerjisi sunduğu gözlemlenmiştir. Çatlak başlatma ve ilerletme enerjilerinde ise 5,5 µm tane boyutuna sahip numunelerin daha iyi olduğu Şekil 4.45 ve Şekil 4.46'da ortak olarak incelendiğinde görülmektedir.

4.5.3 Ortam koşullarının etkisi

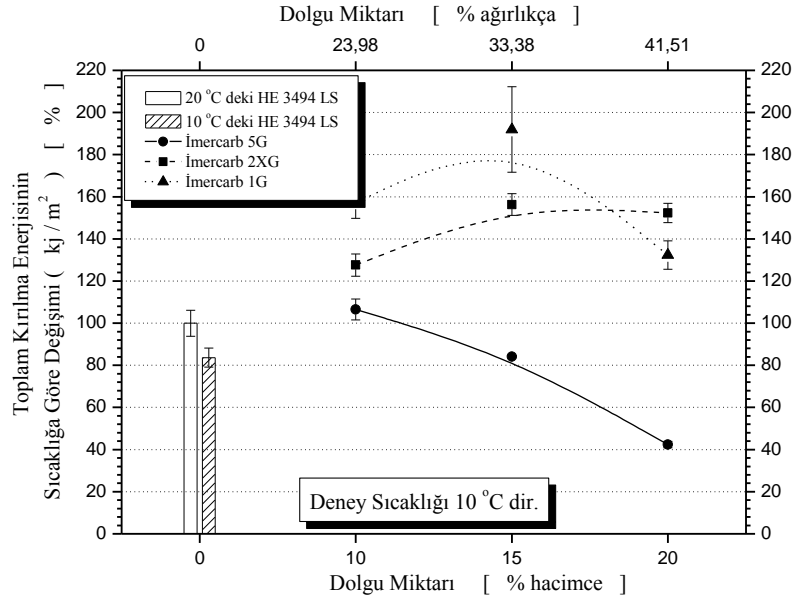
Mikronize toz halinde üç farklı (1,65µm,2,15µm ve 5 µm) ortalama tane çapında kalsiyum karbonat dolgulu YYPE nin farklı sıcaklıklardaki (0°C, 10 °C, 20 °C, 40 °C, 60 °C ve 80 °C'deki) toplam çatlak enerjisi değişimi Şekiller 4.47-52'de verilmiştir.

İlgili grafiklere bakıldığında 5 µm ortalama partikül boyutuna sahip malzemede her sıcaklıkta (0°C, 10 °C, 20 °C, 40 °C, 60 °C ve 80 °C) toplam çatlak enerjisi, dolgu miktarı arttıkça azalmaktadır. Diğer ortalama partikül büyüklüklerinde (1,65 µm ve 2,15 µm) sahip numunelerde 40 °C kadar olan ortam şartlarındaki deneylerde toplam çatlak enerjisi %15 dolgulandırmaya kadar artarken % 20 dolgulandırmada ise azalışa geçmektedir.

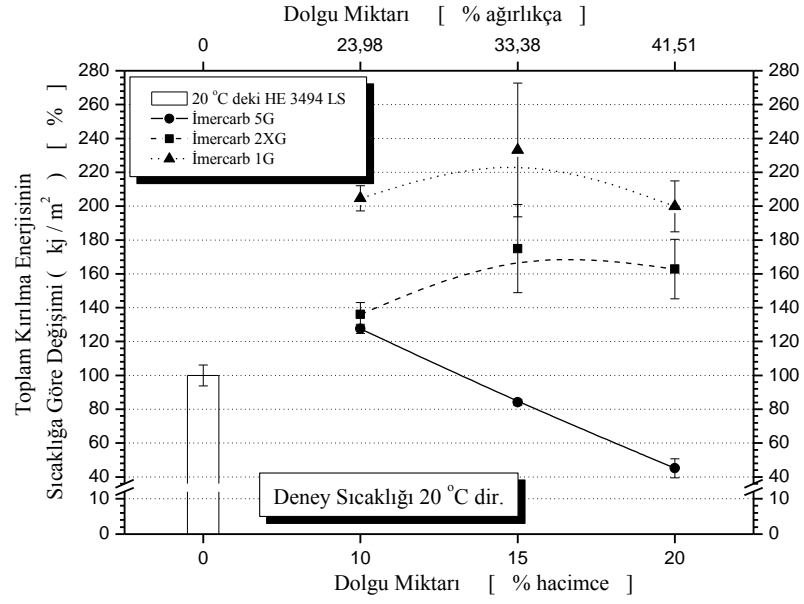
60 °C ve 80 °C' deki charpy çentik darbe deneylerinde ise ilk dolgulandırma (% 10) toplam çatlak enerjisinde büyük miktarda bir artış meydana getirirken daha sonraki dolgulandırma (%15 ve % 20) miktarlarında toplam çatlak enerjisi düşmektedir.



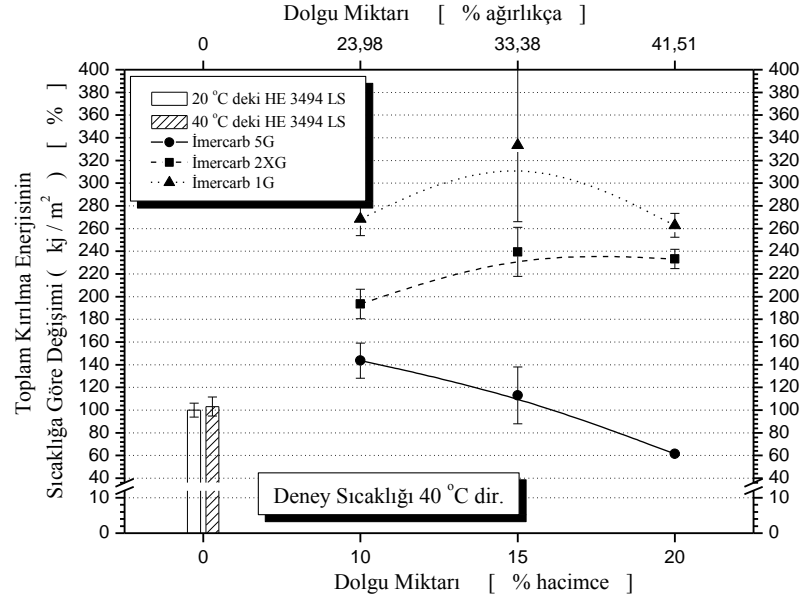
Şekil 4.47: Kalsiyum karbonatın dolgu miktarının ve tane boyunun 0°C deki charpy çentik darbe özelliklerine etkisinin saf YYPE göre kıyaslanması



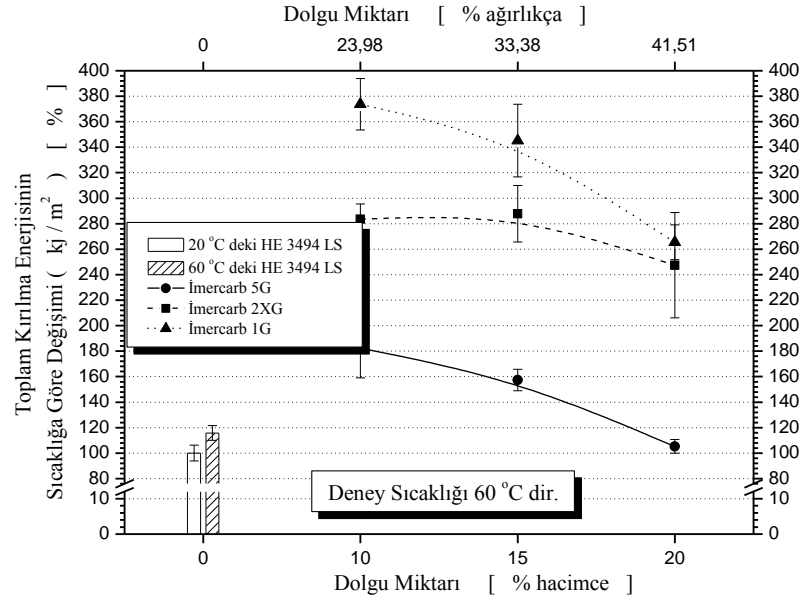
Şekil 4.48: Kalsiyum karbonatın dolgu miktarının ve tane boyunun 10°C deki charpy çentik darbe özelliklerine etkisinin saf YYPE göre kıyaslanması



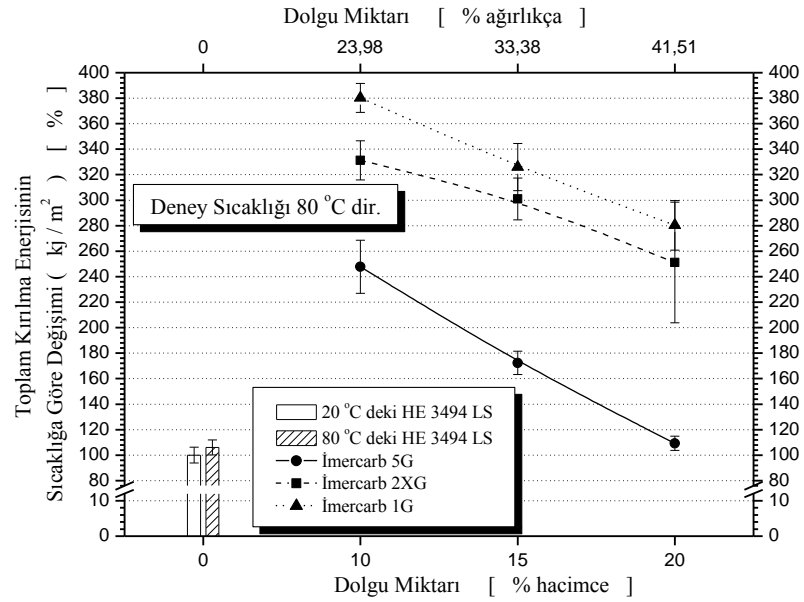
Şekil 4.49: Kalsiyum karbonatın dolgu miktarının ve tane boyunun 20°C'deki charpy çentik darbe özelliklerine etkisinin saf YYPE göre kıyaslanması



Şekil 4.50: Kalsiyum karbonatın dolgu miktarının ve tane boyunun 40°C'deki charpy çentik darbe özelliklerine etkisinin saf YYPE göre kıyaslanması



Şekil 4.51: Kalsiyum karbonatın dolgu miktarının ve tane boyunun 60°C deki charpy çentik darbe özelliklerine etkisinin saf YYPE göre kıyaslanması

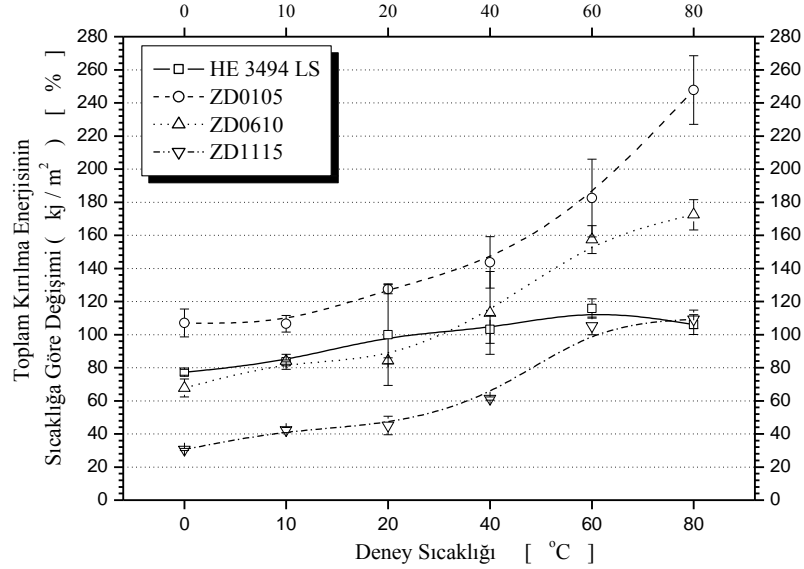


Şekil 4.52: Kalsiyum karbonatın dolgu miktarının ve tane boyunun 80°C deki charpy çentik darbe özelliklerine etkisinin saf YYPE göre kıyaslanması

Farklı ortam sıcaklıklarında (0°C, 10 °C, 20 °C, 40 °C, 60 °C ve 80 °C) yapılan charpy çentik darbe deneyleri her partikül boyutu dikkate alınarak incelendiğinde ise

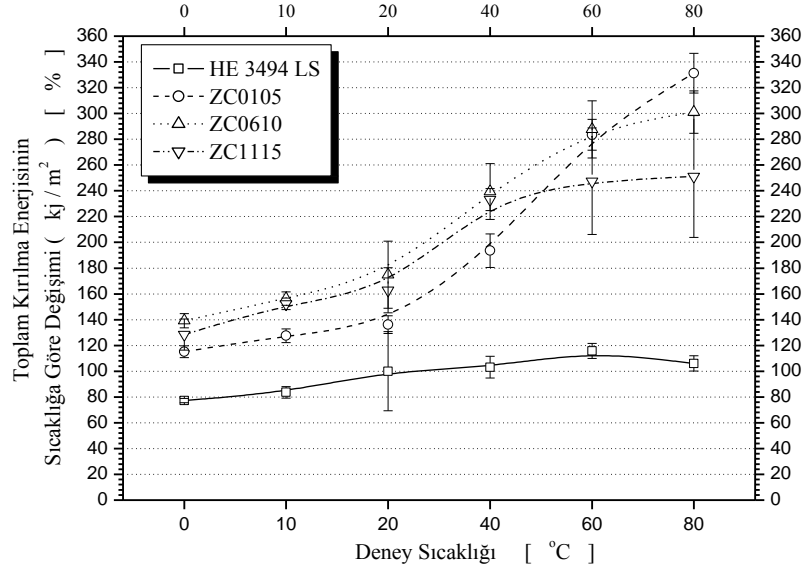
aşağıdaki grafikler ayrı ayrı elde edilebilir.

5 µm ortalama partikül boyutundaki mineraller ile dolgulandırılan malzemelerde farklı sıcaklıklardaki dolgu oranına bağlı olarak toplam çatlak enerjisindeki değişim Şekil 4.53’de verilmiştir. İlgili grafikte %10 (ZD0105), %15 (ZD0610) ve %20 (ZD1115) dolgu içeren YYPE numunelerde 0°C’ den 80°C’ e kadar toplam çatlak enerjisi yükselmektedir. Saf YYPE’de ise 0°C’ den 60°C’ye kadar toplam çatlak enerjisi yükselmekte fakat 80°C’de çentik darbe deneyinde kullanılan çekicinin enerjisinin yetmememesi sonucu bir düşüş gözlemlenmiştir.



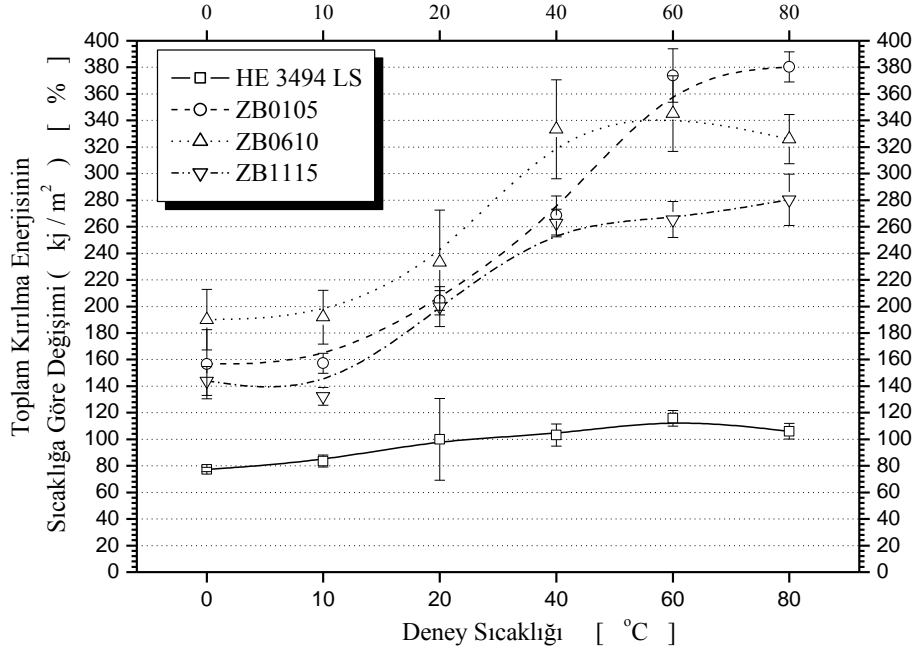
Şekil 4.53: İmercarb 5G kalsiyum karbonat mineralinin dolgu miktarının charpy çentik darbe özelliklerine sıcaklığın etkisinin saf YYPE göre kıyaslanması

Farklı ortam sıcaklıklarında yapılan ve 2,15 µm ortalama partikül boyuna sahip mineraller içeren malzemelerdeki toplam çatlak enerjisindeki değişimler Şekil 4.54’de çizilmiştir. İlgili grafikte %10 (ZC0105), %15 (ZC0610) ve %20 (ZC1115) dolgulandırma miktarlarında toplam çatlak enerjisinin sıcaklık arttıkça arttığı tespit edilmiş ve en iyi toplam çatlak enerjisine sahip numunelerin %15 dolgu içeren malzeme olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.54: Imercarb 2XG kalsiyum karbonat mineralinin dolgu miktarının charpy çentik darbe özelliklerine sıcaklığın etkisinin saf YYPE göre kıyaslanması

1,65 µm ortalama partikül büyüklüğüne sahip numunelerdeki değişimler ise Şekil 4.55'de gösterilmektedir.

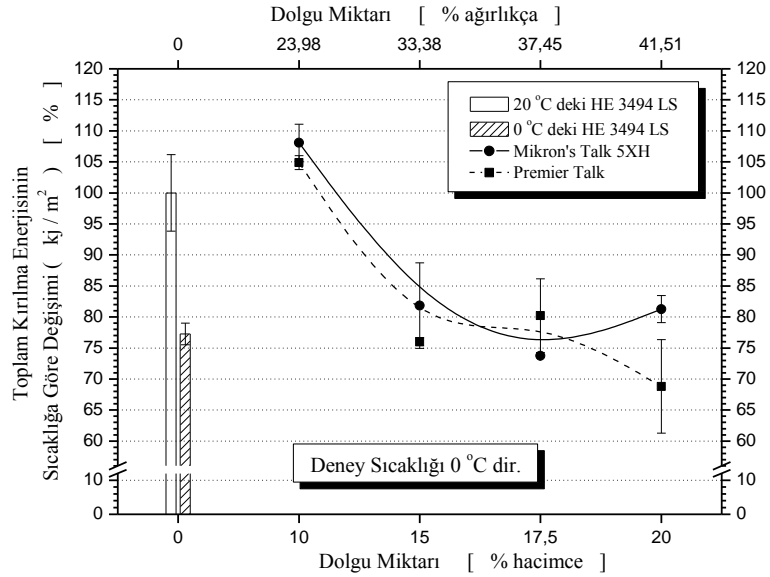


Şekil 4.55: Imercarb 1G kalsiyum karbonat mineralinin dolgu miktarının charpy çentik darbe özelliklerine sıcaklığın etkisinin saf YYPE göre kıyaslanması

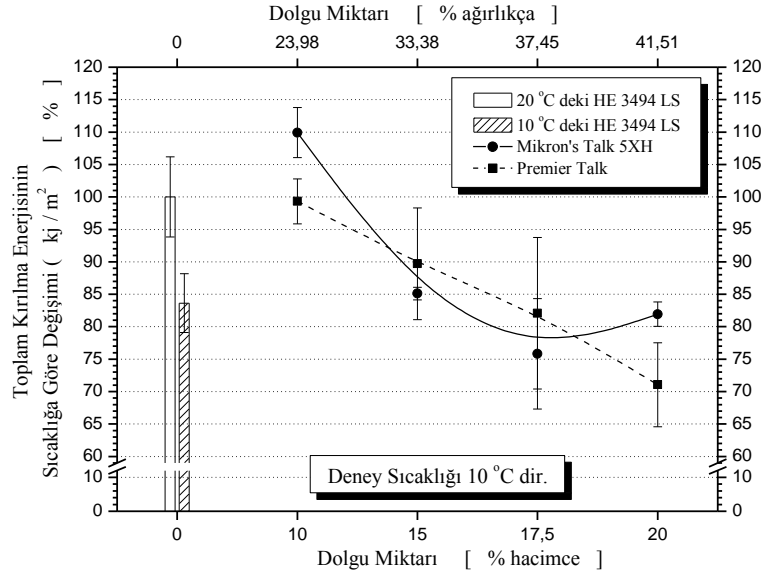
İlgili grafikte %10 (ZB0105), %15 (ZB0610) ve %20 (ZB1115) dolgulandırma içeren numunelerde daha önceki tane boyutlarında olduğu gibi toplam çatlak enerjisi sıcaklık arttıkça yükselmektedir. Bu partikül boyutunda da %15 dolgulandırma yapılmış numunelerde toplam çatlak enerjisi değerleri diğerlerinden daha yüksektir.

Mikronize pudra halinde iki farklı (5,5 μm ve 13 μm) ortalama tane çapında talk minerali dolgulu YYPE nin farklı sıcaklıklardaki (0°C, 10 °C, 20 °C, 40 °C, 60 °C ve 80 °C'deki) toplam çatlak enerjisi değişimi Şekiller 4.56-61'de verilmiştir.

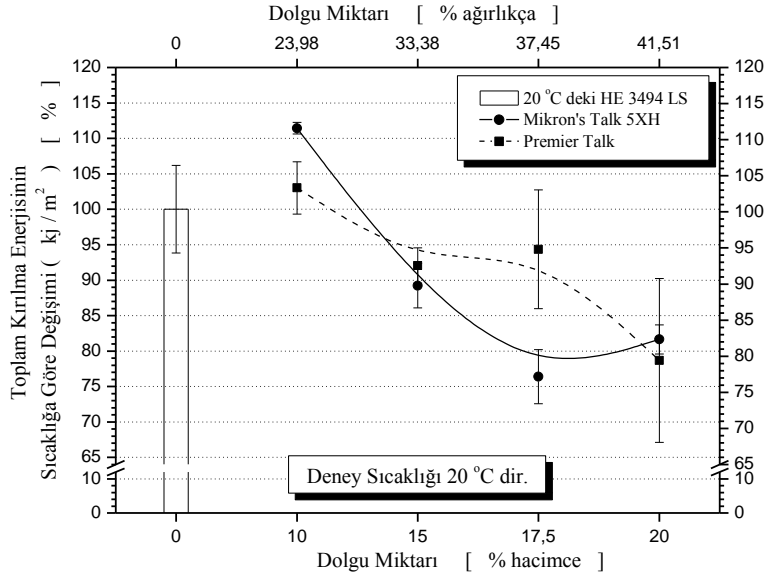
İlgili grafiklerde 5,5 μm boyutundaki talk minerali içeren numuler de tüm sıcaklıklarda dolgulandırma miktarı arttıkça toplam çatlak enerjisi azalmaktadır. Fakat 13 μm tane boyutundaki talk minerali ile dolgulandırılmış deney parçalarında ise tüm sıcaklıklarda toplam çatlak enerjisi % 15 dolgulandırmaya kadar dolgu miktarı arttıkça azalırken % 20 dolgulandırmada birden artmaktadır.



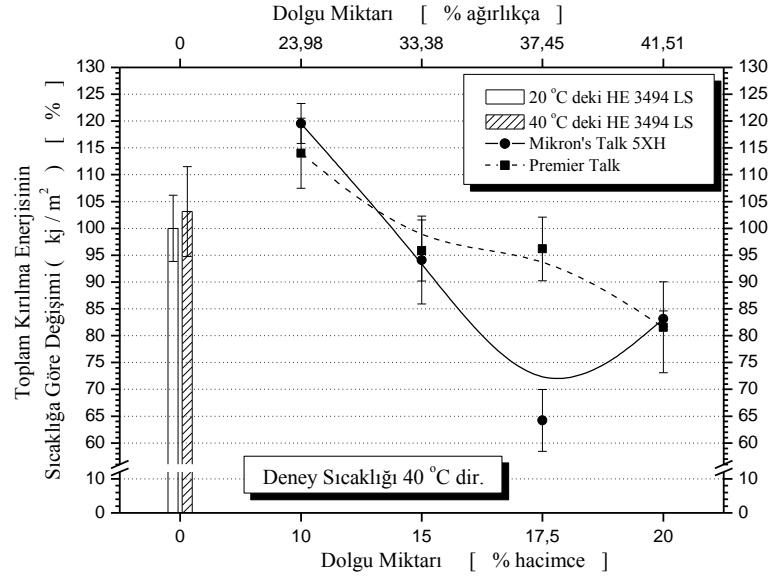
Şekil 4.56: Talkın dolgu miktarının ve tane boyunun 0°C'deki charpy çentik darbe özelliklerine etkisinin saf YYPE'ye göre kıyaslanması



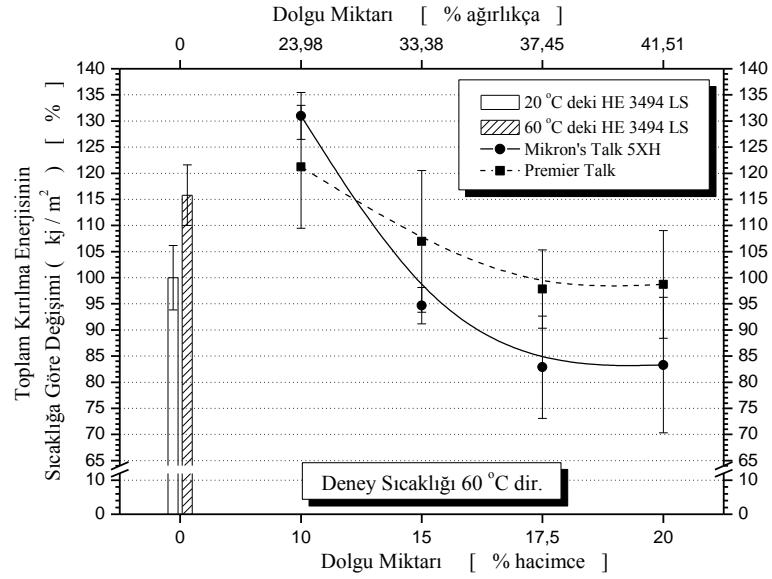
Şekil 4.57: Talkın dolgu miktarının ve tane boyunun 10°C deki charpy çentik darbe özelliklerine etkisinin saf YYPE göre kıyaslanması



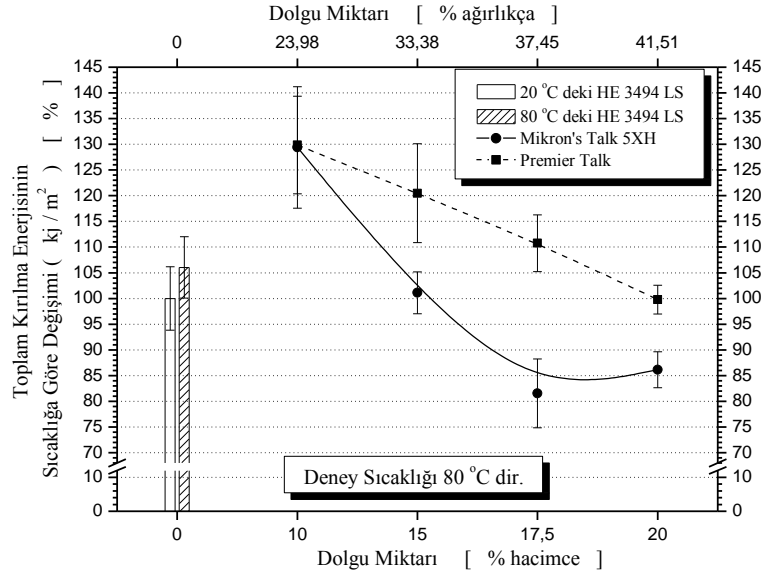
Şekil 4.58: Talkın dolgu miktarının ve tane boyunun 20°C deki charpy çentik darbe özelliklerine etkisinin saf YYPE göre kıyaslanması



Şekil 4.59: Talkın dolgu miktarının ve tane boyunun 40 °C deki charpy çentik darbe özelliklerine etkisinin saf YYPE göre kıyaslanması



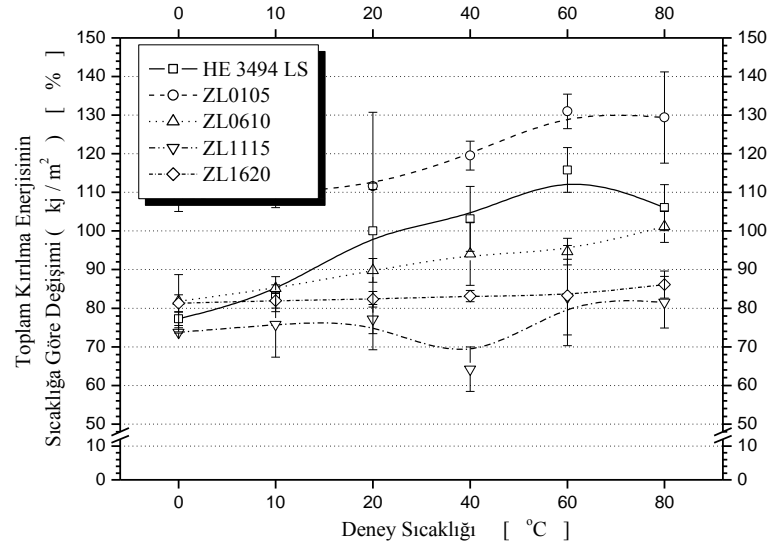
Şekil 4.60: Talkın dolgu miktarının ve tane boyunun 60 °C deki charpy çentik darbe özelliklerine etkisinin saf YYPE göre kıyaslanması



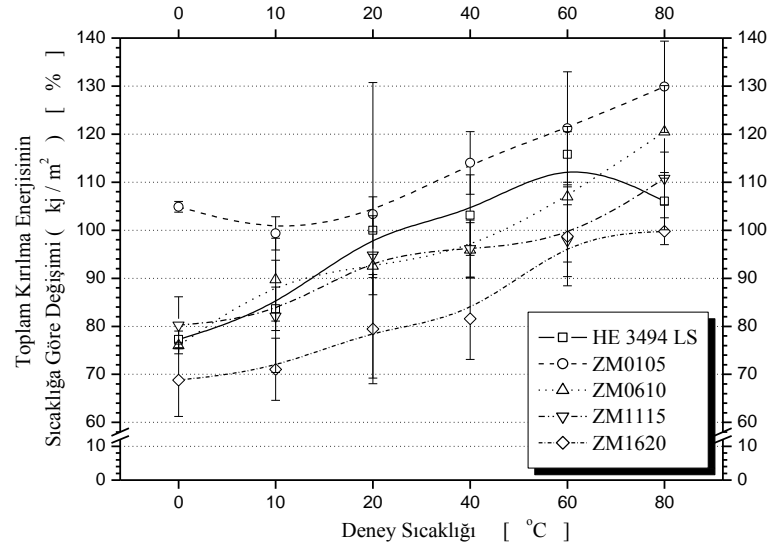
Şekil 4.61: Talkın dolgu miktarının ve tane boyunun 80 °C deki charpy çentik darbe özelliklerine etkisinin saf YYPE göre kıyaslanması

13 µm tane boyutuna sahip talk içeren numunelerin farklı dolgulandırma miktarlarının %10 (ZL0105), %15 (ZL0610), %17,5 (ZL1115) ve %20 (ZL1620) farklı sıcaklıklardaki toplam çatlak enerjisi üzerindeki etkisi Şekil 4.62'de gösterilmiştir. Dolgu miktarının artması malzemenin toplam çatlak enerjisini düşürürken; sıcaklığın yükselmesi ise toplam çatlak enerjisinin yükselmesine sebep olmaktadır.

5,5 µm tane boyutuna sahip talk içeren numunelerin farklı dolgulandırma miktarlarının %10 (ZM0105), %15 (ZM0610), %17,5 (ZM1115) ve %20 (ZM1620) farklı sıcaklıklardaki toplam çatlak enerjisi üzerindeki etkisi Şekil 4.63'de gösterilmiştir. Dolgu miktarının artması malzemenin toplam çatlak enerjisini düşürürken; sıcaklığın yükselmesi ise toplam çatlak enerjisinin yükselmesine sebep olmaktadır.



Şekil 4.62: Talk 5XH mineralinin dolgu miktarının charpy çentik darbe özelliklerine sıcaklığın etkisinin saf YYPE göre kıyaslanması



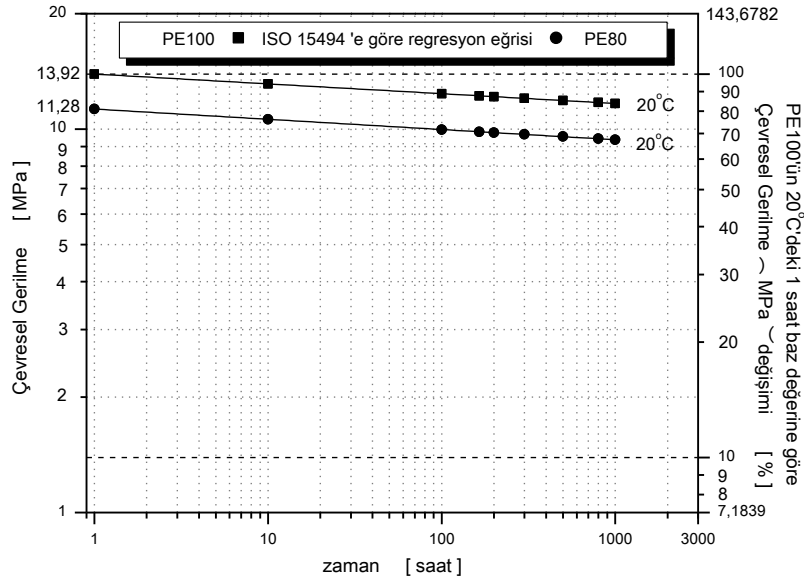
Şekil 4.63: Premier Talk mineralinin dolgu miktarının charpy çentik darbe özelliklerine sıcaklığın etkisinin saf YYPE göre kıyaslanması

4.6 Hidrostatik İç Basınç Deneyi

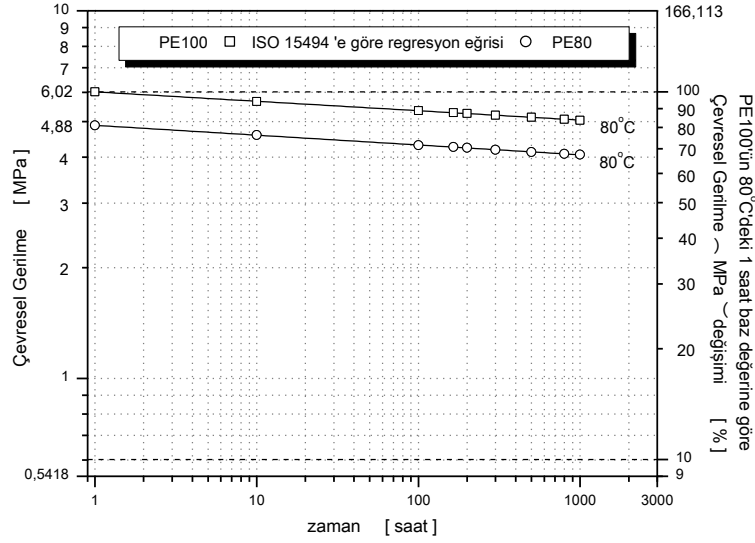
Öncelikle borulara, farklı ortam sıcaklıklarında, farklı değerlerde hidrostatik iç basınç uygulanarak, borularda oluşan çevresel gerilmenin zamana bağlı değişimleri elde

edilebilmiştir. Elde edilebilen değişimlerin olumlu ve olumsuz ve/veya kabul edilebilir olarak değerlendirilmesi, ISO 15494 nolu standartta, farklı ortam sıcaklıklarında ve boru et kalınlığından bağımsız PE100 sınıfı basınçlı borunun zamana bağlı minimum çevresel gerilme değerleri ile oluşturulmuş olan çevresel gerilme-sıcaklık-zaman (regresyon) eğrileri ile karşılaştırılarak yapılmaya çalışılmıştır. Bu amaçla, ilgili standartta farklı sıcaklıklar için 20°C ve 80°C ortam sıcaklıklarındaki PE100 sınıfı borunun 1 saat baz (referans) değeri dikkate alınmış ve borularda oluşan çevresel gerilmenin zamana bağlı değişimleri yüzde olarak bu 1 saat baz değerine göre karşılaştırmalı şekilde grafikleştirilmeye çalışılmıştır.

Şekil 4.64'de ilgili standartta PE100 ve PE80 sınıfı boruların, 20°C sıcaklıktaki regresyon eğrisi ve PE100 sınıfı borunun minimum çevresel gerilmesinin 1 saatteki baz (referans) değerine göre zamana bağlı çevresel gerilmenin yüzde değişimi birlikte, Şekil 4.65'de ise 80°C sıcaklıktaki regresyon eğrisi ve PE100 sınıfı borunun minimum çevresel gerilmesinin 1 saatteki baz (referans) değerine göre zamana bağlı çevresel gerilmenin yüzde değişimi beraber gösterilmiştir.

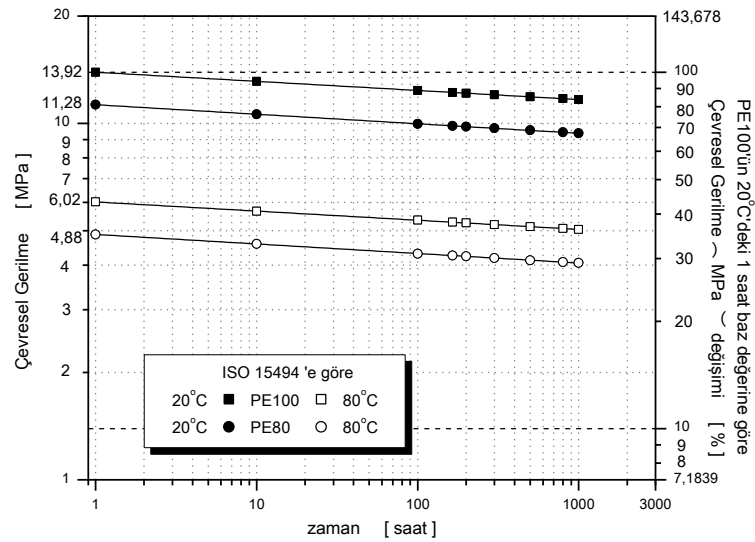


Şekil 4.64: ISO 15494 standardına göre PE100 ve PE80 sınıfı yüksek yoğunluklu polietilen basınçlı boruların 20°C test sıcaklığındaki çevresel gerilme-zaman eğrisi



Şekil 4.65: ISO 15494 standardına göre PE100 ve PE80 sınıfı yüksek yoğunluklu polietilen basınçlı boruların 80°C test sıcaklığındaki çevresel gerilme-zaman eğrisi

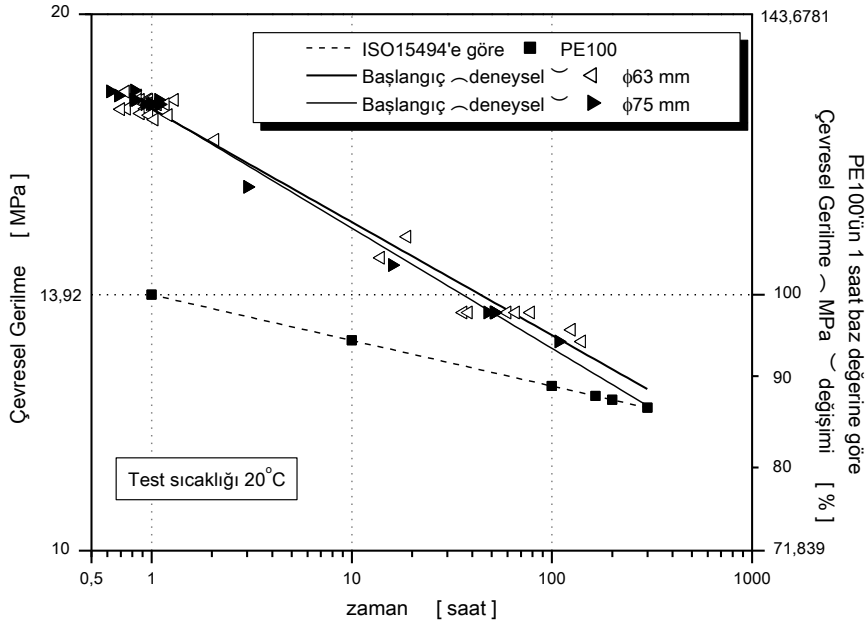
Ayrıca yukarıdaki şekiller, şekil 4.66'da, PE100 sınıfı basınçlı borunun, çevresel gerilmesinin zamana bağlı değişiminin farklı sıcaklıklarda karşılaştırılabilmesi için, 20°C sıcaklıktaki PE100 sınıfı borunun minimum çevresel gerilmesinin 1 saatteki baz (referans) değerine göre farklı sıcaklıklarda, zamana bağlı çevresel gerilmenin yüzde değişimi olarak bir araya getirilmiştir.



Şekil 4.66: ISO 15494 standardına göre PE100 ve PE80 sınıfı yüksek yoğunluklu polietilen basınçlı boruların farklı test sıcaklıklarında zamana bağlı çevresel gerilmenin yüzde değişimi

Bölüm 3.3.1.'de, fiziksel ve mekanik özelliklerine ait üretici verileri tablo 3.1.'de verilen granül haldeki mavi renkli naturel (saf) YYPE boru hammaddesi (başlangıç), teknik özellikleri tablo 3.8.'de verilen tek vidalı boru ekstrüzyon makinesinde, tablo 3.9.'da işlenmiş ekstrüzyon sıcaklıklarında, SDR 11 sınıfı olarak üretilmiş olan 63 mm ve 75 mm dış çaplarındaki boruların kesit, dış ve iç yüzey makro resimleri EK C1, EK C-2, EK C-3 ve EK C-4'de verilmiştir.

63 mm ve 75 mm dış çaplarında ekstrüzyon edilmiş YYPE borulara (saf borulara), 20°C ortam sıcaklığında uygulanmış olan kısa süreli hidrostatik iç basınç testleri yardımıyla grafikleştirilmiş, borulara ait yaklaşık çevresel gerilme-zaman eğrileri şekil 4.67'de verilmiştir.

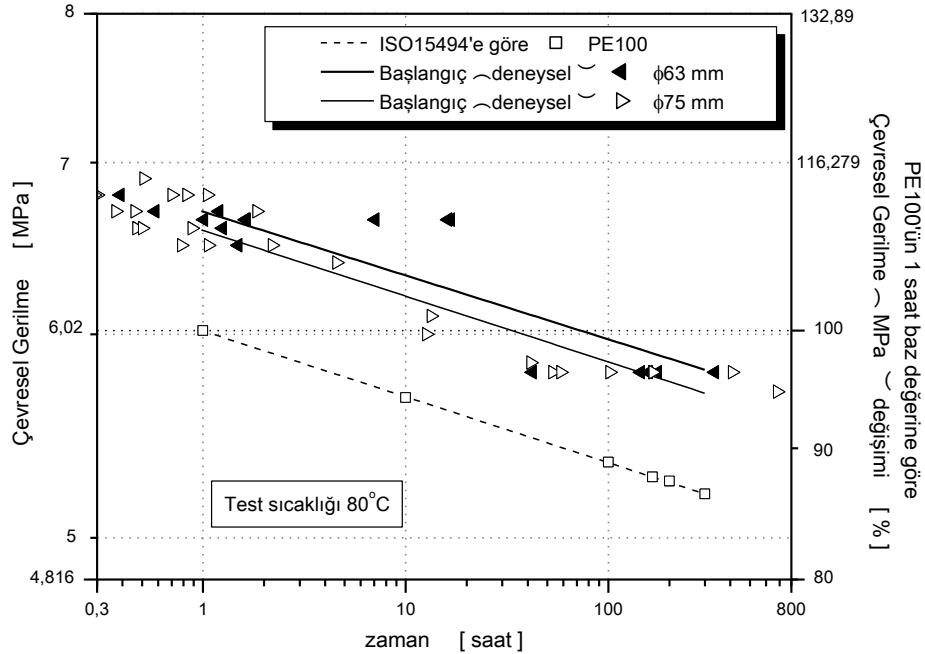


Şekil 4.67: 20°C test sıcaklığında, dış çapları 63 mm ve 75 mm olan yüksek yoğunluklu polietilen basınçlı boruların yaklaşık çevresel gerilme-zaman eğrileri

Şekil 4.67'den, 63 mm ve 75 mm dış çaplarındaki YYPEbasınçlı boruların zamana bağlı olarak çevresel gerilmelerinin azaldığı görülebilmektedir. Şekilden, hidrostatik iç basınç altında, saf borunun çevresel gerilmesinin, 1 saat süredeki değerinin, ISO 15494'teki PE100 için verilen 1 saat baz değerine göre, yaklaşık yüzde 30 daha

yüksek olduğu ve sürenin artmasıyla, çevresel gerilmesinde zamana bağlı meydana gelen azalmanın, ilgili standartta PE100 için önerilen azalmadan daha yüksek olduğu halde, 200 saat süredeki değerinin daha yüksek olduğu görülebilmektedir. Diğer taraftan, 75 mm dış çapındaki borunun çevresel gerilmesi, sürenin artmasıyla ve artan süreyle beraber, 63 mm dış çapındaki borunun çevresel gerilmesinden daha fazla azalmaktadır.

Şekil 4.68’de ise, 80°C ortam sıcaklığında uygulanmış olan kısa süreli hidrostatik iç basınç testleri yardımıyla grafikleştirilen borulara ait yaklaşık çevresel gerilme-zaman eğrileri görülebilmektedir.



Şekil 4.68: 80°C test sıcaklığında, dış çapları 63 mm ve 75 mm olan yüksek yoğunluklu polietilen basınçlı boruların yaklaşık çevresel gerilme-zaman eğrileri

Şekilden, hidrostatik iç basınç altında, saf borunun çevresel gerilmesinin, 1 saat süredeki değerinin, ISO 15494'teki PE100 için verilen 1 saat baz değerine göre, yaklaşık yüzde 15 daha yüksek olduğu ve sürenin artmasıyla, çevresel gerilmesinde zamana bağlı meydana gelen azalmanın, ilgili standartta PE100 için önerilen

azalmaya paralel olduğu, 200 saat süredeki değerinin aynı oranda daha yüksek olduğu görülebilmektedir. Diğer taraftan, 75 mm dış çaplı borunun çevresel gerilmesinin, sürenin artmasıyla ve artan süreyle beraber, 63 mm dış çaplı borunun çevresel gerilmesinden daha çok azalmakta olduğu dikkat çekmektedir.

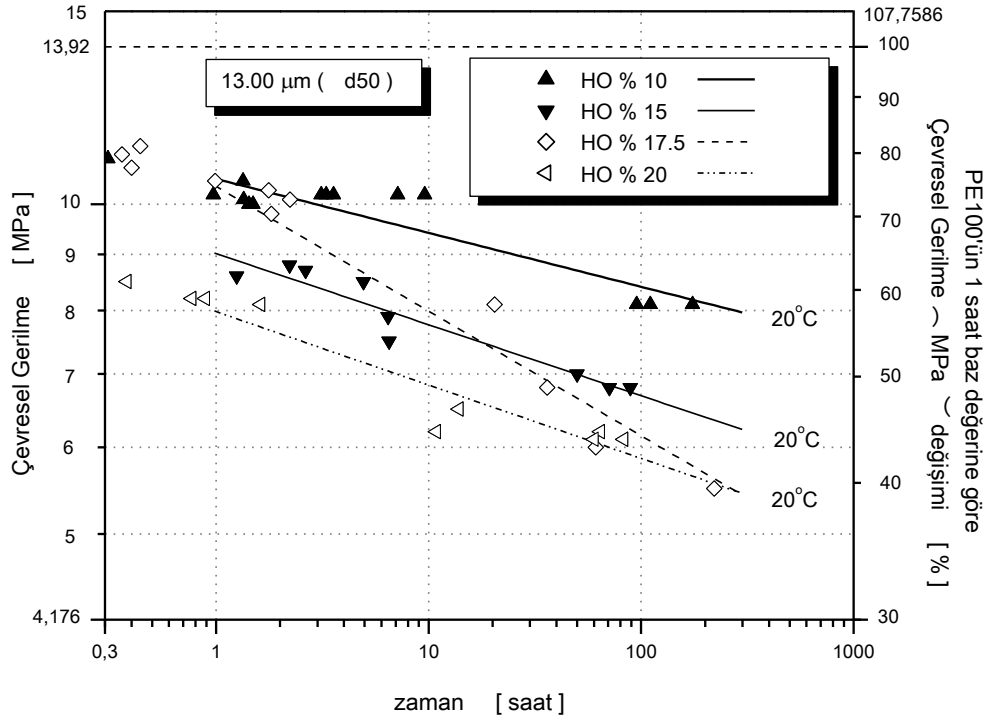
4.6.1 Mikronize pudra talkın etkisi

Bölüm 3.3.1.'de, fiziksel ve mekanik özelliklerine ait üretici verileri tablo 3.1.'de verilen granül haldeki mavi renkli naturel (saf) YYPE boru hammaddesi (başlangıç) ile 3.2.2. bölümünde belirtilen talk minerallerin, teknik özellikleri tablo 3.6'da verilen çift vidalı ekstrüzyon makinesinde harmanlanarak üretilmiş olan dolgulu granül boru hammaddelerinden, teknik özellikleri tablo 3.8.'de verilen tek vidalı boru ekstrüzyon makinesinde, tablo 3.10.'da işlenmiş ekstrüzyon sıcaklıklarında, SDR 11 sınıfı olarak üretilmesi gerçekleştirilebilmiş olan 75 mm dış çapındaki boruların kesit, dış ve iç yüzey makro resimleri EK C-1, EK C-3, ve EK C-4'de verilmiştir.

20°C ortam sıcaklığında ve kısa süreli hidrostatik iç basınç altında, ortalama tane boyu 13 µm olan ve hacimce en az yüzde 10 en fazla yüzde 20 mikronize pudra talk dolgulu YYPE basınçlı borunun çevresel gerilmesinin zamana bağlı değişimi Şekil 4.69' da biraraya toplanmış olarak verilmiştir.

Hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize pudra dolgulu YYPE basınçlı borunun çevresel gerilmesi zamana bağlı olarak azalma eğilimi gösterdiği şekil 4.83'te görülebilmektedir.

Şekilden, ilgili standardın saf YYPE basınçlı boru için öngördüğü minimum çevresel gerilme değerinde, ilave edilen ve artan dolgu miktarıyla azaldığı ve yaklaşık yüzde 25'lik en küçük azalmanın, hacimce yüzde 10 talk dolgu miktarında meydana gelebileceği tespit edilebilmektedir.



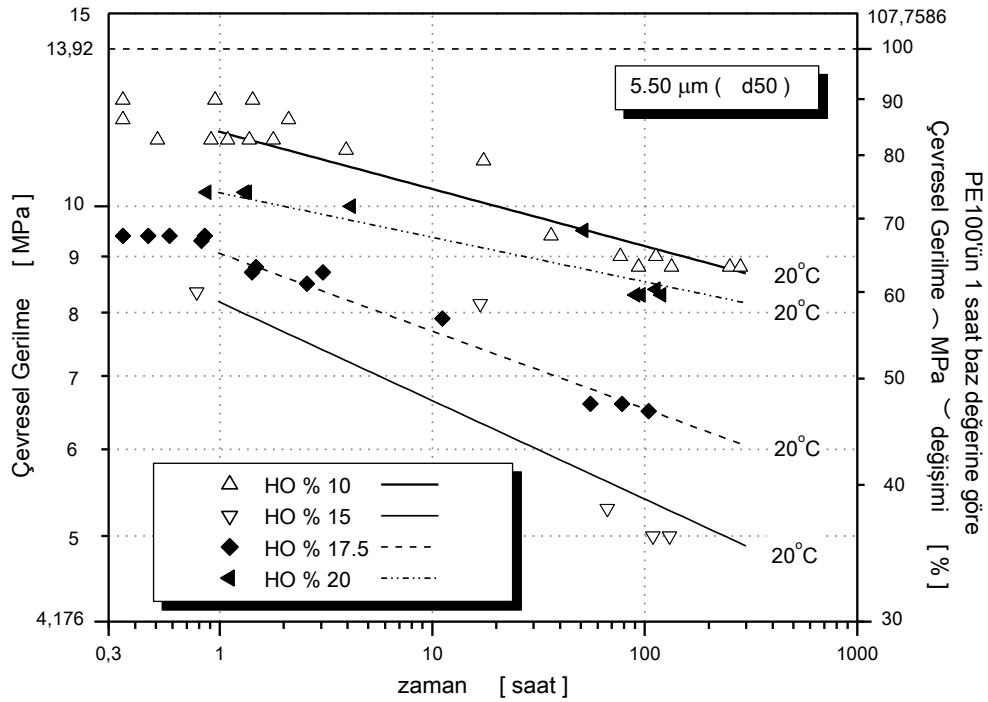
Şekil 4.69: 13 µm ortalama tane boyulu talk dolgulu 75 mm dış çaplı yüksek yoğunluklu polietilen borunun 20°C 'deki yaklaşık çevresel gerilme-zaman eğrileri

Şekilden ayrıca, dolgu miktarının hacimce yüzde 10 'dan yüzde 20'ye artmasıyla, talk dolgulu borunun çevresel gerilme değerinde meydana gelen azalmanın yüzde 23 daha yüksek olduğu ve ilgili standardın saf YYPE basınçlı boru için öngördüğü minimum çevresel gerilme değerinde yaklaşık yüzde 42'lik en büyük azalmanın, hacimce yüzde 20 talk dolgu miktarında meydana geldiği ve hidrostatik iç basınç uygulama süresinin artmasıyla (deney süresinin uzamasıyla) zamana bağlı çevresel gerilme değerinde meydana gelen azalmanın, dolgu miktarının artmasıyla daha da azalabileceği görülebilmektedir.

20°C ortam sıcaklığında ve kısa süreli hidrostatik iç basınç altında, ortalama tane boyu 5,5 µm olan ve hacimce en az yüzde 10 en fazla yüzde 20 mikronize pudra talk dolgulu YYPE basınçlı borunun çevresel gerilmesinin zamana bağlı değişimi Şekil 4.70' de biraraya toplanmış olarak verilmiştir.

Hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize pudra dolgulu YYPE basınçlı borunun çevresel gerilmesi zamana bağlı olarak azalma eğilimi gösterdiği şekil 4.70’de görülebilmektedir.

Şekilden, ilgili standardın saf YYPE basınçlı boru için öngördüğü minimum çevresel gerilme değerinde, ilave edilen ve artan dolgu miktarıyla azaldığı ve yaklaşık yüzde 17’lik en küçük azalmanın, hacimce yüzde 10 talk dolgu miktarında meydana gelebileceği tespit edilebilmektedir.

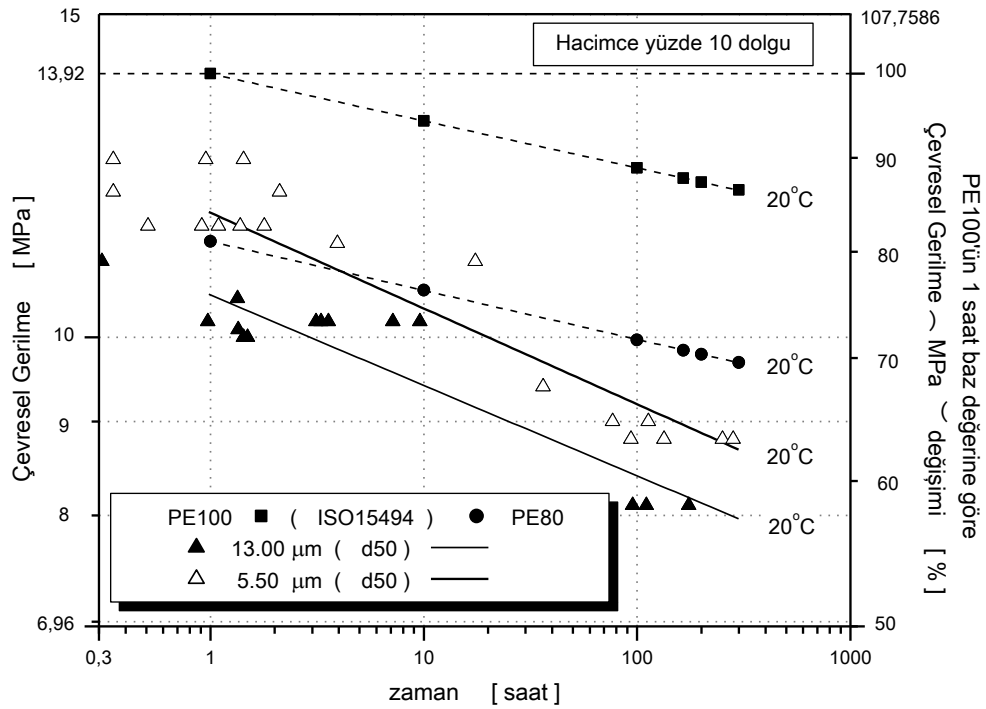


Şekil 4.70: 5,5 µm ortalama tane boyulu talk dolgulu 75 mm dış çaplı yüksek yoğunluklu polietilen borunun 20°C’deki yaklaşık çevresel gerilme-zaman eğrileri

Şekilden ayrıca, dolgu miktarının hacimce yüzde 10 ‘dan yüzde 20’ye artmasıyla, talk dolgulu borunun çevresel gerilme değerinde meydana gelen azalmanın yüzde 11 daha yüksek olduğu ve ilgili standardın saf YYPE basınçlı boru için öngördüğü minimum çevresel gerilme değerinde yaklaşık yüzde 26’lık en büyük azalmanın, hacimce yüzde 20 talk dolgu miktarında meydana geldiği ve hidrostatik iç basınç uygulama süresinin artmasıyla (deney süresinin uzamasıyla) zamana bağlı çevresel gerilme değerinde

meydana gelen azalmanın, dolgu miktarının artmasıyla daha da azalabileceği görülebilmektedir.

Şekil 4.71’ de 20°C ortam sıcaklığında ve kısa süreli hidrostatik iç basınç altında, hacimce en az yüzde 10 oranında mikronize pudra talk dolgulu YYPE basınçlı boruların zamana bağlı çevresel gerilmelerinin değişimi ortalama tane boyuna göre verilmiştir.



Şekil 4.71: Farklı tane boyu hacimce yüzde 10 talk dolgulu 75 mm dış çaplı yüksek yoğunluklu polietilen borunun 20°C’deki yaklaşık çevresel gerilme-zaman eğrileri

Hacimce en az yüzde 10 oranında mikronize pudra talk dolgulu YYPE boruların çevresel gerilme değeri, dolgunun ortalama tane boyunun büyümesiyle azaldığı görülebilmektedir.

Şekilden, ilgili standardın saf YYPE basınçlı boru için öngördüğü minimum çevresel gerilme değerinde, hacimce yüzde 10 talk dolgu miktarında, ortalama tane boyu küçük ile yüzde 17’lik ve büyük ile de yüzde 25’lik en küçük azalmaların meydana

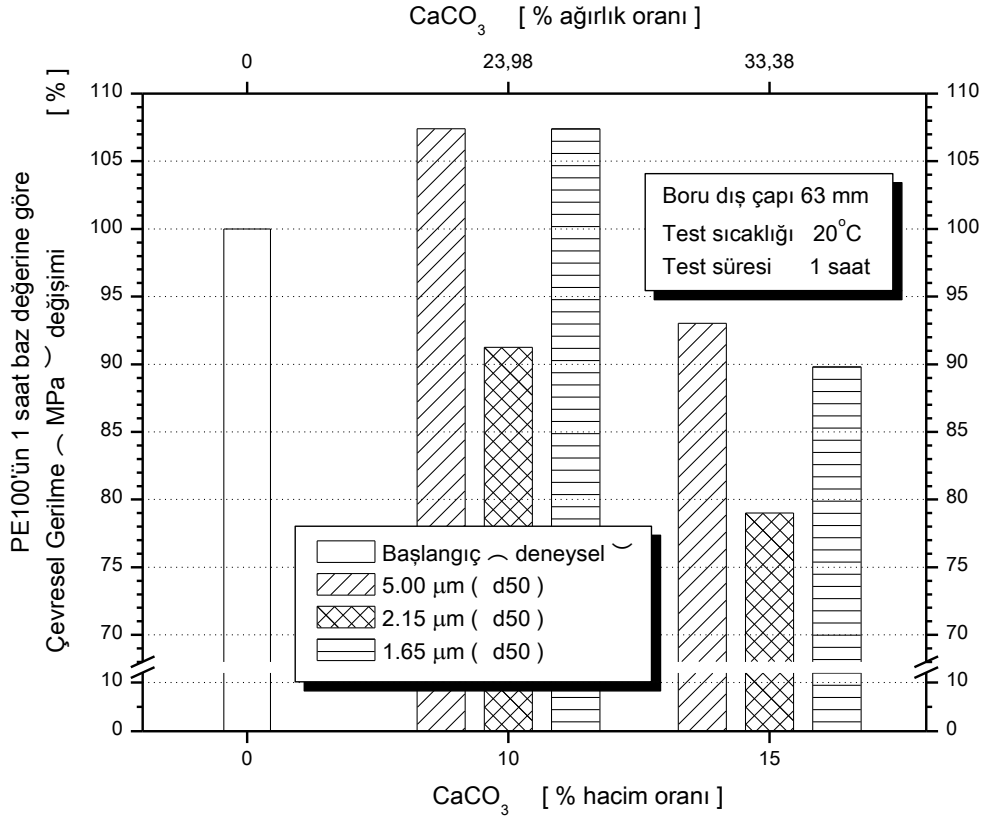
gelebileceği ve büyük ortalama tane boylu talk dolgulu boruda meydana gelen azalmanın, küçük ortalama tane boylu talk dolgulu boruya oranla yüzde 10 daha yüksek olduğu da tespit edilebilmektedir.

Ayrıca hacimce yüzde 10 oranında fakat farklı ortalama tane boylu mikronize pudra talk dolgulu boruların, zamana bağlı çevresel gerilme değerlerinde meydana gelen azalmaların, hidrostatik iç basınç uygulama süresinin artmasıyla (deney süresinin uzamasıyla), birbirleriyle paralel sayılabilecek bir tarzda azalma gösterdikleri gözlemlenebilmektedir. Ancak çevresel gerilmede zamana bağlı olarak meydana gelen azalmanın eğiminin ve şiddetinin, ilgili standardın saf YYPE basınçlı boru için öngördüğu eğim ve şiddetinden daha yüksek olduğu ve sürenin artmasıyla da zamana bağlı çevresel gerilme değerleri arasındaki farkın arttığı ayrıca farkedilebilmektedir.

4.6.2 Mikronize toz kalsiyum karbonatın etkisi

Bölüm 3.3.1.'de, fiziksel ve mekanik özelliklerine ait üretici verileri tablo 3.1.'de verilen granül haldeki mavi renkli naturel (saf) YYPE boru hammaddesi (başlangıç) ile 3.2.1. bölümünde belirtilen kalsiyum karbonat minerallerin, teknik özellikleri tablo 3.5'de verilen çift vidalı ekstrüzyon makinesinde harmanlanarak üretilmiş olan dolgulu granül boru hammaddelerinden, teknik özellikleri tablo 3.8.'de verilen tek vidalı boru ekstrüzyon makinesinde, tablo 3.9.'da işlenmiş ekstrüzyon sıcaklıklarında, SDR 11 sınıfı olarak üretilmesi gerçekleştirilebilmiş olan 63 mm ve 75 mm dış çaplarındaki boruların hidrostatik iç basınç deneyleri aşağıda verilmiştir.

20°C ortam sıcaklığında ve 1 saat süreli hidrostatik iç basınç altında, ilgili standardın saf YYPE basınçlı boru için öngördüğu değere göre, hacimce en az yüzde 10 en fazla yüzde 15 oranlarında farklı ortalama tane boylu mikronize toz CaCO₃ dolgulu 63 mm dış çaplı YYPE basınçlı boruların çevresel gerilme değerlerinin dolgu miktarına bağlı olarak değişimi Şekil 4.72' de grafikleştirilmiştir.



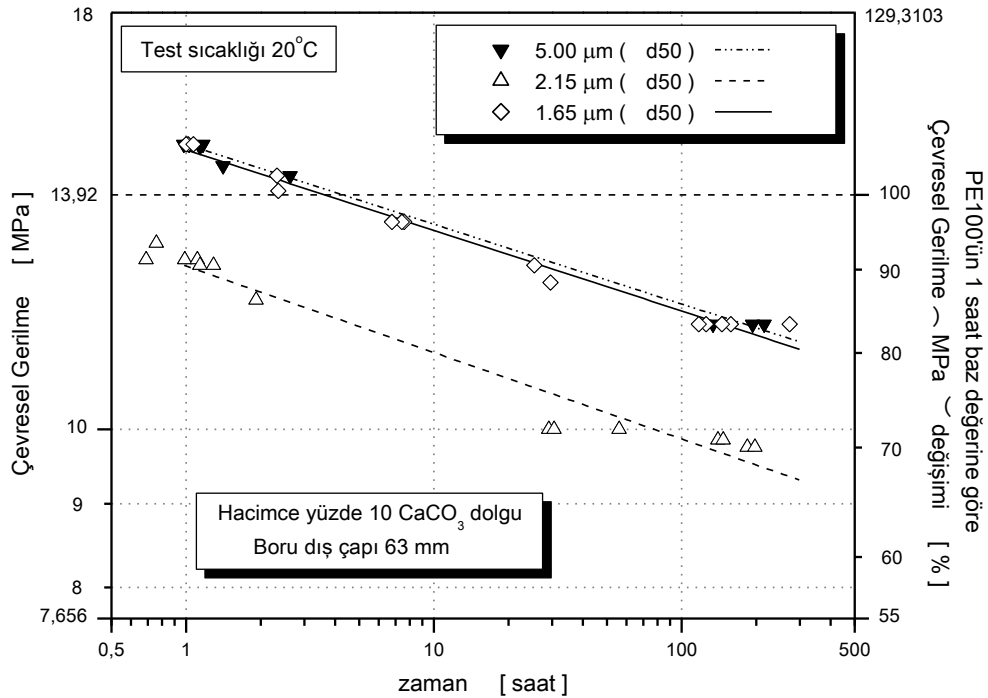
Şekil 4.72: Kalsit dolgulu 63 mm dış çaplı yüksek yoğunluklu polietilen borunun, 20°C'deki 1 saat test süresindeki çevresel gerilmesinin dolgu miktarına bağlı değişimi

Hacimce en az yüzde 10 en fazla yüzde 15 oranında farklı ortalama tane boyulu mikronize toz CaCO₃ dolgulu 63 mm dış çaplı YYPE boruların, 20°C ortam sıcaklığında ve 1 saat süreli hidrostatik iç basınç altında, çevresel gerilme değerinin, ortalama tane boyuna bağlı olarak, ilave edilen dolgu miktarıyla hem artabileceği hemde azalabileceği ancak artan dolgu miktarıyla azaldığı görülebilmektedir.

Şekilden, ilgili standardın saf YYPE basınçlı boru için öngördüğü minimum çevresel gerilme değerinde, 63 mm dış çaplı hacimce yüzde 10 oranında CaCO₃ dolgu miktarında, en küçük ve en büyük ortalama tane boyulu ile yaklaşık yüzde 8'lik artmanın ve diğeri ile de yaklaşık yüzde 8'lik azalmanın meydana gelebileceği tespit edilebilmektedir.

Şekilden ayrıca, dolgu miktarının hacimce yüzde 10 ‘dan yüzde 15’e artmasıyla, CaCO₃ dolgulu 63 mm dış çaplı borunun çevresel gerilme değerinde meydana gelen azalmanın, en küçük ortalama tane boylu dolgulu da yaklaşık yüzde 14, en büyük ortalama tane boylu dolgulu da ise yaklaşık yüzde 17 olduğu ve ilgili standardın saf YYPE basınçlı boru için öngördüğü minimum çevresel gerilme değerinde ise, en küçük taneli ile yaklaşık yüzde 7’lik, en büyük taneli ile de yaklaşık yüzde 10’luk azalmanın hacimce yüzde 15 CaCO₃ dolgu miktarında meydana geldiği görülebilmektedir.

Şekil 4.73’ de, 20°C ortam sıcaklığında ve kısa süreli hidrostatik iç basınç altında, hacimce en az yüzde 10 oranında üç farklı ortalama tane boylu mikronize toz CaCO₃ dolgulu 63 mm dış çaplı YYPE basınçlı boruların zamana bağlı çevresel gerilmelerinin değişimi ortalama tane boyuna göre verilmiştir.



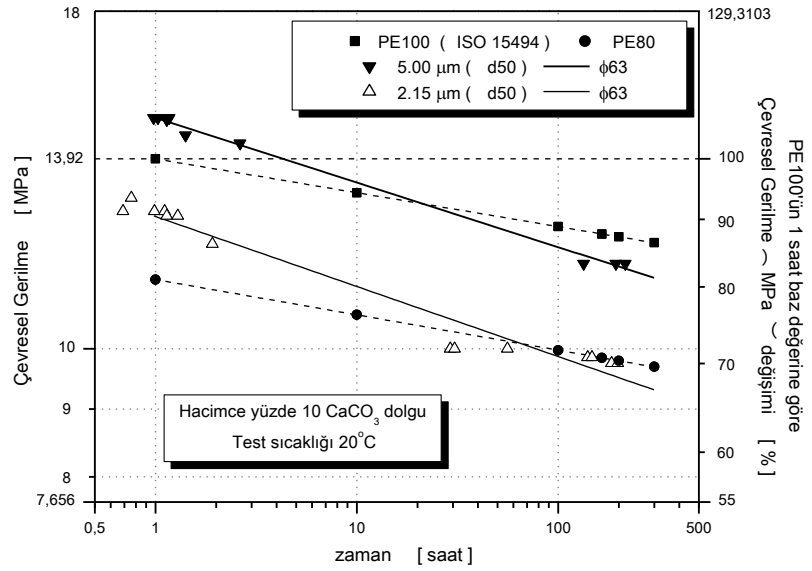
Şekil 4.73: Farklı tane boylu hacimce yüzde 10 kalsit dolgulu 63 mm dış çaplı yüksek yoğunluklu polietilen borunun 20°C’deki yaklaşık çevresel gerilme-zaman eğrileri

Hacimce en az yüzde 10 oranında mikronize toz CaCO_3 dolgulu 63 mm dış çaplı YYPE borunun çevresel gerilme değerinin, tek eksenli çekme deneyindeki kopma uzamasında olduğu gibi, dolgunun önceden belirli olmayan ortalama tane boyuna (burada $2,15 \mu\text{m}$) göre küçülen ve büyüyen ortalama tane boyu ile artma görülebilmektedir.

Şekilden, ilgili standardın saf YYPE basınçlı boru için öngördüğü minimum çevresel gerilme değerinde, 63 mm dış çaplı boruda, hacimce yüzde 10 CaCO_3 dolgu miktarında, ortalama tane boyu küçük ve büyük ile yüzde 8'lik en büyük yükselmenin ve diğeri ile de yüzde 8'lik en küçük azalmanın meydana gelebileceği ve büyük ile küçük ortalama tane boylu CaCO_3 dolgulu borulara göre, diğer boruda meydana gelen azalmanın yüzde 17 olduğu da tespit edilebilmektedir.

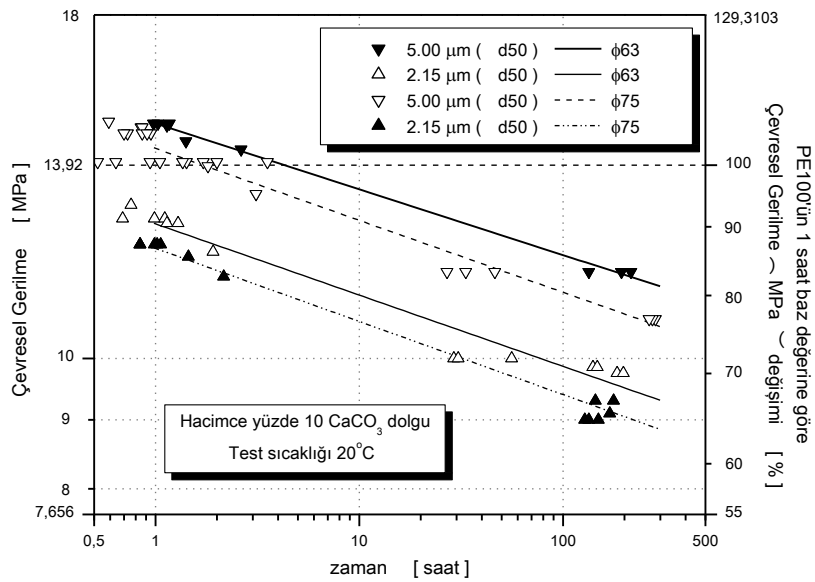
Ayrıca hacimce yüzde 10 oranında fakat farklı ortalama tane boylu mikronize toz CaCO_3 dolgulu 63 mm dış çaplı boruların, zamana bağlı çevresel gerilme değerlerinde meydana gelen azalmaların, hidrostatik iç basınç uygulama süresinin artmasıyla (deney süresinin uzamasıyla), birbirleriyle paralel sayılabilecek bir tarzda azalma gösterdikleri gözlemlenebilmektedir.

Ancak şekil 4.74'den, hacimce yüzde 10 oranında $2,15 \mu\text{m}$ ve $5 \mu\text{m}$ ortalama tane boylu mikronize toz CaCO_3 dolgulu 63 mm dış çaplı boruların, çevresel gerilmelerinde zamana bağlı olarak meydana gelen azalmanın eğiminin ve şiddetinin, ilgili standardın saf YYPE basınçlı boru için öngördüğü eğim ve şiddetinden daha yüksek olduğu ve sürenin artmasıyla da zamana bağlı çevresel gerilme değerleri arasındaki farkın arttığı ayrıca görülebilmektedir. Ancak büyük ortalama tane boylu hacimce yüzde 10 oranında dolgulu borunun, ilgili standardın PE80 sınıfı saf YYPE basınçlı boru için öngördüğü azalma eğiminden ve/veya şiddetinden daha düşük olduğu ve sürenin artmasıyla da zamana bağlı çevresel gerilme değerleri arasındaki farkın azalarak dolgulu boru lehinde kaldığı alınabilmektedir.



Şekil 4.74: Farklı tane boyu hacimce yüzde 10 kalsit dolgulu 63 mm dış çaplı yüksek yoğunluklu polietilen borunun 20°C'deki yaklaşık çevresel gerilme-zaman eğrileri

Şekil 4.75' de, 20°C ortam sıcaklığında ve kısa süreli hidrostatik iç basınç altında, hacimce en az yüzde 10 oranında 1,65 µm ve 5 µm ortalama tane boyu mikronize toz CaCO₃ dolgulu 63 mm ve 75 mm dış çaplı YYPE basınçlı boruların zamana bağlı çevresel gerilmelerinin değişimi ortalama tane boyuna göre biraraya getirilmiştir.

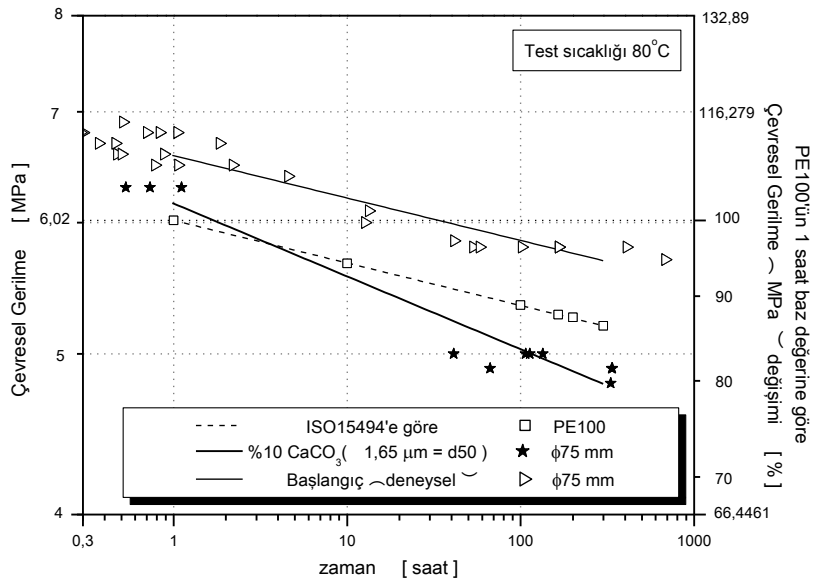


Şekil 4.75: Farklı tane boyu hacimce yüzde 10 kalsit dolgulu farklı dış çaplı yüksek yoğunluklu polietilen boruların 20°C'deki yaklaşık çevresel gerilme-zaman eğrileri

Şekilden, hacimce yüzde 10 oranında 2,15 µm ve 5 µm ortalama tane boyulu mikronize toz CaCO₃ dolgulu 63 mm ve 75 mm dış çaplı boruların, çevresel gerilme değerlerinde, hidrostatik iç basınçla birlikte farklı azalma miktarları meydana geldiği, hidrostatik iç basınç uygulama süresinin artmasıyla (deney süresinin uzamasıyla), birbirleriyle paralel sayılabilecek bir tarzda azalma eğimleri gösterdikleri gözlemlenebilmektedir.

Ayrıca, hacimce en az yüzde 10 oranında 2,15 µm ve 5 µm ortalama tane boyulu mikronize toz CaCO₃ dolgulu 75 mm dış çaplı YYPE borunun çevresel gerilme değeri, 63 mm dış çaplı dolgulu boruya göre, büyük ortalama taneli de yaklaşık yüzde 5 ve küçük ortalama taneli de ise yüzde 10 daha düşük olduğu dikkat çekici olarak görülebilmektedir.

Şekil 4.76' da, 80°C ortam sıcaklığında ve kısa süreli hidrostatik iç basınç altında, naturel ve hacimce en az yüzde 10 oranında 1,65 µm ortalama tane boyulu mikronize toz CaCO₃ dolgulu 75 mm dış çaplı YYPE basınçlı boruların zamana bağlı çevresel gerilmelerinin değişimi gösterilmiştir.



Şekil 4.76: Naturel ve 1,65 µm taneli hacimce yüzde 10 kalsit dolgulu yüksek yoğunluklu polietilen boruların 80°C'deki yaklaşık çevresel gerilme-zaman eğrileri

Şekil, şekil 4.74 ve şekil 4.75’de göz önünde bulundurularak incelenecek olursa, ortam sıcaklığının yüzde 300 oranında çok yükselmesi, 75 mm dış çaplı naturel (başlangıç) borunun, zamana bağlı çevresel gerilme performansının, ilgili standardın saf YYPE basınçlı boru için öngördüğü performansından daha yüksek olduğu ve sürenin artmasıyla da zamana bağlı çevresel gerilme değerleri arasındaki farkın değişmediği görülebilirken, hacimce en az yüzde 10 oranında mikronize toz CaCO_3 dolgulu 75 mm dış çaplı YYPE borunun, zamana bağlı çevresel gerilme performansının ise ilgili standardın saf YYPE basınçlı boru için öngördüğü performansından daha düşük olduğu ve sürenin artmasıyla da zamana bağlı çevresel gerilme değerleri arasındaki farkın arttığı farkedilebilmektedir.

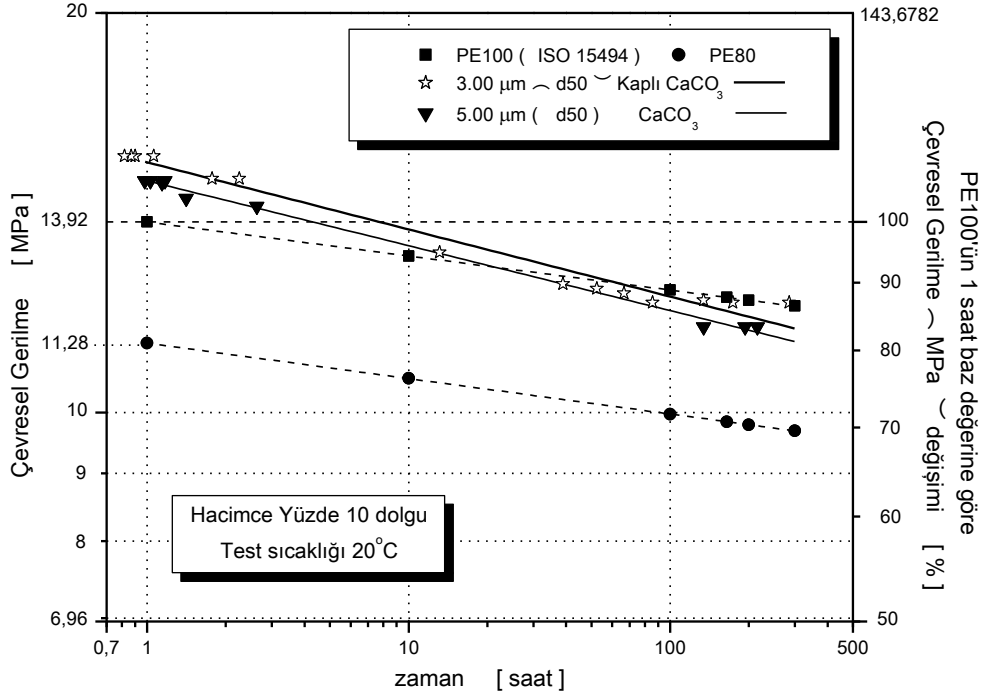
4.6.3 Mikronize hibrit dolgunun etkisi

Bölüm 3.3.1.’de, fiziksel ve mekanik özelliklerine ait üretici verileri tablo 3.1.’de verilen granül haldeki mavi renkli naturel (saf) YYPE boru hammaddesi (başlangıç) ile 3.2.3. bölümünde belirtilen kalsiyum karbonat ve talk minerallerin, teknik özellikleri tablo 3.7’de verilen çift vidalı ekstrüzyon makinesinde harmanlanarak üretilmiş olan dolgulu granül boru hammaddelerinden, teknik özellikleri tablo 3.8.’de verilen tek vidalı boru ekstrüzyon makinesinde, tablo 3.11.’de işlenmiş ekstrüzyon sıcaklıklarında, SDR 11 sınıfı olarak üretilmesi gerçekleştirilebilmiş olan 63 mm dış çapındaki boruların kesit, dış ve iç yüzey makro resimleri EK C-5’de verilmiştir.

Şekil 4.77’ de, 20°C ortam sıcaklığında ve kısa süreli hidrostatik iç basınç altında, hacimce en az yüzde 10 oranında modifiyeli (stearik asit kaplanmış) ve modifiyesiz ortalama tane boyları sırasıyla 3 µm ve 5 µm olan mikronize toz CaCO_3 dolgulu 63 mm dış çaplı YYPE basınçlı boruların zamana bağlı çevresel gerilmelerinin değişimi ortalama tane boyuna ve minerallerin modifiye edilmesine göre verilmiştir.

Hacimce en az yüzde 10 oranında modifiyeli (kaplı) ve modifiyesiz mikronize toz CaCO_3 dolgulu 63 mm dış çaplı YYPE borunun çevresel gerilme değerinde

hidrostatik iç basınçla birlikte farklı artış miktarları meydana geldiği, hidrostatik iç basınç uygulama süresinin artmasıyla (deney süresinin uzamasıyla), birbirleriyle paralel sayılabilecek bir tarzda azalma eğimleri gösterdikleri gözlemlenebilmektedir.



Şekil 4.77: Modifiye edilmiş ve edilmemiş kalsit dolgulu 63 mm dış çaplı yüksek yoğunluklu polietilen borunun 20°C'deki yaklaşık çevresel gerilme-zaman eğrileri

Ayrıca, hacimce en az yüzde 10 oranında modifiyeli toz CaCO₃ dolgulu 63 mm dış çaplı YYPE borunun çevresel gerilme değerinin, modifiyesiz mikronize toz CaCO₃ dolgulu 63 mm dış çaplı boruya göre, yaklaşık yüzde 4 daha yüksek olduğu görülebilmektedir.

Şekilden, ilgili standardın saf YYPE basınçlı boru için öngördüğü minimum çevresel gerilme değerinde, hacimce en az yüzde 10 oranında modifiyeli toz CaCO₃ dolgusuyla yaklaşık yüzde 12'lik yükselmenin meydana getirilebileceği tespit edilebilmektedir.

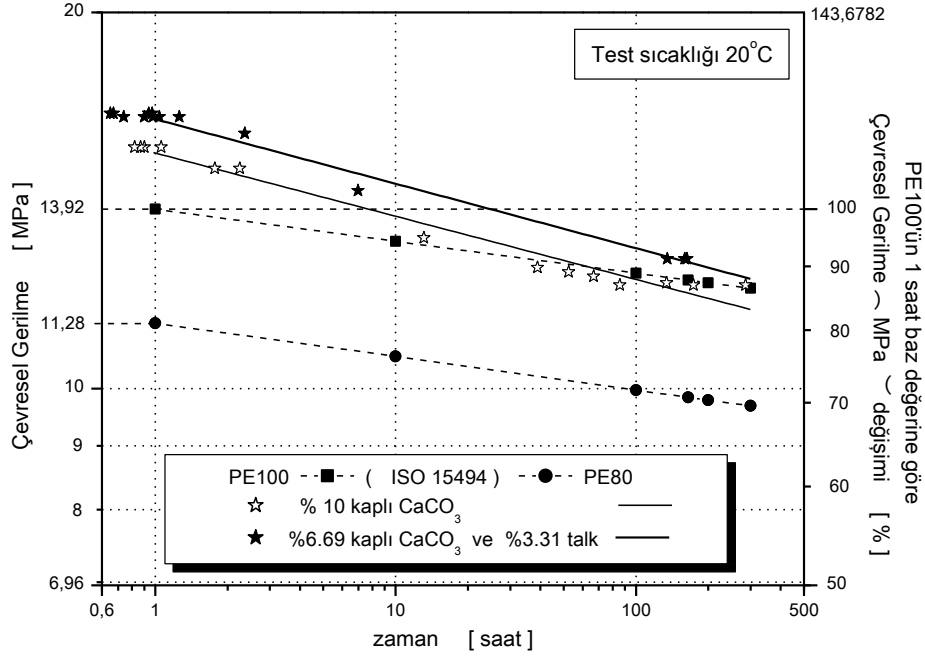
Bundan başka, hacimce en az yüzde 10 oranında modifiyeli toz CaCO₃ dolgulu 63

mm dış çaplı YYPE borunun, zamana bağlı çevresel gerilme performansının, ilgili standardın saf YYPE basınçlı boru için öngördüğü performansından daha yüksek olduğu ancak hidrostatik iç basınç uygulama süresinin artmasıyla zamana bağlı çevresel gerilme performansının azaldığı görülebilmektedir. Diğer taraftan, hacimce en az yüzde 10 oranında modifiyeli toz CaCO_3 dolgulu 63 mm dış çaplı YYPE borunun, zamana bağlı çevresel gerilme performansının, ilgili standardın PE80 sınıfı saf YYPE basınçlı boru için öngördüğü performansından çok daha yüksek olduğu ve kısa süreli hidrostatik iç basınç uygulama süresinin artmasıyla da zamana bağlı çevresel gerilme performansının yüksek kaldığı farkedilebilmektedir.

Ancak, bu çalışmada, ilgili standartta öngörülen saf YYPE basınçlı boruya göre, hacimce en az yüzde 10 oranında modifiyeli ve modifiyesiz mikronize toz CaCO_3 dolgulu 63 mm dış çaplı YYPE borunun çevresel gerilme değerinde hidrostatik iç basınçla birlikte meydana gelen farklı artış miktarlarının, kalsiyum karbonat mineralinin modifiyeli olmasından mı yoksa ortalama tane boyu farklılığından mı kaynaklandığı sorusu giderilememiştir.

Şekil 4.78' de, 20°C ortam sıcaklığında ve kısa süreli hidrostatik iç basınç altında, hacimce en az yüzde 10 oranında modifiye edilmiş (stearik asit kaplanmış) mikronize toz CaCO_3 ve mikronize hibrit (yüzde 6,69 kaplı kalsit ve yüzde 3,31 talk) dolgulu 63 mm dış çaplı YYPE basınçlı boruların zamana bağlı çevresel gerilmelerinin değişimi verilmiştir.

Hacimce en az yüzde 10 oranında modifiye edilmiş mikronize toz CaCO_3 ve mikronize hibrit (yüzde 6,69 kaplı kalsit ve yüzde 3,31 talk) dolgulu 63 mm dış çaplı YYPE borunun çevresel gerilme değerinde hidrostatik iç basınçla birlikte farklı artış miktarları meydana geldiği, uygulama (deney) süresinin artmasıyla, birbirleriyle paralel sayılabilecek bir tarzda azalma eğimleri gösterdikleri gözlemlenebilmektedir.



Şekil 4.78: Modifiyeli kalsit dolgulu ve hibrit dolgulu 63 mm dış çaplı yüksek yoğunluklu polietilen boruların 20°C'deki yaklaşık çevresel gerilme-zaman eğrileri

Ayrıca, hacimce en az yüzde 10 oranında mikronize hibrit (yüzde 6,69 kaplı kalsit ve yüzde 3,31 talk) dolgulu 63 mm dış çaplı YYPE borunun çevresel gerilme değerinin, modifiyeli mikronize toz CaCO₃ dolgulu 63 mm dış çaplı boruya göre, yaklaşık yüzde 5 daha yüksek olduğu görülebilmektedir.

Şekilden, ilgili standardın saf YYPE basınçlı boru için öngördüğü minimum çevresel gerilme değerinde, hacimce en az yüzde 10 oranında mikronize hibrit (yüzde 6,69 kaplı kalsit ve yüzde 3,31 talk) dolgusuyla yaklaşık yüzde 18'lik yükselmenin meydana getirilebileceği tespit edilebilmektedir.

Bundan başka, hacimce en az yüzde 10 oranında hibrit (yüzde 6,69 kaplı kalsit ve yüzde 3,31 talk) dolgulu 63 mm dış çaplı YYPE borunun, zamana bağlı çevresel gerilme performansının, ilgili standardın saf YYPE basınçlı boru için öngördüğü performansından daha yüksek olduğu ve kısa süreli hidrostatik iç basınç uygulama sürenin artmasıyla zamana bağlı çevresel gerilme performansının daha hızlı azaldığı

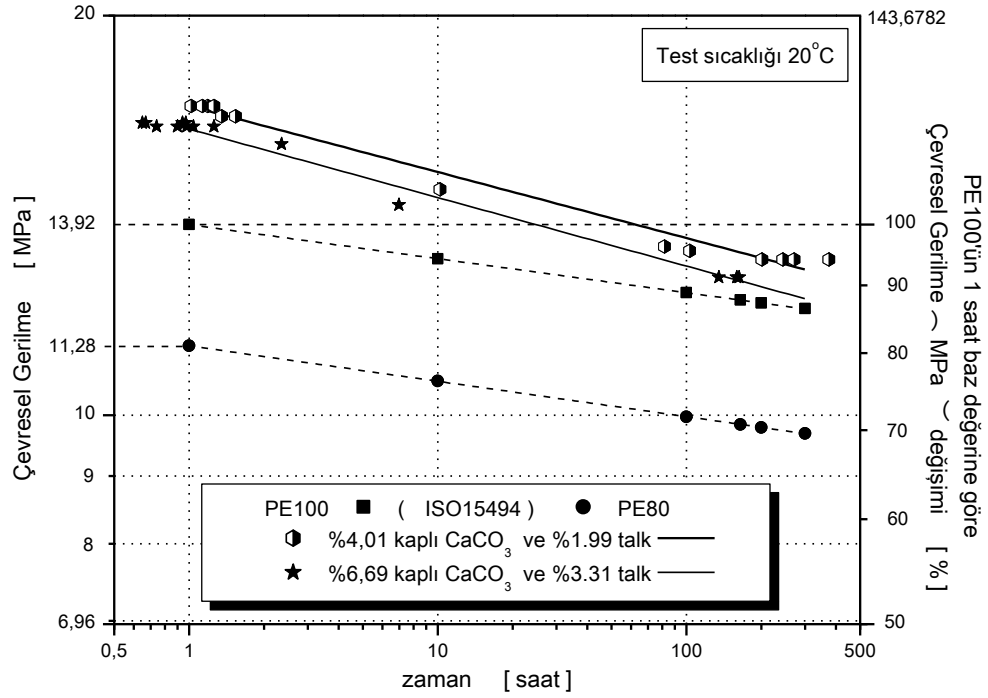
ancak yüksekte kaldığı görülebilmektedir. Diğer taraftan, ilgili standardın PE80 sınıfı saf YYPE basınçlı boru için öngördüğü performansından ise çok daha yüksek olduğu ve kısa süreli hidrostatik iç basınç uygulama süresinin artmasıyla da zamana bağlı çevresel gerilme performansının da çok yüksek olduğu farkedilebilmektedir.

Bu çalışmada, ilgili standartta öngörülen saf YYPE basınçlı boruya göre, hacimce en az yüzde 10 oranında hibrit (yüzde 6,69 kaplı kalsit ve yüzde 3,31 talk) dolgulu 63 mm dış çaplı YYPE borunun çevresel gerilme değerinde, hidrostatik iç basınçla birlikte meydana gelen artışın, hibrit içindeki talk mineralinin oranıyla ilgili olduğu düşünülmektedir.

Şekil 4.79' da, 20°C ortam sıcaklığında ve kısa süreli hidrostatik iç basınç altında, hacimce en az yüzde 6 (yüzde 4,01 kaplı kalsit ve yüzde 1,99 talk) en fazla yüzde 10 (yüzde 6,69 kaplı kalsit ve yüzde 3,31 talk) oranında mikronize hibrit dolgulu 63 mm dış çaplı YYPE basınçlı boruların zamana bağlı çevresel gerilmelerinin değişimi verilmiştir.

Farklı yüzde hacimce oranlarında hibrit dolgulu 63 mm dış çaplı YYPE borunun çevresel gerilme değerinde hidrostatik iç basınçla birlikte farklı artış miktarları meydana geldiği, hidrostatik iç basınç uygulama süresinin artmasıyla (deney süresinin uzamasıyla), birbirleriyle paralel sayılabilecek bir tarzda azalma eğimleri gösterdikleri gözlemlenebilmektedir.

Ayrıca, hacimce en az yüzde 6 oranında mikronize hibrit (yüzde 4,01 kaplı kalsit ve yüzde 1,99 talk) dolgulu 63 mm dış çaplı YYPE borunun çevresel gerilme değerinin, en fazla yüzde 10 oranında mikronize hibrit (yüzde 6,69 kaplı kalsit ve yüzde 3,31 talk) dolgulu 63 mm dış çaplı boruya göre, yaklaşık yüzde 4 daha yüksek olduğu görülebilmektedir.



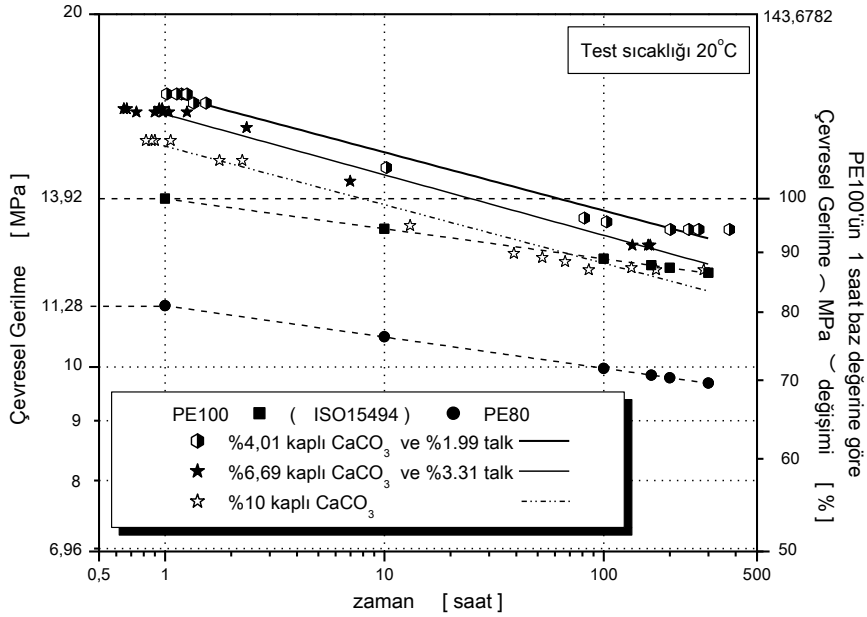
Şekil 4.79: Hacimce yüzde 6 ve 10 oranında hibrit dolgululu 63 mm dış çaplı yüksek yoğunluklu polietilen borunun 20°C'deki yaklaşık çevresel gerilme-zaman eğrileri

Şekilden, ilgili standardın saf YYPE basınçlı boru için öngördüğü minimum çevresel gerilme değerinde, hacimce en az yüzde 6 oranında mikronize hibrit (yüzde 4,01 kaplı kalsit ve yüzde 1,99 talk) dolgusuyla yaklaşık yüzde 23'lük yükselmenin meydana getirilebileceği tespit edilebilmektedir.

Bundan başka, hacimce en az yüzde 6 oranında hibrit (yüzde 4,01 kaplı kalsit ve yüzde 1,99 talk) dolgululu 63 mm dış çaplı YYPE borunun, zamana bağlı çevresel gerilme performansının, ilgili standardın saf YYPE basınçlı boru için öngördüğü performansından daha yüksek olduğu ve kısa süreli hidrostatik iç basınç uygulama süresinin artmasıyla zamana bağlı çevresel gerilme performansının daha hızlı azaldığı ancak yüksekte kaldığı görülebilmektedir. Diğer taraftan, ilgili standardın PE80 sınıfı saf YYPE basınçlı boru için öngördüğü performansından ise çok daha yüksek olduğu ve kısa süreli hidrostatik iç basınç uygulama süresinin artmasıyla da zamana bağlı çevresel gerilme performansının da çok yüksek olduğu farkedilebilmektedir.

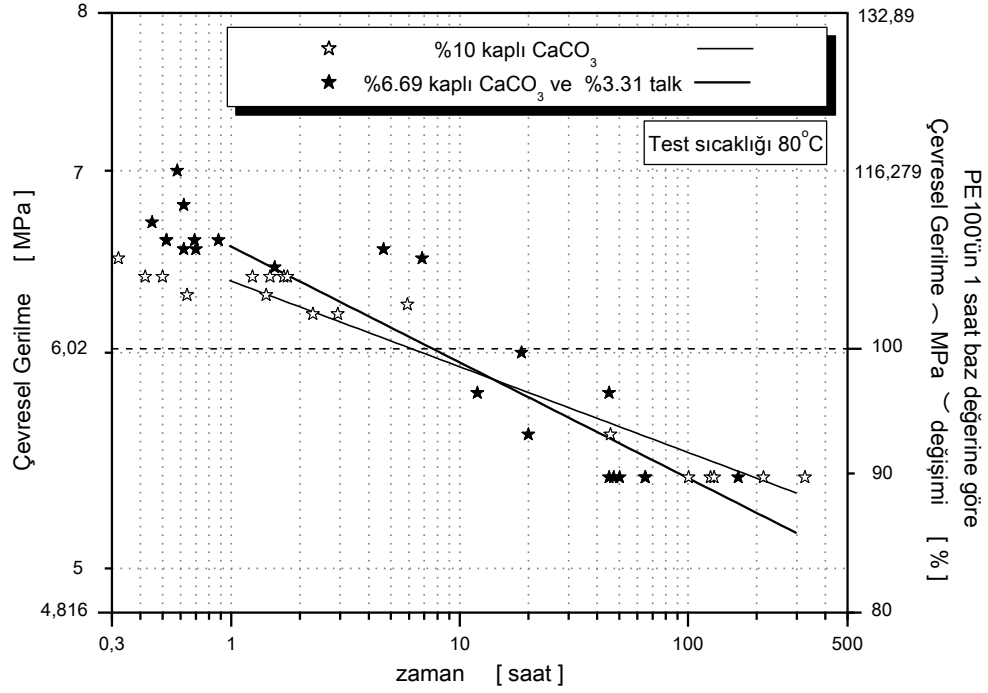
Bu çalışmada, ilgili standartta öngörülen saf YYPE basınçlı boruya göre, hacimce en az yüzde 6 oranında hibrit (yüzde 4,01 kaplı kalsit ve yüzde 1,99 talk) dolgulu 63 mm dış çaplı YYPE borunun çevresel gerilme değerinde, hidrostatik iç basınçla birlikte meydana gelen artışın, hem hammadde içindeki dolgu miktarıyla hemde hibrit içindeki talk mineralinin oranıyla ilgili olduğu düşünülmektedir.

Şekil 4.80’de, 20°C ortam sıcaklığında ve kısa süreli hidrostatik iç basınç altında, hacimce en az yüzde 6 (yüzde 4,01 kaplı kalsit ve yüzde 1,99 talk) en fazla yüzde 10 (yüzde 6,69 kaplı kalsit ve yüzde 3,31 talk) oranında mikronize hibrit ve modifiyeli mikronize kalsit dolgulu 63 mm dış çaplı YYPE basınçlı boruların zamana bağlı çevresel gerilmelerinin değişimi bir arada gösterilmiştir.



Şekil 4.80: Hacimce yüzde 6 ve 10 modifiyeli kalsit ve hibrit dolgulu 63 mm dış çaplı yüksek yoğunluklu polietilen boruların 20°C’deki yaklaşık çevresel gerilme-zaman eğrileri

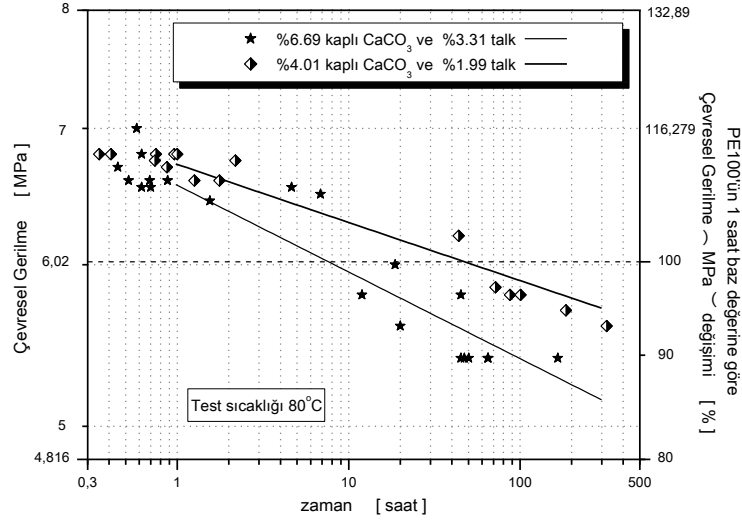
Şekil 4.81’ de, 80°C ortam sıcaklığında ve kısa süreli hidrostatik iç basınç altında, hacimce en az yüzde 10 oranında modifiyeli (stearik asit kaplanmış) mikronize toz CaCO₃ ve hibrit (yüzde 6,69 kaplı kalsit ve yüzde 3,31 talk) dolgulu 63 mm dış çaplı YYPE basınçlı boruların zamana bağlı çevresel gerilmelerinin değişimi verilmiştir.



Şekil 4.81: Hacimce yüzde 10 modifiyeli kalsit ve hibrit dolgulu 63 mm dış çaplı yüksek yoğunluklu polietilen boruların 80°C'deki yaklaşık çevresel gerilme-zaman eğrileri

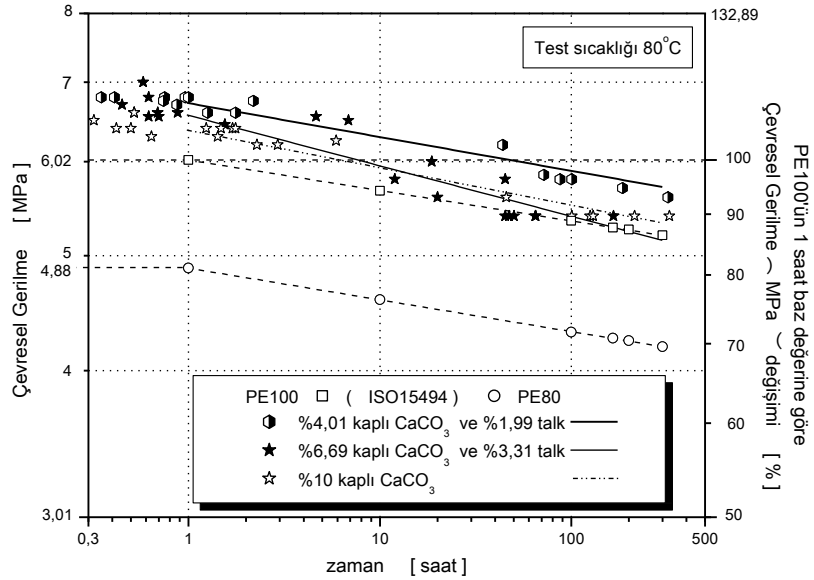
Şekil 4.81'de, hacimce yüzde 10 dolgulu modifiyeli kalsiyum karbonat ve hibrit (yüzde 6,69 kaplı kalsit ve yüzde 3,31 talk) dolgulu boru numuneleri kısa süreli iç basınç (1 saat ve 165 saat) deneylerinin sonuçlarında kaplı kalsiyum karbonat ve talk minerali içeren boru numunesi saf PE80 ve PE100 sınıfı boru numunelerinden daha yüksek değerlere sahiptir. Uzun dönemli testlerde ise bu fark azalarak PE80 ve PE100 sınıfı boruların değerlerine yaklaşmakta ve 200 saatin üzerindeki durumlarda altına düşmektedir.

Şekil 4.82' de, 80°C ortam sıcaklığında ve kısa süreli hidrostatik iç basınç altında, hacimce en az yüzde 6 (yüzde 4,01 kaplı kalsit ve yüzde 1,99 talk) en fazla yüzde 10 (yüzde 6,69 kaplı kalsit ve yüzde 3,31 talk) oranında mikronize hibrit dolgulu 63 mm dış çaplı YYPE basınçlı boruların zamana bağlı çevresel gerilmelerinin değişimi verilmiştir.



Şekil 4.82: Hacimce yüzde 6 ve 10 oranında hibrit dolgulu 63 mm dış çaplı yüksek yoğunluklu polietilen boruların 80°C 'deki yaklaşık çevresel gerilme-zaman eğrileri

Şekil 4.83' de, 80°C ortam sıcaklığında ve kısa süreli hidrostatik iç basınç altında, hacimce en az yüzde 6 (yüzde 4,01 kaplı kalsit ve yüzde 1,99 talk) en fazla yüzde 10 (yüzde 6,69 kaplı kalsit ve yüzde 3,31 talk) oranında mikronize hibrit ve modifiye edilmiş mikronize kalsit dolgulu 63 mm dış çaplı YYPE basınçlı boruların zamana bağlı çevresel gerilmelerinin değişimi bir arada gösterilmiştir.



Şekil 4.83: Hacimce yüzde 10 oranında modifeli kalsit dolgulu ve hacimce yüzde 6 ve 10 oranında hibrit dolgulu 63 mm dış çaplı yüksek yoğunluklu polietilen boruların 80°C'deki yaklaşık çevresel gerilme-zaman eğrileri

Şekil 4.83’de ise 80 °C detaylandırılmış olarak kaplı kalsiyum karbonat ve talk minerali dolgulu boru numuneleri PE80 ve PE100 sınıfı boru numuneleri beraber grafikleştirilmiştir. Grafik incelendiğinde kısa süreli içbasınç (1 saat ve 165 saat) deneylerinin sonuçlarında kaplı kalsiyum karbonat ve talk minerali içeren boru numunesi saf PE80 ve PE100 sınıfı boru numunelerinden daha yüksek değerlere sahiptir. Uzun dönemli deneylerde ise iç basınç performansı üstünlüğünü korumaktadır.

Kısa süreli hidrostatik iç basınç deneyleri altında, borularda meydana gelen hasar şekilleri, EK A-1, EK A-2, EK A-3, EK A-4, EK A-5, EK A-6, EK A-7 ve EK A-8’de gösterilmiştir. Şekillerin incelenmesi sonucu hasar şeklinin ve hasara uğrayan bölgenin büyüklüğünün, sünek ve büyük hasar bölgesi oluşumundan, dolgu türü ve miktarına bağlı olarak, gevrek ve daha büyük hasar bölgesi, çalışmada önemli bulgulardan sayılabilecek, önce sünek sonra gevrek ve küçük hasar bölgesi ile gevrek ve noktasal dağılımlı hasar bölgesi (selülitel hasar) oluşumuna dönüştürülebileceği tespit edilebilmektedir.

Sonuç olarak hibrit mineral dolgulandırmanın boruların iç performans değerlerini yükseltebileceği görülmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışmanın amaç ve hedefine bağlı olarak yapılan teorik ve deneysel çalışmalardan elde edilen veri ve bilgilerin birlikte değerlendirilmesi sonucunda çalışmada sırasıyla elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

A) Yüksek yoğunluklu polietilen boru hammaddesinin fiziksel ve mekanik özelliklerine ortalama tane boyu (D50) farklı (1.65 µm., 2.15 µm.ve 5.00 µm.) fakat aynı madenden elde edilmiş (fiziksel özellikleri aynı) mikronize toz kalsiyum karbonat mineral dolgu maddesinin ve ortalama tane boyu (5.50 µm. ve 13.00 µm.) farklı ve farklı madenden elde edilmiş (fiziksel özellikleri farklı) mikronize pudra talk mineral dolgu maddesinin etkisi:

1- bazı fiziksel ve mekanik özelliklerine olumlu ve bazı fiziksel ve mekanik özelliklerine ise olumsuz etki yapmıştır.

2- saf malzemeye göre, ilave edilen ve artan mikronize toz CaCO₃ dolgu miktarının YYPE boru malzemesinin yoğunluğunu arttırdığı, buna karşın aynı tip CaCO₃ mineralinin farklı ortalama tane boyunun, yoğunluk üzerinde kayda değer bir etkisin olmadığı tespit edilebilmektedir.

3- saf malzemeye göre, ilave edilen ve artan mikronize pudra talk dolgu miktarının YYPE boru malzemesinin yoğunluğunu arttırdığı, buna karşın farklı tip talk mineralinin farklı ortalama tane boyunun, yoğunluk üzerinde kayda değer bir etkisin olmayabileceği saptanmıştır.

4- hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize toz CaCO_3 dolgulu YYPE boru malzemesinin EAH'nın, saf malzemeye göre, ilave edilen dolgu miktarıyla arttığı ve artan dolgu miktarıyla da ortalama tane boyuna göre artma, azalma ve sabit kalma gibi üç farklı eğilimler gösterebileceği görülmüştür.

5- artan dolgu miktarına bağlı olarak farklı ortalama tane boyulu CaCO_3 dolgulu numunelere (malzemelere) uygulanan EAH deneyi sonrası elde edilen EAH deney numunesinin yüzey pürüzlülük durumunun, yüksek basınç uygulayamayan tek vidalı boru ekstrüzyon yönteminde belirleyici bir şekillendirme verisi olduğu ve bu nedenle yüksek basınç uygulayamayan tek vidalı boru ekstrüzyon yönteminde kullanılacak EAH deney sonucunun ancak, EAH deney numunesinin (kompozitin) yüzeyini pürüzsüz yapan en uygun yük/sıcaklık kombinasyonunda elde edilebilecek değerinin olabileceği ayrıca tespit edilebilmiştir.

6- hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize pudra talk dolgulu YYPE boru malzemesinin EAH'nın, saf malzemeye göre, ilave edilen dolgu miktarıyla arttığı ve artan dolgu miktarıyla da azalma eğilimi gösterdiği saptanmıştır.

7- saf malzemenin EAH değerinde, hacimce yüzde 10 talk dolgu miktarında büyük ortalama tane boyulu talk mineraliyle yaklaşık yüzde 100 'lük, küçük ortalama tane boyulu talk mineraliyle de yaklaşık yüzde 80'lik artmanın oluşabildiği, dolgu miktarının artmasıyla EAH değerinde azalma eğilimlerinin olduğu ve hacimce yüzde 20 talk dolgu miktarında, saf malzemeye göre, büyük ortalama tane boyulu dolgulu malzeme de yaklaşık yüzde 30 daha yüksek, küçük ortalama tane boyulu dolgulu da ise yaklaşık yüzde 40 daha düşük EAH'nın elde edilebileceği tespit edilmiştir.

8- artan dolgu miktarına bağlı olarak farklı ortalama tane boyulu talk dolgulu

numunelere (malzemelere) uygulanan EAH deneyi sonrası elde edilen EAH deney numunesinin yüzey pürüzlülük durumunun, yüksek basınç uygulayamayan tek vidalı boru ekstrüzyon yönteminde belirleyici bir şekillendirme verisi olduğu ve bu nedenle yüksek basınç uygulayamayan tek vidalı boru ekstrüzyon yönteminde kullanılacak EAH deney sonucunun ancak, EAH deney numunesinin (kompozitin) yüzeyini pürüzsüz yapan en uygun yük/sıcaklık kombinasyonunda elde edilebilecek değerinin olabileceği ayrıca tespit edilebilmiştir.

9- mikronize toz kalsiyum karbonatın modifiye edilmesinin (örneğin stearik asitle kaplanmasının) EAH deneyi sonrası elde edilen EAH deney numunesinin yüzeyini pürüzsüzleştirdiği tespit edilebilmiş, mikronize pudra talk minerallerinin de modifiye edilmesinin de (yapısına uygun olarak kaplanmasının da), EAH deneyi sonrası elde edilecek EAH deney numunesinin yüzeyini pürüzsüzleştirebileceği öngörüsü yapılmıştır.

10- hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize toz CaCO_3 dolgulu YYPE boru hammaddesinin, enjeksiyon kalıplama yöntemiyle basılan deney numunesinin ve tek vidalı ekstrüzyon yöntemiyle üretilen borunun kristalleşme derecelerinin (c), saf hammaddeye, saf malzemeye ve saf boruya göre, ilave edilen ve artan dolgu miktarıyla azaldığı (düştüğü), kristalin erime sıcaklıklarının (T_m) ise değişmediği tespit edilmiştir. Ancak, hammaddenin, malzemenin ve borunun kristalleşme derecelerinde, üretim ve şekillendirme parametrelerinin farklılığından kaynaklandığı düşünülen, yaklaşık yüzde 5'lik bir değer farkı bulunmuştur.

11- hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize pudra talk dolgulu YYPE enjeksiyon kalıplama yöntemiyle basılan deney numunesinin ve tek vidalı ekstrüzyon yöntemiyle üretilen borunun kristalleşme derecelerinin (c), saf malzemeye ve saf boruya göre, ilave edilen ve artan dolgu miktarıyla azaldığı

(düştüğü), kristalin erime sıcaklığının (T_m) ise değişmediği saptanmıştır. Ancak, malzemenin ve borunun kristalleşme derecelerinde, üretim ve şekillendirme parametrelerinin farklılığından kaynaklandığı düşünülen, yaklaşık yüzde 15'lik bir değer farkı bulunmuştur.

12- mikronize toz kalsiyum karbonatın modifiye edilmesinin (örneğin stearik asitle kaplanmasının), kristalleşme derecesini (c) daha da düşürdüğü tespit edilebilmiş ve mikronize pudra talkın düşük oranlarda (ağırlıkça yüzde 4 ila 7'ye kadar) dolgularda (hibrit) bulunmasının malzemenin (kompozitin) kristalleşmesine katkı sağladığı saptanmıştır.

13- saf YYPE boru malzemesinin E-Modülü değerinde, hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize toz $CaCO_3$ mineralinin hem küçülen ortalama tane boyunun hemde dolgu miktarının arttırma (yükseltme) etkisinin olduğu tespit edilmiştir.

14- $CaCO_3$ dolgulu malzemenin E-Modülü değerinde ortalama tane boyunun büyükten küçüğe doğru hacimce yüzde 10 dolgu miktarında yaklaşık yüzde 15 ve hacimce yüzde 20 dolgu miktarında ise yüzde 8 daha yüksek değerler meydana getirirken artan dolgu miktarı ile büyükte yüzde 33'lük artışa ve küçükte yüzde 25'lik artışa neden olduğu görülmüş ve saf malzemeye göre, hacimce yüzde 20 dolgu oranında en küçük ortalama tane boyu ile yüzde 90 daha büyük değerlerin elde edilebileceği saptanmıştır.

15- saf YYPE boru malzemesinin akma gerilmesi değerinde, hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize toz $CaCO_3$ mineralinin hem küçülen ortalama tane boyunun hemde dolgu miktarının azaltma (düşürme) etkisinin olduğu tespit edilmiştir

16- CaCO₃ dolgulu malzemenin akma gerilmesi değerinde ortalama tane boyunun büyükten kge doğru hacimce yüzde 10 dolgu miktarında yaklaşık yüzde 8 ve hacimce yüzde 20 dolgu miktarında ise yüzde 12 daha yüksek değerler meydana getirirken artan dolgu miktarı ile büyükte yüzde 18'lik artışa ve küçükte yüzde 14'lk artışa neden olduğu görülmüş ve saf malzemeye göre, hacimce yüzde 20 dolgu oranında en küçük ortalama tane boyu ile yüzde 22'lerde kalabilen azalmaların elde edilebileceği bulunmuştur.

17- saf YYPE boru malzemesinin akma uzaması değerinde, hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize toz CaCO₃ mineralinin hem büyüyen ortalama tane boyunun hemde dolgu miktarının azaltma (düşürme) etkisinin olduğu tespit edilmiştir.

18- CaCO₃ dolgulu malzemenin akma uzaması değerinde, ortalama tane boyunun büyükten kge doğru hacimce yüzde 10 dolgu miktarında yaklaşık yüzde 5 ve hacimce yüzde 20 dolgu miktarında ise yüzde 48 daha yüksek değerler meydana getirirken artan dolgu miktarı ile büyükte yüzde 55'lik değer kaybına ve küçükte ise yüzde 19'lk kayba neden olduğu ve saf malzemeye göre, hacimce yüzde 20 dolgu oranında en küçük ortalama tane boyu ile yüzde 33'lerde kalabilen azalmaların elde edilebileceği görülmüştür.

19- YYPE boru malzemesinin kopma gerilmesi değerinde, hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize toz CaCO₃ mineralinin hem büyüyen ortalama tane boyunun hemde dolgu miktarının azaltma (düşürme) etkisinin olduğu görülmüştür.

20- CaCO₃ dolgulu malzemenin kopma gerilmesi değerinde ortalama tane boyunun küçükten byge doğru hacimce yüzde 10 dolgu miktarında yaklaşık yüzde 43'lk ve hacimce yüzde 20 dolgu miktarında ise yüzde 17,5'lik daha düşük değerler meydana

getirirken artan dolgu miktarı ile büyükte yüzde 13'lük artışa ve küçükte yüzde 21'lik artışa neden olduğu ve saf malzemenin kopma uzaması değerinde, hacimce yüzde 10 CaCO₃ dolgu miktarında yüzde 100'lük en büyük yükselmenin, en büyük ortalama tane boyulu CaCO₃ mineraliyle meydana geldiği

21- saf YYPE boru malzemesinin kopma uzaması değerinde, hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize toz CaCO₃ mineralinin hem küçülen ortalama tane boyunun hemde dolgu miktarının hem yükseltme (arttırma) hemde azaltma (düşürme) etkisinin olduğu tespiti yapılabilmektedir.

22- CaCO₃ dolgulu malzemenin kopma uzaması değerinde ortalama tane boyunun büyükten küçüğe doğru hacimce yüzde 10 dolgu miktarında yaklaşık yüzde 30'lük ve hacimce yüzde 20 dolgu miktarında ise yüzde 73'lük daha düşük değerler meydana getirirken artan dolgu miktarı ile büyükte yüzde 47,5'lik artışa ve küçükte yüzde 43'lük azalmalar neden olduğu ve saf malzemeye göre de, hacimce yüzde 20 dolgu oranında en fazla yaklaşık yüzde 295 daha yüksek ve yaklaşık yüzde 30 daha az uzamaların elde edilebileceği tespit edilmiştir.

23- saf YYPE boru malzemesinin E-Modülü değerinde, hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize pudra talk mineralinin hem küçülen ortalama tane boyunun hemde dolgu miktarının arttırma (yükseltme) etkisinin olduğu tespit edilmiştir..

24- saf YYPE boru malzemesinin akma gerilmesi değerinde, hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize pudra talk mineralinin hem küçülen ortalama tane boyunun hemde dolgu miktarının arttırma (yükseltme) etkisinin olduğu tespit edilmiştir.

25- saf YYPE boru malzemesinin akma uzaması değerinde, hacimce en az yüzde 10

ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize pudra talk mineralinin hem küçülen ortalama tane boyunun hemde dolgu miktarının düşürme (azaltma) etkisinin olduğu tespit edilmiştir.

26- saf YYPE boru malzemesinin kopma gerilmesi değerinde, hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize pudra talk mineralinin hem küçülen ortalama tane boyunun hemde dolgu miktarının düşürme (azaltma) ve yükseltme (arttırma) etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Ancak, hacimce yüzde 10 dolguda, ortalama tane boyu küçülmesinden çok dolgu miktarının etkisi daha yüksek olurken, artan dolgu miktarıyla ortalama tane boyu küçülmesinin yükseltme etkisinin dolgu miktarına göre daha fazla etkili olduğu izlenmiştir. Saf malzemeye göre, hacimce yüzde 20 dolgu oranında küçük ortalama tane boyu ile yüzde 18 daha büyük değerlerin elde edilebileceği görülmüştür.

27- saf YYPE boru malzemesinin kopma gerilmesi değerinde, hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize pudra talk mineralinin hem küçülen ortalama tane boyunun hemde dolgu miktarının düşürme (azaltma) ve yükseltme (arttırma) etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Ancak, hacimce yüzde 10 dolguda, ortalama tane boyu küçülmesinden çok dolgu miktarının etkisi daha yüksek olurken, artan dolgu miktarıyla ortalama tane boyu küçülmesinin yükseltme etkisinin dolgu miktarına göre daha fazla etkili olduğu görülebilmıştır. Saf malzemeye göre, hacimce yüzde 20 dolgu oranında küçük ortalama tane boyu ile yüzde 18 daha büyük değerlerin elde edilebileceği gözlemlenmiştir.

28- saf YYPE boru malzemesinin Charpy çentik darbe mukavemeti (dayanımı) değerinde, hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize toz CaCO₃ mineralinin, hem küçülen ortalama tane boyunun hemde dolgu miktarının arttırma (yükseltme) etkisinin olduğu tespit edilmiştir.

29- saf YYPE boru malzemesinin Charpy çentik başlatma enerjisi değerinde, hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize toz CaCO_3 mineralinin, hem büyüyen ortalama tane boyunun hemde dolgu miktarının azaltma (düşürme) etkisinin olduğu tespit edilmiştir.

30- saf YYPE boru malzemesinin Charpy çentik ilerletme enerjisi değerinde, hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize toz CaCO_3 mineralinin, hem küçülen ortalama tane boyunun hemde dolgu miktarının artırma (yükseltme) etkisinin olduğu tespit edilmiştir.

31- saf YYPE boru malzemesinin Charpy çentik darbe mukavemeti (dayanımı) değerinde, hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize pudra talk mineralinin, hem büyüyen ortalama tane boyunun hemde dolgu miktarının düşürme (azaltma) etkisinin olduğu tespit edilmiştir.

32- saf YYPE boru malzemesinin Charpy çentik başlatma enerjisi değerinde, hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize pudra talk mineralinin, hem küçülen ortalama tane boyunun hemde dolgu miktarının yükseltme (arttırma) etkisinin olduğu tespit edilmiştir.

33- saf YYPE boru malzemesinin Charpy çentik ilerletme enerjisi değerinde, hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize pudra talk mineralinin, hem büyüyen ortalama tane boyunun hemde dolgu miktarının artırma (yükseltme) etkisinin olduğu tespit edilmiştir.

34- saf YYPE boru malzemesine göre, hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize pudra talk dolgulu malzemenin Charpy çentik darbe mukavemeti (dayanımı) değerinin, ortam sıcaklığının artmasıyla beraber yükseldiği (arttığı) tespit edilmiştir.

B) Ortalama tane boyu (D50) farklı (1.65 µm., 2.15 µm.ve 5.00 µm.) fakat aynı madenden elde edilmiş (fiziksel özellikleri aynı) mikronize toz kalsiyum karbonat mineral dolgu maddesinin ve ortalama tane boyu (5.50 µm. ve 13.00 µm.) farklı ve farklı madenden elde edilmiş (fiziksel özellikleri farklı) mikronize pudra talk mineral dolgu maddesinin yüksek yoğunluklu polietilen boruların kısa süreli iç basınç performans özelliklerine etkisi:

1- tek vidalı ekstrüzyonda, uygun mikronize toz ve/veya pudra dolgulu boru üretimi için, EAH deneyi sonrası numune yüzeyini pürüzsüz elde edilmesini sağlayan en uygun yük/sıcaklık kombinasyonunun, şekillendirme parametresi için önemini yanında aynı anda boru ekstrüzyonu esnasında uygulanabilen basınç/oluşan malzeme iç sıcaklık kombinasyonunun da önemini olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle bilhassa (özellikle) boru ekstrüzyonu sırasında, vida ile tamasta olan ve sürtünme nedeniyle ısınarak sıcaklığı artan hammaddenin (reçinenin) sıcaklığının (malzeme iç sıcaklığının), EAH deneyinde tespit edilebilen en uygun yük/sıcaklık kombinasyonundaki sıcaklık derecesi civarına (yaklaşık $\pm 5^{\circ}\text{C}$) ulaşmasının sağlanması ve bu değerde tutulması gerektiği tespit edilmiştir.

2- saf YYPE borunun 20°C 'deki kısa süreli hidrostatik iç basınç performansında, hacimce en az yüzde 10 ile en fazla yüzde 20 oranları arasında mikronize pudra talk mineralinin, hem büyüyen ortalama tane boyunun hemde dolgu miktarının azaltma (düşürme) etkisinin olduğu tespit edilmiştir.

3- ilgili standardın saf YYPE basınçlı boru için öngördüğü minimum çevresel gerilme değerine göre, hacimce yüzde 10 talk dolgulu borularda, büyük ortalama tane boylu ile yaklaşık yüzde 25'lik ve küçük ortalama tane boylu ile de yaklaşık yüzde 17'lik en küçük azalmaların meydana gelebileceği tespit edilebilmiştir.

4- hacimce yüzde 10 oranında fakat farklı ortalama tane boylu mikronize pudra talk

dolgulu boruların, zamana bağlı çevresel gerilme değerlerinde meydana gelen azalmaların, kısa süreli hidrostatik iç basınç uygulama süresinin artmasıyla (deney süresinin uzamasıyla), birbirleriyle paralel sayılabilecek bir tarzda azalma gösterdikleri, ancak çevresel gerilmelerde zamana bağlı olarak meydana gelen azalmanın eğiminin ve şiddetinin, ilgili standardın saf YYPE basınçlı boru için öngördüğü eğim ve şiddetinden daha yüksek olduğu ve sürenin artmasıyla da zamana bağlı çevresel gerilme değerleri arasındaki farkın arttığı saptanmıştır.

5- saf YYPE borunun 20°C'deki 1 saat süreli hidrostatik iç basınç performansında, hacimce en az yüzde 10 en fazla yüzde 15 oranında farklı ortalama tane boyu mikronize toz CaCO₃ mineralinin, ortalama tane boyuna bağlı olarak, ilave edilen dolgu miktarıyla hem yükseltme hemde azaltma ancak artan dolgu miktarıyla düşürme etkisinin olduğu görülmüştür.

6- ilgili standardın saf YYPE basınçlı boru için öngördüğü minimum çevresel gerilme değerine göre, hacimce yüzde 10 CaCO₃ dolgulu 63 mm dış çaplı boruda, ortalama tane boyu küçük ve büyük ile yüzde 8'lik en büyük yükselmenin ve diğeri ile de yüzde 8'lik en küçük azalmanın meydana gelebileceği ve büyük ile küçük ortalama tane boyu CaCO₃ dolgulu borulara göre, diğer boruda meydana gelen azalmanın yüzde 17 olduğu tespit edilebilmektedir.

7- hacimce yüzde 10 oranında 2,15 µm ve 5 µm ortalama tane boyu mikronize toz CaCO₃ dolgulu 63 mm dış çaplı boruların, çevresel gerilmelerinde zamana bağlı olarak meydana gelen azalmanın eğiminin ve şiddetinin, ilgili standardın saf YYPE basınçlı boru için öngördüğü eğim ve şiddetinden daha yüksek olduğu ve sürenin artmasıyla da zamana bağlı çevresel gerilme değerleri arasındaki farkın arttığı ancak büyük ortalama tane boyu hacimce yüzde 10 oranında dolgulu borunun, ilgili standardın PE80 sınıfı saf YYPE basınçlı boru için öngördüğü azalma eğiminden ve/veya şiddetinden daha düşük olduğu ve sürenin artmasıyla da zamana bağlı

çevresel gerilme değerleri arasındaki farkın azalarak dolgulu boru lehinde kaldığı tespit edilmiştir.

8- hacimce yüzde 10 oranında 2,15 µm ve 5 µm ortalama tane boylu mikronize toz CaCO₃ dolgulu 63 mm ve 75 mm dış çaplı boruların, çevresel gerilme değerlerinde, kısa süreli hidrostatik iç basınçla birlikte farklı azalma miktarları meydana geldiği, hidrostatik iç basınç uygulama süresinin artmasıyla (deney süresinin uzamasıyla), birbirleriyle paralel sayılabilecek bir tarzda azalma eğimleri gösterdikleri gözlemlenmiştir.

9- hacimce en az yüzde 10 oranında 2,15 µm ve 5 µm ortalama tane boylu mikronize toz CaCO₃ dolgulu 75 mm dış çaplı YYPE borunun çevresel gerilme değeri, 63 mm dış çaplı dolgulu boruya göre, büyük ortalama taneli de yaklaşık yüzde 5 ve küçük ortalama taneli de ise yüzde 10 daha düşük olduğu dikkat çekici olarak tespit edilmiştir.

10- ortam sıcaklığının 20°C'den yüzde 300 oranında yükselmesiyle (ortam sıcaklığının 80°C'de olmasıyla), 75 mm dış çaplı naturel (başlangıç) borunun, zamana bağlı çevresel gerilme performansının, ilgili standardın saf YYPE basınçlı boru için öngördüğü performansından daha yüksek olduğu ve sürenin artmasıyla da zamana bağlı çevresel gerilme değerleri arasındaki farkın değişmediği, hacimce en az yüzde 10 oranında mikronize toz CaCO₃ dolgulu 75 mm dış çaplı YYPE borunun, zamana bağlı çevresel gerilme performansının ise ilgili standardın saf YYPE basınçlı boru için öngördüğü performansından daha düşük olduğu ve sürenin artmasıyla da zamana bağlı çevresel gerilme değerleri arasındaki farkın arttığı tespit edilmiştir.

11- 20°C'de, hacimce en az yüzde 10 oranında modifiyeli toz CaCO₃ dolgulu 63 mm dış çaplı YYPE borunun çevresel gerilme değerinin, modifiyesiz mikronize toz CaCO₃ dolgulu 63 mm dış çaplı boruya göre, yaklaşık yüzde 4 daha yüksek olduğu

saptanmıştır.

12- 20°C için ilgili standardın saf YYPE basınçlı boru için öngördüğü minimum çevresel gerilme değerinde, hacimce en az yüzde 10 oranında modifiyeli toz CaCO₃ dolgusuyla yaklaşık yüzde 12'lik yükselmenin meydana getirilebileceği tespit edilmiştir.

13- 20°C'de, hacimce en az yüzde 10 oranında modifiyeli toz CaCO₃ dolgulu 63 mm dış çaplı YYPE borunun, zamana bağlı çevresel gerilme performansının, ilgili standardın saf YYPE basınçlı boru için öngördüğü performansından daha yüksek olduğu ancak hidrostatik iç basınç uygulama süresinin artmasıyla zamana bağlı çevresel gerilme performansının azaldığı ancak diğer taraftan, hacimce en az yüzde 10 oranında modifiyeli toz CaCO₃ dolgulu 63 mm dış çaplı YYPE borunun, zamana bağlı çevresel gerilme performansının, ilgili standardın PE80 sınıfı saf YYPE basınçlı boru için öngördüğü performansından çok daha yüksek olduğu ve kısa süreli hidrostatik iç basınç uygulama süresinin artmasıyla da zamana bağlı çevresel gerilme performansının yüksek kaldığı tespit edilmiştir.

14- 20°C'de, hacimce en az yüzde 10 oranında mikronize hibrit (yüzde 6,69 kaplı kalsit ve yüzde 3,31 talk) dolgulu 63 mm dış çaplı YYPE borunun çevresel gerilme değerinin, modifiyeli mikronize toz CaCO₃ dolgulu 63 mm dış çaplı boruya göre, yaklaşık yüzde 5 daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

15- 20°C için ilgili standardın saf YYPE basınçlı boru için öngördüğü minimum çevresel gerilme değerinde, hacimce en az yüzde 10 oranında mikronize hibrit (yüzde 6,69 kaplı kalsit ve yüzde 3,31 talk) dolgusuyla yaklaşık yüzde 18'lik yükselmenin sağlanabileceği ve hacimce en az yüzde 10 oranında hibrit dolgulu 63 mm dış çaplı YYPE borunun, zamana bağlı çevresel gerilme performansının, ilgili standardın saf YYPE basınçlı boru için öngördüğü performansından daha yüksek

olduğu ve kısa süreli hidrostatik iç basınç uygulama sürenin artmasıyla zamana bağlı çevresel gerilme performansının daha hızlı azaldığı ancak diğer taraftan, ilgili standardın PE80 sınıfı saf YYPE basınçlı boru için öngördüğü performansından ise çok daha yüksek olduğu ve kısa süreli hidrostatik iç basınç uygulama süresinin artmasıyla da zamana bağlı çevresel gerilme performansının da çok yüksek olduğu tespit edilmiştir.

16- 20°C için ilgili standartta öngörülen saf YYPE basınçlı boruya göre, hacimce en az yüzde 10 oranında hibrit dolgulu 63 mm dış çaplı YYPE borunun çevresel gerilme değerinde, kısa süreli hidrostatik iç basınçla birlikte meydana gelen artışın, hibrit içindeki talk mineralinin oranıyla ilgili olduğu görülmüştür.

17- 20°C’de, hacimce en az yüzde 6 oranında mikronize hibrit (yüzde 4,01 kaplı kalsit ve yüzde 1,99 talk) dolgulu 63 mm dış çaplı YYPE borunun çevresel gerilme değerinin, en fazla yüzde 10 oranında mikronize hibrit (yüzde 6,69 kaplı kalsit ve yüzde 3,31 talk) dolgulu 63 mm dış çaplı boruya göre, yaklaşık yüzde 4 daha yükseldiği ve ilgili standardın saf YYPE basınçlı boru için öngördüğü minimum çevresel gerilme değerinde, hacimce en az yüzde 6 oranında mikronize hibrit dolgusuyla yaklaşık yüzde 23’lük yükselmenin meydana getirilebileceği tespit edilmiştir.

18- 20°C’de, hacimce en az yüzde 6 oranında dolgulu 63 mm dış çaplı YYPE borunun, zamana bağlı çevresel gerilme performansının, ilgili standardın saf YYPE basınçlı boru için öngördüğü performansından daha yüksek olduğu ve kısa süreli hidrostatik iç basınç uygulama sürenin artmasıyla zamana bağlı çevresel gerilme performansının daha hızlı azaldığı ancak diğer taraftan, ilgili standardın PE80 sınıfı saf YYPE basınçlı boru için öngördüğü performansından ise çok daha yüksek olduğu ve kısa süreli hidrostatik iç basınç uygulama süresinin artmasıyla da zamana bağlı çevresel gerilme performansının da çok yüksek olduğu tespit edilmiştir.

19- 80°C'de, ilgili standartta öngörülen saf YY PE80 ve PE100 basınçlı borulara göre, hacimce yüzde 10 modifiyeli kalsiyum karbonat ve hibrit (yüzde 6,69 kaplı kalsit ve yüzde 3,31 talk) dolgulu boruların kısa süreli iç basınç (1 saat ve 165 saat) performansları daha yüksek olduğu ancak uzun dönemli testlerde ise bu performansın azalarak PE80 ve PE100 sınıfı boruların performansına yaklaştığı ve 200 saatin üzerindeki durumlarda ise düşük performans verdikleri tespit edilmiştir.

20- 80°C'de, ilgili standartta öngörülen saf YY PE80 ve PE100 basınçlı borulara göre, hacimce en fazla yüzde 6 hibrit (yüzde 4,01 kaplı kalsit ve yüzde 1,99 talk) dolgulu borunun kısa süreli iç basınç (1 saat ve 165 saat) performansları daha yüksek olduğu ve uzun dönemli testlerde de bu performansını koruduğunu ve uzun süreli performansının da PE80 ve PE100 sınıfı boruların performansından üstün olduğu tespit edilmiştir.

21- Kısa süreli hidrostatik iç basınç deneyleri altında, dolgulu borularda meydana gelen hasar şekillerinin ve hasara uğrayan bölgenin büyüklüğünün, saf borudaki sünek ve büyük hasar bölgesi oluşumundan, dolgu türü ve miktarına bağlı olarak, gevrek ve daha büyük hasar bölgesi, çalışmada önemli bulgulardan sayılabilecek, önce sünek sonra gevrek ve küçük hasar bölgesi ile gevrek ve noktasal dağılımlı hasar bölgesi (selülitel hasar) oluşumuna dönüştürülebileceği tespit edilebilmiştir.

1) Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC = Differencial Scanning Calorimeter), Dinamik Mekanik Analiz (DMA), Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM = Scanning Electron Microscopy), Vicat yumuşama sıcaklığı (VYS) gibi testlerin, yapılan deneylerin sonuçlarının daha verimli ve doğru değerlendirilebilmesi adına uygulanması önerilebilir.

2) hacimce en fazla yüzde 10 modifiye edilmiş (isteğe bağlı modifiye miktarı belirlenmiş) mikronize hibrit mineraller ile basınçlı boru üretiminin denenmesi

önerilebilir.

3) günümüzde plastik malzemelere ilave edilen mineral dolgularda nano partikül boyutu büyük oranda ilgi çekmektedir. Bu bağlamda plastik boru hammaddesi içerisine nano partikül boyutunda da mineral dolgular ilave edilerek uygun üretim yönteminin kullanılması ile üretilecek olan boruların iç basınç performans özelliklerinin değişiminin incelenmesi ve regresyon eğrilerinin bulunmasının önemli olduğu düşüncesi ile ileriki çalışmalarda bu konu üzerine araştırma yapılması da önerilebilir.

KAYNAKLAR

- 1) Akar, A., “Plastik Borular”, *TMMOB Makine Mühendisleri Odası Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 1, 11, 7-10, (1994).
- 2) Ant, E., Claus, W., “Kunststoffrohr-Handbuch: Rohrleitungssysteme für die Ver- und Entsorgung sowie weitere Anwendungsgebiete”, 3. Auflage, *Vulkan- Verlag*, ISBN 3-8027-2708-8, (1997).
- 3) Anonim, **Mondo Minerals Teknik Bülten**, No.1301, 2009
- 4) **ASTM E 1363**, “Standard Test Method for Temperature Calibration of Thermomechanical Analysis”, (1990).
- 5) **ASTM D 1545**, “Standard Test Method for Glass Transition Temperature by Thermomechanical Analysis”, (1993).
- 6) “AUTOMOTIVE DRIVES MINERAL MODIFIER DEVELOPMENTS.” **Plastic Additives and Compounding**, s30-32 (Mart/Nisan 2006)
- 7) CHACKO, V. P., “Morphology and Mechanical Properties of Particulate Calcium Carbonate Polyethylene Composites”, Doktora Tezi, *University of Massachusetts*, 4-5, (1982).
- 8) CHANG, H. S. “Rheology and processing of talc filled thermoplastics” **Doktora Tezi**
- 9) CHOI, W. Jin & Sung Chul Kim, “Effects of talc orientation and non-isothermal crystallization rate on crystal orientation of polypropylene in injection-molded polypropylene/ethylene-propylene rubber/talc blends”(2004)

- 10) DURAN, M., “**Plastik Boru Sektör Raporu**”, *Dış Ticaret Araştırma Servisi*, (2005).
- 11) FRIEDRICH, K., “Über den Einfluss der Morphologie auf Festigkeit und Bruchvorgänge in isotischem Polypropylen”, Doktora Tezi, *Ruhr-Universität, Bochum*, (1978).
- 12) GACHTER, R., MÜLLER, H., “Plastics Additives Handbook”, Third edition, KLEMCHUK, P.P., *Hanser Publishers*, 525-535, (1990).
- 13) GROENEWOUD, W.M., “Characterisation of Polymers by Thermal Analysis”, *Elsevier*, ISBN 0-444-50604-7, (2001).
- 14) HADAL, R. S., DASARI, A., ROHRMANN, Y. MISRA, R. D. K., “Effect of wollastonite and talc on the micromechanisms of tensile deformation in polypropylene composites”, *Materials Science and Engineering*, 372, 296-315, (2004).
- 15) HARPER, CHARLES A. “Handbook of Plastic Process”, s11. **John Wiley & Sons Interscience Publication**. (2006)
- 16) HOLMAN, J. P., “Experimental Methods for Engineers ”, Sixth Edition, *McGraw-Hill*, ISBN 0-07-029666-9, (1994).
- 17) KARACAN, H. “mineral dolgu maddeleri ile polipropilen boruların kısa süreli iç basınç performans özelliklerinin optimizasyonu” *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi* (2007)
- 18) FINDIK, E. “Talk mineral dolgu maddesi ile polipropilen blok kopolimer kısa süreli iç basınç performans özelliklerinin optimizasyonu” *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi* (2009)
- 19) KARRAD, S., CUESTA, J-M. L., CRESPIY, A., “Influence of a fine talc on the properties of composites with high density polyethylene and polyethylene/polystyrene blends”, *Journal of Materials Science*, 33, 453-461, (1998).

- 20) KESKİN, Ş., “Plastik Bilimi ve Teknolojisine Bölüm I Plastik İşleme Teknikleri ve Kalite Kontrol”, *TMMOB Kimya Mühendisleri Odası*, (1989).
- 21) KRISHNASWAMY, R. K., LAMBORN, M. J. “The Influence of Process History on the Ductile Failure of Polyethylene Pipes Subject to Continuous Hydrostatic Pressure”, *Advances in Polymer Technology*, 24, 3, 226–232 (2005).
- 22) LIANG, J.Z. and NESS, J.N., “Influence of the extrusion conditions on the flow behaviour of polystyrene melts”, *Journal of Materials Processing Technology*, 69, 50-54, (1999).
- 23) LONGEREY, M., J. and M. LOPEZ C. , P. GAUDON, A. CRESPEY “Talc and brominated trimethylphenyl indane/Sb₂O₃ blend in a PP-PE copolymer”, *Polymer Degradation and Stability*, 64 (1999) 489±496
- 24) MARŞOĞLU, M., “Plastik Malzemeler ”, *Arpaç Matbaacılık Tesisleri*, (1986).
- 25) MARŞOĞLU, M., “Plastiklerde Yapı Özellik İlişkisi”, Mesleki Eğitim Programı Plastik Teknolojisi Seminer Notları, *TMMOB İstanbul Şubesi*, (1992).
- 26) MICHEL A. HUNEALUT, PATRICE G. GODFROY, and PIERRE G. LAFLEUR “Performance of TalcEthylene-Octene Copolymer/Polypropylene Blends” *Polymer Engineering and Science*, JUNE 199S, Vol. 39, No. 6
- 27) MISRA, R. D. K., NERIKAR, P., BERTRAND, K. MURPHY, D., “Some aspects of surface deformation and fracture of 5–20% calcium carbonate-reinforced polyethylene composites”, *Materials Science and Engineering*, 384, 284-298, (2004)
- 28) MULLNER, H., W., “Experimental and Numerical Investigation of the Die Swell Phenomenon of Rubber Blends” **6th International PhD Symposium in Civil Engineering**, 2006
- 29) NEISSL, W., LEDWINKA, H., “Polypropylen- die Zukunft hat gerade begonnen”, *Kunststoffe* 83, 8, 577-579, (1993).

- 30) NIRAJ, D., “The Effect Of Fillers On The Mechanical and Thermal Properties Of High Density Polyethylene”, Doktora Tezi, *University of Massachusetts Lowell*, 9-14, (1997).
- 31) OSMAN, M. A., AYMAN, A., ULRICH, W. S., “Influence of excessive filler coating on the tensile properties of LDPE–calcium carbonate composites”, *Polymer*, 45, 1177-1183, (2004).
- 32) PUKANSZKY, B., MOCZO, J. “Morphology and Properties of Particulate Filled Polymers”, *Macromol. Symp.* (2004)
- 33) RABELLO, M. S., WHITE J. R., “Photodegradation of Polypropylene Containing a Nucleating Agent”, *Journal of Applied Polymer Science*, 64, 2505-2517, (1997).
- 34) ROTZINGER, B. “Talc-filled PP: A new concept to maintain long term heat stability” *Polymer Degradation and Stability* 91, (2006)
- 35) SUZUKI, K., OKUBO S. & BANNO Y. – “Development of non compounded high stiffness and high impact resistance material for interior parts” (2000)
- 36) SILVA, A. L. D., ROCHA, M. C. G. MORAES, M. A. R., VALENTE, C. A. R., “Mechanical and rheological properties of composites based on polyolefin and mineral additives”, *Polymer Testing*, 21, 57-60, (2002).
- 37) SON, J., YANG, H., S., KIM, H., J. “Physico-mechanical Properties of Paper Sludge–Thermoplastic Polymer Composites”, *Journal of Thermoplastic Composite Materials* , (2000)
- 38) TJONG, S. C. and LI, R. K. Y., “Mechanical Properties and Impact Toughness of Talc Filled β -Crystalline Phase Polypropylene Composites”, *Journal of Vinyl and Additive Technology*, 3, No:1, 89-95, (1997).
- 39) Lang RW, Stern A, Doerner G. **Die Angewandte Makromolekulare Chemie** 1997;247:131.
- 40) Gaube E, Gebler H, Müller W, Gondro C. **Kunststoffe** 1985;75(7):412–5.

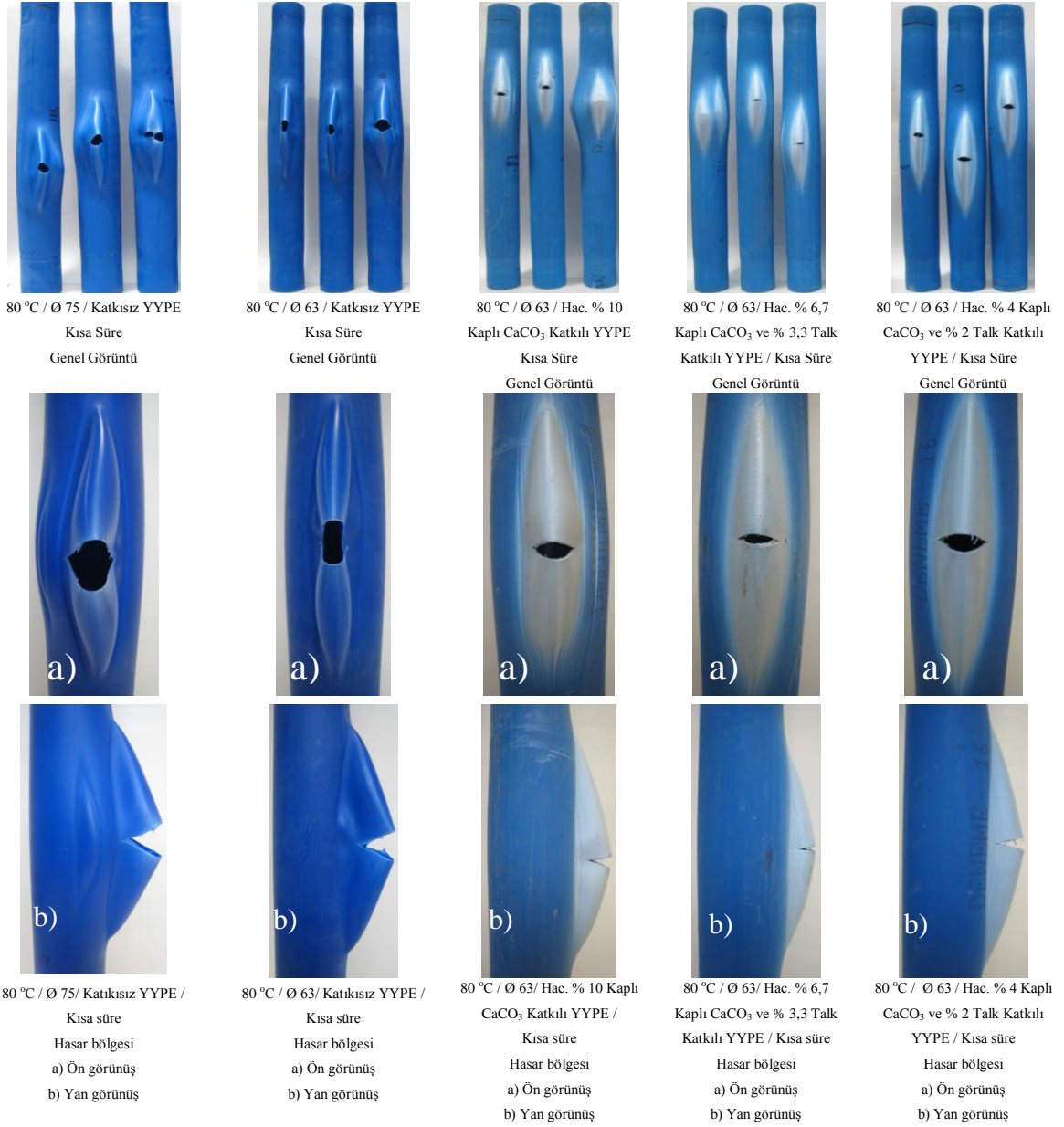
- 41) Ifwarson M. **Kunststoffe** 1989;79(6):525–9.
- 42) Barker MB, Bowman JA, Bevis M. **J Mater Sci** 1983;18:1095–118.
- 43) Brömstrup H. Essen, Deutschland: **Vulkan Verlag**; 2004.
- 44) Brown N, Lu X. In: 12th **Plastic fuel gas pipe symposium**, Boston, Massachusetts, USA; 1991.
- 45) Brown N, Lu X. In: 13th **Plastic fuel gas pipe symposium**, San Antonio, Texas, USA; 1993.
- 46) Janson LE. Borealis, Axelsson, S. AB/Fäldts Grafiska AB, **Stockholm, Sweden**; 1999.
- 47) Haager M. Institute of materials science and testing of plastics, **Austria: University of Leoben**; 2006.
- 48) Brown N, Lu X, et al. **Plast Rubb Compos Process Appl** 1992;17(4):255–8.
- 49) Pinter G, Lang RW. The application of fracture mechanics to polymers, adhesives and composites. In: Moore DR, editor. vol. 33, **Oxford (England)**:
- 50) Parsons M, Stepanov EV, Hiltner A, Baer E. **J Mater Sci** 2000;35:2659–74.
- 51) Pinter G, Haager M, Lang RW. ANTEC 2006. Charlotte (North Carolina, USA): **Society of Plastics Engineers**; 2006.
- 52) Pinter G, Haager M, Balika W, Lang RW. **Polym Test** 2007;26(2):180–8.
- 53) Lang RW, Pinter G, Balika W. **3R International**. 2005; 44(1–2): 33–41.
- 54) Lang RW, Pinter G, Balika W, Haager M. **Plastics pipes XIII**, Washington DC, USA; 2006.

- 55) Pinter G, Lang RW, Haager M. **Chem Monthly** 2007;138:347–55.
- 56) Frank A, Pinter G, Lang RW. ANTEC 2008. Milwaukee (Wisconsin, USA): **Society of Plastics Engineers**; 2008.
- 57) Andreas Frank , Werner Freimann , Gerald Pinter , Reinhold W. Lang " A fracture mechanics concept for the accelerated characterization of creep crack growth in PE-HD pipe grades” **Engineering Fracture Mechanics** 76, 2780–2787,(2009)
- 58) Fabiano Moreno Peres ,Cláudio Geraldo Schön “An alternative approach to the evaluation of the slow crack growth resistance of polyethylene resins used for water pipe extrusion” Springer Science + Business Media B.V. **J Polym Res** 14:181-189,(2007)
- 59) ANONİM, **Mondo Minerals Teknik Bülten**, No.1301, 2009
- 60) Sahebian, S., Zebarjad, S.M., Vahdati Khaki,K., Sajjadi, S.A., “the effect of nano-sized calcium carbonate on thermodynamic parameters of HDPE” **Journal of Materials Processing technology** ,209, 1310-1317,(2009).
- 61) Deshmane,C., Yuan, Q., Misra, R.D.K.,”on the fracture characteristics of impact tested high density polyethylene-calcium carbonate nanocomposites” **Material science and engineering**,A 452-453,592-601, (2007).
- 62) S.M. Pimputkar, B. Leis, J.A. Stets, D.R. Stephens, M.M. Mamoun, Flow shut-off and damage in polyethylene gas piping during squeeze-off, in: **International Gas Research Conference**, Chicago, IL, (1995).
- 63) Pasa Yayla, Yasar Bilgin, Squeeze-off of polyethylene pressure pipes:Experimental analysis, **Polymer Testing** 26, 132–141, (2007).
- 64) Xie F,WangY-Z, Yang B, LiuY.A novel intumescent flame-retardant polyethylene system. **Macromolecular Materials and Engineering**, 291, 247–53, (2006).
- 65) Le Bras M, Bugajny M, Lefebvre JM, Bourbigot S. **Polymer International**;49:1115,(2000).

- 66) S. Bellayer , E. Tvard, S. Duquesne , A. Piechaczyk , S. Bourbigot , Mechanism of intumescence of a polyethylene/calcium carbonate/stearic acid system, **Polymer Degradation and Stability**, 94, 797–803, (2009).

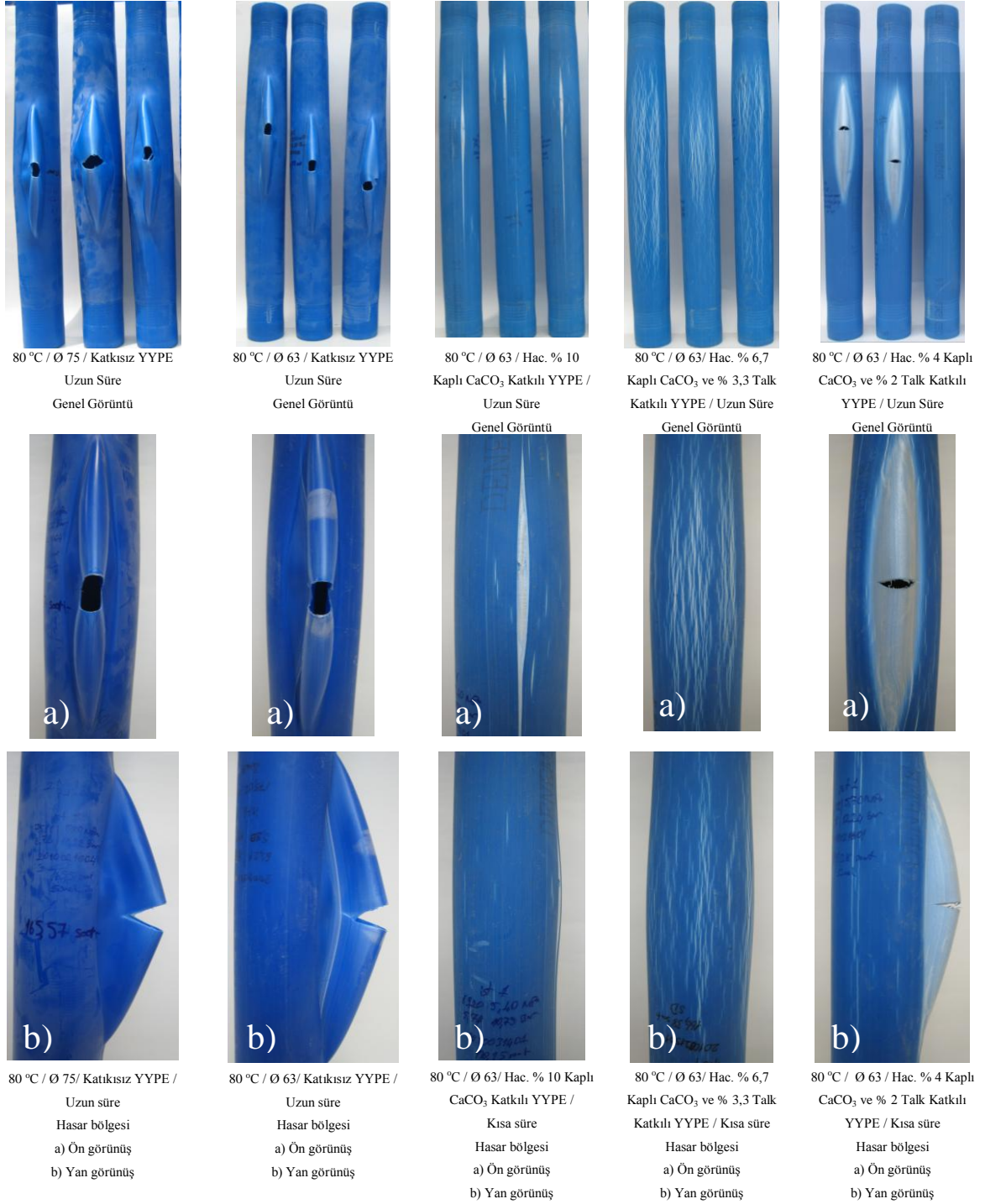
EKLER

EK A-1



Şekil A1: 80 °C de farklı çaplı katkısız YYPE ve farklı hacim oranlı ve farklı türlerde mineral katkı yüksek yoğunluklu polietilen boruların kısa süreli hidrostatik iç basınç testi sonrası hasar bölgeleri

EK A-2



Şekil A2: 80 °C de farklı çaplarda katkısız YYPE ve farklı hacim oranlarında ve farklı türlerde mineral katkı yüksek yoğunluklu polietilen boruların uzun süreli hidrostatik iç basınç testi sonrası hasar bölgeleri

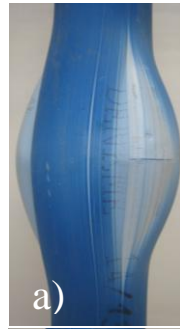
EK A-3



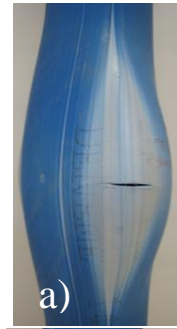
a)



a)



a)



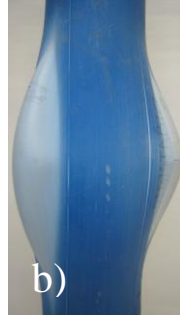
a)



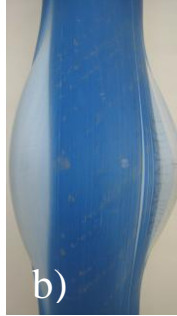
b)



b)



b)



b)

Çevresel Gerilme: 6,40 Mpa
İç Basınç: 13,16 Bar
Hasar Süresi: 1,24 saat
Hasar Türü: Sinek

Çevresel Gerilme: 6,40 Mpa
İç Basınç: 13,03 Bar
Hasar Süresi: 0,42 saat
Hasar Türü: Sinek

Çevresel Gerilme: 6,40 Mpa
İç Basınç: 13,03 Bar
Hasar Süresi: 1,48 saat
Hasar Türü: Sinek

Çevresel Gerilme: 6,40 Mpa
İç Basınç: 12,79 Bar
Hasar Süresi: 1,70 saat
Hasar Türü: Sinek



a)



a)



a)



a)



b)



b)



b)



b)

Çevresel Gerilme: 5,40 Mpa
İç Basınç: 10,96 Bar
Hasar Süresi: 100,66 saat
Hasar Türü: Sinek Diğer

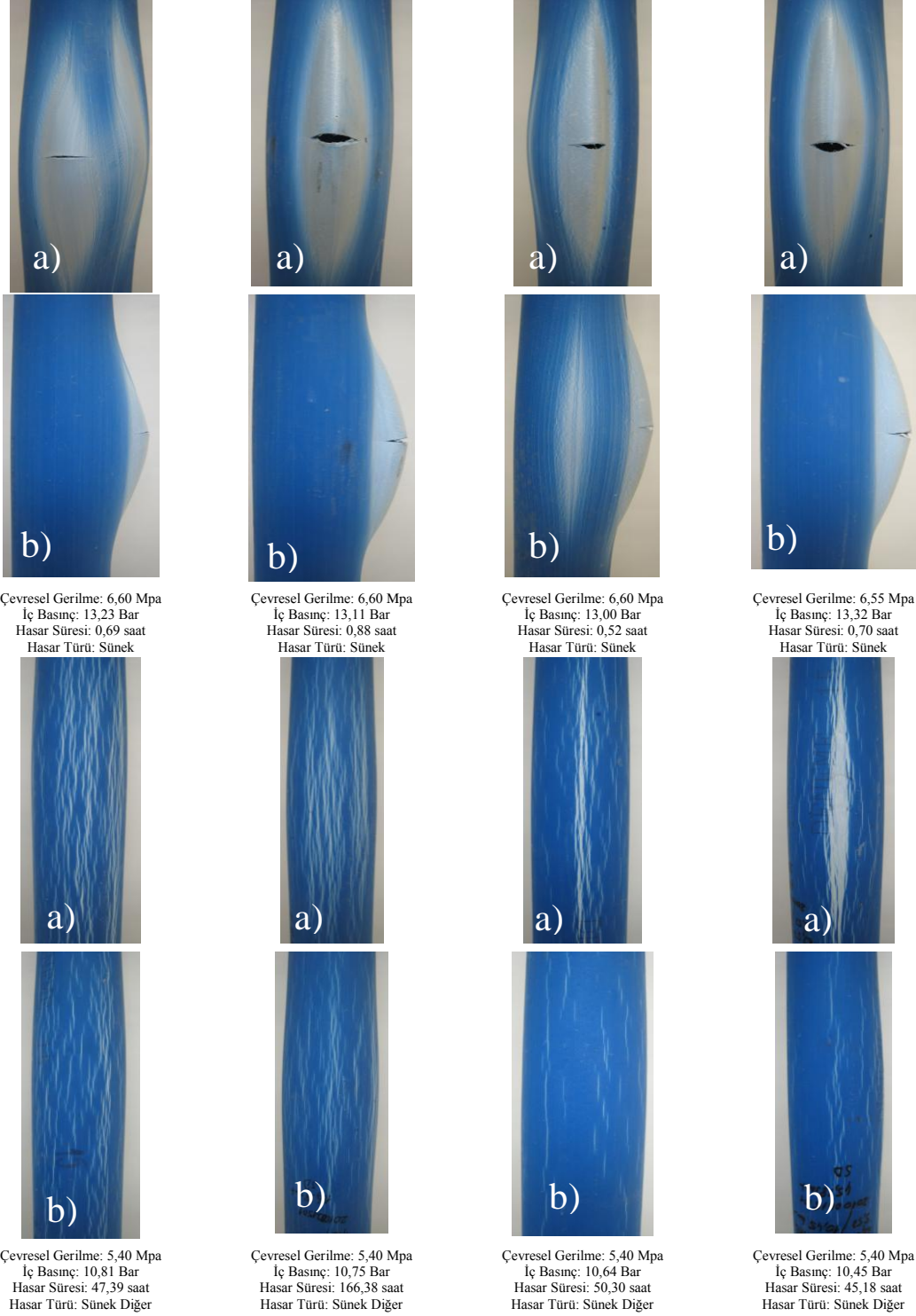
Çevresel Gerilme: 5,40 Mpa
İç Basınç: 10,89 Bar
Hasar Süresi: 125,48 saat
Hasar Türü: Sinek Diğer

Çevresel Gerilme: 5,40 Mpa
İç Basınç: 10,79 Bar
Hasar Süresi: 130,15 saat
Hasar Türü: Sinek Diğer

Çevresel Gerilme: 5,40 Mpa
İç Basınç: 10,56 Bar
Hasar Süresi: 214,44 saat
Hasar Türü: Sinek

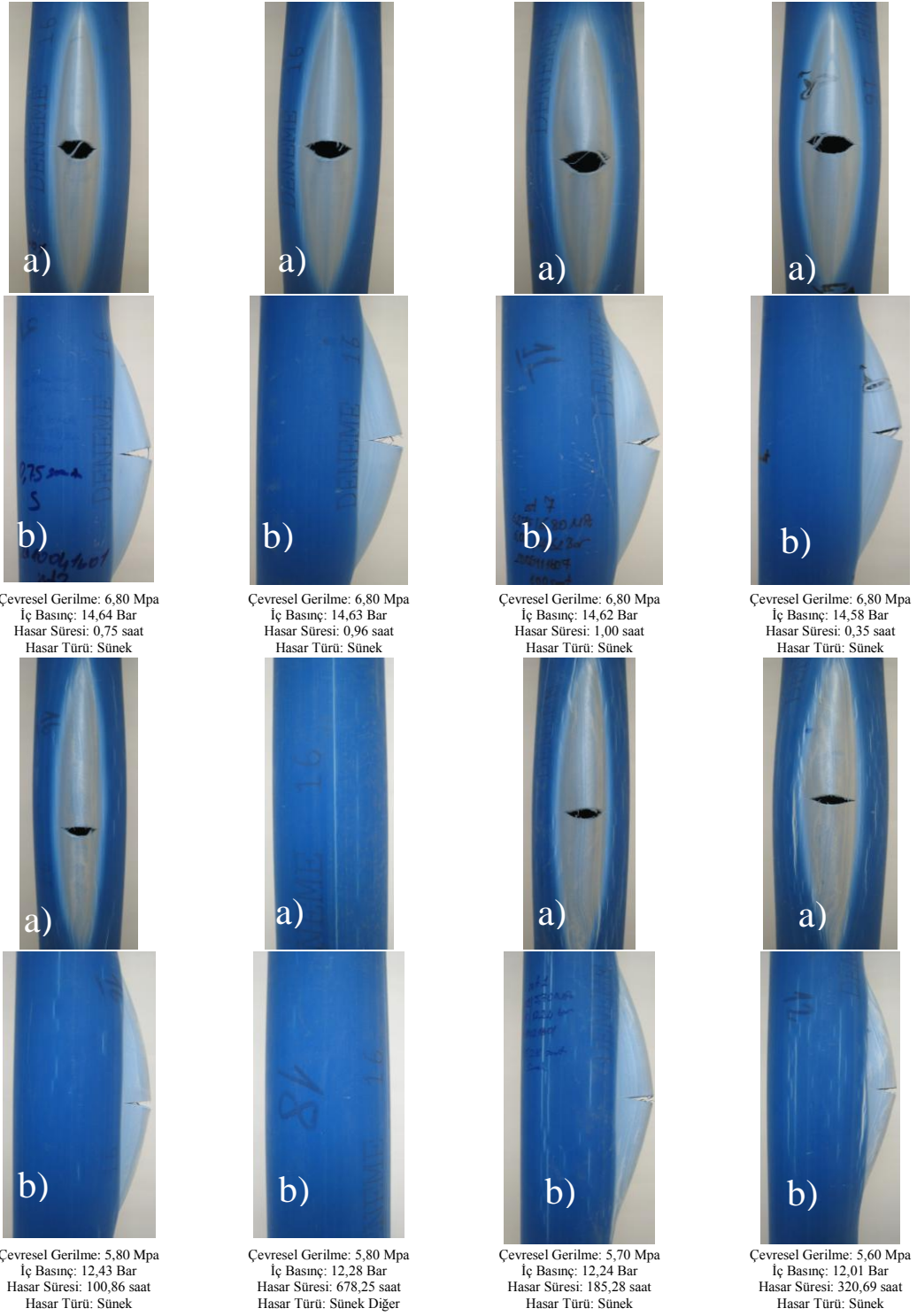
Şekil A3: 80 °C de Ø63 çapındaki hacimce % 10 Kalsiyum Karbonat (Omyacarb 2 T-KA,Kaplı CaCO_3) Katkılı Yüksek Yoğunluklu Polietilen Boruların Hidrostatik İç Basınç Testi sonrası hasar türleri

EK A-4



Şekil A4: 80 °C de Ø63 çapındaki hacimce % 6,7 Kalsiyum Karbonat (Omyacarb 2 T-KA,Kaplı CaCO_3) ve hacimce % 3,3 Talk (Mintalc 9715C,Kapsız Talk) Katkılı Yüksek Yoğunluklu Polietilen Borular

EK A-5



Şekil A5: 80 °C de Ø63 çapındaki hacimce % 4 Kalsiyum Karbonat (Omyacarb 2 T-KA,Kaplı CaCO₃ ve hacimce % 2 Talk (Mintalc 9715C,Kapsız Talk) Katkılı Yüksek Yoğunluklu Polietilen Borular

EK A-6



Şekil A6: 20 °C de farklı çaplarda katkısız YYPE ve farklı hacim oranlarında ve farklı türlerde mineral katkı yüksek yoğunluklu polietilen boruların kısa süreli hidrostatik iç basınç testi sonrası hasar bölgeleri

EK A-7



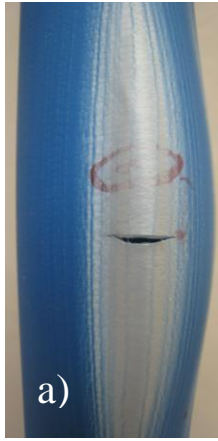
20 °C / Ø 63 / Hac. % 10 Kaplı CaCO₃ Katkılı YYPE
Uzun Süre Genel Görüntü



20 °C / Ø 63 / Hac. % 6,7 Kaplı CaCO₃ ve % 3,3 Talk
Katkılı YYPE / Uzun Süre Genel Görüntü



20 °C / Ø 63 / Hac. % 4 Kaplı CaCO₃ ve % 2 Talk
Katkılı YYPE / Uzun Süre Genel Görüntü



a)



a)



a)



b)



b)



b)

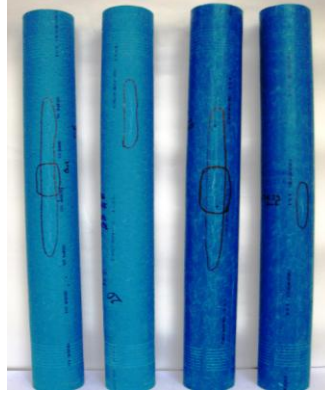
20 °C / Ø 63 / Hac. % 10 Kaplı CaCO₃ Katkılı YYPE /
Uzun süre Hasar bölgesi
a) Ön görünüş b) Yan görünüş

20 °C / Ø 63 / Hac. % 6,7 Kaplı CaCO₃ ve % 3,3 Talk
Katkılı YYPE / Uzun süre Hasar bölgesi
a) Ön görünüş b) Yan görünüş

20 °C / Ø 63 / Hac. % 4 Kaplı CaCO₃ ve % 2 Talk
Katkılı YYPE / Uzun süre Hasar bölgesi
a) Ön görünüş b) Yan görünüş

Şekil A7: 20 °C de farklı çaplarda katkısız YYPE ve farklı hacim oranlarında ve farklı türlerde mineral katkı yüksek yoğunluklu polietilen boruların uzun süreli hidrostatik iç basınç testi sonrası hasar bölgeleri

EK A-8



20 °C / Ø 75 / Hac. % 10 Talk Katkılı YYPE kısa ve uzun Süre

Genel Görüntü



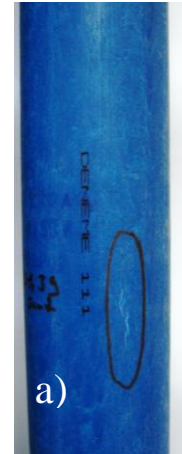
a)



a)



a)



a)



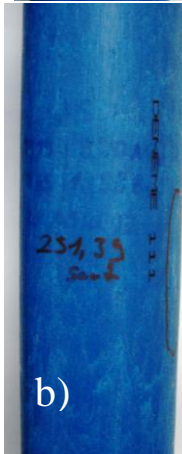
b)



b)



b)



b)

20 °C / Ø 75/ Hac. % 10 Talk 5XH Katkılı
YYPE / Kısa süre Hasar bölgesi
a) Ön görünüş b) Yan görünüş

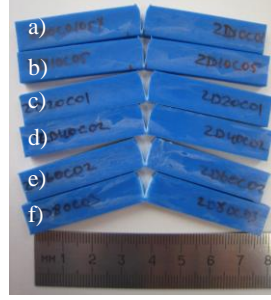
20 °C / Ø 75/ Hac. % 10 Talk 5XH Katkılı
YYPE / Uzun süre Hasar bölgesi
a) Ön görünüş b) Yan görünüş

20 °C / Ø 75/ Hac. % 10 Premier Talk
Katkılı YYPE / Kısa süre
Hasar bölgesi
a) Ön görünüş b) Yan görünüş

20 °C / Ø 75/ Hac. % 10 Premier Talk
Katkılı YYPE / Uzun süre
Hasar bölgesi
a) Ön görünüş b) Yan görünüş

Şekil A8: 20 °C de farklı çaplı katkısız YYPE ve farklı hacim oranlı ve farklı türlerde mineral katkılı yüksek yoğunluklu polietilen boruların kısa ve uzun süreli hidrostatik iç basınç testi sonrası hasar bölgeleri

EK B-1



Hac.%10 İmercarb 5G
kalsiyum karbonat katkılı
YYPE enjeksiyon numuneleri



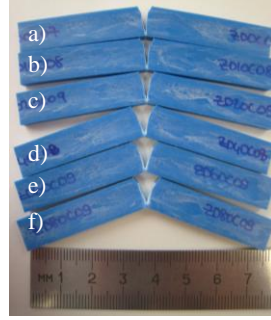
Hac.%10 İmercarb 2XG
kalsiyum karbonat katkılı
YYPE enjeksiyon
numuneleri



Hac.%10 İmercarb 1G
kalsiyum karbonat katkılı
YYPE enjeksiyon
numuneleri



Katkısız YYPE enjeksiyon
numuneleri



Hac.%15 İmercarb 5G
kalsiyum karbonat katkılı
YYPE enjeksiyon numuneleri



Hac.%15 İmercarb 2XG
kalsiyum karbonat katkılı
YYPE enjeksiyon
numuneleri



Hac.%15 İmercarb 1G
kalsiyum karbonat katkılı
YYPE enjeksiyon
numuneleri



Hac.%20 İmercarb 5G
kalsiyum karbonat katkılı
YYPE enjeksiyon numuneleri



Hac.%20 İmercarb 2XG
kalsiyum karbonat katkılı
YYPE enjeksiyon
numuneleri

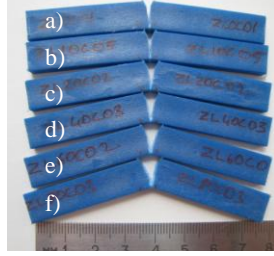


Hac.%20 İmercarb 1G
kalsiyum karbonat katkılı
YYPE enjeksiyon
numuneleri

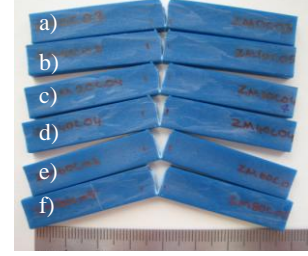
Görüntüler a) 0 °C de, b) 10 °C de, c) 20 °C de, d) 40 °C de, e) 60 °C de, f) 80 °C de deney uygulanmış numunelere aittir.

Şekil B1: Katkısız YYPE ve farklı türde, farklı hacim oranlarında Kalsiyum Karbonat minerali ile katkılanılarak farklı sıcaklıklarda charpy çentik darbe deneyi uygulanmış numuneler

EK B-2



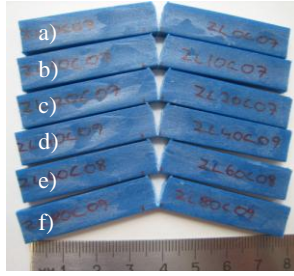
Hac.%10 Mikron's Talk 5XH katkılı YYPE enjeksiyon numuneleri



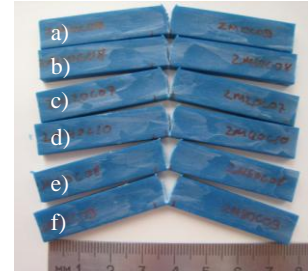
Hac.%10 Premier Talk katkılı YYPE enjeksiyon numuneleri



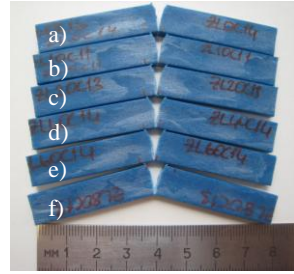
Katkısız YYPE enjeksiyon numuneleri



Hac.%15 Mikron's Talk 5XH katkılı YYPE enjeksiyon numuneleri



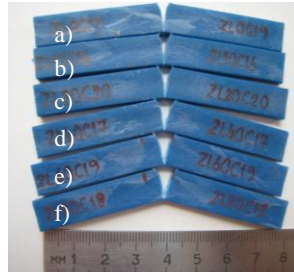
Hac.%15 Premier Talk katkılı YYPE enjeksiyon numuneleri



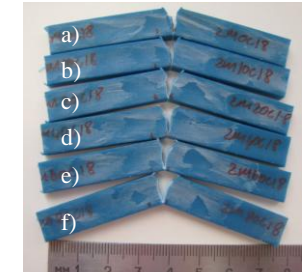
Hac.%17,5 Mikron's Talk 5XH katkılı YYPE enjeksiyon numuneleri



Hac.%17,5 Premier Talk katkılı YYPE enjeksiyon numuneleri



Hac.%20 Mikron's Talk 5XH katkılı YYPE enjeksiyon numuneleri

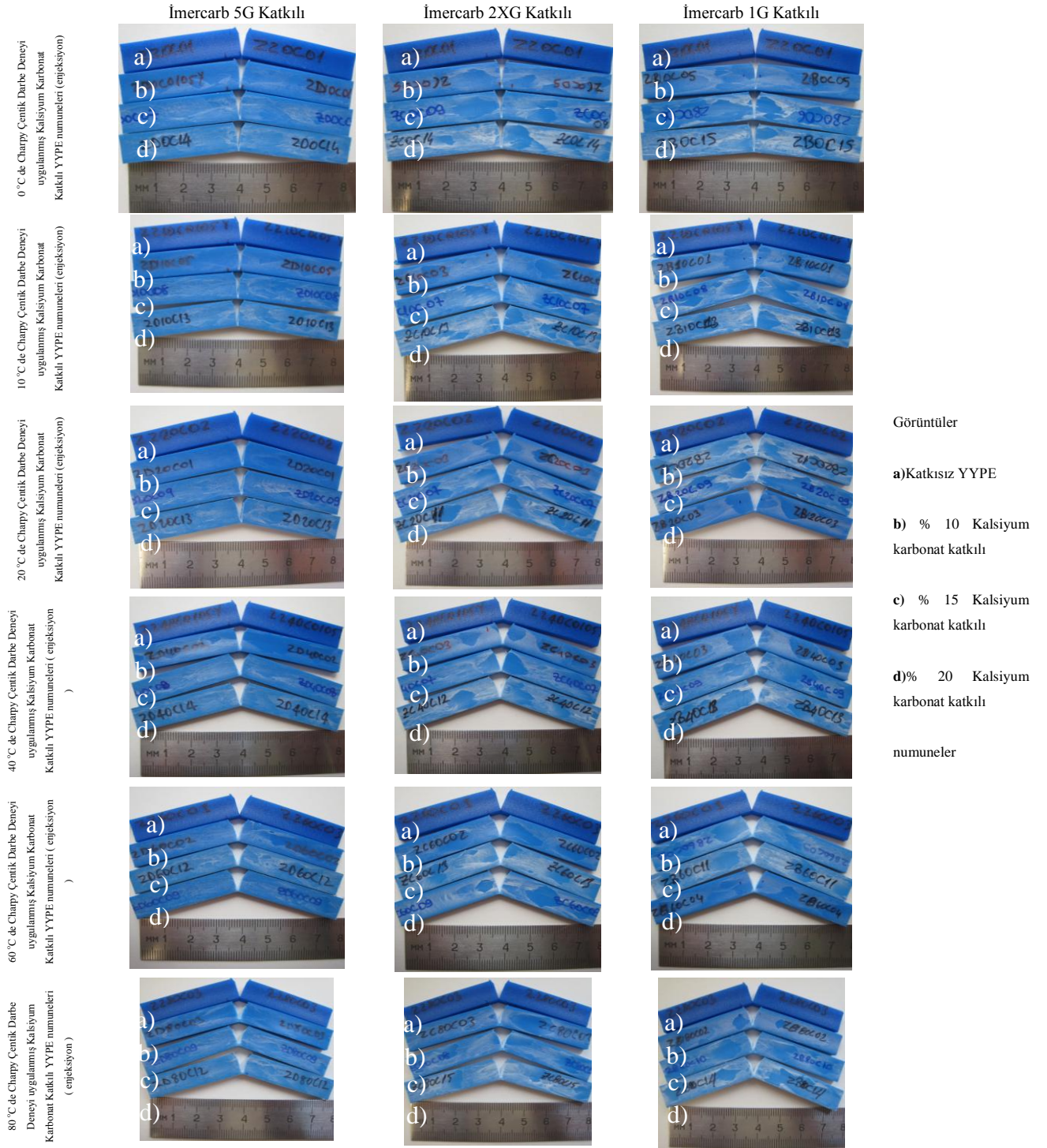


Hac.%20 Premier Talk katkılı YYPE enjeksiyon numuneleri

Görüntüler a) 0 °C de, b) 10 °C de, c) 20 °C de, d) 40 °C de, e) 60 °C de, f) 80 °C de deney uygulanmış numunelere aittir.

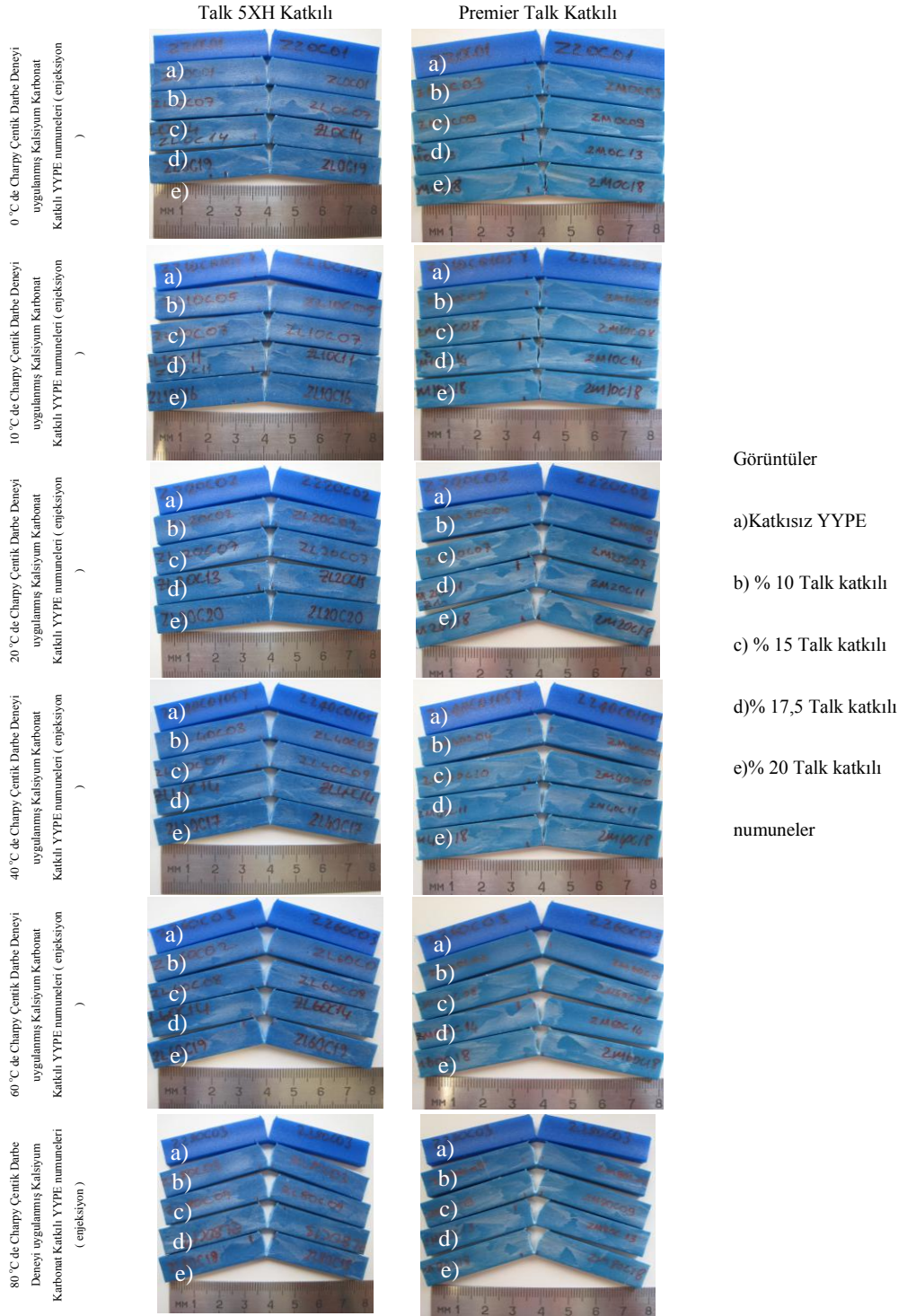
Şekil B2: Katkısız YYPE ve farklı türde, farklı hacim oranlarında Talk minerali ile katkılandırılarak farklı sıcaklıklarda charpy çentik darbe deneyi uygulanmış numuneler

EK B-3



Şekil B3: Katkısız YYPE ve farklı türde ve hacim oranlarında Kalsiyum Karbonat minerali ile katkılandırılarak charpy çentik darbe deneyi uygulanmış numuneler

EK B-4

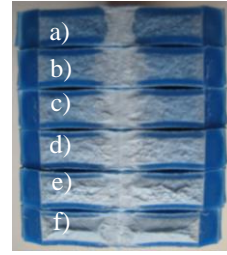


Şekil B4: Katkısız YYPE ve farklı türde ve hacim oranlarında Talk minerali ile katkılandırılarak charpy çentik darbe deneyi uygulanmış numuneler

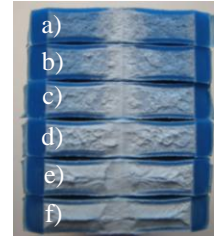
EK B-5



% 10 İmercarb 5G Kalsiyum
Karbonat Katkılı YYPE



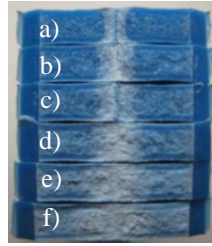
% 10 İmercarb 2XG Kalsiyum
Karbonat Katkılı YYPE



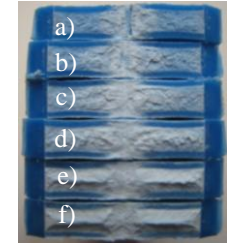
% 10 İmercarb 1G Kalsiyum
Karbonat Katkılı YYPE



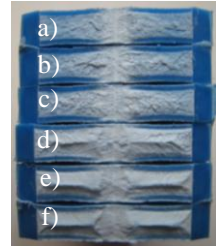
Katkısız YYPE



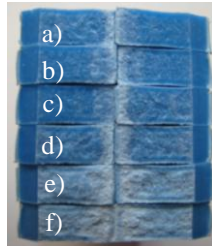
% 15 İmercarb 5G Kalsiyum
Karbonat Katkılı YYPE



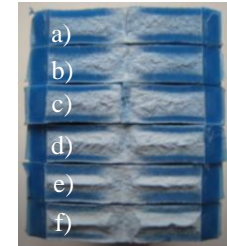
% 15 İmercarb 2XG Kalsiyum
Karbonat Katkılı YYPE



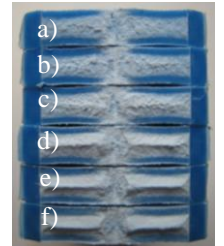
% 15 İmercarb 1G Kalsiyum
Karbonat Katkılı YYPE



% 20 İmercarb 5G Kalsiyum
Karbonat Katkılı YYPE



% 20 İmercarb 2XG Kalsiyum
Karbonat Katkılı YYPE



% 20 İmercarb 1G Kalsiyum
Karbonat Katkılı YYPE

Görüntüler a)0°C de; b)10°C de; c)20°C de; d)40°C de; e)60°C de; f)80°C deki numunelerin kırılma yüzeyleri

Şekil B5: Katkısız YYPE ve farklı türde ve hacim oranlarında Kalsiyum Karbonat minerali ile katkılanılarak charpy çentik darbe deneyi uygulanmış numunelerin kırılma yüzeyleri

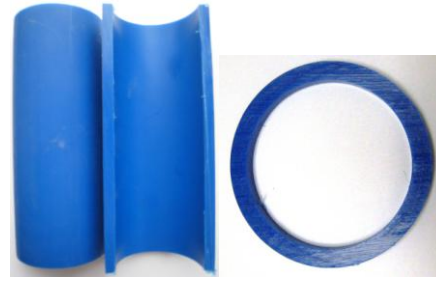
EK B-6



Görüntüler a)0°C de; b)10°C de; c)20°C de; d)40°C de; e)60°C de; f)80°C; deki kırılma yüzeyleri

Şekil B6: Katkısız YYPE ve farklı türde ve hacim oranlarında Talk minerali ile katkılandırılarak charpy çentik darbe deneyi uygulanmış numunelerin kırılma yüzeyleri

EK C-1



HE3494 LS (D75)

Talk 5XH Katkılı



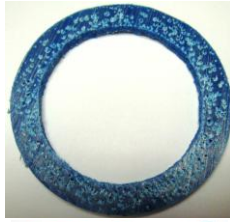
HE3494 LS % 10 (D75)

HE3494 LS % 15 (D75)

HE3494 LS % 17,5 (D75)

HE3494 LS % 20 (D75)

Premier Talk



HE3494 LS % 10 (D75)

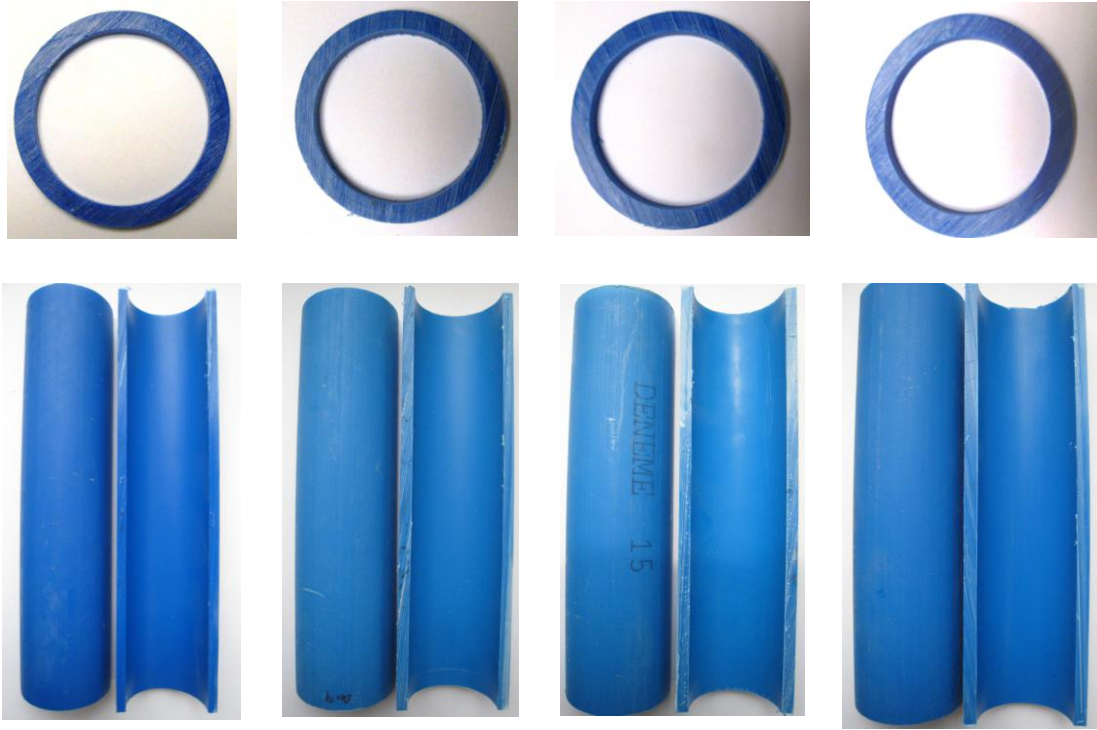
HE3494 LS % 15 (D75)

HE3494 LS % 17,5 (D75)

HE3494 LS % 20 (D75)

Şekil C1: Katkısız ve Talk 5XH ve Premier Talk katkı HE3494LS karışımları ile üretilen boruların farklı % hacim oranlarına göre üretim sonrası görüntüleri

EK C-2



HE 3494LS (D63)

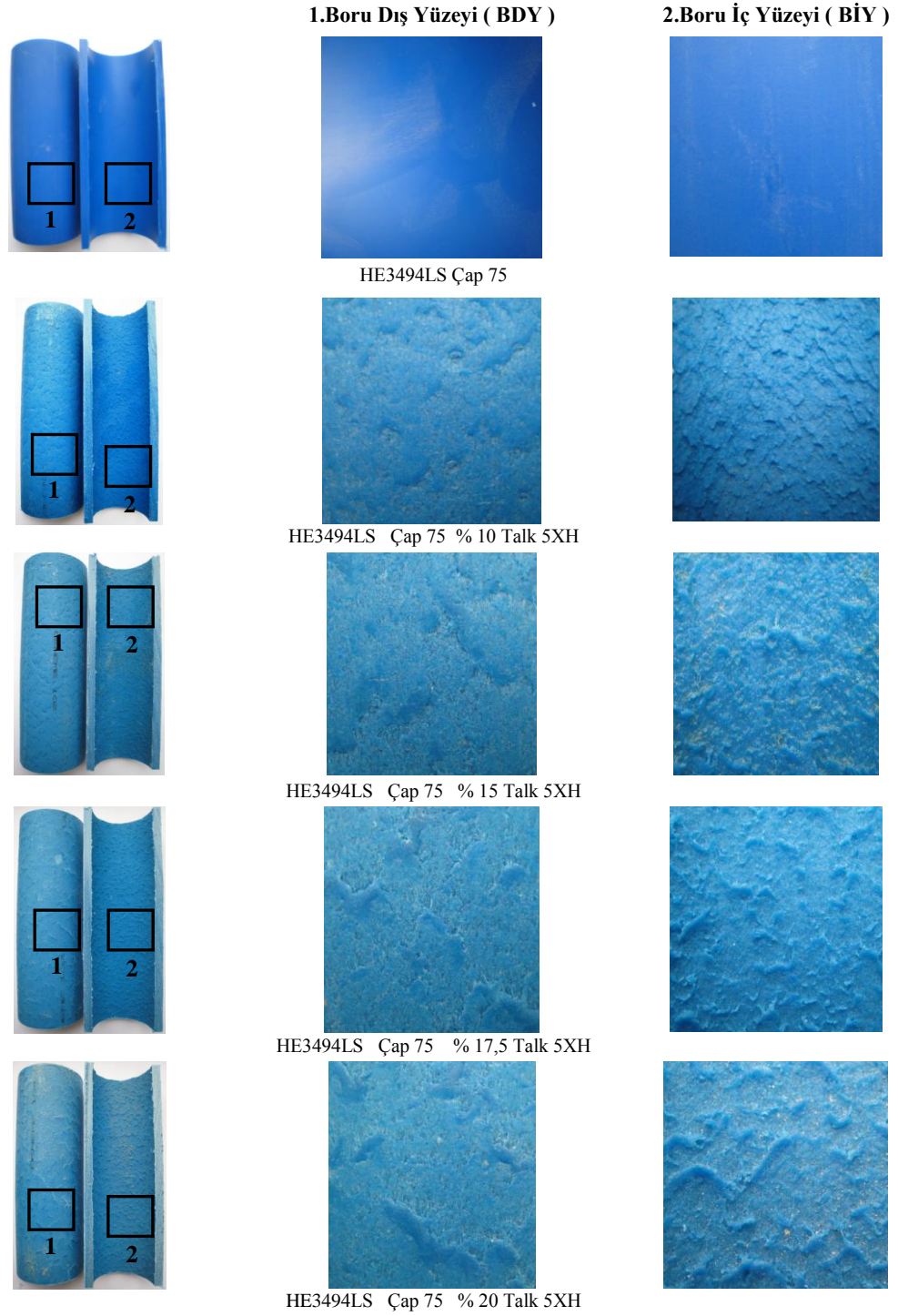
HE3494LS
% 10 OMYACARB 2 T-KA
(D63)

HE3494LS
% 6,7 OMYACARB 2 T-KA
% 3,3 MINTALC 9715C
(D63)

HE3494LS
% 4 OMYACARB 2 T-KA
% 2 MINTALC 9715C
(D63)

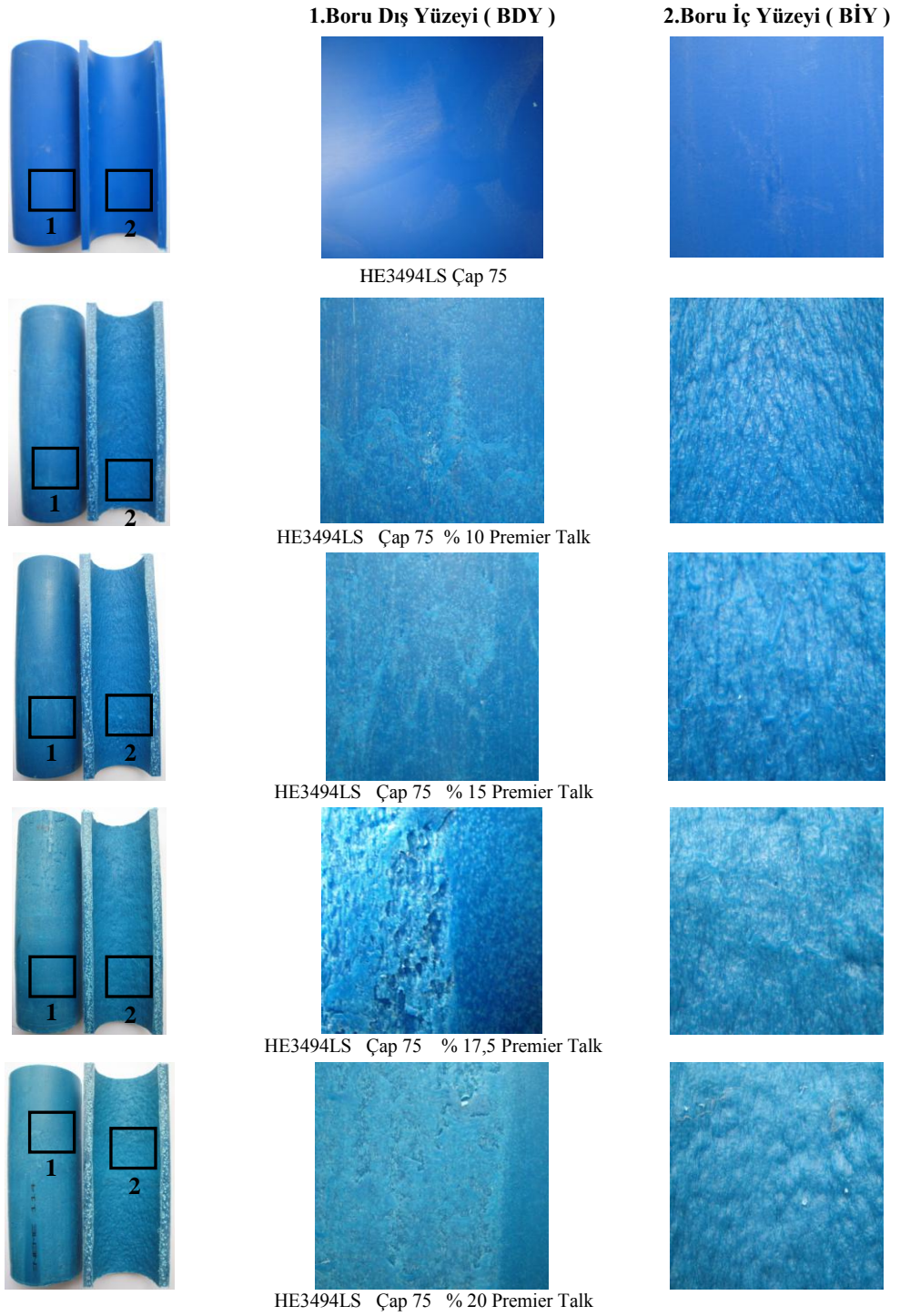
Şekil C2: Katkısız ve katkılı HE3494LS karışımları ile üretilen boruların farklı katkı türlerine ve % hacim oranlarına göre üretim sonrası görüntüleri

EK C-3



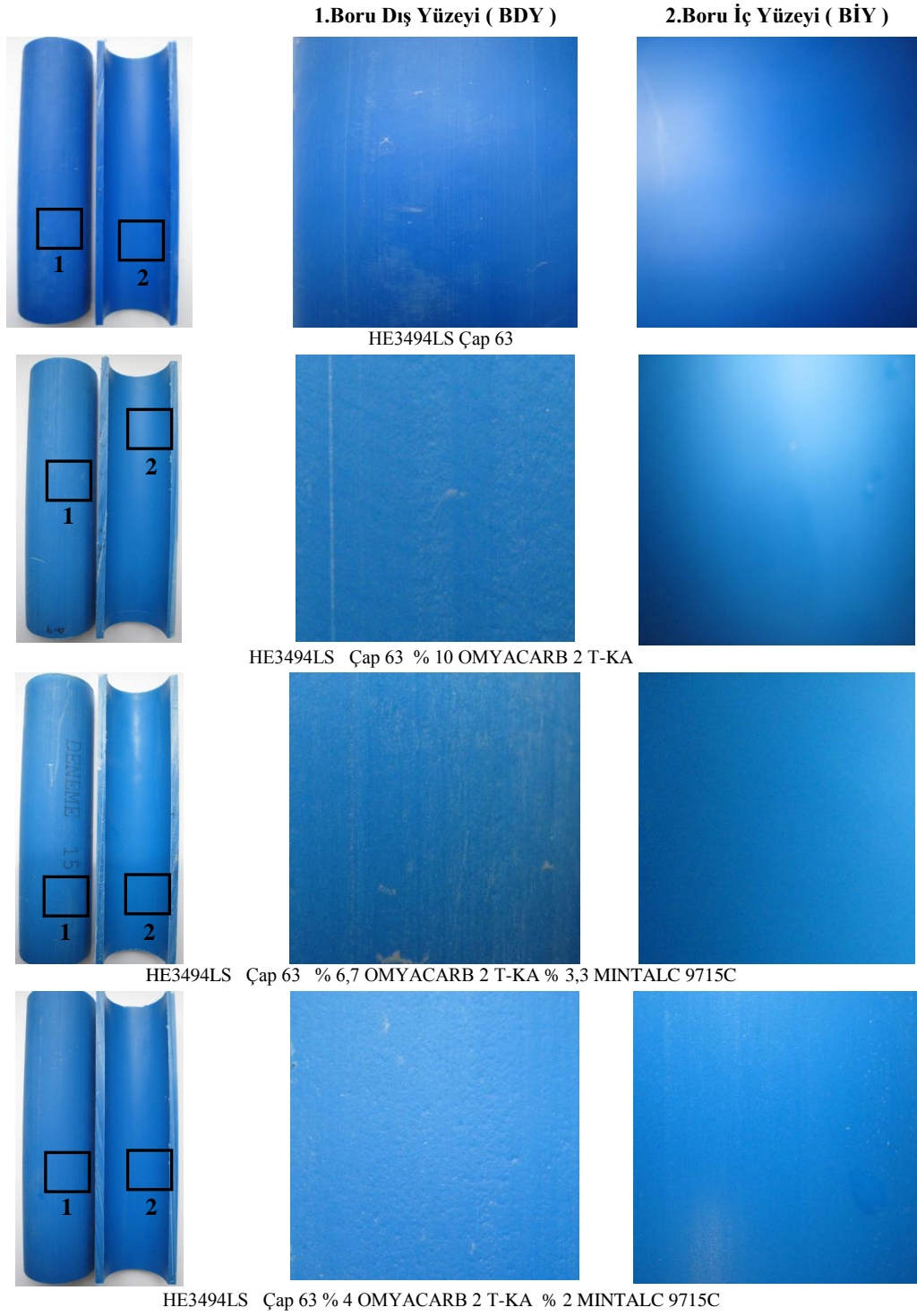
Şekil C3: Katkısız ve farklı hacim oranlarında Talk 5XH katkı HE3494LS karışımlarından üretilen Ø 75 mm çaplı boruların yüzeylerinin makro resimleri

EK C-4



Şekil C4: Katkısız ve farklı hacim oranlarında Premier Talk katkılı HE3494LS karışımlarından üretilen Ø 75 mm çaplı boruların yüzeylerinin makro resimleri

EK C-5



Şekil C5: Katkısız ve farklı hacim oranlarında Kalsiyum karbonat ve talk katkılı HE3494LS karışımlarından üretilen Ø 63 mm çaplı boruların yüzeylerinin makro resimleri

EK D-1

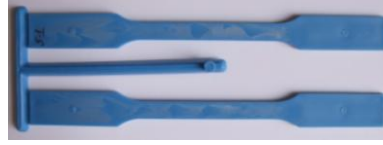
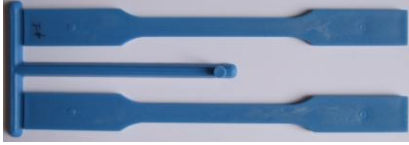


HE3494LS – (SAF YYPE)

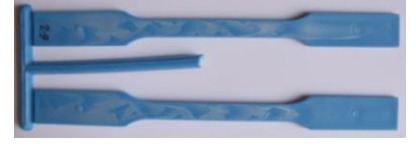
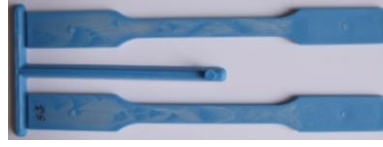
İMERCARB 5G

İMERCARB 2XG

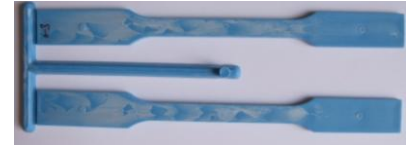
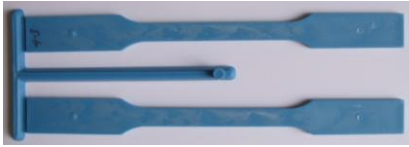
İMERCARB 1G



HE3494LS & %10 Kalsiyum karbonat Dolgulu



HE3494LS & %15 Kalsiyum karbonat Dolgulu



HE3494LS & %20 Kalsiyum karbonat Dolgulu

Şekil D1: Saf YYPE ile farklı mikro partikül büyüklüğüne ve hacimce kalsiyum karbonat dolgu miktarına sahip çok amaçlı enjeksiyon numuneleri

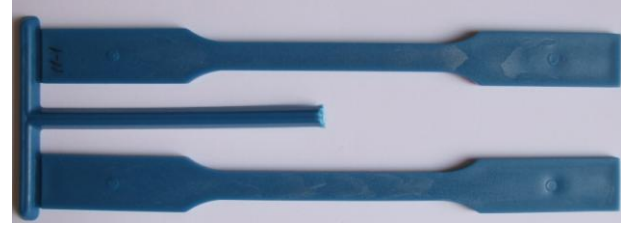
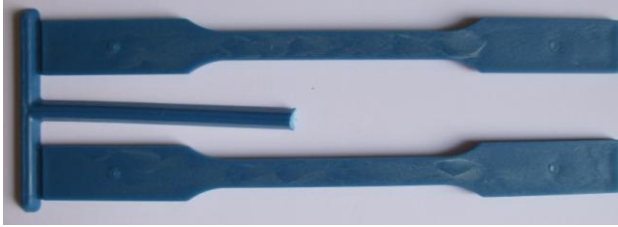
EK D-2



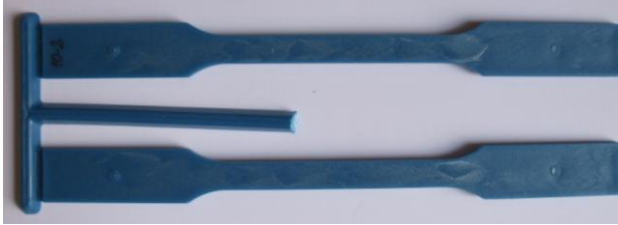
HE3494LS – (SAF YYPE)

TALK 5XH

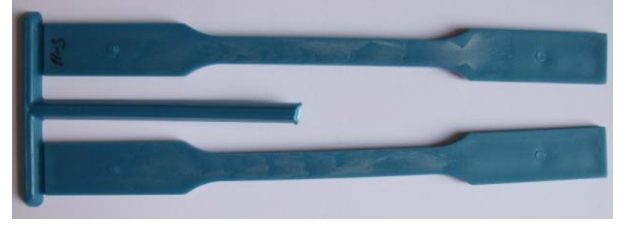
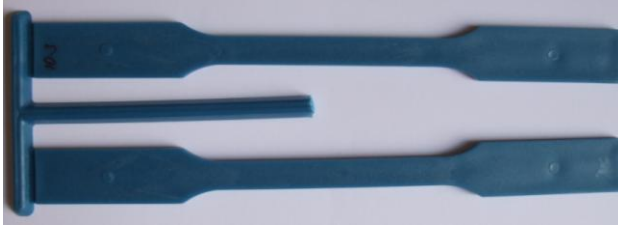
PREMIER TALK



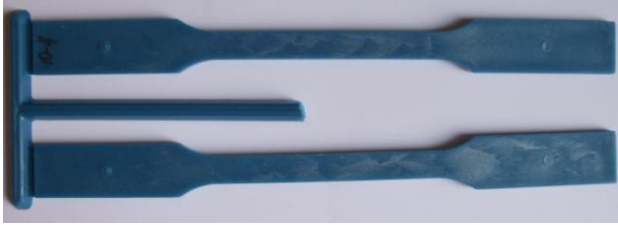
HE3494LS & %10 Talk Dolgulu



HE3494LS & %15 Talk Dolgulu



HE3494LS & %17,5 Talk Dolgulu



HE3494LS & %20 Talk Dolgulu

Şekil D2: Saf YYPE ile farklı mikro partikül büyüklüğüne ve hacimce talk dolgu miktarına sahip çok amaçlı enjeksiyon numuneleri

ÖZGEÇMİŞ

1984 yılında Bulgaristan’da doğdu. İlk ve orta okulu Necatibey İlköğretim Okulunda tamamladı. Lise öğrenimini ise Kocaeli Anadolu Lisesi’nde tamamladı. 2003 yılında öğrenime başlamış olduğu Kocaeli Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünden 2008 yılında Makine Mühendisi olarak mezun oldu. Halen 2008 yılında eğitime başlamış olduğu Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde, Makine Mühendisliği Bölümünde öğrencidir.