

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI KÖKENLİ AGREGALARLA ÜRETİLMİŞ NORMAL VE YÜKSEK
MUKAVEMETLİ BETONLARDA AGREGA KONSANTRASYONUNUN
MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ**

DOKTORA TEZİ

Adil Orçun KAYA

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

KASIM 2017

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI KÖKENLİ AGREGALARLA ÜRETİLMİŞ NORMAL VE YÜKSEK
MUKAVEMETLİ BETONLARDA AGREGA KONSANTRASYONUNUN
MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ**

DOKTORA TEZİ

**Adil Orçun KAYA
(501102010)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Hasan YILDIRIM

KASIM 2017

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501102010 numaralı Doktora Öğrencisi Adil Orçun KAYA, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “FARKLI KÖKENLİ AGREGALARLA ÜRETİLMİŞ NORMAL VE YÜKSEK MUKAVEMETLİ BETONLARDA AGREGA KONSANTRASYONUNUN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Hasan YILDIRM**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç .Dr. Özkan ŞENGÜL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Özgür EKİNCİOĞLU
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Nabi YÜZER
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Turan ÖZTURAN
Boğaziçi Üniversitesi

Teslim Tarihi : 25 Eylül 2017
Savunma Tarihi : 06 Kasım 2017





Eşime ve kızıma,



ÖNSÖZ

Lisansüstü eğitimim boyunca bilgi ve tecrübeleri ile bana kılavuz olan uzun yıllardır birlikte çalıştığım ve benden hiçbir konuda desteğini esirgemeyen kıymetli tez danışmanım Doç. Dr. Hasan YILDIRIM'a,

Doktora çalışmalarında yol gösteren, mesleki gelişimime büyük katkı sağlayan ve her daim yanımda olan Doç. Dr. Özkan ŞENGÜL'e,

Mesleğimin diğer dallarında da gelişmemi sağlayarak ufkumu geliştiren ve yol gösteren Öğr. Gör. Dr. Murat KURUOĞLU ve Öğr. Gör. Dr. Feyzi HAZNEDAROĞLU'na,

Hep yanımda olan ve desteğini benden esirgemeyerek bana güç veren eşim Sema KAYA'ya

En büyük moral ve motivasyon kaynağım kızım Beren Ece KAYA'ya

Hayatım boyunca desteklerini hiç esirgemeyen annem Sultan KAYA ve en kıymetli meslektaşım babam Vehbi KAYA'ya,

Deneysel çalışmalarındaki yardımlarından dolayı arkadaşım İnş. Yük. Müh. Reşat ÇELİK ile Yapı Malzemesi Laboratuvar'ı Teknisyenlerinden Oktay YALÇINKAYA ve Murat MEYDAN'a,

Ayrıca Şubat 2017'ye kadar altı seneyi aşkın süreyle Araştırma Görevlisi olarak personeli olduğum Yapı Malzemesi Laboratuvarı'nın tüm Öğretim Üyelerine yardımları için teşekkürlerimi sunarım.

Eylül 2017

Adil Orçun KAYA
İnş. Yük. Müh.



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xxv
SUMMARY	xxvii
1. GİRİŞ....	1
1.1 Tezin Amacı	4
1.2 Literatür Araştırması	5
1.2.1 Betonun inelastik davranışı	5
1.2.2 Agrega türü ve özelliklerinin, betonun kırılma mekaniği ve diğer özelliklerine etkileri	8
2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	13
2.1.1 Çimento	13
2.1.2 Agrega	13
2.1.2.1 Beyaz kireçtaşı	14
2.1.2.2 Siyah kireçtaşı	14
2.1.2.3 Dolomit.....	15
2.1.2.4 Bazalt.....	15
2.1.3 Karışım suyu	16
2.1.4 Kimyasal katkı	16
2.2 Beton Bileşimi.....	16
2.2.1 Tasarım kriterleri.....	16
2.2.2 Karışım kodları	17
2.2.3 Karışım oranları	17
2.2.4 Beton üretimi ve numunelerin kür koşulları	19
2.3 Beton Numuneleri Üzerinde Yapılan Deneyler	20
2.3.1 Basınç dayanımı ve inelastik davranış	20
2.3.2 Eğilmede ve yarmada çekme dayanımı	20
2.3.3 Ağırlıkça su emme oranı	21
3. DENEY SONUÇLARI.....	23
3.1 İncelenen Beton Özellikleri.....	23
3.1.1 Basınç dayanımı	23
3.1.2 Elastisite modülü.....	24
3.1.3 Poisson oranı	25
3.1.4 Süreksizlik ve çözülme sınırları	25
3.1.5 Kırılma-şekil değiştirme işi.....	28
3.1.6 Eğilmede çekme dayanımı	29

3.1.7 Yarma çekme dayanımı.....	30
3.1.8. Su emme deneyi	31
4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	33
4.1 Agreg a Konsantrasyonunun Basınç Dayanımına Etkisi.....	33
4.2 Agreg a Konsantrasyonunun Betonun Elastik Özelliklerine Etkisi	39
4.2.1 Elastisite modülü	39
4.2.2 Poisson oranı	41
4.3 Agreg a Konsantrasyonunun Betonun İnelastik Özelliklerine Etkisi.....	44
4.3.1 Süreksizlik sınırına etki	44
4.3.2 Çözülme sınırına etki.....	48
4.4 Agreg a Konsantrasyonunun Betonun Kırılma Şekil Değıştirme İşine Etkisi ..	52
4.5 Agreg a Konsantrasyonunun Betonun Çekme Dayanımına Etkisi.....	55
4.5.1 Eğilmede çekme dayanımına etki.....	55
4.5.2 Yarmada çekme dayanımına etki	57
4.6 Agreg a Konsantrasyonunun Su Geçirirnililiğine Etkisi	60
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	65
5.1 Basınç Dayanımına İlişkin Sonuçlar	65
5.2 Elastik Özelliklere İlişkin Sonuçlar.....	66
5.3 İnelastik Özelliklere İlişkin Sonuçlar	66
5.4 Kırılma Şekil Değıştirme İşine İlişkin Sonuçlar	67
5.5 Çekme Dayanımına İlişkin Sonuçlar.....	67
5.6 Geçirirnililiğe İlişkin Sonuçlar	67
5.7 İleri Çalışmalar İçin Öneriler.....	68
KAYNAKLAR.....	69
EKLER.....	73
ÖZGEÇMİŞ.....	177

KISALTMALAR

SS	: Süreksizlik sınırı
ÇS	: Çözülme sınırı
S/Ç	: Su/çimento
W/C	: Water/cement
KŞDİ	: Kırılma-şekil değıştirme işi





SEMBOLLER

ν	: Poisson oranı
$\epsilon_{x,0.40}$	: %40 bağıl gerilmede yüke paralel yönde şekil değiştirme oranı
$\epsilon_{y,0.40}$	: %40 bağıl gerilmede yüke dik yönde şekil değiştirme oranı
ϵ_V	: Hacimsel şekil değiştirme oranı
ϵ_x	: Yüke paralel yönde şekil değiştirme oranı
ϵ_y	: Yüke dik yönde şekil değiştirme oranı
τ	: Kırılma şekil değiştirme işi
σ	: Gerilme
ϵ	: Şekil değiştirme oranı
ϵ_u	: Maksimum şekil değiştirme oranı
σ_F	: Eğilmede çekme dayanımı
σ_T	: Yarmada çekme dayanımı
P	: Yük
L	: Uzunluk
b	: Kesit genişliği
h	: Kesit yüksekliği
D	: Yarma deneyinde kesit yüksekliği
S_A	: Ağırlıkça su emme oranı



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Kullanılan çimentonun kimyasal bileşimi.....	13
Çizelge 2.2 : Beyaz kireçtaşı'nın özellikleri ve elek analizleri.....	14
Çizelge 2.3 : Siyah kireçtaşı'nın fiziksel özellikleri ve elek analizleri.....	15
Çizelge 2.4 : Dolomitin fiziksel özellikleri ve elek analizleri	15
Çizelge 2.5 : Bazaltın özellikleri ve elek analizleri	16
Çizelge 2.6 : Kimyasal katkı özellikleri	16
Çizelge 2.7 : Beyaz kireçtaşı içeren betonların karışım oranları.	18
Çizelge 2.8 : Siyah kireçtaşı içeren betonların karışım oranları.	18
Çizelge 2.9 : Dolomit içeren betonların karışım oranları.	18
Çizelge 2.10 : Bazalt içeren betonların karışım oranları.	19
Çizelge 2.11 : Çimento hamurlarının karışım oranları.	19
Çizelge 3.1 : Ortalama basınç dayanımları.	23
Çizelge 3.2 : Ortalama elastisite modülü değerleri.....	24
Çizelge 3.3 : Ortalama poisson oranı değerleri.	25
Çizelge 3.4 : Süreksizlik sınırındaki ortalama basınç gerilmeleri.	26
Çizelge 3.5 : Süreksizlik sınırındaki ortalama bağıl basınç gerilmeleri.	27
Çizelge 3.6 : Çözülme sınırındaki ortalama basınç gerilmeleri.....	27
Çizelge 3.7 : Çözülme sınırındaki ortalama bağıl basınç gerilmeleri.....	28
Çizelge 3.8 : Ortalama kırılma şekil değiştirme işi değerleri.	29
Çizelge 3.9 : Ortalama eğilmede çekme dayanımları.	30
Çizelge 3.10 : Ortalama yarmada çekme dayanımları.....	31
Çizelge 3.11 : Ağırlıkça su emme oranları.	31
Çizelge A. 1 : Beyaz kireçtaşı agreganın kimyasal bileşimi	75
Çizelge B. 1 : Siyah kireçtaşı agreganın kimyasal bileşimi.....	76
Çizelge C. 1 : Dolomit agreganın kimyasal bileşimi.....	78
Çizelge D. 1 : Bazalt agreganın kimyasal bileşimi.....	80



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Agreg a, imento hamuru ve betonun gerilme-şekil değiştirme ilişkisi.....	2
Şekil 1.2 : Betonun şematik gerilme-şekil değiştirme grafiği.	3
Şekil 2.1 : Basınç deneyi düzenegi.	20
Şekil 4.1 : Beyaz kireçtaşı içeren karışımların agrega konsantrasyonu-basınç dayanımı ilişkisi.....	34
Şekil 4.2 : Siyah kireçtaşı içeren karışımların agrega konsantrasyonu-basınç dayanımı ilişkisi.....	34
Şekil 4.3 : Dolomit içeren karışımların agrega konsantrasyonu-basınç dayanımı ilişkisi.....	35
Şekil 4.4 : Bazalt içeren karışımların agrega konsantrasyonu-basınç dayanımı ilişkisi.....	35
Şekil 4.5 : 0,30 S/ oranında agrega konsantrasyonu-basınç dayanımı ilişkisi.	37
Şekil 4.6 : 0,40 S/ oranında agrega konsantrasyonu-basınç dayanımı ilişkisi.	37
Şekil 4.7 : 0,50 S/ oranında agrega konsantrasyonu-basınç dayanımı ilişkisi.	38
Şekil 4.8 : Beyaz kireçtaşı içeren karışımların agrega konsantrasyonu-elastisite modülü ilişkisi.....	40
Şekil 4.9 : Siyah kireçtaşı içeren karışımların agrega konsantrasyonu-elastisite modülü ilişkisi.....	40
Şekil 4.10 : Dolomit içeren karışımların agrega konsantrasyonu-elastisite modülü ilişkisi.....	41
Şekil 4.11 : Bazalt içeren karışımların agrega konsantrasyonu-elastisite modülü ilişkisi.....	41
Şekil 4.12 : Beyaz kireçtaşı içeren karışımların agrega konsantrasyonu-poisson oranı ilişkisi.....	43
Şekil 4.13 : Siyah kireçtaşı içeren karışımların agrega konsantrasyonu-poisson oranı ilişkisi.....	43
Şekil 4.14: Dolomit içeren karışımların agrega konsantrasyonu-poisson oranı ilişkisi.....	44
Şekil 4.15 : Bazalt içeren karışımların agrega konsantrasyonu-poisson oranı ilişkisi.....	44
Şekil 4.16 : Beyaz kireçtaşı içeren karışımların agrega konsantrasyonu-süreksizlik sınırındaki gerilme ilişkisi	46
Şekil 4.17 : Siyah kireçtaşı içeren karışımların agrega konsantrasyonu- süreksizlik sınırındaki gerilme ilişkisi.	46
Şekil 4.18 : Dolomit içeren karışımların agrega konsantrasyonu-süreksizlik sınırındaki gerilme ilişkisi.....	47
Şekil 4.19 : Bazalt içeren karışımların agrega konsantrasyonu- süreksizlik sınırındaki gerilme ilişkisi.....	47
Şekil 4.20 : Beyaz kireçtaşı içeren karışımların agrega konsantrasyonu-çözülme sınırındaki gerilme ilişkisi.	49

Şekil 4.21 : Siyah kireçtaşı içeren karışımların agrega konsantrasyonu-çözülme sınırındaki gerilme ilişkisi.....	50
Şekil 4.22 : Dolomit içeren karışımların agrega konsantrasyonu-çözülme sınırındaki gerilme ilişkisi.....	50
Şekil 4.23 : Bazalt içeren karışımların agrega konsantrasyonu-çözülme sınırındaki gerilme ilişkisi.....	51
Şekil 4.24 : Beyaz kireçtaşı içeren karışımların agrega konsantrasyonu-KŞDİ ilişkisi.....	53
Şekil 4.25 : Siyah kireçtaşı içeren karışımların agrega konsantrasyonu- KŞDİ ilişkisi.....	53
Şekil 4.26 : Dolomit içeren karışımların agrega konsantrasyonu-KŞDİ ilişkisi.....	54
Şekil 4.27 : Bazalt içeren karışımların agrega konsantrasyonu-KŞDİ ilişkisi.....	54
Şekil 4.28 : Aynı basınç dayanımında farklı kşdi örneği.....	55
Şekil 4.29 : Beyaz kireçtaşı içeren karışımların agrega konsantrasyonu-eğilmede çekme dayanımı ilişkisi.....	56
Şekil 4.30 : Siyah kireçtaşı içeren karışımların agrega konsantrasyonu-eğilmede çekme dayanımı ilişkisi.....	56
Şekil 4.31 : Dolomit içeren karışımların agrega konsantrasyonu-eğilmede çekme dayanımı ilişkisi.....	57
Şekil 4.32 : Bazalt içeren karışımların agrega konsantrasyonu-eğilmede çekme dayanımı ilişkisi.....	57
Şekil 4.33 : Beyaz kireçtaşı içeren karışımların agrega konsantrasyonu-yarmada çekme dayanımı ilişkisi.....	58
Şekil 4.34 : Siyah kireçtaşı içeren karışımların agrega konsantrasyonu-yarmada çekme dayanımı ilişkisi.....	59
Şekil 4.35 : Dolomit içeren karışımların agrega konsantrasyonu-yarmada çekme dayanımı ilişkisi.....	59
Şekil 4.36 : Bazalt içeren karışımların agrega konsantrasyonu-yarmada çekme dayanımı ilişkisi.....	60
Şekil 4.37 : Beyaz kireçtaşı içeren karışımların agrega konsantrasyonu-ağırlıkça su emme oranı ilişkisi.....	61
Şekil 4.38 : Siyah kireçtaşı içeren karışımların agrega konsantrasyonu-ağırlıkça su emme oranı ilişkisi.....	62
Şekil 4.39 : Dolomit içeren karışımların agrega konsantrasyonu-ağırlıkça su emme oranı ilişkisi.....	62
Şekil 4.40 : Bazalt içeren karışımların agrega konsantrasyonu-ağırlıkça su emme oranı ilişkisi.....	63
Şekil E.1 : R30 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	81
Şekil E.2 : R40 karışım gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	81
Şekil E.3 : R50 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	82
Şekil E.4 : 20WL30 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	82
Şekil E.5 : 40WL30 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	83
Şekil E.6 : 60WL30 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	83
Şekil E.7 : 70WL30 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	84
Şekil E.8 : 20WL40 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	84
Şekil E.9 : 40WL40 karışım gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	85
Şekil E.10 : 60WL40 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	85
Şekil E.11 : 70WL40 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	86
Şekil E.12 : 40WL50 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	86
Şekil E.13 : 60WL50 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	87

Şekil E.14 : 70WL50 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.	87
Şekil E.15 : 20L30 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.	88
Şekil E.16 : 40L30 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.	88
Şekil E.17 : 60L30 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.	89
Şekil E.18 : 70L30 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.	89
Şekil E.19 : 20L40 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.	90
Şekil E.20 : 40L40 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.	90
Şekil E.21 : 60L40 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.	91
Şekil E.22 : 70L40 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.	91
Şekil E.23 : 40L50 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.	92
Şekil E.24 : 60L50 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.	92
Şekil E.25 : 70L50 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.	93
Şekil E.26 : 20D30 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.	93
Şekil E.27 : 40D30 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.	94
Şekil E.28 : 60D30 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.	94
Şekil E.29 : 70D30 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.	95
Şekil E.30 : 20D40 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.	95
Şekil E.31 : 40D40 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.	96
Şekil E.32 : 60D40 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.	96
Şekil E.33 : 70D40 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.	97
Şekil E.34 : 40D50 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.	97
Şekil E.35 : 60D50 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.	98
Şekil E.36 : 70D50 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.	98
Şekil E.37 : 20B30 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.	99
Şekil E.38 : 40B30 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.	99
Şekil E.39 : 60B30 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.	100
Şekil E.40 : 70B30 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.	100
Şekil E.41 : 20B40 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.	101
Şekil E.42 : 40B40 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.	101
Şekil E.43 : 60B40 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.	102
Şekil E.44 : 70B40 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.	102
Şekil E.45 : 40B50 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.	103
Şekil E.46 : 60B50 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.	103
Şekil E.47 : 70B50 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.	104
Şekil F.1 : R30 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.	105
Şekil F.2 : R40 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.	105
Şekil F.3 : R50 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.	106
Şekil F.4 : 20WL30 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.	106
Şekil F.5 : 40WL30 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.	107
Şekil F.6 : 60WL30 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.	107
Şekil F.7 : 70WL30 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.	108
Şekil F.8 : 20WL40 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.	108
Şekil F.9 : 40WL40 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.	109
Şekil F.10 : 60WL40 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.	109
Şekil F.11 : 70WL40 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.	110
Şekil F.12 : 40WL50 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.	110
Şekil F.13 : 60WL50 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.	111
Şekil F.14 : 70WL50 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.	111
Şekil F.15 : 20L30 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.	112
Şekil F.16 : 40L30 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.	112

Şekil F.17 : 60L30 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti	113
Şekil F.18 : 70L30 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti	113
Şekil F.19 : 20L40 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti	114
Şekil F.20 : 40L40 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti	114
Şekil F.21 : 60L40 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti	115
Şekil F.22 : 70L40 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti	115
Şekil F.23 : 40L50 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti	116
Şekil F.24 : 60L50 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti	116
Şekil F.25 : 70L50 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti	117
Şekil F.26 : 20D30 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti	117
Şekil F.27 : 40D30 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti	118
Şekil F.28 : 60D30 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti	118
Şekil F.29 : 70D30 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti	119
Şekil F.30 : 20D40 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti	119
Şekil F.31 : 40D40 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti	120
Şekil F.32 : 60D40 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti	120
Şekil F.33 : 70D40 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti	121
Şekil F.34 : 40D50 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti	121
Şekil F.35 : 60D50 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti	122
Şekil F.36 : 70D50 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti	122
Şekil F.37 : 20B30 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti	123
Şekil F.38 : 40B30 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti	123
Şekil F.39 : 60B30 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti	124
Şekil F.40 : 70B30 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti	124
Şekil F.41 : 20B40 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti	125
Şekil F.42 : 40B40 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti	125
Şekil F.43 : 60B40 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti	126
Şekil F.44 : 70B40 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti	126
Şekil F.45 : 40B50 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti	127
Şekil F.46 : 60B50 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti	127
Şekil F.47 : 70B50 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti	128
Şekil G.1 : R30 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.	129
Şekil G.2 : R40 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.	129
Şekil G.3 : R50 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.	130
Şekil G.4 : 20WL30 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.	130
Şekil G.5 : 40WL30 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.	131
Şekil G.6 : 60WL30 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.	131
Şekil G.7 : 70WL30 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.	132
Şekil G.8 : 20WL40 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.	132
Şekil G.9 : 40WL40 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.	133
Şekil G.10 : 60WL40 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.	133
Şekil G.11 : 70WL40 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.	134
Şekil G.12 : 40WL50 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.	134
Şekil G.13 : 60WL50 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.	135
Şekil G.14 : 70WL50 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.	135
Şekil G.15 : 20L30 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.	136
Şekil G.16 : 40L30 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.	136
Şekil G.17 : 60L30 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.	137
Şekil G.18 : 70L30 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.	137
Şekil G.19 : 20L40 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.	138

Şekil G.20 : 40L40 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.	138
Şekil G.21 : 60L40 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.	139
Şekil G.22 : 70L40 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.	139
Şekil G.23 : 40L50 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.	140
Şekil G.24 : 60L50 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.	140
Şekil G.25 : 70L50 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.	141
Şekil G.26 : 20D30 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.	141
Şekil G.27 : 40D30 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.	142
Şekil G.28 : 60D30 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.	142
Şekil G.29 : 70D30 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.	143
Şekil G.30 : 20D40 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.	143
Şekil G.31 : 40D40 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.	144
Şekil G.32 : 60D40 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.	144
Şekil G.33 : 70D40 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.	145
Şekil G.34 : 40D50 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.	145
Şekil G.35 : 60D50 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.	146
Şekil G.36 : 70D50 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.	146
Şekil G.37 : 20B30 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.	147
Şekil G.38 : 40B30 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.	147
Şekil G.39 : 60B30 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.	148
Şekil G.40 : 70B30 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.	148
Şekil G.41 : 20B40 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.	149
Şekil G.42 : 40B40 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.	149
Şekil G.43 : 60B40 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.	150
Şekil G.44 : 70B40 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.	150
Şekil G.45 : 40B50 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.	151
Şekil G.46 : 60B50 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.	151
Şekil G.47 : 70B50 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.	152
Şekil H.1 : R30 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.	153
Şekil H.2 : R40 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.	153
Şekil H.3 : R50 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.	154
Şekil H.4 : 20WL30 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.	154
Şekil H.5 : 40WL30 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.	155
Şekil H.6 : 60WL30 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.	155
Şekil H.7 : 70WL30 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.	156
Şekil H.8 : 20WL40 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.	156
Şekil H.9 : 40WL40 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.	157
Şekil H.10 : 60WL40 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.	157
Şekil H.11 : 70WL40 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.	158
Şekil H.12 : 40WL50 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.	158

Şekil H.13 : 60WL50 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.	159
Şekil H.14 : 70WL50 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.	159
Şekil H.15 : 20L30 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.	160
Şekil H.16 : 40L30 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.	160
Şekil H.17 : 60L30 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.	161
Şekil H.18 : 70L30 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.	161
Şekil H.19 : 20L40 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.	162
Şekil H.20 : 40L40 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.	162
Şekil H.21 : 60L40 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.	163
Şekil H.22 : 70L40 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.	163
Şekil H.23 : 40L50 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.	164
Şekil H.24 : 60L50 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.	164
Şekil H.25 : 70L50 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.	165
Şekil H.26 : 20D30 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.	165
Şekil H.27 : 40D30 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.	166
Şekil H.28 : 60D30 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.	166
Şekil H.29 : 70D30 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.	167
Şekil H.30 : 20D40 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.	167
Şekil H.31 : 40D40 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.	168
Şekil H.32 : 60D40 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.	168
Şekil H.33 : 70D40 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.	169
Şekil H.34 : 40D50 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.	169
Şekil H.35 : 60D50 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.	170
Şekil H.36 : 70D50 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.	170
Şekil H.37 : 20B30 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.	171

Şekil H.38 : 40B30 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.	171
Şekil H.39 : 60B30 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.	172
Şekil H.40 : 70B30 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.	172
Şekil H.41 : 20B40 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.	173
Şekil H.42 : 40B40 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.	173
Şekil H.43 : 60B40 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.	174
Şekil H.44 : 70B40 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.	174
Şekil H.45 : 40B50 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.	175
Şekil H.46 : 60B50 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.	175
Şekil H.47 : 70B50 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.	176



FARKLI KÖKENLİ AGREGALARLA ÜRETİLMİŞ NORMAL VE YÜKSEK MUKAVEMETLİ BETONLARDA AGREGA KONSANTRASYONUNUN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

ÖZET

Bir taneli kompozit türü olan betonda genellikle bağlayıcı faz yani matris olarak çimento hamuru, dağılı faz olarak ise doğal agrega kullanılmaktadır. Betonun yaklaşık %60-80'ini meydana getiren agrega bağlayıcı malzemeler ile herhangi bir kimyasal etkileşime girmez. Agrega beton hacminin büyük bir bölümünü oluşturduğundan agreganın özellikleri betonun özelliklerine önemli ölçüde etki etmektedir.

Beton, ikisi de gevrek malzeme olan çimento hamuru ve agregadan oluşmasına karşın yarı gevrek bir malzemedir. Bunun bir nedeni çimento bazlı matrislerde dış yüklerden bağımsız olarak oluşan mikroçatlaklar ve boşluklardır. Düşük yükler altında lineer elastik davranış gösteren betonda elastik sınır aşıldıktan sonra, bu boşluk ve mikroçatlaklar büyümeye başlar ve betonda hem gerilme-şekil değiştirme oranı arasındaki lineer ilişki bozulur hem de plastik davranış başlar.

Başta stabil olan beton içerisindeki mikroçatlaklar, gerilme oranındaki artışla birlikte artar ve yavaş çatlak yayılması oluşur. Harç içerisinde ilerleyen çatlaklar, bağ çatlakları arasında köprü oluşturarak sürekli bir çatlak ağı oluşumuna neden olur. Bu inelastik davranış içerisindeki limitler için farklı araştırmacılar tarafından farklı değerler belirlenmiştir.

Bu çalışmada beton üretiminde %0, %20, %40, %60 ve %70 konsantrasyonlarında, beyaz kireçtaşı, siyah kireçtaşı, dolomit ve bazalt kökenli agregalar kullanılarak üretilen beton karışımları üzerinde agrega konsantrasyonunun, betonun basınç dayanımı, elastisite modülü, poisson oranı, süreksizlik ve çözülme sınırları, kırılma şekil değiştirme işi, eğilmede ve yarmada çekme dayanımları ve su emme özellikleri üzerinde etkisi incelenmiştir. Ayrıca hamur yapısının da bu özelliklere etkisini incelemek için karışımlar 0,30-0,40-0,50 olmak üzere 3 farklı su/çimento oranı ile üretilmiştir. Ancak yüksek ayrışma nedeniyle %20 agrega konsantrasyonu için 0,50 su/çimento oranında üretim yapılmamıştır.

Deneyler sonucunda, genel olarak basınç dayanımı S/Ç oranı ile ters, agrega konsantrasyonu ile doğru orantılı olarak değiştiği görülmüştür. 0,30 S/Ç oranında düşük agrega konsantrasyonlarında betonun basınç dayanımı, aynı agregalarda olduğu gibi küçükten büyüğe beyaz kireçtaşı, siyah kireçtaşı, dolomit ve bazalt sıralamasıyla elde edilmiş, % 60 agrega konsantrasyonundan itibaren tüm agrega türlerinde yakın dayanımlar elde edilmiştir. S/Ç oranı arttığında bağlayıcı faz olan hamur yapısının zayıflamasına bağlı olarak agreganın etkisi azalmış ve yakın basınç dayanımları elde edilmiştir.

Elastisite modülü ile agrega konsantrasyonu arasındaki ilişki doğrusala yakındır. S/Ç oranındaki artış elastisite modülünü düşürmesine karşın, yüksek agrega konsantrasyonunda S/Ç oranının elastisite modülü üzerindeki etkisi azalmakta ve

farklı S/Ç oranlarına sahip yüksek agrega konsantrasyonlu karışımlarda, birbirine yakın elastisite modülü değerleri elde edilmektedir.

0,30 S/Ç oranında, poisson oranında agrega konsantrasyonuna bağlı belirgin bir değişim gözlemlenmemekle birlikte poisson oranı 0,40 S/Ç oranından sonra agrega konsantrasyonu ile birlikte genel olarak artmaktadır.

Agrega konsantrasyonu ve S/Ç oranının, beton numunelerinin süreksizlik ve çözülme sınırına ulaştığı gerilme değerine etkisi basınç dayanımı ile benzerdir. 0,30 S/Ç oranında siyah kireçtaşı, dolomit ve bazalt içeren karışımlarda süreksizlik ve çözülme sınırı %20 agrega konsantrasyonunda düşmekte, ardından agrega konsantrasyonu ile birlikte artmaktadır. Beyaz kireçtaşı içeren karışımlarda ise düşüş %40 konsantrasyona kadar devam etmekte ve bu konsantrasyondan sonra artmaya başlamaktadır. 0,40 ve 0,50 S/Ç oranlarında ise süreksizlik sınırındaki gerilme değeri sürekli artma eğilimindedir.

Süreksizlik sınırına ulaşılan bağıl gerilme değeri genel olarak; beyaz kireçtaşı içeren karışımlarda %75-95, siyah kireçtaşı içeren karışımlarda %65-85, dolomit içeren karışımlarda %85-90 ve bazalt içeren karışımlarda ise %75-85 aralığında değişmektedir. Çözülme sınırına ulaşılan bağıl gerilme değeri ise genel olarak; beyaz kireçtaşı, siyah kireçtaşı ve bazalt içeren karışımlarda %85-95, dolomit içeren karışımlarda ise %75-95 aralığında değiştiği görülmektedir.

S/Ç hamurunun ve agrega konsantrasyonunun kırılma şekil değiştirme işi (KŞDİ) üzerindeki etkisinin genel olarak basınç dayanımı ile benzer olduğu görülmektedir. Ancak agrega konsantrasyonundaki artış ile birlikte basınç dayanımının belirgin şekilde değişmediği karışımlarda, KŞDİ'nde bir miktar düşüş olmuştur.

Eğilmede ve yarmada çekme dayanımı genel olarak agrega konsantrasyonu ile birlikte artmakta ve S/Ç oranı ile birlikte azalmaktadır. Ancak S/Ç oranının eğilmede ve yarmada çekme dayanımı üzerindeki etkisi, agrega konsantrasyonu kadar belirgin değildir.

Siyah kireçtaşı ve dolomit içeren karışımların eğilmede çekme dayanımı, siyah kireçtaşı ve bazalt içeren karışımların yarmada çekme dayanımı diğer agrega türlerini içeren karışımlara göre daha yüksektir.

Agrega konsantrasyonu ve ağırlıkça su emme oranı arasında doğrusala yakın ancak parabolik bir ilişki vardır; agrega konsantrasyonu arttıkça su emme oranı düşmektedir. S/Ç oranındaki artış ise su emme oranında artışa neden olmaktadır. Deneyler sonucunda aynı konsantrasyon ve S/Ç oranında agrega türüne bağlı belirgin bir fark gözlemlenmemiştir.

EFFECTS OF AGGREGATE VOLUME FRACTION ON MECHANICAL PROPERTIES OF NORMAL AND HIGH STRENGTH CONCRETE PRODUCED WITH AGGREGATE FROM DIFFERENT ORIGINS

SUMMARY

Concrete is most common used construction material because of easy formation, high resistance to physical and chemical external effects, usage and production practicality and economy properties.

Concrete is a particle reinforced composite type and generally it contains cement paste as matrix phase and natural aggregate as distributed phase. Matrix phase is generally auxiliary load bearing phase and particles of distributed phase restricts strain of matrix.

Aggregate, which constitute 60-80% of concrete by volume, does not chemically react with binder constituents. Bond between aggregate and binder phase is physical and mechanical. Because of its high fraction, properties of aggregate such as strength, particle density, shape, texture, particle size distribution, significantly affect the concrete properties such as strength, elastic and inelastic properties, durability.

Cement paste and aggregate, which are main components of concrete, are brittle materials; there is a linear relationship between stress-strain of these two materials until very high stress level. However, concrete is a semi brittle material and linear relationship between stress-strain turns to non-linear at low stress levels. In addition to composite behavior of material, reason of this is microcracks and voids in cement-based matrix, which are independent from external loads. These cracks result from segregation and bleeding and they may be found under coarse aggregate particles and reinforcement bars. However, the large part of crack in concrete is interface crack on aggregate-cement paste interface. Concrete shows elastic behavior under low-level loads. However, after the elastic limit, these voids and microcracks start to grow and then linear relation between stress-strain turns to non-linear and plastic behavior starts. Due to increase on microcracks, Poisson ratio increases significantly at discontinuity limit. After the discontinuity limit, microcracks continue to propagate and they form a continuous crack pattern at loosening limit. In addition, volume, which decreases until that level, starts to increase. After that limit, concrete carries the load by friction between the crack surfaces.

Cement paste, which has most variable structure, aggregate, which forms the skeleton and aggregate and aggregate-cement paste interface has effects on fracture mechanics of concrete. When short-term compression load is applied to concrete, crack propagation starts from bond cracks between aggregate and cement paste. So, particle size distribution, surface texture, shape and volume fraction properties of aggregate, which affects bond cracks, affect the inelastic behavior of concrete.

In this work, concrete mixtures were produced with 0,30-0,40-0,50 W/C ratio and 0%, 20%, 40%, 60% and 70% aggregate volume fraction. Because of segregation, mixtures with 0,50 W/C and 20% aggregate volume fraction couldn't be produced. 4

aggregate types from different origins were used; white limestone, black limestone, dolomite and basalt. Compression test was performed on cylindrical specimens with 15 cm diameter and 30 cm height and compression strength, modulus of elasticity, Poisson ratio, discontinuity and loosening limits and toughness properties were examined. To determine bending tensile strength, three point bending test was performed on 10x10x50 cm prism specimens. Also cube specimens with 10 cm length were cut from bending specimens and splitting and water absorption tests were performed.

Test results show that, compression strength has inverse proportion with W/C ratio and direct proportion with aggregate volume fraction. Compression strengths of concrete with 0,30 W/C ratio and low aggregate volume fractions are obtained in line with containing aggregate at an ascending order as, white limestone, black limestone, dolomite and basalt, however, when the aggregate volume fraction is over 60%, the values are close to each other. Strength of paste phase, which is matrix of concrete, decrease with increment of W/C and strength of concrete, which is a composite type. So, effect of aggregate volume fraction on compressive strength decreases and approximate compressive strength values were obtained in spite of increment on aggregate volume fraction on concrete with high W/C ratio.

Proportion between modulus of elasticity and aggregate volume fraction is nearly linear. Increment on W/C ratio cause to decrement on modulus of elasticity, but this effect of W/C ratio reduces with increment on aggregate volume fraction and approximate modulus of elasticity values are obtain with different W/C ratios at high aggregate volume fractions.

No significant change on Poisson ratio is observed based on aggregate volume fraction for 0,30 W/C ratio, however Poisson ratio generally increase with increment of aggregate volume fraction after 0,40 W/C ratio.

Effects of aggregate volume fraction and W/C ratio on discontinuity and loosening limits of concrete are similar with effects on compression strength. Discontinuity and loosening limits of black limestone, dolomite and basalt including mixtures with 0,30 W/C ratio firstly decrease with 20% by volume aggregate replacement but after that they increase with aggregate volume fraction. This decrement continues up to 40% by volume aggregate replacement and similarly they increase with aggregate volume fraction after that level for white limestone aggregate including mixtures. However, these limits are always increase with aggregate volume fraction at 0,40 and 0,50 W/C ratios.

Relative compression stress values of concrete mixtures at discontinuity limits are generally between 75-95% for white limestone, 65-85% for black limestone, 85-90% for dolomite and 75-85% for basalt. In addition, relative compression stress values at loosening limits are generally between 85-95% for white limestone, black limestone and basalt, 75-95% for dolomite.

Effects of aggregate volume fraction and W/C ratio on fracture-displacement work of concrete are generally similar with effects on compression strength. Nevertheless, a few decrements were observed on fracture-displacement work of mixtures, which are not significantly affected by increment of aggregate volume fraction.

Flexural and splitting tensile strengths are generally increase with aggregate volume fraction and decrease with W/C ratio. But, effect of W/C ratio on flexural and splitting tensile strengths is not as significant as aggregate volume fraction. Flexural tensile

strengths of black limestone and dolomite including mixtures and splitting tensile strengths of black limestone and basalt including mixtures are greater than other aggregate types.

Relation between aggregate volume fraction and water absorption by weight is nearly linear, but parabolic. Increment on aggregate volume fraction and decrement on W/C ratio cause to increment on water absorption. At the end of tests, there is no significant difference depending on aggregate type on water absorption of mixtures with same aggregate volume fraction and W/C ratio.





1. GİRİŞ

Beton, uzun yıllardan beri en önemli yapı malzemesidir. Betonun başlıca kullanım sebepleri şekil verilebilme kolaylığı, fiziksel ve kimyasal dış etkilere dayanıklılığı, ekonomik oluşu, kullanım ve üretimde pratikliğidir.

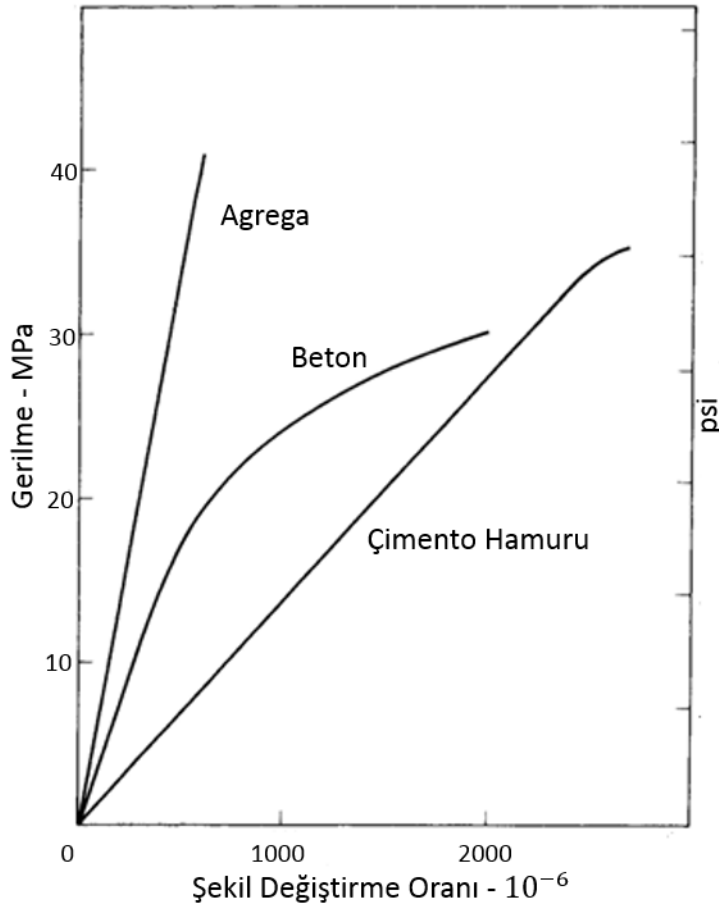
Beton taneli kompozit malzemeler sınıfına girmekte olup taneli kompozitlerde dağılı fazı oluşturan parçalar, sürekli faz olan bağlayıcı nitelikli matris içinde dağılı olarak yer alırlar. Bu kompozit türünde matris malzeme genelde yardımcı yük taşıyıcı niteliğindedir ve dağılı fazı oluşturan taneler matrisin şekil değiştirmesini engellerler [1].

Çimento kullanılmayan bazı hidrolik bağlayıcılar üzerinde çalışılmakla birlikte betonda bağlayıcı olarak çimento hamuru kullanılır. Dağılı faz ise genellikle doğal agregalardan oluşmaktadır. Bu nedenle betonun üç ana bileşeni agrega ile çimento hamurunu oluşturan çimento ve sudur. Bu üç ana bileşene ek olarak çimento hamurunda puzolanlar ile mineral ve kimyasal katkılarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Betonun yaklaşık %60-80'ini meydana getiren agrega bağlayıcı malzemeler ile herhangi bir kimyasal etkileşime girmez. Agrega ve bağlayıcı faz arasındaki bağlantı fiziksel ve mekanik karakterlidir. Beton içerisindeki oranı da göz önünde bulundurulduğunda, dayanım, özgül ağırlık, şekil, boyut olmak üzere agreganın özellikleri betonun özelliklerine önemli ölçüde etki etmektedir. Aynı nitelikte hamur ile doku, şekil, özgül ağırlık, dayanım gibi özellikleri farklı agregalar kullanılarak üretilen betonların özellikleri de birbirinden farklı olur.

Betonun temel bileşeni olan çimento hamuru ve agreganın her ikisi de gevrek malzemedir. Bu iki bileşenin gerilme-şekil değiştirme oranları arasında çok yüksek gerilme seviyelerine kadar doğrusal bir ilişki vardır. Buna karşın beton yarı gevrek bir malzemedir ve düşük gerilme seviyelerinde gerilme-şekil değiştirme oranı arasındaki lineer ilişki doğrusal olmayan bir ilişkiye döner. Bunun nedeni sadece malzemenin kompozit davranışından kaynaklanmaz; çimento bazlı matrislerde herhangi bir dış yük

uygulaması olmadan oluşan mikroçatlaklar ve boşluklardır. Bu çatlaklar ayrışma ve kusmadan oluşabilir ve iri agregalar ile donatı çubuklarının altlarında yer alabilir. Buna karşın çatlakların çoğu agreg-açimento hamuru ara yüzünde yoğunlaşan bağ çatlaklarıdır. Düşük yükler altında lineer elastik davranış gösteren betonda elastik sınır aşıldıktan sonra, bu boşluk ve mikroçatlaklar büyümeye başlar ve betonda hem gerilme-şekil değiştirme oranı arasındaki lineer ilişki bozulur hem de plastik davranış başlar [2-7].



Şekil 1.1 : Agreg, çimento hamuru ve betonun gerilme-şekil değiştirme ilişkisi [4].

Kritik gerilme seviyelerinin basınç dayanımının ne kadarına denk geldiği konusunda farklı kabuller olsa da, betonun tek eksenli basınç altında yüklemenin başından kırılmasına kadar davranışı şöyledir (Bkz. Şekil 1.2):

- Belirli bir gerilme değerinden sonra betonun yapısında var olan bağ çatlakları gerilme yığılmaları nedeniyle büyümeye başlar, bu gerilme değerine kadar bağ çatlaklarındaki büyümeler ihmal edilebilir miktardadır.

- Süreksizlik Sınırına varıldığında mikroçatlakların önemli ölçüde artması bu gerilmeye kadar neredeyse sabit olan poisson oranında belirli bir artış olmasına neden olur.
- Süreksizlik sınırından sonra da artmaya devam eden ancak hala az miktarda olan mikroçatlaklar, Çözülme Sınırına ulaşıldığında beton içerisinde önemli ölçüde gelişerek sürekli ağ oluşturur ve bu seviyeye kadar sürekli azalan hacim artmaya başlar.
- Bu sınırdan sonra betonun yük taşıması çatlak yüzeyleri arasındaki sürtünme ile sağlanır.



Şekil 1.2 : Betonun şematik gerilme-şekil değiştirme grafiği [4].

Betonun kırılma mekaniğinde çimento hamuru, agrega ve çimento hamuru-agrega ara yüzeyi, özelliklerinin doğrudan etkisi vardır. Özellikle yapısı en çok değişim gösteren beton bileşeni olan çimento hamuru, betonun basınç altındaki inelastik davranışı üzerinde önemli etkiye sahiptir [8]. Bununla birlikte betonun iskeleti olarak tanımlanabilecek olan agreganın özellikleri de betonun kırılma mekaniği üzerinde büyük etkiye sahiptir [9]. Betona kısa süreli basınç yükü uygulandığında çatlak ilerlemesi agrega-çimento hamuru arasındaki bağ çatlaklarından başlar. Dolayısıyla agreganın, bağ çatlaklarını etkileyecek boyut dağılımı, şekil, yüzey dokusu ve hacim konsantrasyonu gibi özellikleri betonun dayanımını ve inelastik davranışını etkiler.

1.1 Tezin Amacı

Bu çalışmada ülkemizde beton üretiminde en çok kullanılan farklı türdeki agregaların konsantrasyonunun betonun başta inelastik davranışı olmak üzere mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla beyaz kireçtaşı, siyah kireçtaşı, dolomit ve bazalt kullanılarak 0.30 - 0,40 ve 0,50 su/ çimento oranlarında %20, %40, %60 ve %70 agrega konsantrasyonunda beton karışımları ve yine aynı su / çimento oranlarında çimento hamurları üretilmiştir. Betonların üretimi esnasında bazı karışımlarda yeterli işlenebilirliği sağlamak için %2'yi geçmemek koşulu ile yeni nesil süper akışkanlaştırıcı kullanılmış, kullanılan katkı miktarı karışım suyundan azaltılmıştır. Her beton karışımında agrega olarak sadece tek tür agrega kullanılmış, doğal kum kullanılmamıştır. Her agrega türü için agrega karışımının incelik modülü 4,50 olarak sabit tutulmuştur.

Üretilen 15x30 cm boyutlu silindir numuneler üzerinde yatay ve düşey deformasyonunda ölçüldüğü, tek eksenli basınç deneyi yapılarak karışımların; basınç dayanımı, elastisite modülü, poisson oranı ile süreksizlik ve çözülme sınırları belirlenmiştir. Ayrıca üretilen 10x10x50 cm boyutlu prizma numuneler üzerinde önce eğilme deneyi yapılmış ardından deney numunesinden kesilen 10x10x10 cm boyutlu küp numuneler üzerinde yarma ve atmosfer basıncında su emme deneyleri yapılmıştır.

Basınç deneyi numunelerin bir kısmının normal (C25-C50) bir kısmının ise yüksek dayanımlı (>C50) beton sınıfına girdiğini göstermiş olup, elde edilen deney sonuçları doğrultusunda normal ve yüksek dayanımlı betonlarda agrega konsantrasyonunun betonun basınç, eğilme ve yarma dayanımlarını, atmosfer basıncında su emme özelliğini, süreksizlik ve çözülme sınırlarını, elastisite modülü ve poisson oranını nasıl etkilediği incelenmiştir.

Literatürde agrega konsantrasyonu üzerine yapılan çalışmalarda farklı tip agregalar kullanılmasına karşın üretimlerde sabit bir S/Ç oranı seçildiği görüldüğünden bu çalışmada 3 farklı S/Ç oranı ile çalışılarak; S/Ç hamurunun da incelenen mekanik özelliklere etkisinin değerlendirilmesi, agrega konsantrasyonu ile mekanik özellikler arasındaki ilişkinin S/Ç oranına bağlı olup olmadığının değerlendirilmesi ve hem normal mukavemetli hem de yüksek mukavemetli betonlar üzerinde çalışması amaçlanmıştır.

1.2 Literatür Araştırması

1.2.1 Betonun inelastik davranışı

Literatürde, betonun basınç yükü altında bir limite kadar lineer elastik davranış gösterdiği ancak çatlak ve boşlukların gelişiminden dolayı bu limitten sonra inelastik davranışın başladığı birçok çalışmayla ortaya konulmuştur. Betonun basınç yükü altındaki inelastik davranışı ve bu davranışın nedeninin mikroçatlak ve boşlukların yayılımı olduğu ortak görüş olsada bu inelastik davranış içerisindeki limitler için farklı araştırmacılar tarafından farklı değerler belirlenmiştir.

Yıldırım'ın [10] çalışmasında yaptığı süreksizlik sınırının kırmataş kullanılan betonlarda basınç dayanımının %55-80'i, hafif agregalı kullanılanlarda %75-85'i, çakıl kullanılanlarda %60-80'i, çözülme sınırının ise kırmataş kullanılan betonlarda %55-80'i, hafif agregalı kullanılanlarda %80-85'i, çakıl kullanılanlarda ise %70-90'i dolaylarında olduğu sonucuna varmıştır. Ayrıca Yıldırım'ın [10] yaptığı literatür araştırmasına göre:

- Slate ve Meyers'e [11] göre basınç mukavemetinin %60'ına kadar yerel çatlama ve çatlak başlangıcı olduğu ve bunu çatlakların kararlı yayılmasının izlediği, bu gerilme düzeyinden sonra ise harç içinde birleşmeye başlayan çatlakların basınç mukavemetinin %80'ine kadar kararlı yayıldığı ve daha sonra sürekli çatlaklar oluştuğu ve bunu göçmenin izlediği,
- Johnston'a [12] göre basınç mukavemetinin %50-70'ine kadar mikro çatlama başladığı, gerilmenin bu değerinde çatlak büyümesinin kararlı olduğu, %80-95'inde ise kararsız çatlak yayılması oluştuğu,
- Bache ve Cristensen'e göre [13] basınç mukavemetinin %65'inin altında ilk çatlağın belirgin olmadığı, harç çatlaklarının basınç mukavemetinin %85'inde başladığı, büyük agregalı taneleri arasında bağ çatlaklarının köprü kurmaya başladığı, çatlamanın agregalı-matris arayüzeyinde ve boşluklarda oluştuğu, daha yüksek gerilme düzeyinde çatlakların harç içinde yayıldığı,
- Tanigawa ve Yamada [14] basınç mukavemetinin %60-90'ında bağ çatlaklarının ucunda harç çatlaklarının gelişip birbirleriyle köprü kurduğu, tek eksenli basınçta harç çatlaklarının yaklaşık %90 gerilme seviyesinde olduğu ve çatlakların basınç yüklemesine paralel geliştiği,

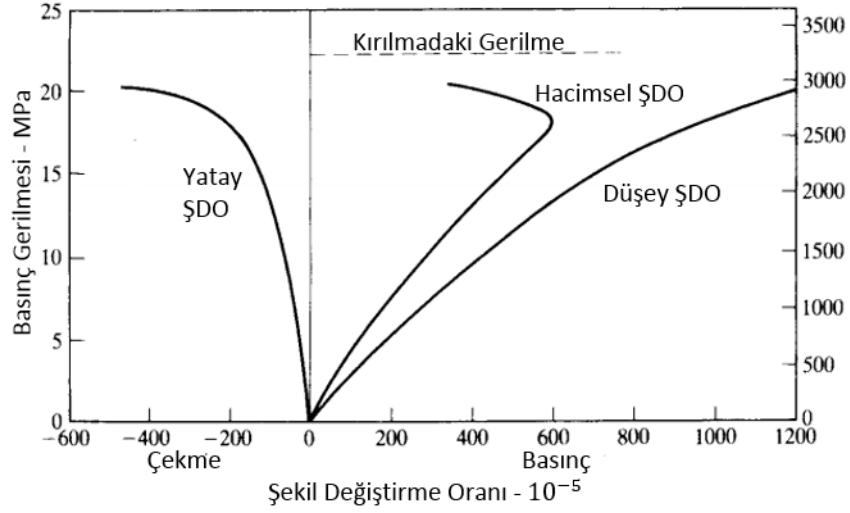
- Hansen'e [15] göre ilk çatlağın maksimum çekme gerilmesi doğrultusunda oluştuğu, %85 gerilme seviyesinde çatlamanın esas olarak agrega-matris arayüzeyinde boşlukların etrafında oluştuğu ve bu bölgelerden yayılmaya başladığı belirtilmiştir.

Oktar'ın [8] çalışmasında yaptığı literatür araştırmasında ise:

- Betonun bu kırılma mekanizmasının ilk defa 1927 yılında Brandzaeg [16] tarafından fark edildiği, araştırmacının gittikçe artan tek eksenli basınç gerilmesi altında basınç dayanımının %77-85'ine ulaşıldığında, beton numunelerin hacimlerindeki azalmanın sona erip artma başladığını görerek bunu iç tahribatın başlaması olarak yorumladığı,
- Jones'un [17] ultrases hızını ölçmek suretiyle, artan gerilmeler altında çatlakların meydana gelmesini ve gelişmesini incelediği çalışmasına göre %25-30 gerilme düzeylerinde ses hızında bir değişme olduğunu bulduğu ve buna dayanarak oldukça düşük bu gerilme düzeylerinde bile, betonda mikroçatlak ve yarıkların oluştuğunu ileri sürdüğü belirtilmiştir.

Neville [18] ise mikroçatlakların %30 ya da daha fazla gerilme seviyesine kadar stabil olduğunu ve bu seviyeden sonra uzunluklarının, genişliklerinin ve sayılarının arttığını (yavaş çatlak yayılması), %70-90 gerilme seviyelerine kadar ise harç içerisinde ilerleyen çatlakların bağ çatlakları arasında köprü oluşturduğu ve sürekli bir çatlak ağı oluştuğunu (hızlı çatlak yayılması) belirtmiştir.

Neville ve Brooks [4], çalışmaları sonucunda %70-90 gerilme seviyelerinde çatlakların harcı geçerek bağ çatlaklarını birbirine bağladığını ve sürekli ağ oluşturduğunu (çatlakların hızlı yayılması), poisson oranının %30 gerilme seviyelerine kadar sabit olduğunu, %70-90 seviyelerine kadar yavaşça arttığını, bu seviyeden sonra ise kararsız düşey çatlaklar nedeniyle artışın hızlandığını ve hacimin artmaya başladığını (Bkz. Şekil 2) belirtmiştir.



Şekil 4. Basınç altında test edilen bir prizmada şekil değiştirme oranları [4].

Benzer şekilde, Swamy ve Rao [19] bağ çatlaklarındaki ihmal edilebilir artışın %30-40 gerilme seviyelerine kadar olduğu, artan yüklerle beraber rijitliğin düştüğü ve %70-90 gerilme seviyelerinde içyapının önemli ölçüde yıkıldığını, bağ çatlaklarının bağlanarak sürekli çatlak ağı oluştuğunu belirtmiştir.

Keat [6], yaptığı çalışmada %30 gerilme seviyesine kadar bağ çatlaklarındaki artışın ihmal edilebilir olduğunu, bu seviyede küçük bir miktarda oluşan sünme haricinde deformasyonun çoğunun toparlanabilir olduğunu, yük arttırıldığında bağ çatlaklarının uzunluğunun, genişliğinin ve sayısının arttığını ve gerilme-şekil değiştirme eğrisinin önemli ölçüde lineerlikten uzaklaştığını, %70 gerilme seviyesi civarında ise harçtaki çatlak sayısının önemli ölçüde arttığını ve bağ çatlakları arasında köprü kurduğunu ve sürekli çatlak ağı oluştuğunu, beton hacminin ise azalmak yerine artmaya başladığını belirtmiştir.

Santiago ve Hilsdorf [20] ise çalışmalarında %25-55 gerilme seviyesinde çatlakların belirgin bir şekilde arttığını, sürekli çatlakların ise %70-90 seviyelerinde olduğunu belirtmiştir.

Oktar ve Arkadaşları [6] betondan betona değişiklik gösteren süreksizlik sınırının, literatürde basınç mukavemetinin %30-90'ı arasında, çözülme sınırının ise %70-90'ı arasında olduğunu belirtmişlerdir.

Gümüş [21] doğal kum ve siyah kireçtaşı kullanarak çalışmasında süreksizlik ve çözülme sınırlarının agrega konsantrasyonundaki artışla birlikte öncelikle düştüğü, bir

minimumdan geçtikten sonra ise arttığı, süreksizlik ve çözülme sınırına ulaşılan bağıl gerilme değerlerinin sırasıyla %85-92 ve %95 civarında olduğu sonucuna varmıştır.

Özdemiroğlu'nun [22] beyaz kireçtaşı, siyah kireçtaşı, dolomit ve bazalt kullanarak ve yüksek mukavemetli betonlar ürettiği çalışmada Gümüş'ün [21] çalışmasında olduğu gibi agrega konsatrasyonu arttıkça süreksizlik ve çözülme sınırı değerlerinin öncelikle düştüğü, bir minimumdan geçtikten sonra ise arttığı sonucuna ulaştığı, süreksizlik sınırına ulaşılan bağıl gerilme değerlerinin beyaz kireçtaşı için %80-95, siyah kireçtaşı ve bazalt için %85-95, dolomit için %80-90 aralığında olduğu, çözülme sınırına ulaşılan bağıl gerilme değerlerinin ise beyaz kireçtaşı için %85-97, siyah kireçtaşı ve bazalt için %90-97, dolomit için %90-95 aralığında olarak belirlendiği görülmektedir

Garan [23] doğal kum ve çakıl kullandığı çalışmasında agrega konsatrasyonu arttıkça süreksizlik ve çözülme sınırlarının azaldığını belirtmiş ayrıca süreksizlik ve çözülme sınırına ulaşılan bağıl gerilme değerlerinin sırasıyla %85 ve %86-93 civarında olduğu sonucuna varmıştır.

1.2.2 Agrega türü ve özelliklerinin, betonun kırılma mekaniği ve diğer özelliklerine etkileri

Betonun göçmesi hacimsel şekil değiştirme süresince absorbe edilen kayma şekil değiştirme enerjisine bağlıdır. Çatlama, çimento hamurunun göçmesi, agreganın kırılması ve agrega-çimento hamuru temas yüzeyi göçmesi ile başlayabilir [24]. Dolayısıyla betonun kırılma mekaniğinde bu üç fazın, çimento hamuru, agrega ve çimento hamuru-agrega ara yüzeyi, özelliklerinin etkisi vardır.

Kompozit bir malzeme olan betonda çimento hamuru matrisi oluşturur yani dağınık faz olan agregaları bir arada tutan ve betonun sürekliliğini sağlayan faz çimento matrisidir. Betonun tek eksenli basınç altında çözülme sınırına ulaşması, çimento hamurundaki çatlakların yayılarak bağ çatlaklarını sağlaması ve betonda sürekli çatlak ağı oluşturması ile olur. Dolayısıyla yapısı en çok değişim gösteren beton bileşeni olan çimento hamuru, betonun basınç altındaki inelastik davranışı üzerinde önemli etkiye sahiptir [8].

Agrega betonun iskeleti olarak tanımlanabilecek önemli bir bileşendir ve agreganın özellikleri betonun kırılma mekaniği üzerinde büyük etkiye sahiptir [9]. Betona kısa süreli basınç yükü uygulandığında çatlak ilerlemesi agrega-çimento hamuru arasındaki bağ çatlaklarından başlar. Dolayısıyla agreganın, bağ çatlaklarını etkileyecek boyut

dağılımı, şekil, yüzey dokusu ve hacim konsantrasyonu gibi özellikleri betonun dayanımını ve inelastik davranışını etkiler. Agregâ özelliklerinin, beton özellikleri üzerindeki bazı etkileri ve bu konuda yapılan bazı çalışmalar şu şekildedir:

- Düzgün yüzeyli çakıl, pürüzlü ve köşeli kırılmış agregalara göre daha düşük gerilmelerde çatlamalara neden olur [18].
- Bazalt parçacıklarının yüzeyi, kireçtaşına göre daha az gözeneklidir. Bu nedenle çimento hamuru-bazalt bağı daha zayıftır ve çatlamaya daha duyarlıdır [25].
- Sadece yüzey şekli değil, yüzey temizliği de bağ dayanımı için önemlidir. Bu nedenle agregâ taneciklerinin çok ince kil ve diğer yabancı maddeleri içermemesi önemlidir [25].
- Yıldırım [10] kırmataş kullandığı çalışmasında agregâ konsantrasyonu arttıkça; işlenebilirliğin azaldığı, elastisite modülü ve yarmada çekme dayanımı değerlerinin arttığı, KŞDİ ve basınç mukavemetinin ise öncelikle düştüğü, bir minimumdan geçtikten sonra arttığı sonucuna varmıştır.
- Yıldırım [10] aynı çalışmada hafif agregâ ve çakıl kullanarak ürettiği beton karışımları üzerinde yaptığı deneyler sonucunda işlenebilirlik, süreksizlik ve çözülme sınırları, basınç dayanımı Poisson oranı değerlerinin agregâ konsantrasyonunun artması ile birlikte azaldığını, yarmada çekme dayanımı ve elastisite modülü değerlerinin ise hafif agregalarda azalırken çakıl kullanılan karışımlarda arttığı belirtilmiştir.
- Gümüş [21] doğal kum ve siyah kireçtaşı kullandığı çalışmasında agregâ konsantrasyonu arttıkça; işlenebilirliğin azaldığını, elastisite modülünün arttığını, poisson oranının ve basınç mukavemetlerinin öncelikle düştüğü, bir minimumdan geçtikten sonra ise arttığı belirtilmiştir.
- Özdemiroğlu [22] beyaz kireçtaşı, siyah kireçtaşı, dolomit ve bazalt kullandığı çalışmada agregâ konsantrasyonu arttıkça; işlenebilirliğin azaldığı, elastisite modülü ve yarmada çekme dayanımı değerlerinin arttığı, basınç mukavemeti, Poisson oranı ve KŞDİ değerlerinin ise öncelikle düştüğü, bir minimumdan geçtikten sonra ise arttığı sonucuna varmıştır.

- Garan [23] doğal kum ve çakıl kullandığı çalışmasında agrega konsantrasyonu arttıkça; işlenebilirlik, Poisson oranı ve basınç dayanımının azaldığı, elastisite modülü değerlerinin ise arttığını belirtmiştir.
- Amparano ve arkadaşlarının [26] çakıl taşı kullanarak, hacim konsantrasyonu üzerine yaptığı çalışmada, konsantrasyonun %45'ten %75'e artmasıyla basınç dayanımının azaldığını ve bunun olası açıklamasının, konsantrasyondaki artış ile betondaki en zayıf faz olan agrega-çimento hamuru arayüzünün de artması olabileceği sonucuna varmıştır.
- Yine bu çalışmada kırılma enerjisinin %65 agrega konsantrasyonuna kadar azaldığı, bu değerden sonra artmaya başladığı, dolayısıyla kritik konsantrasyonun kırılma enerjisine bağlı olduğu belirtilmiştir [26].
- Chen ve Liu'nun [9] iri agrega olarak %40-80 konsantrasyonunda kırma kireçtaşı kullandıkları çalışmada G_F ve K_{IC} değerlerinin, düşük dayanımlı betonlarda agrega konsantrasyonundaki artış ile birlikte arttığı, yüksek dayanımlı betonlarda %60 konsantrasyona kadar artıp sonra azaldığı sonucuna varılmıştır.
- Akçay ve arkadaşlarının [27] iri agrega olarak %40-66 konsantrasyonunda bazalt kullandıkları çalışmada ise, agrega konsantrasyonu arttıkça basınç dayanımı elastisite modülü, yarmada çekme dayanımı, eğilme dayanımı ve kırılma enerjisinde artış eğilimi olduğu, %66 konsantrasyonda görülen küçük düşüşün işlenebilirlikteki düşüş ve hava oranındaki artış ile açıklanabileceği sonucuna varılmıştır.
- Nikbin ve arkadaşlarının [28] %30-60 konsantrasyonunda kırma çakıl kullanarak ürettikleri kendiliğinden yerleşen beton karışımları ile yaptıkları çalışmada da kırılma enerjisinin agrega konsantrasyonu azaldıkça belirgin şekilde azaldığı belirtilmiştir.
- Grassl ve arkadaşlarının [29] %10-50 konsantrasyonunda çakıl kullandığı çalışmada, konsantrasyon arttıkça çatlak genişliği ve permabilitenin düştüğü sonucuna varılmıştır.
- Özturan ve Çeçen'in [30] çalışmasında çakıl türü agrega kullanılan betonlarda diğer bileşenler sabit tutularak yüksek dayanımlı çimento kullanıldığında eğilmede ve yarmada çekme dayanımlarının yaklaşık %30 oranında arttığı ve

bunun yüksek dayanımlı betonlarda basınç dayanımının, iri agreganın dayanımı ve yüzey karakterinden etkilenmesine karşın çekme dayanımının harç dayanımına bağlı olduğunu gösterdiği ifade edilmiştir.

- Yine Özturan ve Çeçen'in [30] bazalt, kireçtaşı ve çakıl kullanılan normal ve yüksek dayanımlı betonlar üzerine yaptığı bu çalışmada yüksek dayanımlı betonlarda bazalt bir miktar daha fazla olmak üzere bazalt ve kireçtaşı içeren karışımların basınç dayanımının çakıl içerenlere göre %10-20 daha fazla olduğu, ancak bu üç agrega türü ile üretilen 30 MPa amaç dayanımlı betonlarda dayanımlar arasındaki farkın düştüğü belirtilmiştir.
- Beshr ve arkadaşlarının [31] kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı, kuarzitik kireçtaşı ve çelik cürufu kullanarak ürettiği beton karışımları üzerinde yaptığı çalışmada, diğerlerine göre düşük yük taşıma kapasitesine sahip olan kireçtaşı içeren karışımların dayanımının daha düşük olduğu, düşük S/Ç oranı ve yüksek çimento dozajı ile üretilen betonlarda basınç dayanımının agrega kalitesine bağlı olduğu, yarmada çekme dayanımının da agrega türünden etkilendiği, basınç dayanımında olduğu gibi en düşük yarmada çekme dayanımının kireçtaşı içeren karışımlarda, en yüksek dayanımın ise çelik cürufu karışımlarda elde edildiği, agrega kalitesinin elastisite modülünü de etkilediği zayıf agreganın daha sünek betona yol açtığı belirtilmiştir.
- Al-Baijat'ın [32] ve Kishore ve arkadaşlarının [33] kireçtaşı ve bazaltı birlikte kullanarak ürettiği beton karışımları üzerinde yaptığı çalışmalarda daha yoğun olan bazalt oranı arttıkça basınç dayanımı, çekme dayanımı ve kırılma modülünün arttığı geçirgenlik ve ısı iletkenliğin düştüğü sonuçlarına varılmıştır.
- Taşdemir ve Karihaloo'nun [34] %0 - %60 arası konsantrasyonlarda kireçtaşı kullandıkları çalışmada basınç dayanımının %30 agrega konsantrasyon seviyesine kadar, agrega konsantrasyonu arttıkça düştüğü bu seviyeden sonra hemen hemen sabit kaldığı ancak elastisite modülü, yarmada çekme dayanımı, gerilme şiddeti çarpanı ve kırılma enerjisinin arttığı ifade edilmiştir.
- Benzer şekilde Sarısu'nun [35] %0 - %60 arası konsantrasyonlarda kireçtaşı kullandığı çalışmada agrega konsantrasyonu arttıkça basınç dayanımının önce hızlı bir biçimde düştüğü, sonrasında ise sabit kaldığı, yarmada çekme

dayanımı ve elastisite modülü gerilme şiddeti çarpanının ise agrega konsatrasyonundaki artış ile birlikte arttığı sonucuna varılmıştır.

- Kozul ve Darwin'in [36] kireçtaşı ve bazalt kullanarak ürettiği normal ve yüksek dayanımlı betonlar üzerinde yaptığı çalışmada; basınç dayanımının yüksek dayanımlı betonlarda bazalt kullanılan karışımlarda, normal dayanımlı betonlarda ise kireçtaşı kullanılan karışımlarda bir miktar daha yüksek olduğu, bazalt içeren yüksek dayanımlı betonların eğilme dayanımının benzer basınç dayanımındaki kireç taşı içeren betonlarınkinden fazla olduğu, normal dayanımlı betonlarda ise eğilme dayanımının agrega türünden etkilenmediği, bazalt içeren karışımların kırılma enerjilerinin kireçtaşı içerenlerden daha yüksek olduğu, sonuçlarına varıldığı belirtilmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde, beton üretiminde kullanılan malzemeler, malzemelerin özellikleri, beton karışım detayları ile üretimi yapılan karışımların deneyleri açıklanmıştır.

2.1 Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

2.1.1 Çimento

Bu çalışma için üretilen numunelerin tümünde bağlayıcı olarak aynı markalı 3593 cm²/g özgül yüzey alanına sahip CEM I 42.5 normal Portland çimentosu kullanılmış olup hiçbir karışımda çimentodan başka bir bağlayıcı ya da mineral katkı kullanılmamıştır. Kullanılan çimentonun kimyasal özellikleri Çizelge 2.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 : Kullanılan çimentonun kimyasal bileşimi.

Bileşen	İçerik (%)
SiO ₂	19,70
Al ₂ O ₃ (%)	5,27
Fe ₂ O ₃ (%)	3,46
CaO (%)	62,85
MgO (%)	1,27
SO ₃ (%)	3,34
K ₂ O (%)	0,71
Na ₂ O (%)	0,29
Cl	0,0409
Kızdırma Kaybı	2,46
Serbest CaO	1,5

2.1.2 Agregalar

Literatür bölümünde de bahsedildiği üzere bir kompozit türü olan betonda agregalar dağılılı fazı oluşturur. Beton hacminin büyük bir bölümünü teşkil eden agregalar genellikle mineral kökenli doğal kayalardan elde edilmekle birlikte özel durumlarda yapay agregalarda kullanılmaktadır.

Bu çalışmada beton karışımlarında, ülkemizde beton üretiminde agrega olarak en yaygın kullanılan beyaz ve siyah kireçtaşı, dolomit ve bazalt kökenli agregalar kullanılmıştır. Her bir karışımda ince (0-4 mm kırmakum) ve iri (5-12 mm kırmataş 1 ve 12-25 mm kırmataş 2) agrega olarak bu dört agrega türünden sadece birisi kullanılmıştır. Her agrega grubunda, kırma kum, kırmataş 1 ve kırmataş 2 boyut gruplarının karışım oranı, agrega karışımının incelik modülü 4,50 olacak şekilde ayarlanmış olup agregalar hakkında genel bilgi aşağıda verilmiştir.

2.1.2.1 Beyaz kireçtaşı

Bu agrega türü, Çatalca yöresinden temin edilen ve mineralojik-petrografik analizleri sonucunda mikritik kireçtaşı olarak tanımlanmış ancak çalışmada kullanılan diğer kireçtaşı kökenli agregalardan ayırmak için “Beyaz Kireçtaşı” olarak adlandırılmıştır. Kayaca ait mineralojik-petrografik analizler EK A’da verilmiştir.

Agrega karışımının 4,50 incelik modülünde olmasının ve referans eğrileri arasında kalmasının sağlanması için hacimce %44 kırmakum, %30 kırmataş 1 ve %26 kırmataş 2 kullanılmıştır. Beyaz kireçtaşının özellikleri ve elek analizleri Çizelge 2.3’te verilmiştir.

Çizelge 2. 2 : Beyaz kireçtaşının özellikleri ve elek analizleri.

Agrega	Elek Açıklığı (mm)								İncelik Modülü	Özgül Ağırlık (g/cm³)	Ağırlıkça Su Emme Oranı (%)
	Elekten Geçen %										
	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5			
Kırmakum	10	24	40	70	97	100	100	100	2,59	2,610	2,4
Kırmataş 1	0	0	0	0	0	34	100	100	5,66	2,630	1,8
Kırmataş 2	0	0	0	0	0	0	60	100	6,40	2,630	1,6
Karışım	4	11	18	31	43	54	90	100	4,50	-	-

2.1.2.2 Siyah kireçtaşı

Bu agrega türü, Cebeci yöresinden temin edilen ve mineralojik-petrografik analizleri sonucunda rekristalize kireçtaşı olarak tanımlanmış ancak çalışmada kullanılan diğer kireçtaşı kökenli agregalardan ayırmak için “Siyah Kireçtaşı” olarak adlandırılmıştır. Kayaca ait mineralojik-petrografik analizler EK B’de verilmiştir.

Agrega karışımının 4,50 incelik modülünde olmasının ve referans eğrileri arasında kalmasının sağlanması için hacimce %50 kırmakum, %25 kırmataş 1 ve %25 kırmataş

2 kullanılmıştır. Siyah kireçtaşı'nın fiziksel özellikleri ve elek analizleri Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2. 3 : Siyah kireçtaşı'nın fiziksel özellikleri ve elek analizleri.

Agrega	Elek Açıklığı (mm)								İncelik Modülü	Özgül Ağırlık (g/cm³)	Ağırlıkça Su Emme Oranı (%)
	Elekten Geçen %										
	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5			
Kırmakum	11	18	35	51	84	100	100	100	3,01	2,715	1,3
Kırmataş 1	0	0	0	0	3	64	100	100	5,33	2,760	0,6
Kırmataş 2	0	0	0	0	0	0	36	100	6,64	2,770	0,5
Karışım	6	9	17	26	43	66	84	100	4,50	-	-

2.1.2.3 Dolomit

Bu agreg türü, Şile yöresinden temin edilen ve mineralojik-petrografik analizleri sonucunda dolomit içeren mikritik kireçtaşı olarak tanımlanmış ancak mineralojik yapısında içerdiği dolomit nedeniyle ve çalışmada kullanılan diğer kireçtaşı kökenli agregalardan ayırmak için “Dolomit” olarak adlandırılmıştır. Kayaca ait mineralojik-petrografik analizler EK C’de verilmiştir

Agrega karışımının 4,50 incelik modülünde olmasının ve referans eğrileri arasında kalmasının sağlanması için hacimce %43 kırmakum, %27 kırmataş 1 ve %30 kırmataş 2 kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan dolomitin fiziksel özellikleri ve elek analizleri Çizelge 2.4’te verilmiştir.

Çizelge 2.4 : Dolomitin fiziksel özellikleri ve elek analizleri.

Agrega	Elek Açıklığı (mm)								İncelik Modülü	Özgül Ağırlık (g/cm³)	Ağırlıkça Su Emme Oranı (%)
	Elekten Geçen %										
	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5			
Kırmakum	19	27	37	62	93	100	100	100	2,63	2,73	1,1
Kırmataş 1	0	0	0	0	4	55	100	100	5,41	2,76	0,5
Kırmataş 2	0	0	0	0	0	0	62	100	6,37	2,77	0,4
Karışım	8	12	16	27	41	58	89	100	4,50	-	-

2.1.2.4 Bazalt

Bu agreg türü, Çorlu yöresinden temin edilen ve mineralojik-petrografik analizleri sonucunda bazalt olarak tanımlanmış olup, kayaca ait mineralojik-petrografik analizler EK D’de verilmiştir.

Agrega karışımının 4,50 incelik modülünde olmasının ve referans eğrileri arasında kalmasının sağlanması için hacimce %43 kırmakum, %27 kırmataş 1 ve %30 kırmataş

2 kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan bazaltın özellikleri ve elek analizleri Çizelge 2.5’te verilmiştir.

Çizelge 2.5 : Bazaltın özellikleri ve elek analizleri.

Agrega	Elek Açıklığı (mm)								İncelik Modülü	Özgül Ağırlık (g/cm³)	Ağırlıkça Su Emme Oranı (%)
	Elekten Geçen %										
	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5			
Kırmakum	19	33	52	78	98	100	100	100	2,20	2,920	0,8
Kırmataş 1	0	0	0	0	1	57	100	100	5,41	2,940	0,4
Kırmataş 2	0	0	0	0	0	0	87	100	6,12	2,940	0,3
Karışım	7	12	19	29	37	51	95	100	4,50	-	-

2.1.3 Karışım suyu

Beton numunelerin üretiminde ve kür’ünde şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

2.1.4 Kimyasal katkı

Beton karışımlarının bazılarında yeterli işlenebilirliği sağlayabilmek için çimento dozajının ağırlıkça %2’sini geçmeyecek şekilde Polikarboksilik esaslı “Pascal Platinum HP 11400 (POL-A1)” yeni nesil süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmış olup katkı özellikleri Çizelge 2.6’da verilmiştir. Katkı miktarına karışımın işlenebilirliğine göre karar verilmiş olup kullanılan katkı miktarı karışım suyundan eksiltiştir. Karışımlarda başka bir kimyasal katkı kullanılmamıştır.

Çizelge 2.6 : Kimyasal katkı özellikleri.

Özellik	Değer
Homojenlik	Ayrışma yok
Renk	Kahverengi
Bağıl Yoğunluk, g/ml	1,07
Katı Madde, %	27,77
pH	5,28
Suda Çözünen Klorür, %	0,02
Alkali Miktarı (Na ₂ O eqv.), %	0,72

2.2 Beton Bileşimi

2.2.1 Tasarım kriterleri

Beton bileşimlerinin belirlenmesinde esas alınan kriterler şu şekildedir:

- Karışımların agrega konsantrasyonu %0 (hamur), %20, %40, %60 ve %70 olacak şekilde tasarım yapılmıştır.

- Her agrega türü ve agrega konsantrasyonu için 0,30-0,40-0,50 olmak üzere üç farklı Su/Çimento oranında karışımlar üretilmiş olup sadece %20 agrega konsantrasyonunda 0,50 su/çimento oranında yüksek ayrışma nedeniyle homojenlik sağlanamamış ve bu üretimler iptal edilmiştir.
- Bir karışımda sadece bir agrega türü kullanılmıştır. Tüm agrega türleri için incelik modülü 4,50 olacak şekilde agrega karışım oranı belirlenmiştir.
- Agrega konsantrasyonuna bağlı olarak beton kıvamı değiştiğinden sabit bir çökme (kıvam) limiti belirlenememiş, gözle muayene ile betonun yerleşebileceği kıvamlar uygun olarak kabul edilmiştir.
- Üretimlerde maksimum %2 oranında akışkanlaştırıcı katkı kullanılmış olup, katkı miktarı üretim esnasında beton kıvamına göre belirlenmiştir. Kullanılan katkı miktarı karışım suyundan düşülmüştür.
- Tüm karışımlarda aynı cins çimento kullanılmıştır.

2.2.2 Karışım kodları

Beton karışım kodlarında; ilk başta 20, 40, 60 ve 70 sayılarıyla betonun agrega konsantrasyonu, ardından W (beyaz kireçtaşı), L (siyah kireçtaşı), D (dolomit) ve B (bazalt) harfleri ile agrega türü ve son olarak 30 (0,30), 40 (0,40) ve 50 (0,50) sayıları ile su/çimento oranı gösterilmiştir. Hamur karışımları ise R harfi ile gösterilmiş olup su/çimento oranı bu harf ardından beton karışımı ile aynı şekilde su/çimento oranı gösterilmiştir. Örneğin; 60D40, %60 dolomit türü agrega konsantrasyonuna ve 0,40 su/çimento oranına sahip beton karışımını, R50, 0,50 su/çimento oranına sahip hamur karışımını temsil etmektedir.

2.2.3 Karışım oranları

Çalışmalarda beton birleşiminin belirlenmesinde mutlak hacim yöntemi kullanılmış olup beton ve hamur karışım oranları Çizelge 2.7-11'de verilmiştir.

Çizelge 2.7 : Beyaz kireçtaşı içeren betonların karışım oranları.

Karışım	Bileşen (kg/m ³)					
	Çimento	Su	Katkı	Kırmakum	Kırmataş 1	Kırmataş 2
20W30	1263	379	-	230	158	137
40W30	940	280	2,35	459	316	274
60W30	616	173	12,32	689	473	410
70W30	454	127	9,08	804	552	479
20W40	1087	435	-	230	158	137
40W40	808	323	-	459	316	274
60W40	530	207	5,30	689	473	410
70W40	391	148	7,82	804	552	479
40W50	710	355	-	459	316	274
60W50	465	232	-	689	473	410
70W50	343	168	3,43	804	552	479

Çizelge 2.8 : Siyah kireçtaşı içeren betonların karışım oranları.

Karışım	Bileşen (kg/m ³)					
	Çimento	Su	Katkı	Kırmakum	Kırmataş 1	Kırmataş 2
20L30	1263	379	-	272	138	139
40L30	940	277	4,70	543	276	277
60L30	616	173	12,32	815	414	416
70L30	454	127	9,08	950	483	485
20L40	1087	435	-	272	138	139
40L40	808	323	-	543	276	277
60L40	530	202	10,6	815	414	416
70L40	391	148	7,82	950	483	485
40L50	343	165	6,86	543	276	277
60L50	465	228	4,65	815	414	416
70L50	343	165	6,86	950	483	485

Çizelge 2.9 : Dolomit içeren betonların karışım oranları.

Karışım	Bileşen (kg/m ³)					
	Çimento	Su	Katkı	Kırmakum	Kırmataş 1	Kırmataş 2
20D30	1283	385	-	238	151	167
40D30	956	282	4,78	476	301	335
60D30	616	173	12,33	715	452	502
70D30	454	127	9,08	834	527	586
20D40	1101	440	-	238	151	167
40D40	817	327	-	476	301	335
60D40	537	212	2,68	715	452	502
70D40	405	156	6,07	834	527	586
40D50	716	358	-	476	301	335
60D50	471	235	-	715	452	502
70D50	349	173	1,74	8,4	527	586

Çizelge 2.10 : Bazalt içeren betonların karışım oranları.

Karışım	Bileşen (kg/m ³)					
	Çimento	Su	Katkı	Kırmakum	Kırmataş 1	Kırmataş 2
20B30	1283	385	-	216	141	229
40B30	956	277	9,56	432	282	459
60B30	616	173	12,32	648	426	688
70B30	454	127	9,08	756	494	803
20B40	1101	440	-	216	141	229
40B40	817	327	-	432	282	459
60B40	537	209	5,37	648	426	688
70B40	405	154	8,10	756	494	803
40B50	716	358	-	432	282	459
60B50	471	235	-	648	426	688
70B50	349	173	1,74	756	494	803

Çizelge 2.11 : Çimento hamurlarının karışım oranları.

Karışım	Bileşen (kg/m ³)	
	Çimento	Su
R30	1587	476
R40	1366	546
R50	1199	599

2.2.4 Beton üretimi ve numunelerin kür koşulları

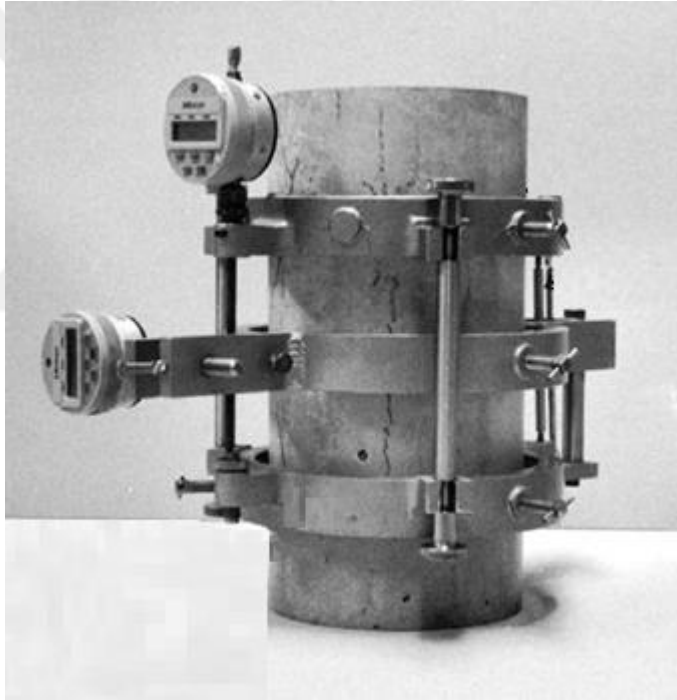
Beton üretimleri düşey eksenli cebri karıştırılmalı betoniyerde yapılmış olup, her karışım grubu mikserin kapasitesi nedeniyle 35 ve 38'er dm³ olmak üzere iki parçada yapılmıştır. 35 dm³'lük karışımdan 6 adet silindir (15 cm çap ve 30 cm yükseklik), 38 dm³'lük karışımdan ise 3 adet silindir ve 4 adet prizma (10x10x50 cm) numune alınmıştır. Numuneler, genel olarak kalıplara beton kıvamına göre 3 katman olarak dökülmüş ve her katmanın dökümünden sonra titreşim tablasında titreşim uygulanmıştır. Kuru kıvamdaki karışımlarda numuneler 5 katman sayısı halinde dökülmüş, düşük agrega konsantrasyonuna sahip karışımlarda ise yüksek akışkanlıktan kaynaklanan ayrışma riski nedeniyle 1-2 katmanda döküm yapılmıştır.

24 saat süresince kalıpta bekletilen numuneler daha sonra 28. gün sonuna kadar 20 ± 2 °C sıcaklığındaki kirece doymuş su içerisinde kürlenmiştir. Numuneler 28. Gün sonunda sudan çıkartılmış ve numuneler deney gününe kadar laboratuvar koşullarında muhafaza edilmiştir. Deneyler üretimi takiben 35-40. günler arasında yapılmıştır.

2.3 Beton numuneleri üzerinde yapılan deneyler

2.3.1 Basınç dayanımı ve inelastik davranış

Harç başlık yapılmış en az 3 silindir numune üzerinde yatay ve düşey şekil değiştirmeler ölçülerek basınç deneyi yapılmıştır. Özellikle yerleşme problemi yaşanan yüksek agrega konsantrasyonlu karışımlar olmak üzere, standart sapması diğer karışımlara göre nispeten daha yüksek deney sonuçları elde edilen karışımlarda numune sayısı 5'e kadar arttırılmıştır. Deney sonunda elde edilen veriler ile beton karışımlarının basınç dayanımı, elastisite modülü, poisson oranı, süreksizlik ve çözülme sınırları ve kırılma şekil değiştirme işi özellikleri belirlenmiştir. ASTM C469-14 [37] standardı esaslarına göre yapılan basınç deneyinin düzeneği Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2. 1 : Basınç deneyi düzeneği.

2.3.2 Eğilmede ve yarmada çekme dayanımı

Prizma numuneler üzerinde 40 cm mesnet açıklığında 3 noktalı eğilme deneyi yapılarak eğilmede çekme dayanımı belirlenmiştir. Eğilme deneyi yapılan numunelerden, kırılma olan veya çatlak oluşan bölgeler dışından 10 cm kenarlı küp

numuneler kesilmiş ve bu numuneler arasından seçilen 3'er numune üzerinde yarma deneyi yapılarak yarmada çekme dayanımı belirlenmiştir.

2.3.3 Ağırlıkça su emme oranı

Yarma deneyinde olduğu gibi eğilme deneyi yapılan numunelerden kesilen 3'er adet numune 24 saat süresince 20 ± 2 °C sıcaklığında su içerisinde bekletilmiş, 24 saat sonunda yüzey kuru suya doygun ağırlıkları ölçülen numuneler sabit ağırlığa gelinceye kadar 70 °C sıcaklığındaki etüvde bekletilerek kurutulmuş ve ağırlıkça su emme oranları belirlenmiştir.





3. DENEY SONUÇLARI

Bu bölümde, beton numuneleri üzerinde yapılan deneylerin sonuçları ve bu sonuçlara göre incelenen beton özellikleri açıklanmıştır. Deney sonuçlarına ait grafikler Deney Sonuçlarının Değerlendirmesi bölümünde verilmiştir.

3.1 İncelenen Beton Özellikleri

3.1.1 Basınç dayanımı

Beton numune, tek eksenli basınç yüküne maruz bırakıldığında birim alanının taşıdığı maksimum yüke basınç gerilmesi denir. Bu özellik betonun sınıflandırılmasındaki en temel özelliktir. Karışımların basınç dayanımları Çizelge 3.1’de, her karışımdan bir numune için basınç gerilmesi-şekil değiştirme oranı grafiği Ek E’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 : Ortalama basınç dayanımları.

Su/ Çimento	Agrega Konsantrasyonu	Basınç Dayanımı (MPa)			
		Beyaz Kireçtaşı	Siyah Kireçtaşı	Dolomit	Bazalt
0,30	0	62,2	62,2	62,2	62,2
	20	52,7	56,3	53,0	61,3
	40	54,9	67,9	65,4	73,2
	60	81,4	76,9	71,6	75,0
	70	87,2	86,6	90,8	87,6
0,40	0	43,3	43,3	43,3	43,3
	20	49,7	44,4	47,6	57,0
	40	47,2	64,3	58,3	61,5
	60	56,9	73,0	67,2	68,8
	70	72,7	83,5	73,0	78,1
0,50	0	30,5	30,5	30,5	30,5
	40	42,9	49,2	48,0	49,6
	60	44,4	52,7	50,4	50,7
	70	54,7	58,8	58,0	59,4

3.1.2 Elastisite modülü

Malzemenin şekil değiştirmeye karşı direncini gösteren elastisite modülü birim şekil değiştirme için gerekli gerilme miktarıdır ve gerilme-şekil değiştirme oranı diyagramının doğrusal kısmının yani malzemenin halen lineer elastik olduğu kısmın eğimine eşittir. Yarı gevrek bir malzeme olan betonda orantılılık sınırı ardından gerilme ve şekil değiştirme oranı arasındaki lineer ilişki bozulacağından elastisite modülü, grafiğin sadece orantılılık sınırına kadar olan bölümünün eğiminden hesaplanır. Basınç deneyi sonucu elde edilen gerilme-şekil değiştirme oranı grafiklerinin %40 bağıl gerilme seviyesine kadar olan bölümü alınmış ve grafikteki noktalar arasından en yüksek korelasyonda olacak şekilde eğilim çizgisi çizilmiş ve çizilen eğim çizgisinin eğimi numunenin elastisite modülü olarak kaydedilmiştir. Hesaplanan ortalama elastisite modülü değerleri Çizelge 3.2’de verilmiştir. Ayrıca her karışımdan bir numune için %40 bağıl gerilme seviyesine kadar basınç gerilmesi-şekil değiştirme oranı grafiği Ek F’de verilmiş grafikler üzerinde elastisite modülü tayini için çizilen eğilim çizgileri ve denklemleri grafiklerde gösterilmiştir.

Çizelge 3.2 : Ortalama elastisite modülü değerleri.

Su/ Çimento	Agrega Konsantrasyonu	Elastisite Modülü (MPa)			
		Beyaz Kireçtaşı	Siyah Kireçtaşı	Dolomit	Bazalt
0,30	0	22020	22020	22020	22020
	20	22590	27570	23850	22140
	40	28630	31380	34150	34990
	60	39770	39740	49720	43320
	70	42640	41610	53490	47020
0,40	0	16110	16110	16110	16110
	20	18110	18850	22620	20120
	40	27900	30960	25930	28580
	60	32790	36030	37530	32420
	70	42770	42880	43160	43890
0,50	0	11990	11990	11990	11990
	40	23990	27380	27720	23730
	60	33200	34630	34210	31690
	70	39050	39300	40710	36170

3.1.3 Poisson oranı

Tek eksenli basınç yükü uygulanan bir malzemede yükleme yönüne paralel yönde numune boyunda kısalma oluşurken buna dik yönlerde ise uzama oluşur. Numunenin yükleme yönüne dik yönde ölçülen şekil değiştirme oranı ile yükleme yönüne paralel yöndeki şekil değiştirme oranına Poisson oranı (ν) denir. ASTM C469 [37] standardı esaslarına göre belirlenen, Denklem 3.1’de verilen formül ile hesaplanan karışımların %40 bağıl gerilme seviyesindeki Poisson oranı (ν) değerleri Çizelge 3.3’te ve her karışımdan bir numune için bağıl gerilme-poisson oranı grafiği Ek G’de verilmiştir.

$$\nu = \frac{\epsilon_{y,0.40}}{\epsilon_{x,0.40}} \quad (3.1)$$

Çizelge 3.3 : Ortalama poisson oranı değerleri.

Su/ Çimento	Agrega Konsantrasyonu	Poisson Oranı			
		Beyaz Kireçtaşı	Siyah Kireçtaşı	Dolomit	Bazalt
0,30	0	0,219	0,219	0,219	0,219
	20	0,206	0,226	0,247	0,203
	40	0,206	0,215	0,239	0,212
	60	0,253	0,224	0,251	0,208
	70	0,249	0,202	0,260	0,215
0,40	0	0,213	0,213	0,213	0,213
	20	0,227	0,206	0,215	0,217
	40	0,230	0,229	0,225	0,219
	60	0,246	0,228	0,238	0,211
	70	0,264	0,240	0,268	0,212
0,50	0	0,181	0,181	0,181	0,181
	40	0,219	0,208	0,228	0,205
	60	0,262	0,235	0,218	0,213
	70	0,269	0,228	0,237	0,202

3.1.4 Süreksizlik ve çözülme sınırları

Giriş bölümünde de açıklandığı üzere betonun yapısında var olan bağ çatlakları, beton yük altında iken gerilme yığılmaları nedeniyle büyümeye başlar ve Süreksizlik Sınırına varıldığında mikroçatlakların önemli ölçüde artması nedeniyle Poisson oranında belirli artış oluşmaya başlar. Çözülme Sınırına ulaşıldığında ise mikroçatlaklar beton içerisinde önemli ölçüde gelişerek sürekli ağ oluşturur ve bu seviyeye kadar sürekli azalan hacim artmaya başlar.

Poisson oranı, normal agrega konsantrasyonuna sahip betonlarda (%60-70) süreksizlik sınırına kadar neredeyse sabit olsa da düşük agrega konsantrasyonuna sahip betonlarda Poisson oranının, yüklemenin başlamasıyla birlikte artmaya başladığı ancak bir noktadan sonra artış hızının belirgin şekilde arttığı gözlemlenmiştir ve bu noktalar süreksizlik sınırı olarak, yukarıda belirtildiği üzere malzemenin yükleme altında hacminin artmaya başladığı noktalar ise çözülme sınırı olarak kaydedilmiştir. Karışımların süreksizlik ve çözülme sınırlarındaki ortalama basınç gerilmeleri ve bağıl basınç gerilmeleri Çizelge 3.4-7’de verilmiştir. Ayrıca her karışımdan bir numune için; süreksizlik sınırının tayini için kullanılan bağıl gerilme-poisson oranı grafiği Ek G’de, çözülme sınırının tayini için kullanılan bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği de Ek H’de verilmiştir. Numunenin hacimsel şekil değiştirme oranı Denklem 3.2’de verilen formül ile hesaplanmıştır.

$$\varepsilon_V = \varepsilon_x + 2\varepsilon_y \quad (3.2)$$

Çizelge 3.4 : Süreksizlik sınırındaki ortalama basınç gerilmeleri.

Su/ Çimento	Agrega Konsantrasyonu	Süreksizlik Sınırında Basınç Gerilmesi (MPa)			
		Beyaz Kireçtaşı	Siyah Kireçtaşı	Dolomit	Bazalt
0,30	0	55,3	55,3	55,3	55,3
	20	43,1	45,0	44,5	51,8
	40	42,9	51,3	58,5	61,6
	60	73,9	61,1	64,2	62,0
	70	82,0	71,0	75,5	73,2
0,40	0	33,2	33,2	33,2	33,2
	20	37,4	30,5	41,5	45,8
	40	39,1	40,3	49,8	50,8
	60	48,8	48,5	58,8	50,7
	70	61,4	58,0	64,9	51,2
0,50	0	20,9	20,9	20,9	20,9
	40	34,8	32,1	40,2	37,7
	60	36,4	35,3	44,4	39,0
	70	51,2	46,3	51,6	47,2

Çizelge 3.5 : Süreksizlik sınırındaki ortalama bağıl basınç gerilmeleri.

Su/ Çimento	Agrega Konsantrasyonu	Süreksizlik Sınırında Bağıl Basınç Gerilmesi (%)			
		Beyaz Kireçtaşı	Siyah Kireçtaşı	Dolomit	Bazalt
0,30	0	83	83	83	83
	20	82	80	84	85
	40	78	76	90	84
	60	91	79	90	83
	70	94	82	83	84
0,40	0	77	77	77	77
	20	75	69	87	80
	40	83	63	85	83
	60	86	66	88	74
	70	84	69	89	80
0,50	0	64	64	64	64
	40	81	65	84	76
	60	82	67	88	77
	70	92	79	89	79

Çizelge 3.6 : Çözülme sınırındaki ortalama basınç gerilmeleri.

Su/ Çimento	Agrega Konsantrasyonu	Çözülme Sınırında Basınç Gerilmesi (MPa)			
		Beyaz Kireçtaşı	Siyah Kireçtaşı	Dolomit	Bazalt
0,30	0	55,3	55,3	55,3	55,3
	20	48,5	47,1	47,2	54,0
	40	45,9	63,8	64,7	64,8
	60	77,1	74,2	68,0	65,1
	70	84,6	76,1	78,2	83,2
0,40	0	33,2	33,2	33,2	33,2
	20	45,2	35,7	45,3	53,4
	40	42,0	49,2	52,7	57,6
	60	53,3	63,2	63,2	59,2
	70	72,3	70,7	68,6	66,6
0,50	0	20,9	20,9	20,9	20,9
	40	40,3	34,7	44,8	46,6
	60	40,3	45,7	46,7	46,6
	70	52,8	53,6	53,9	51,4

Çizelge 3.7 : Çözülme sınırındaki ortalama bağıl basınç gerilmeleri.

Su/ Çimento	Agrega Konsantrasyonu	Çözülme Sınırında Bağıl Basınç Gerilmesi (%)			
		Beyaz Kireçtaşı	Siyah Kireçtaşı	Dolomit	Bazalt
0,30	0	83	83	83	83
	20	92	84	89	88
	40	84	94	99	89
	60	95	96	95	87
	70	97	88	86	95
0,40	0	77	77	77	77
	20	91	80	95	94
	40	89	77	90	94
	60	94	87	94	86
	70	99	85	94	85
0,50	0	64	64	64	64
	40	94	71	93	94
	60	91	87	93	92
	70	95	96	93	86

3.1.5 Kırılma-şekil değiştirme işi

Yük altındaki betonun birim hacminin, kırılana kadar yaptığı işe kırılma-şekil değiştirme işi denilir. Gerilme-düşey şekil değiştirme oranı grafiğinin altında kalan alana eşit olan kırılma-şekil değiştirme işi denklem 3.3'te verilen formül ile hesaplanır. Ortalama kırılma şekil değiştirme işi değerleri Çizelge 3.8'de verilmiştir.

$$\tau = \int_0^{\varepsilon_u} \sigma(\varepsilon) d\varepsilon \quad (3.3)$$

Çizelge 3.8 : Ortalama kırılma şekil değiştirme işi değerleri.

Su/ Çimento	Agrega Konsantrasyonu	Kırılma Şekil Değiştirme İşi (MPa)			
		Beyaz Kireçtaşı	Siyah Kireçtaşı	Dolomit	Bazalt
0,30	0	0,137	0,137	0,137	0,137
	20	0,072	0,073	0,077	0,107
	40	0,083	0,091	0,102	0,120
	60	0,105	0,098	0,108	0,095
	70	0,101	0,123	0,113	0,133
0,40	0	0,058	0,058	0,058	0,058
	20	0,065	0,065	0,066	0,106
	40	0,053	0,076	0,080	0,112
	60	0,066	0,084	0,082	0,118
	70	0,090	0,101	0,092	0,130
0,50	0	0,036	0,036	0,036	0,036
	40	0,063	0,069	0,070	0,092
	60	0,050	0,068	0,062	0,075
	70	0,059	0,069	0,064	0,097

3.1.6 Eğilmede çekme dayanımı

Eğilme deneyinde numunenin üst yüzeyinden basınç yükü uygulanmasına karşın numune alt yüzeyde oluşan çekme gerilmelerinden dolayı kırılır. Bu nedenle eğilme deneyi dolaylı çekme deneylerindendir. Deney 3 noktalı eğilme deneyi şeklinde yapılmış olup eğilmede çekme dayanımları (σ_F) Denklem 3.4'te verilen formül ile hesaplanır. Ortalama eğilmede çekme dayanımları Çizelge 3.9'da verilmiştir.

$$\sigma_F = \frac{M}{W} = \frac{1,5 \cdot P \cdot L}{b \cdot h^2} \quad (3.4)$$

Çizelge 3.9 : Ortalama eğilmede çekme dayanımları.

Su/ Çimento	Agrega Konsantrasyonu	Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)			
		Beyaz Kireçtaşı	Siyah Kireçtaşı	Dolomit	Bazalt
0,30	0	1,6	1,6	1,6	1,6
	20	3,3	3,7	4,1	3,3
	40	4,4	4,7	4,4	4,4
	60	5,7	6,8	6,1	5,7
	70	4,6	8,4	7,8	4,6
0,40	0	0,9	0,9	0,9	0,9
	20	2,2	3,1	2,9	2,2
	40	3,4	4,3	3,6	3,4
	60	3,9	6,6	5,9	3,9
	70	6,1	6,9	6,7	6,1
0,50	0	0,7	0,7	0,7	0,7
	40	3,3	3,7	3,0	3,3
	60	4,9	5,3	4,6	4,9
	70	6,1	6,2	5,3	6,1

3.1.7 Yarmada çekme dayanımı

Yarma deneyinde numunenin alt ve üst yüzeyinden çizgisel basınç yükü uygulanmasına karşın, kesit ortasında yükleme düzlemine dik çekme gerilmesi oluşur ve numune çekme gerilmelerinden dolayı kırılır. Bu nedenle yarma deneyi de dolaylı çekme deneylerindendir. Yarmada çekme dayanımları (σ_T) Denklem 3.5'te verilen formül ile hesaplanır. Ortalama yarmada çekme dayanımları Çizelge 3.10'da verilmiştir.

$$\sigma_T = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot L \cdot D} \quad (3.5)$$

Çizelge 3.10 : Ortalama yarmada çekme dayanımları.

Su/ Çimento	Agrega Konsantrasyonu	Yarmada Çekme Dayanımı (MPa)			
		Beyaz Kireçtaşı	Siyah Kireçtaşı	Dolomit	Bazalt
0,30	0	3,7	3,7	3,7	3,7
	20	3,9	4,1	3,9	5,4
	40	5,0	5,3	5,0	6,2
	60	5,7	7,2	5,6	6,9
	70	5,2	7,9	5,9	7,7
0,40	0	2,3	2,3	2,3	2,3
	20	3,1	3,8	3,6	4,6
	40	3,8	4,9	4,1	5,6
	60	5,4	6,3	5,5	5,8
	70	5,0	7,6	5,8	6,4
0,50	0	1,7	1,7	1,7	1,7
	40	3,5	4,1	3,7	4,2
	60	4,3	5,4	4,4	6,1
	70	4,7	6,1	5,6	6,4

3.1.8. Su emme deneyi

24 saat süresince atmosfer basıncında su içinde bekletilen numunelerin ortalama ağırlıkça su emme oranları (S_A) Çizelge 3.11’de verilmiştir.

Çizelge 3.11 : Ağırlıkça su emme oranları.

Su/ Çimento	Agrega Konsantrasyonu	Ağırlıkça Su Emme Oranı (%)			
		Beyaz Kireçtaşı	Siyah Kireçtaşı	Dolomit	Bazalt
0,30	0	4,0	4,0	4,0	4,0
	20	2,9	3,0	3,5	3,7
	40	2,2	2,2	2,1	2,5
	60	1,3	1,3	1,3	1,6
	70	1,2	1,0	1,2	1,1
0,40	0	6,6	6,6	6,6	6,6
	20	5,9	5,9	6,0	5,6
	40	3,7	3,9	4,2	3,4
	60	2,4	1,8	2,2	2,4
	70	1,3	1,3	1,6	1,9
0,50	0	8,9	8,9	8,9	8,9
	40	5,2	4,5	5,3	6,1
	60	3,3	2,9	3,2	3,6
	70	2,1	1,7	2,0	2,3

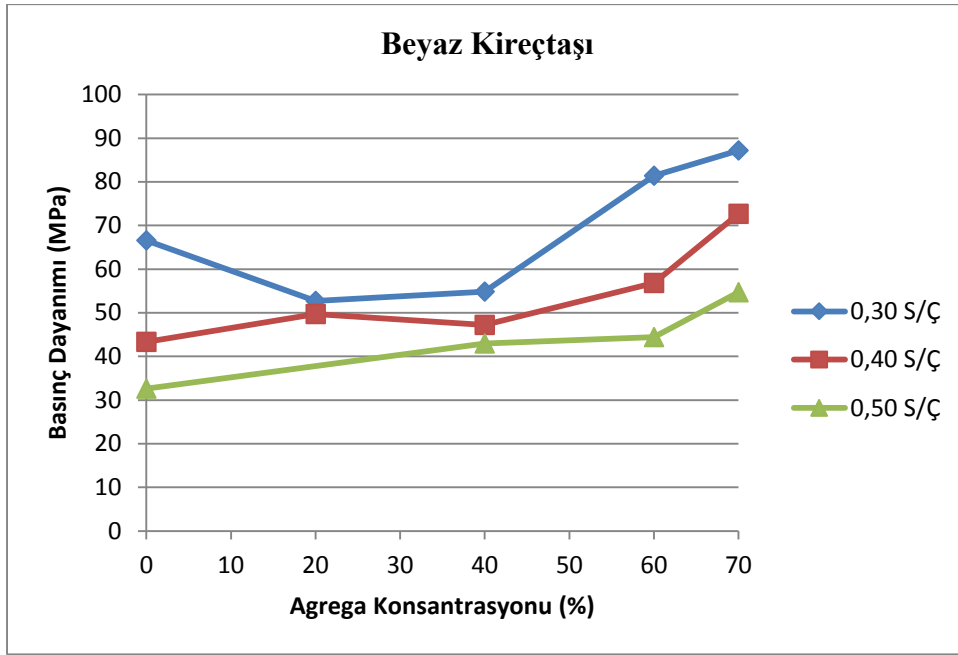


4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

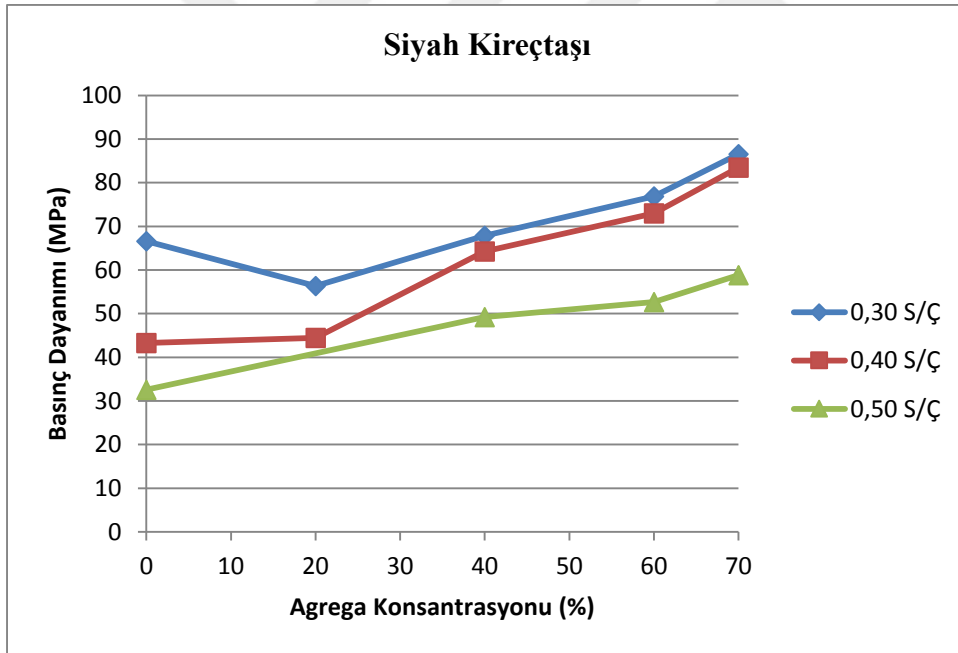
4.1 Agrega Konsantrasyonunun Basınç Dayanımına Etkisi

Yük altında, kırılma çatlakları normal betonlarda agregahamur ara yüzeyinden ilerler. Yüksek mukavemetli betonlarda ise kırılma çatlakları önce agregahamur ara yüzeyinden ilerlerken gerilme arttıkça, agrega dayanımına bağlı olarak ara yüzeyden veya agrega içerisinden ilerlemeye devam eder. Bu nedenle deney sonuçlarını değerlendirirken agrega tür ve konsantrasyonu ile hamur yapısını birlikte göz önünde bulundurmak gerekmektedir.

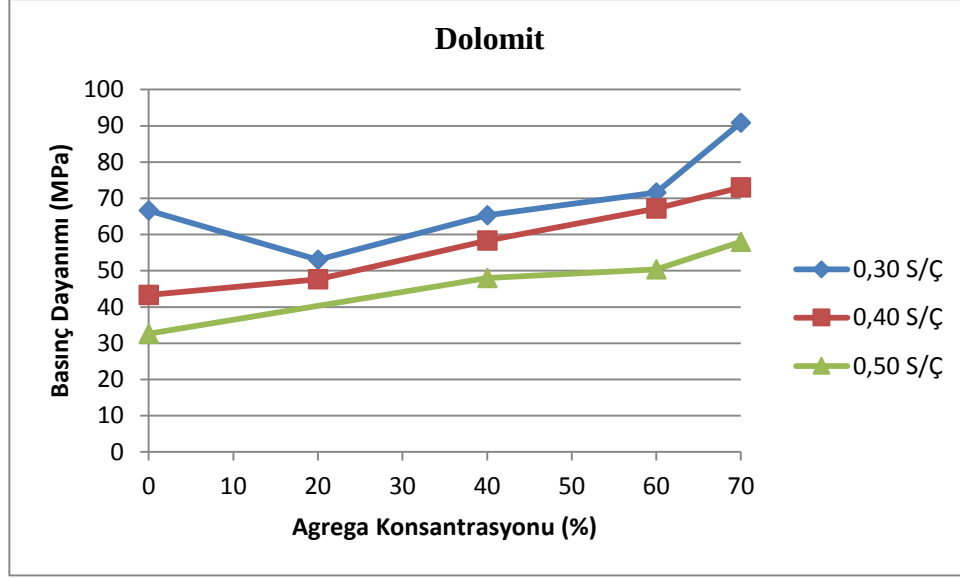
Çizelge 3.1’de verilen basınç deneyi sonuçları ve Şekil 4.1-4’te gösterilen agrega konsantrasyonu-basınç dayanımı ilişkisi eğrileri S/Ç oranı arttıkça basınç dayanımının düştüğünü göstermektedir. Bu çalışmada beton karışım oranları hesaplanırken S/Ç oranı değiştirilirken agrega konsantrasyonu sabit tutulduğundan, belirlenen S/Ç oranını elde etmek için çimento ve su miktarları birlikte değişmiştir. Bu nedenle S/Ç oranı artan karışımlarda su miktarı artarken çimento dozajı düşmüştür. Agrega içermeyen hamur karışımlarının basınç dayanımlarının da gösterdiği üzere S/Ç oranı arttıkça hamurun basınç dayanımı düşmektedir. Ayrıca basınç dayanımının agrega konsantrasyonuna bağlı artış eğilimi S/Ç oranının artmasıyla birlikte genellikle azalmaktadır.



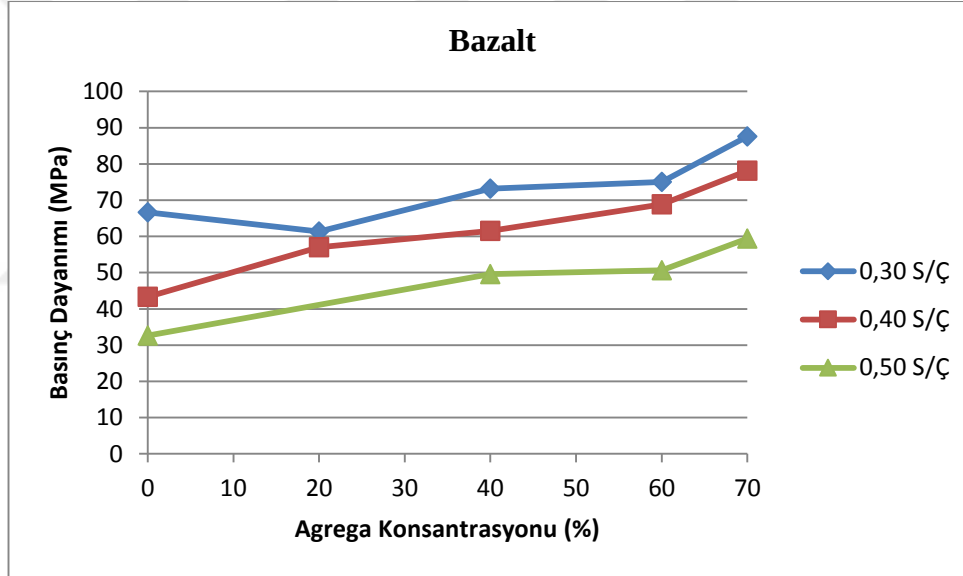
Şekil 4. 1 : Beyaz kireçtaşı içeren karışımların agrega konsantrasyonu-basınç dayanımı ilişkisi.



Şekil 4. 2 : Siyah kireçtaşı içeren karışımların agrega konsantrasyonu-basınç dayanımı ilişkisi.



Şekil 4. 3 : Dolomit içeren karışımların agrega konsantrasyonu-basınç dayanımı ilişkisi.



Şekil 4. 4 : Bazalt içeren karışımların agrega konsantrasyonu-basınç dayanımı ilişkisi.

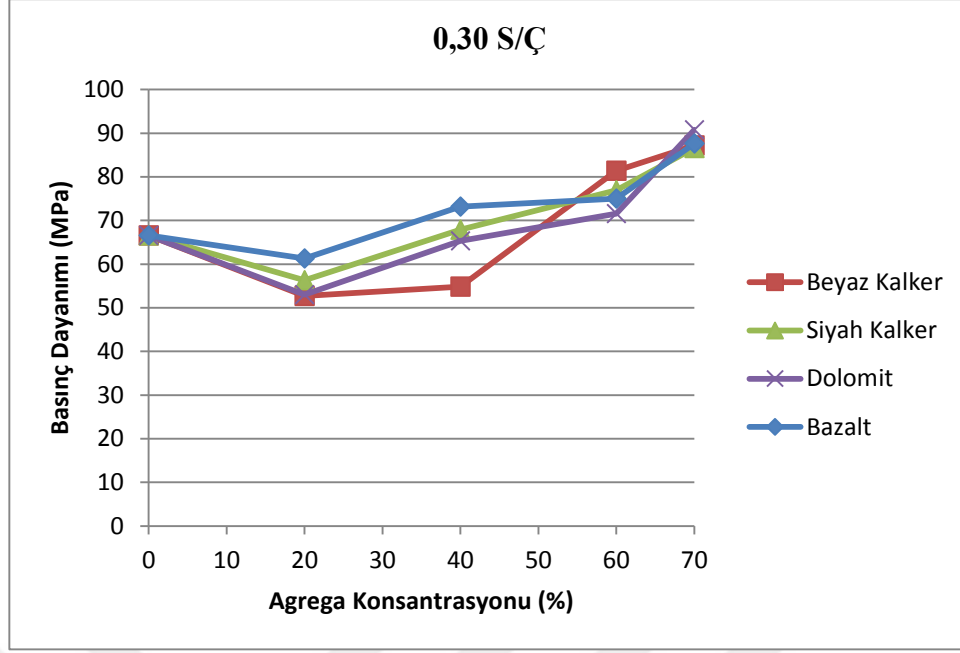
Deney sonuçları ve Şekil 4.1-7'deki eğrilerde görüldüğü ve Akçay ve arkadaşlarının [27] da çalışmalarında belirttiği üzere genel olarak basınç dayanımının, agrega konsantrasyonuna bağlı bir artış eğiliminde olduğu görülmektedir. Ancak, 0,30 S/Ç oranındaki çimento hamuruna agrega ilave edildiğinde basınç dayanımı, tüm agrega türlerinde öncelikle düşmüş ancak %20 agrega konsantrasyonundan sonra artmaya başlamıştır. Bu durum gerilme yığılmalarının etkisi ile açıklanabilir. Düşük S/Ç oranı nedeniyle dayanımı yüksek olan ve daha az boşluk içeren yani daha sürekli yapıdaki hamurun içerisine düşük oranda agrega ilave edildiğinde, ilave edilen agregalar

nedeniyle, agreganın çatlak durdurma etkisinden daha büyük etkiye sahip gerilme yığılmaları oluşmakta ve dayanım düşmektedir. Agreganın konsantrasyonu arttıkça, çatlak durdurma etkisinin, gerilme yığılmaları etkisinden daha baskın duruma gelmesi ve matrsten daha yüksek dayanıma sahip olan bileşenin oranının artması nedeniyle dayanım artmaktadır. Yıldırım [10] (kırmataş kullanılan karışımlarda), Gümüş [21], Özdemiroğlu [22], Taşdemir ve Karihaloo [34] ve Sarısu'nun [35] çalışmalarında da benzer şekilde çimento hamuruna agreganın eklenmesi ile basınç dayanımının öncelikle düştüğü belirtilmiştir.

Yıldırım [10] ve Garan [23] ise çakıl türü agreganın kullandıkları çalışmalarıda agreganın konsantrasyonu arttıkça basınç dayanımının düştüğünü belirtmektedir. Bu farklı sonucun nedeninin Garan'ın [23] çalışmasında iri agreganın olarak çakıl kullanılması olduğu düşünülmektedir. Beton içerisindeki çakıl oranı arttıkça, gerilme yığılmaları artmakta ancak çakıllar düzgün yüzeyli olduğundan çatlak durdurma etkisi gerilme yığılmaları kadar artmamakta ve dayanım düşmektedir.

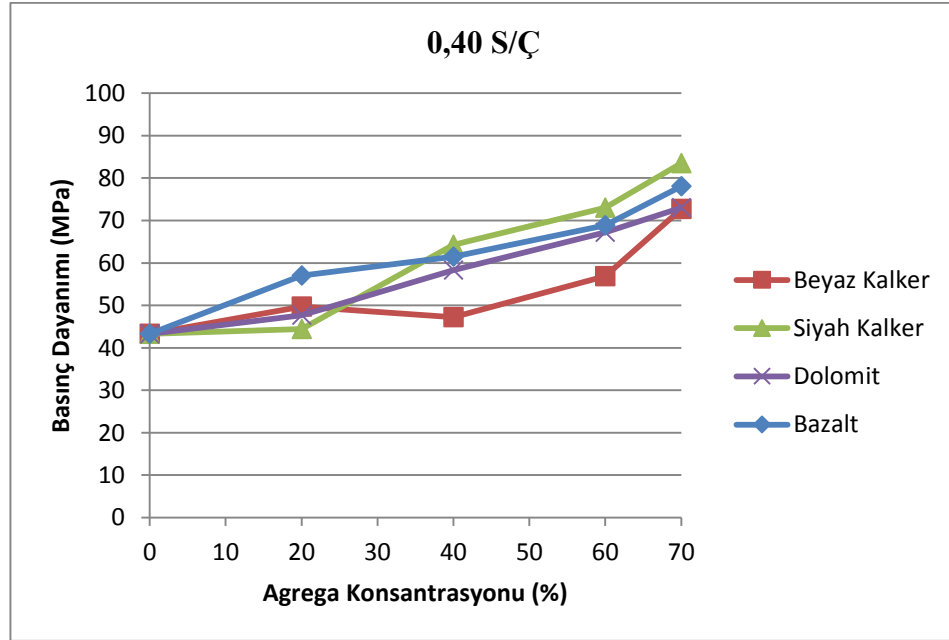
0,40 ve 0,50 su çimento oranında ise basınç dayanımı agreganın konsantrasyonu ile birlikte artmıştır. 0,30 S/Ç oranından farklı olarak %20 agreganın konsantrasyonunda basınç dayanımında düşüş olmaması, hamurdan daha yüksek dayanımdaki agreganın, yüksek S/Ç oranından kaynaklı boşluk yapısı nedeniyle sürekliliği ve dayanımı düşük olan hamurda kolay bir şekilde ilerleyen çatlaklara engel oluşturması ile açıklanabilir. Hamur içerisinde ilerleyen çatlaklar agregaya ulaştığında, agreganın dayanımının daha yüksek olması nedeniyle agregadan geçemeyip agreganın yüzeyinden ilerlediklerinden dayanımda bir miktar artış olmaktadır.

Şekil 4.5'te her agreganın türü için verilen 0,30 S/Ç oranında, agreganın konsantrasyonu-basınç dayanımı ilişkisi eğrileri, düşük konsantrasyonlarda basınç dayanımının agreganın türünden etkilendiğini göstermektedir. Bu S/Ç için %20 ve %40 agreganın konsantrasyonlarında betonun basınç dayanımı, aynı agreganın dayanımlarında olduğu gibi küçükten büyüğe beyaz kireçtaşı, siyah kireçtaşı, dolomit ve bazalt sıralamasıyla elde edilmiştir. Ancak % 60 agreganın konsantrasyonundan itibaren tüm agreganın türlerinde yakın dayanımlar elde edilmiştir. Agregaların arasındaki dayanım farkına rağmen yüksek konsantrasyonda yakın beton basınç dayanımı elde edilmesi; ulaşılan yüksek basınç gerilmeleri nedeniyle, agregaların taşıma kapasitesine ulaşılmadan bağlayıcı faz olan çimento hamurunun kırılması ile açıklanabilir.



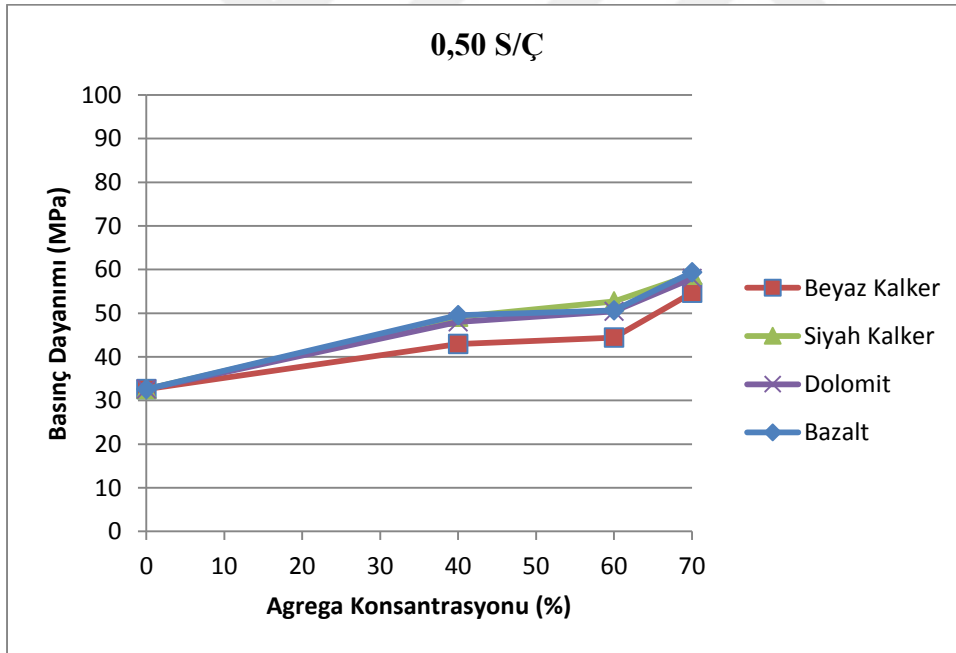
Şekil 4. 5 : 0,30 S/Ç oranında agrega konsantrasyonu-basınç dayanımı ilişkisi.

Şekil 4.6'da her agrega türü için verilen 0,40 S/Ç oranında agrega konsantrasyonu-basınç dayanımı ilişkisi eğrileri düşük konsantrasyonlarda bazalt, yüksek konsantrasyonlarda ise siyah kireçtaşı içeren karışımların dayanımının daha yüksek olduğunu göstermektedir. Yüksek konsantrasyonda siyah kireçtaşı içeren karışımların daha yüksek dayanıma sahip olması siyah kireçtaşının yüzey dokusunun çimento hamurunun tutunmasına daha uygun olması nedeniyle daha yüksek dayanımlı çimento hamuru-agrega arayüzüne sahip olması ile açıklanabilir.



Şekil 4. 6 : 0,40 S/Ç oranında agrega konsantrasyonu-basınç dayanımı ilişkisi.

0,50 S/Ç oranında agrega konsantrasyonu-basınç dayanımı ilişkisi eğrilerinin gösterildiği Şekil 4.7’de; yüksek S/Ç oranı nedeniyle hamura göre daha yüksek mukavemetteki siyah kireçtaşı, dolomit ve bazalt içeren karışımların aynı konsantrasyonda yakın dayanıma sahip olduğu, bu agregalardan daha düşük mukavemetli beyaz kireçtaşı içeren karışımların dayanımının ise daha düşük olduğu görülmektedir. Basınç dayanımındaki artış eğilimi ise tüm agrega türleri için benzerdir. Bu çalışma ile benzer olarak, Özturan ve Çeçen’in [30] bazalt, kireçtaşı ve çakıl kullanılan normal ve yüksek dayanımlı betonlar üzerine yaptığı çalışmada da benzer şekilde düşük amaç dayanımlı karışımlarda, basınç dayanımları arasındaki farkın düştüğü belirtilmiştir. Bu davranışın nedeni hamur dayanımında belirgin bir düşüş olduğunda, hamurun en zayıf faz haline gelmesiyle birlikte yüklemeye maruz kalan betonda çatlakların agrega-hamur arayüzü ya da agregadan değil, dayanımı düşük olan bu fazdan geçerek ilerlemesi nedeniyle hamur yapısının basınç dayanımı üzerinde daha belirleyici olması ile açıklanabilir.



Şekil 4. 7 : 0,50 S/Ç oranında agrega konsantrasyonu-basınç dayanımı ilişkisi.

4.2 Agreg a Konsantrasyonunun Betonun Elastik Özelliklerine Etkisi

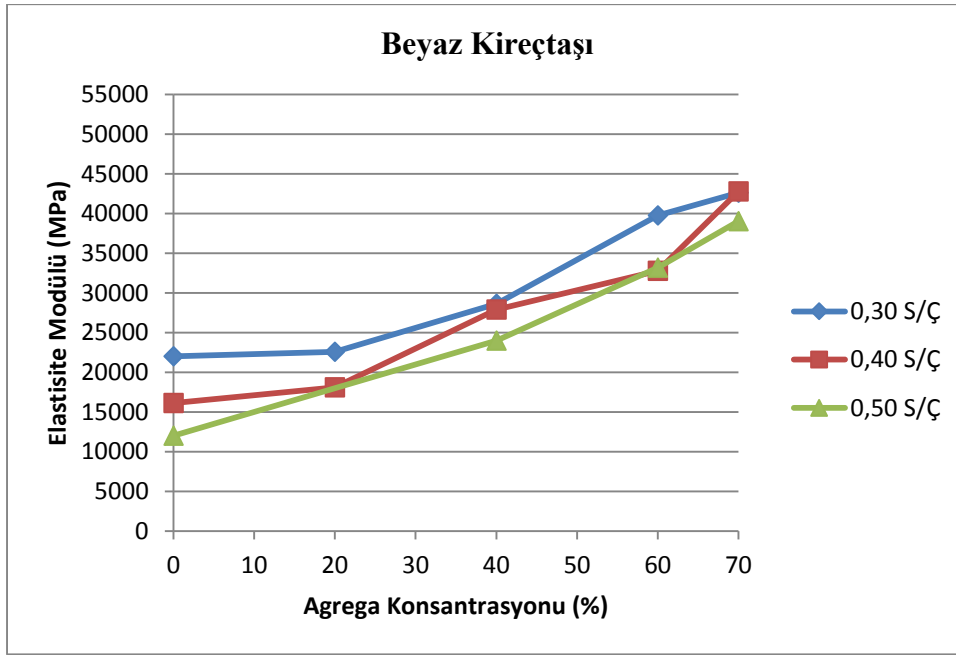
4.2.1 Elastisite modülü

Kompozit bir malzeme olan betonun elastisite modülü, bağlayıcı faz olan çimento hamuru ve dağılı faz olan agreganın elastisite modülleri ve karışım oranları ile orantılıdır. Literatürde betonunun elastisite modülünü hesaplamak için bileşenlerin elastisite modülü ve hacimsel oranlarına göre farklı modeller kurulmuştur. Bu çalışmada herhangi bir model ile kıyaslama ya da yeni bir model tasarımı yapılmamış olup agreg a tür ve konsantrasyonu ile çimento hamurunun elastisite modülü üzerine etkisi değerlendirilmiştir.

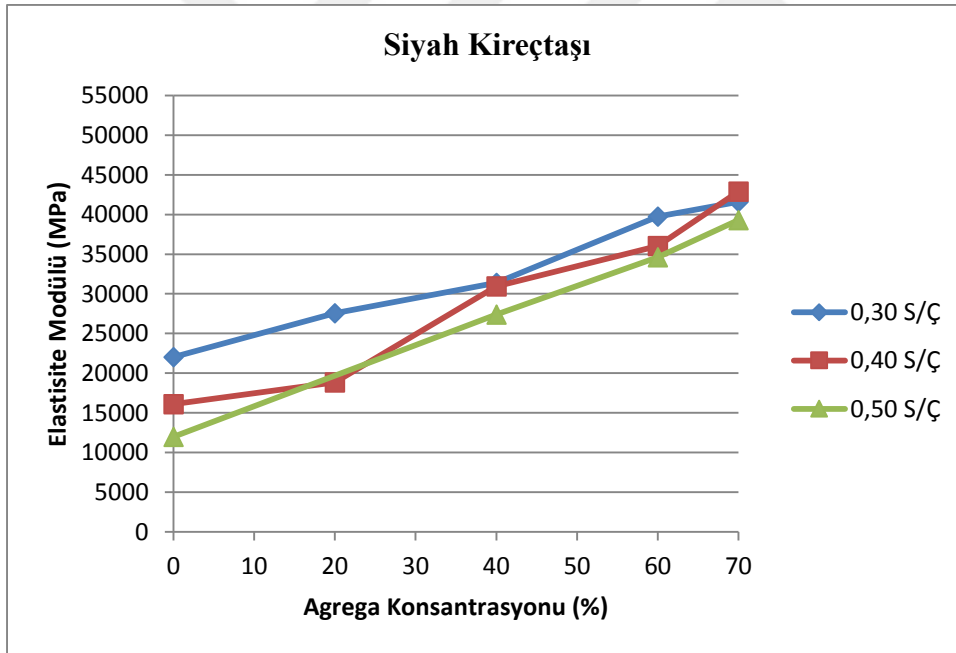
Çizelge 3.2’de verilen ortalama elastisite modülü değerleri ve Şekil 4.8-11’de verilen agreg a konsantrasyonu-elastisite modülü eğrileri elastisite modülünün agreg a konsantrasyonu ile birlikte arttığını ve bu iki parametre arasında doğrusala yakın bir ilişki olduğunu göstermektedir. Yıldırım [10], Gümüş [21], Özdemiroğlu [22], Garan [23], Akçay ve arkadaşları [27], Taşdemir ve Karihaloo [34] ve Sarısu’nun [35] da çalışmalarında elastisite modülünün agreg a konsantrasyonu ile birlikte arttığı belirtilmiştir.

S/Ç oranı arttıkça elastisite modülü düşmektedir. Agreg a konsantrasyonu arttıkça, elastisite modülü hamurdan yüksek olan bileşen olan agreg a oranı arttığı için elastisite modülü artmakta ve agreg a elastisite modülü üzerinde belirleyici bileşen durumuna gelmektedir. Bu nedenle yüksek agreg a konsantrasyonlu karışımlarda S/Ç hamurunun etkisi azalarak farklı S/Ç oranlarında, birbirine yakın elastisite modüllü değerleri elde edilmektedir. 0,40 ve 0,50 S/Ç oranlarında tüm agreg a türlerinde yakın elastisite modülü değeri elde edilmiştir. Bunun nedeni basınç dayanımında olduğu gibi S/Ç oranındaki artışla birlikte bağlayıcı faz olan hamurun elastisite modülünün önemli ölçüde düşmesidir. 0,30 S/Ç oranında ise elastisite modülleri yüksek konsantrasyonlarda büyükten küçüğe dolomit, bazalt ve siyah kireçtaşı-beyaz kireçtaşı sıralaması ile elde edilmiştir.

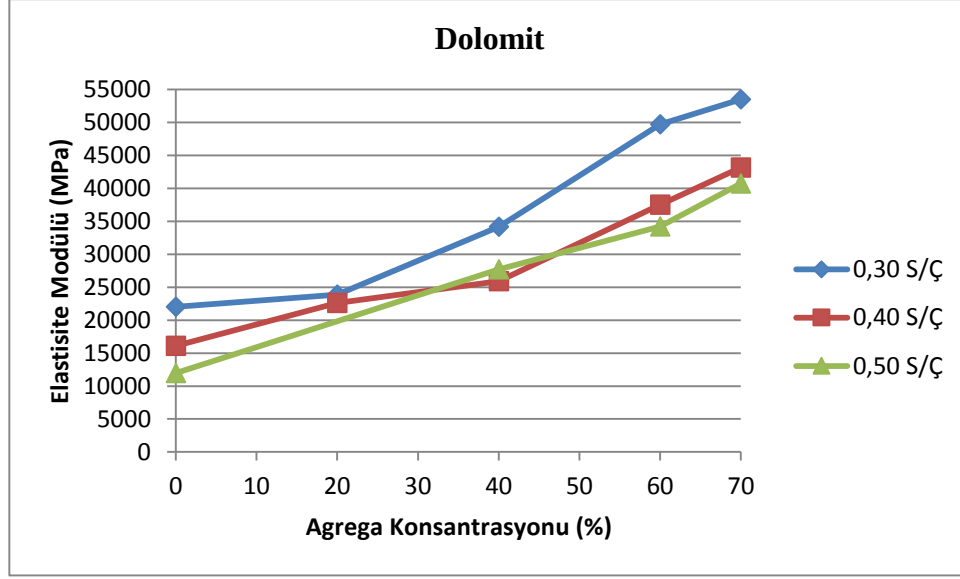
Elastisite modülünün agreg a konsantrasyonu ve S/Ç oranına bağlı değişimi Ek F’de verilen %40 bağıl gerilme ve şekil değiştirme grafikleri ve bu grafiklerde verilen eğilim çizgileri denklemlerinden anlaşılmaktadır.



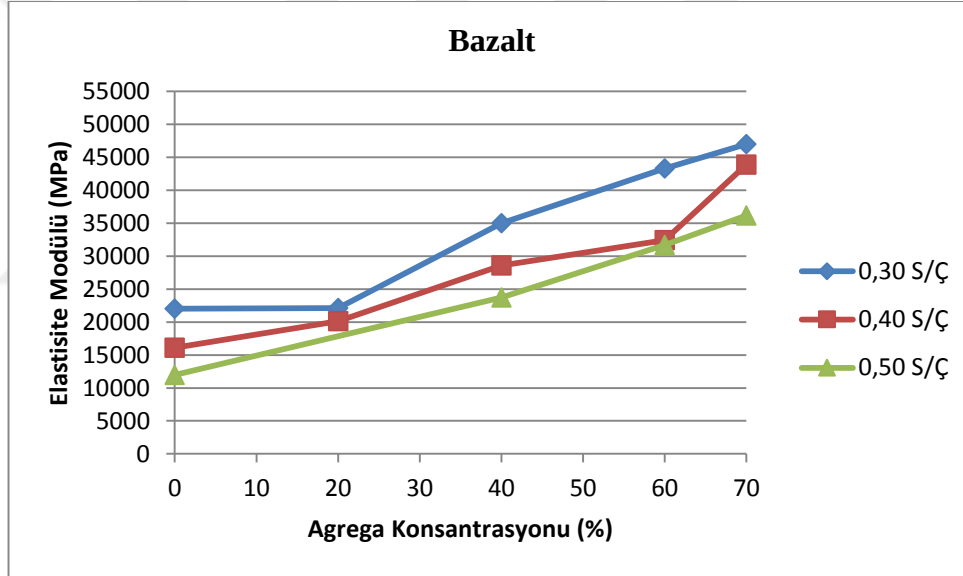
Şekil 4. 8 : Beyaz kireçtaşı içeren karışımların agreg a konsantrasyonu-elastisite modülü ilişkisi.



Şekil 4. 9 : Siyah kireçtaşı içeren karışımların agreg a konsantrasyonu-elastisite modülü ilişkisi.



Şekil 4. 10 : Dolomit içeren karışımların agrega konsantrasyonu-elastisite modülü ilişkisi.



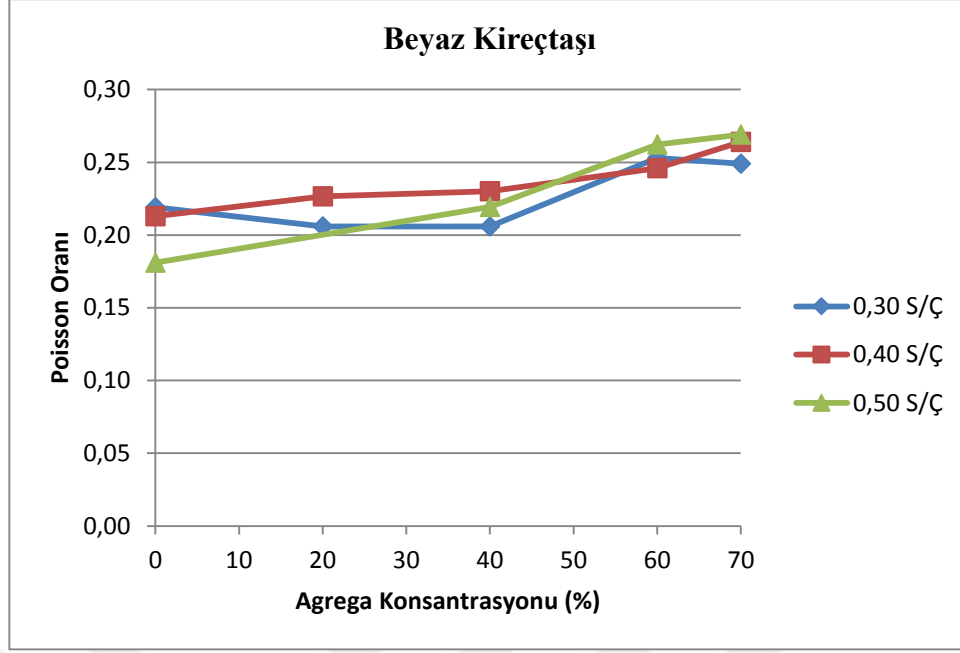
Şekil 4. 11 : Bazalt içeren karışımların agrega konsantrasyonu-elastisite modülü ilişkisi.

4.2.2 Poisson oranı

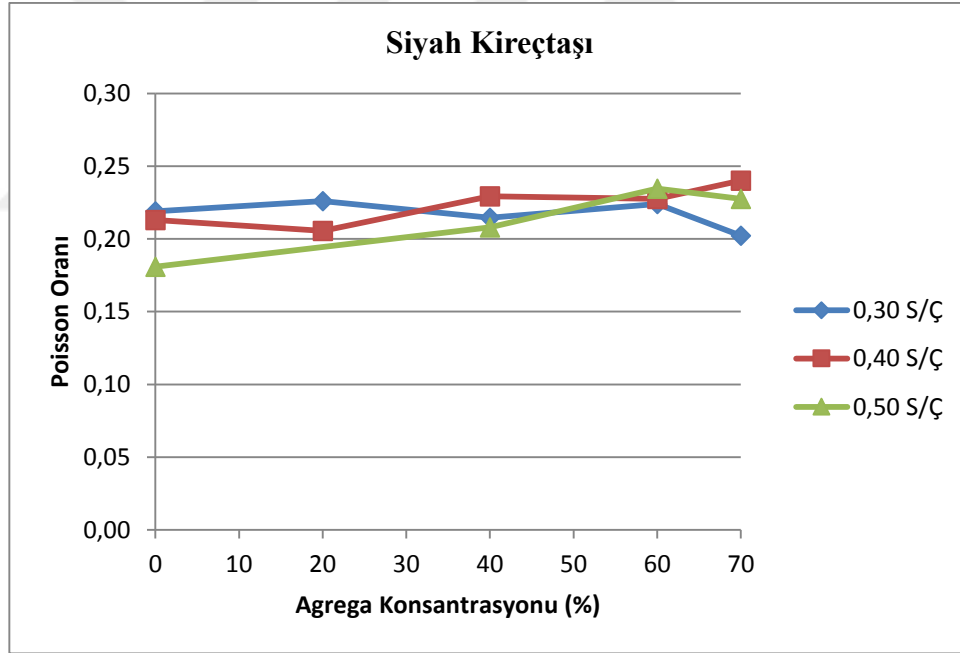
Çizelge 3.3'te verilen %40 bağıl gerilmedeki Poisson oranı değerleri ve Şekil 4.12-15'te agrega konsantrasyonu-Poisson oranı eğrileri 0,40 S/Ç oranından sonra Poisson oranının agrega konsantrasyonu ile birlikte genel olarak arttığını, 0,30 S/Ç oranında ise belirgin bir değişim olmadığını göstermektedir. Aynı konsantrasyon için ise S/Ç oranına bağlı belirgin bir değişim gözlemlenmemiştir.

Yıldırım [10], Gümüş [21] ve Özdemiroğlu [22] kırmataş kullandıkları çalışmalarda Poisson oranının, agrega konsantrasyonundaki artışla birlikte önce düştüğünü, bir minimum değerden geçtikten sonra arttığını belirtmiştir. Yıldırım [10] ve Garan'ın [23] çakıl ile yaptıkları çalışmada ise Poisson oranının agrega konsantrasyonu ile birlikte düştüğü belirtilmektedir. Bu çalışmada ise Poisson oranı %40 bağıl gerilme seviyesinde ölçülen değer olarak kabul edilirken, Yıldırım [10], Gümüş [21], Özdemiroğlu [22] ve Garan [23] çalışmalarında Poisson oranı olarak süreksizlik sınırındaki değeri kabul ettiğinden süreksizlik sınırına etkidekine benzer bu sonuca ulaştıkları düşünülmektedir.

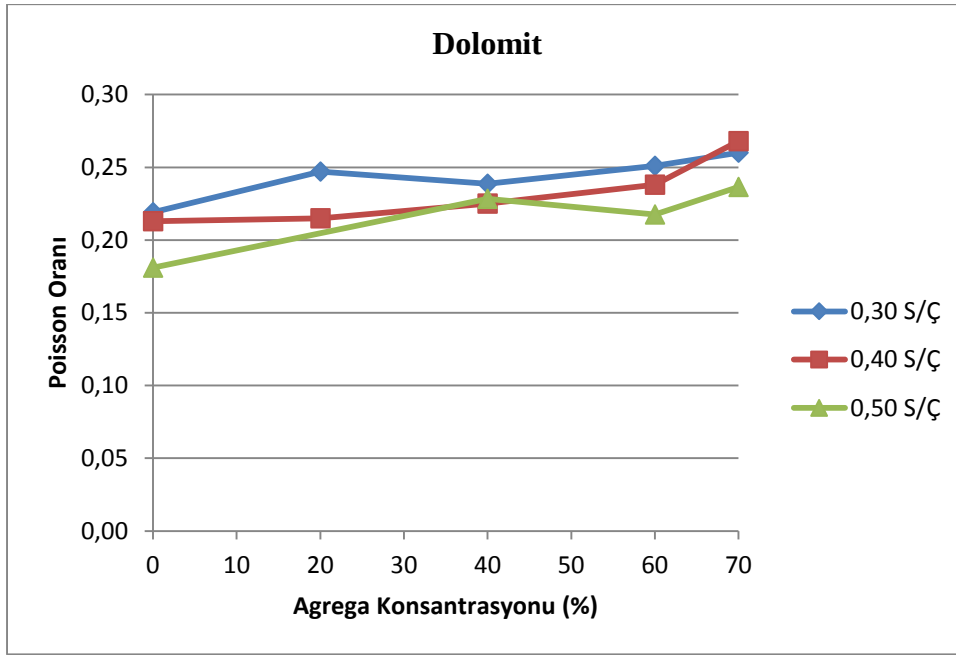
Ek G'de verilen bağıl gerilme-Poisson oranı grafikleri; yaklaşık %10-15 bağıl gerilme seviyelerine kadar poisson oranı değerlerinin genellikle sabit olmadığını ya da düzenli değişmediğini göstermektedir. Ek E ve Ek F'de verilen gerilme-düşey şekil değiştirme oranı grafiklerinde bu düzensizliğin görülmemesi ve düşey yük altında, yatay şekil değiştirme oranının, düşey şekil değiştirme oranına kıyasla düşük olması göz önünde bulundurulduğunda, %10-15 bağıl gerilme seviyelerine kadar poisson oranında görülen düzensiz değişimin nedeninin, yatay şekil değiştirme miktarının 10^{-3} mm hassasiyette ölçümün bu seviyelere kadar yetersiz kalması olduğu anlaşılmaktadır. Gerilme seviyesi arttıkça, poisson oranı değişiminin düzenli duruma gelmesi bu yaklaşımı desteklemektedir; gerilme seviyesi arttıkça ölçüm hassasiyeti aynı olmasına karşın, şekil değiştirme oranı artacağından aynı hassasiyette hata oranı azalmaktadır.



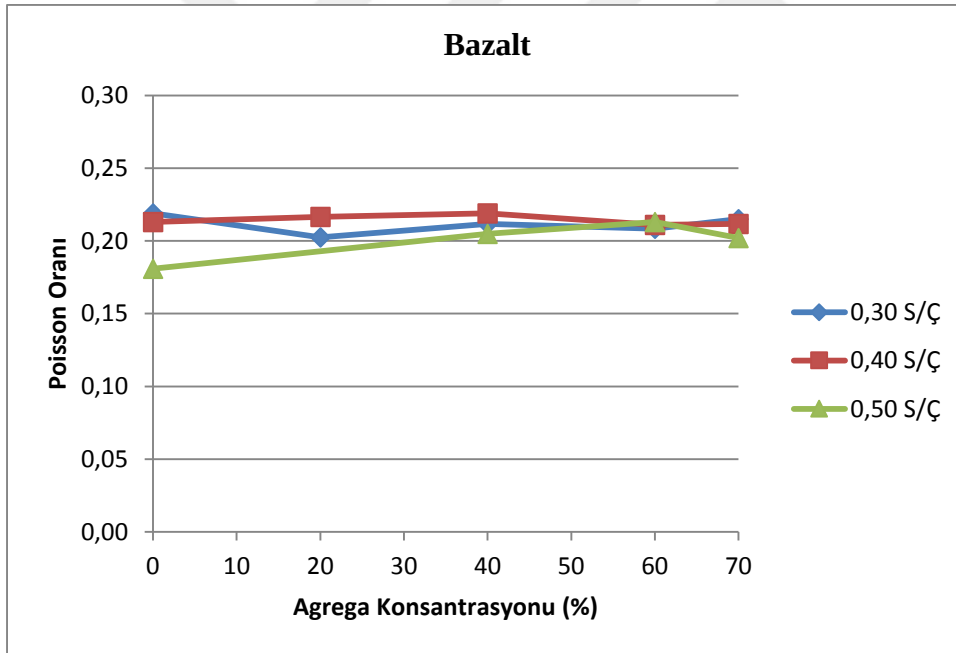
Şekil 4. 12 : Beyaz kireçtaşı içeren karışımların agregat konsantrasyonu-poisson oranı ilişkisi.



Şekil 4. 13 : Siyah kireçtaşı içeren karışımların agregat konsantrasyonu-poisson oranı ilişkisi.



Şekil 4. 14: Dolomit içeren karışımların agrega konsantrasyonu-poisson oranı ilişkisi.



Şekil 4. 15 : Bazalt içeren karışımların agrega konsantrasyonu-poisson oranı ilişkisi.

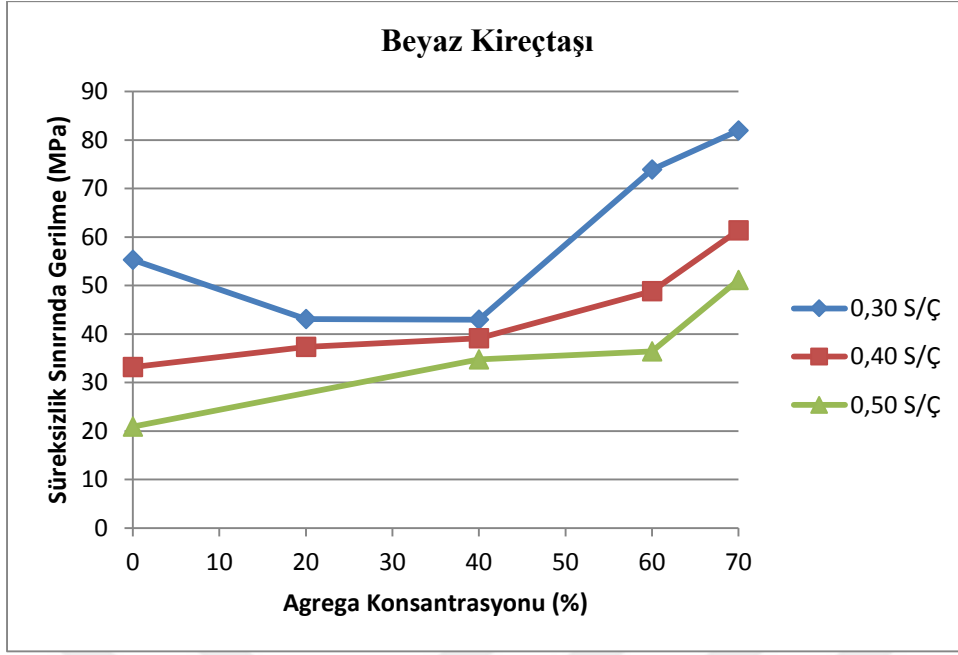
4.3 Agreg Konsantrasyonunun Betonun İnelastik Özelliklerine Etkisi

4.3.1 Süreksizlik sınırına etki

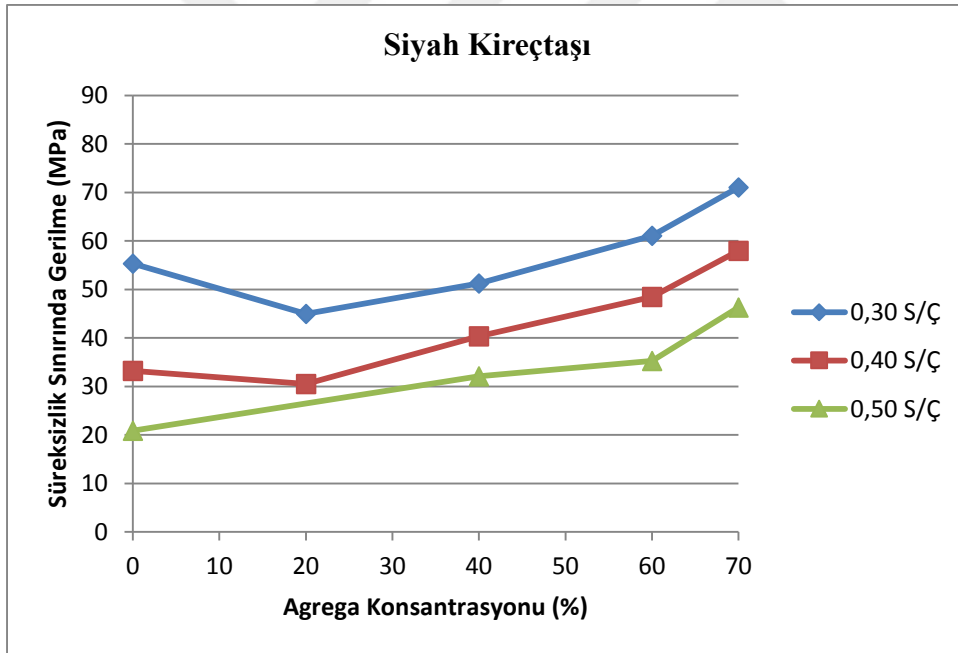
Ek G'de verilen bağıl gerilme-Poisson oranı grafiklerinden de görüldüğü üzere Poisson oranı başlangıçta sabit veya düşük bir artış hızı ile artarken bir sınıra ulaşıldığında poisson oranı artmaya başlamakta veya artış hızı artmaya başlamaktadır.

Beton içerisindeki çatlakların agrega-hamur arayüzeyini sardığı bu sınır süreksizlik sınırı olarak kaydedilmiş olup, Çizelge 3.4 ve Şekil 4.16-19'da görüldüğü üzere agrega konsantrasyonu ve S/Ç oranının, beton numunelerinin süreksizlik sınırına ulaştığı gerilme değerine etkisi basınç dayanımı ile benzerdir. 0,30 S/Ç oranında siyah kireçtaşı, dolomit ve bazalt içeren karışımlarda süreksizlik sınırı %20 agrega konsantrasyonunda düşmekte ardından agrega konsantrasyonu ile birlikte artmaktadır. Beyaz kireçtaşı içeren karışımlarda ise düşüş %40 konsantrasyona kadar devam etmekte ve bu konsantrasyondan sonra artmaya başlamaktadır. Yıldırım [10] (kırmataş kullanılan karışımlarda), Gümüş [21] ve Özdemiroğlu'nun [22] çalışmalarında elde ettiği sonuçta benzer şekilde süreksizlik sınırının, agrega konsantrasyonundaki artış ile birlikte öncelikle düştüğü, bir minimumdan geçtikten sonra ise arttığı yönündedir. Yıldırım [10] ve Garan'ın [23] çakıl türü agrega kullandıkları çalışmalarda ise agrega konsantrasyonu arttıkça süreksizlik sınırının düştüğünü belirtmektedir. Bu farklı sonucun nedeni basınç dayanımında olduğu gibi iri agrega olarak çakıl kullanılmış olmasıdır.

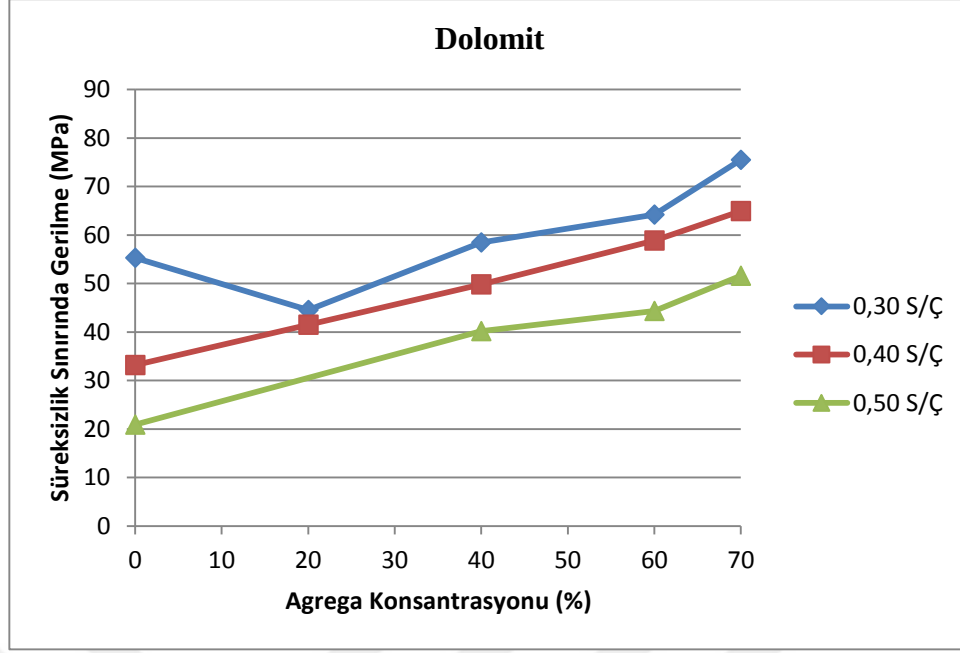
0,40 ve 0,50 S/Ç oranlarında ise süreksizlik sınırındaki gerilme değeri sürekli artma eğilimindedir. 0,30 S/Ç oranında düşük konsantrasyonlarda çözülme sınırında görülen düşüşün nedeni, basınç dayanımında olduğu gibi, rijit yapıda olan hamur içerisine eklenen agregaların oluşturduğu gerilme yığılmalarının olumsuz etkisinin, çatlak durdurma etkisinden büyük olmasıdır. Agrega konsantrasyonunun artması ile birlikte çatlak durdurma etkisi, gerilme yığılması etkisinden daha etkili hale gelmekte ve süreksizlik sınırı artmaktadır. Yüksek S/Ç oranlarında ise hamur yapısı zayıf olduğundan, düşük konsantrasyonlarda da çatlak durdurma etkisi, gerilme yığılması etkisinden daha büyük olduğundan süreksizlik sınırı agrega konsantrasyonu ile birlikte artmaktadır. Yine basınç dayanımında olduğu gibi aynı agrega konsantrasyonunda süreksizlik sınırındaki gerilme, artan S/Ç oranı ile birlikte düşmektedir. Bunun nedeni basınç dayanımında olduğu gibi bağlayıcı faz olan çimento hamurunun yapısının artan S/Ç oranı ile birlikte zayıflamasıdır.



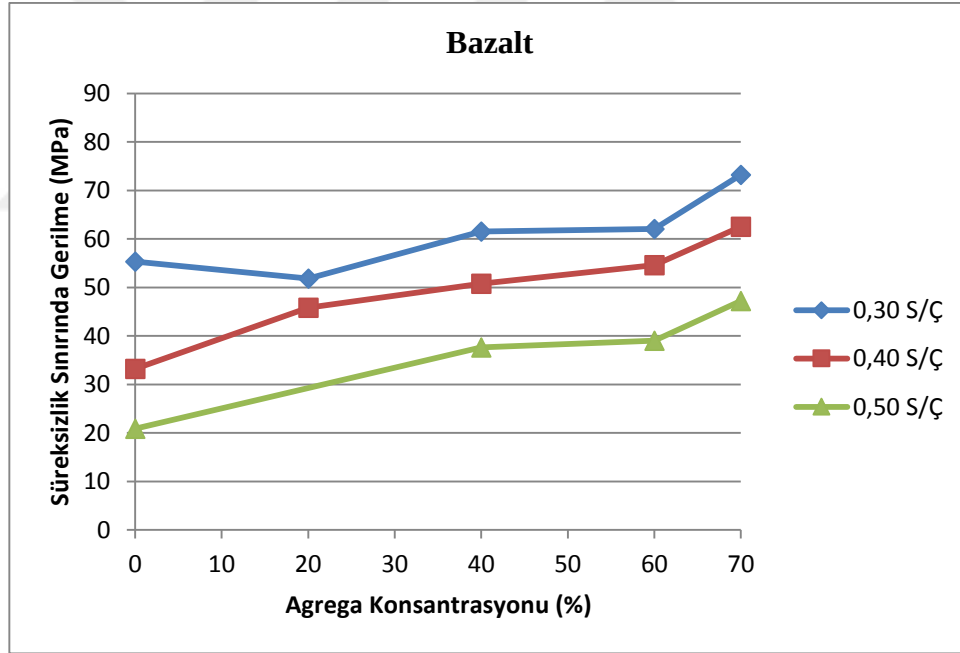
Şekil 4. 16 : Beyaz kireçtaşı içeren karışımların agrega konsantrasyonu-süreksizlik sınırındaki gerilme ilişkisi



Şekil 4. 17 : Siyah kireçtaşı içeren karışımların agrega konsantrasyonu- süreksizlik sınırındaki gerilme ilişkisi.



Şekil 4. 18 : Dolomit içeren karışımların agreg a konsantrasyonu-süreksizlik sınırındaki gerilme ilişkisi.



Şekil 4. 19 : Bazalt içeren karışımların agreg a konsantrasyonu- süreksizlik sınırındaki gerilme ilişkisi.

Çizelge 3.5'te verilen süreksizlik sınırına ulaşılan bağıl gerilme değerlerine göre agreg a tür ve konsantrasyonu ile hamur yapısının süreksizlik sınırındaki bağıl gerilmeye etkisi incelendiğinde; başlangıçta S/Ç oranı arttıkça süreksizlik sınırına ulaşılan bağıl gerilme oranının azaldığı, agreg a konsantrasyonu arttıkça hamurun hacim oranı azaldığından değerlerin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Süreksizlik sınırındaki gerilme ile basınç dayanımının oranı olan, süreksizlik sınırına ulaşılan bağıl

gerilmenin bu iki parametreden farklı olarak agrega konsantrasyonu ile birlikte artmamasının nedeni, iki parametrenin de konsantrasyonla birlikte yakın oranlarda artması nedeniyle oranlarının belirgin şekilde değişmemesidir. Süreksizlik sınırına ulaşılan bağıl gerilme değeri genel olarak; beyaz kireçtaşı içeren karışımlarda %75-95, siyah kireçtaşı içeren karışımlarda %65-85, dolomit içeren karışımlarda %85-90 ve bazalt içeren karışımlarda ise %75-85 aralığında değişmektedir. En yüksek bağıl gerilme değerlerinin beyaz kireçtaşı içeren karışımlar olduğu görülmekte olup bunun nedeninin agrega yüzey dokusu nedeni ile en kuvvetli agrega-çimento hamuru arayüzünün bu agrega türünde elde edilmesi olduğu düşünülmektedir. Çatlakların ilerleyerek agregaların çevresini sardığı sınır olan süreksizlik sınırı, arayüzün dayanımın fazla olması nedeniyle bu karışımlarda daha yüksektir.

Farklı araştırmacıların çalışmaları sonucunda, literatürde süreksizlik sınırına ulaşılan bağıl gerilme için iki farklı aralık üzerinde durulmaktadır; Bazı araştırmacılar [4, 19-20] süreksizlik sınırının yaklaşık %30-40 bağıl gerilme seviyelerinde başladığını belirtmesine karşın bu çalışmada süreksizlik sınırının yaklaşık %50-90 seviyelerinde olduğunu belirten araştırmacılara [11-12, 14, 21-23] yakın sonuçlar elde edilmiştir.

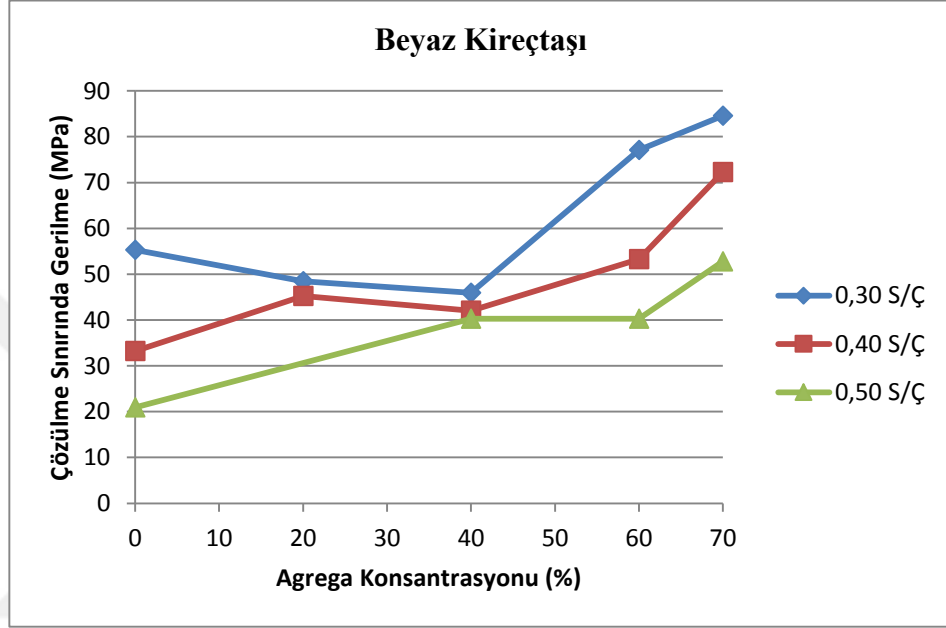
4.3.2 Çözülme sınırına etki

Yükleme yönüne paralel doğrultuda oluşan düşey şekil değiştirme oranı ve yükleme yönüne dik doğrultuda oluşan yatay şekil değiştirme oranı kullanılarak çizilen bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme grafikleri Ek H'da verilmiş olup, bağ çatlaklarının hamur içerisinde ilerleyerek sürekli ağ oluşturması sonucu numune hacmin artmaya başladığı sınır çözülme sınırı olarak kaydedilmiştir.

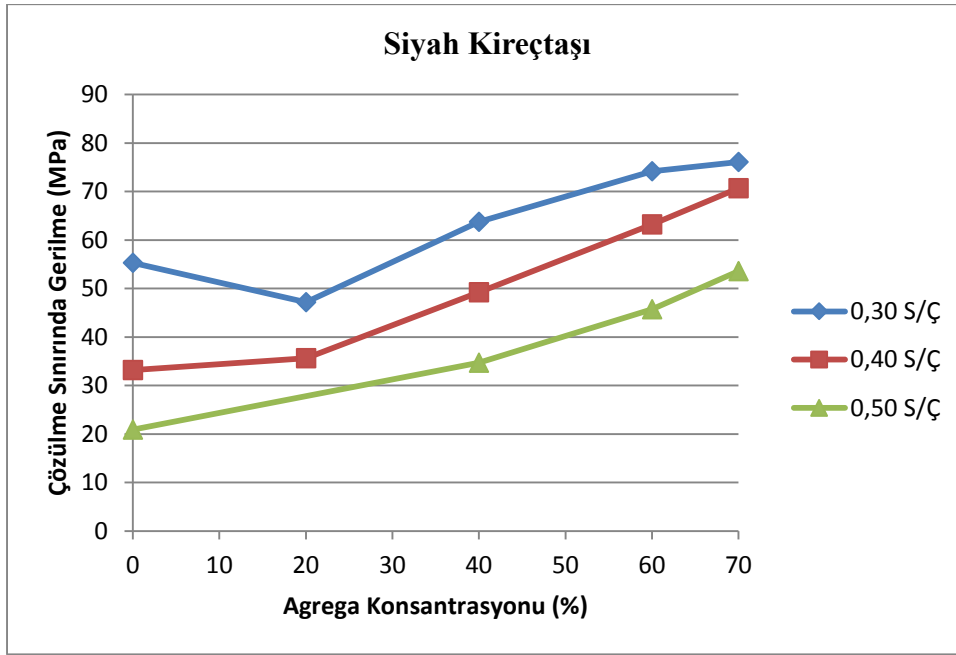
Çizelge 3.6'da verilen çözülme sınırındaki ortalama gerilme değerleri ve Şekil 4.20-23'te gösterilen agrega konsantrasyonu-çözülme sınırına ulaşılan gerilme eğrileri incelendiğinde, agrega konsantrasyonu ve S/Ç oranının, beton numunelerinin çözülme sınırına etkisi, süreksizlik sınırı ile benzer olduğu görülmektedir. Süreksizlik sınırında olduğu gibi, 0,30 S/Ç oranında siyah kireçtaşı, dolomit ve bazalt içeren karışımlarda çözülme sınırı %20 agrega konsantrasyonuna kadar, beyaz kireçtaşı içeren karışımlarda ise %40 konsantrasyona kadar düşmekte, bu konsantrasyon değerlerinden sonra artmaktadır. Bu sonuç, basınç dayanımı ve süreksizlik sınırında olduğu gibi Yıldırım [10] (kırmataş kullanılan karışımlarda), Gümüş [21] ve Özdemiroğlu'nun

[22] çalışmalarında elde ettiği sonuçlar ile benzer, çalışmasında çakıl kullanan Yıldırım [10] ve Garan'ın [23] sonuçlarından farklıdır.

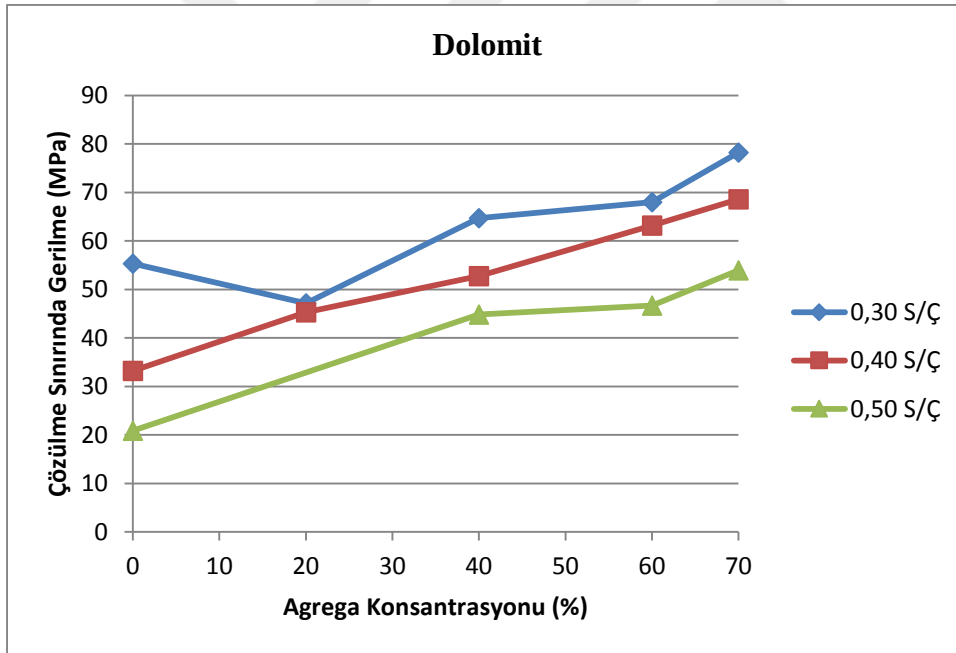
0,40 ve 0,50 S/Ç oranlarında ise çözülme sınırı genellikle artma eğilimindedir. 0,30 S/Ç oranında düşük konsantrasyonlarda süreksizlik sınırında görülen düşüşün nedeni, süreksizlik sınırında olduğu gibi bu konsantrasyonlarda gerilme yığılmalarının olumsuz etkisinin, çatlak durdurma etkisinden büyük olmasıdır.



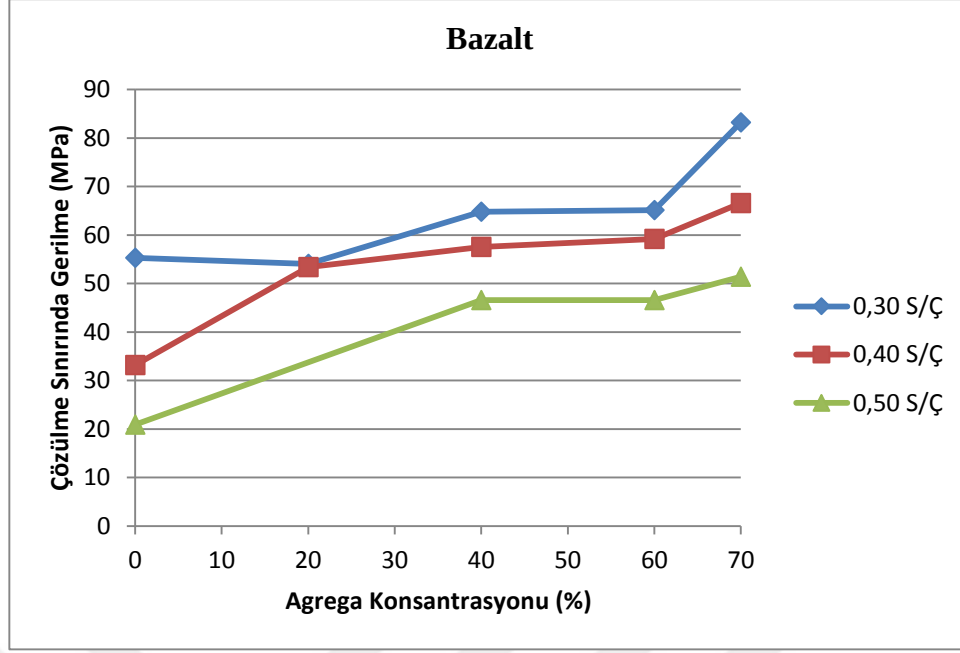
Şekil 4. 20 : Beyaz kireçtaşı içeren karışımların agregat konsantrasyonu-çözülme sınırındaki gerilme ilişkisi.



Şekil 4. 21 : Siyah kireçtaşı içeren karışımların agreg a konsantrasyonu-çözülme sınırındaki gerilme ilişkisi.



Şekil 4. 22 : Dolomit içeren karışımların agreg a konsantrasyonu-çözülme sınırındaki gerilme ilişkisi.



Şekil 4. 23 : Bazalt içeren karışımların agrega konsantrasyonu-çözülme sınırındaki gerilme ilişkisi.

Yine basınç dayanımı ve süreksizlik sınırında olduğu gibi aynı agrega konsantrasyonunda çözülme sınırındaki gerilme, hamurunun yapısının artan S/Ç oranı ile birlikte zayıflamasına bağlı olarak artan S/Ç oranı ile birlikte düşmektedir.

Çizelge 3.7’de, çözülme sınırına ulaşılan bağıl gerilme değerinin genel olarak; beyaz kireçtaşı, siyah kireçtaşı ve bazalt içeren karışımlarda %85-95, dolomit içeren karışımlarda ise %75-95 aralığında değiştiği görülmektedir.

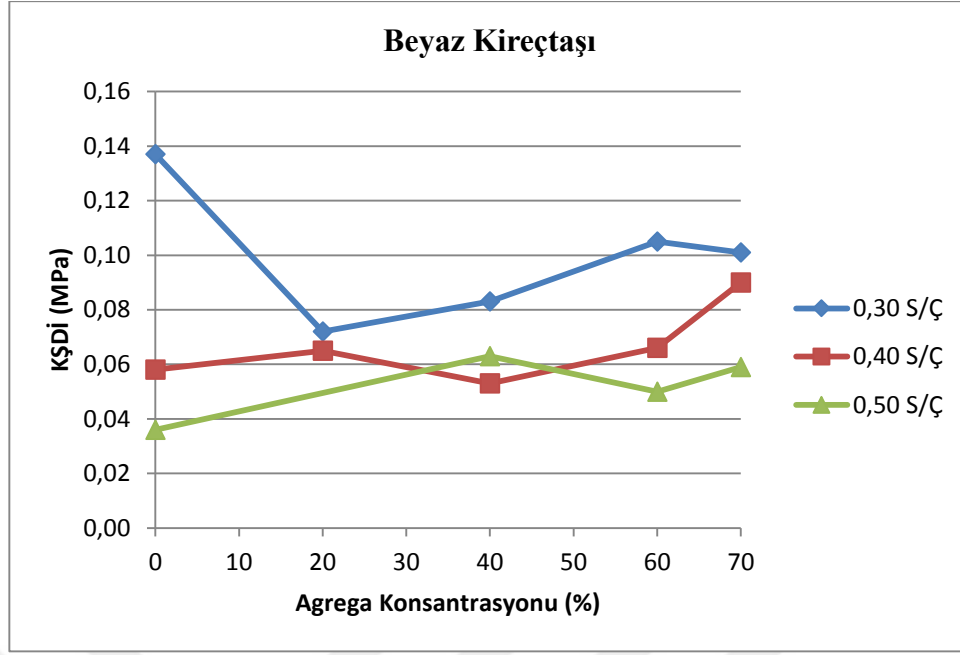
Süreksizlik sınırından sonra, agrega tanelerinin beton içerisinde ilerleyen çatlaklara engel oluşturarak, sürekli ağ oluşturmalarını engellemesi nedeniyle düşük agrega konsantrasyonları bile çözülme sınırına ulaşılan bağıl gerilme değerini arttırmaktadır. Bu nedenle özellikle yüksek S/Ç oranlarında olmak üzere agrega içeren tüm karışımlarda, çözülme sınırına ulaşılan bağıl gerilme değeri hamur karışımlarınıninkinden büyüktür.

Süreksizlik sınırındaki farklı değerlendirmelerin aksine, araştırmacılar [4, 6, 11-16, 18-23] genel olarak çözülme sınırının yaklaşık %70-90 bağıl gerilme seviyelerinde başladığını değerlendirmektedir. Bu çalışmada da genellikle benzer sonuçlar elde edilmiş olup bazı karışımlarda bu değer aralığının üstüne çıkmıştır.

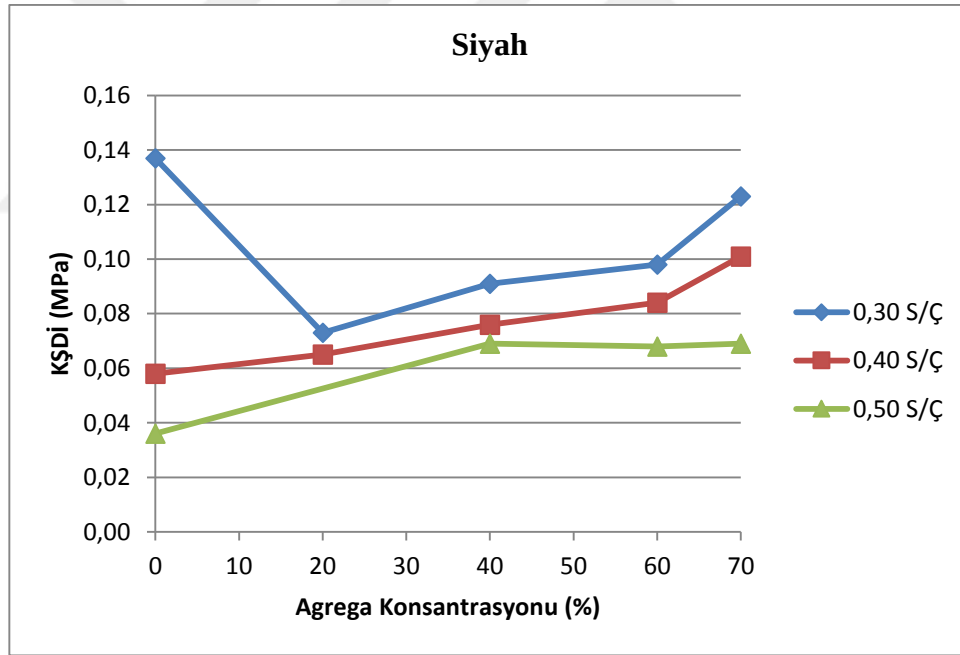
4.4 Agreg a Konsantrasyonunun Betonun Kırılma Şekil Değ iştirme İ şine Etkisi

Çizelge 3.8’de verilen ortalama kırılma şek il değ iştirme iş i değ erleri ve Şekil 4.24-27’de verilen KŞDİ-agrega konsantrasyonu grafikleri, karışımların basınç dayanımlarındaki değ işimler ile birlikte değ erlendirildiğ inde S/Ç hamurunun ve agreg a konsantrasyonunun KŞDİ üzerindeki etkisinin genel olarak basınç dayanımı ile benzer olduğ u g örülmektedir. Buna karş ın basınç dayanımı ile KŞDİ doğ ru orantılı değ ildir; örneğ in Şekil 4.28’de gerilme-şek il değ iştirme oranı grafikleri verilen 40B30 ve 60B30 karışımlarında olduğ u gibi agreg a konsantrasyonundaki artış ile birlikte basınç dayanımının belirgin şek ilde değ işmediğ i karışımlarda, KŞDİ’nde bir miktar düşüş olmuştur. Bunun nedeni basınç dayanımının KŞDİ üzerinde etkili tek özellik olmamasıdır. Ek E’de verilen gerilme-şek il değ iştirme oranı grafiklerinde de g örüldüğ ü üzere bu grafiğ in altında kalan alan olan betonun kırılma şek il değ iştirme işinin büyüklüğ ü, betonun şek il değ iştirme ve basınç dayanımı ile birlikte ilişkilidir. Ek E’de verilen gerilme-şek il değ iştirme oranı grafikleri ve Şekil 4.28’de g örüldüğ ü gibi Agreg a konsantrasyonunun arttığı ancak basınç dayanımının belirgin ölçüde değ işmediğ i karışımlarda, daha rijit olan agreg anın oranının artması nedeniyle betonun şek il değ iştirme kapasitesi düşmekte ve aynı ya da yakın dayanımda daha düşük KŞDİ ortaya çıkmaktadır. Basınç dayanımının, agreg a konsantrasyonu ile birlikte arttığı karışımlarda ise yine agreg anın oranının artması nedeniyle betonun şek il değ iştirme kapasitesi düşmekte ancak dayanımdaki artış ile birlikte numunenin şek il değ iştirme miktarının artması nedeniyle oluş an KŞDİ artmaktadır.

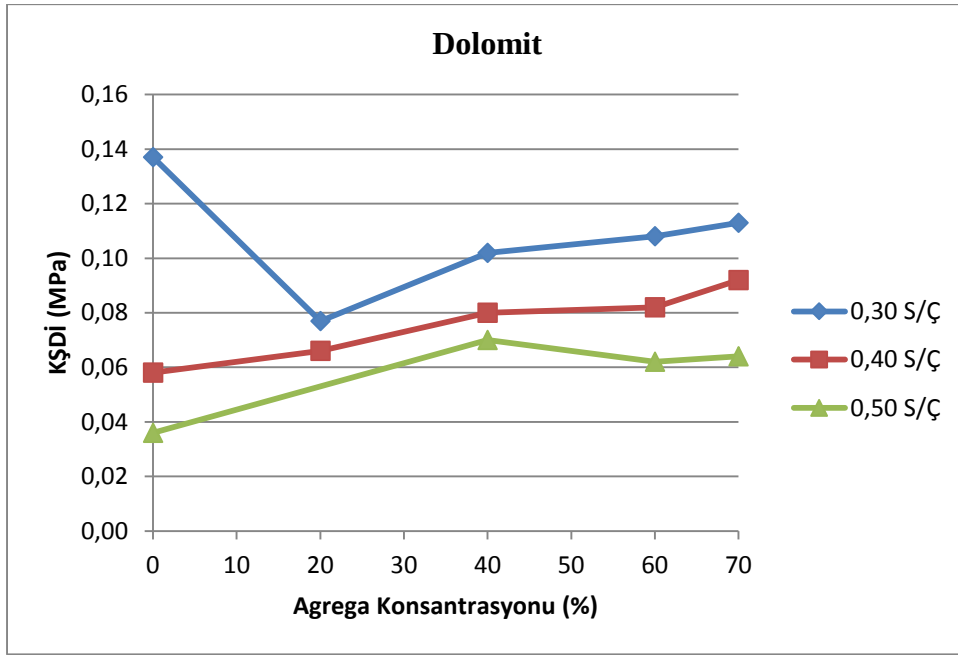
KŞDİ değ erinin agreg a konsantrasyonuna bağı lı değ işimi Özdemiroğ lu’nun [22] sonuçları ile benzerdir. Yıldırım [10] ise KŞDİ değ erinin agreg a konsantrasyonu ile birlikte düş tüğ ünü belirtmiştir.



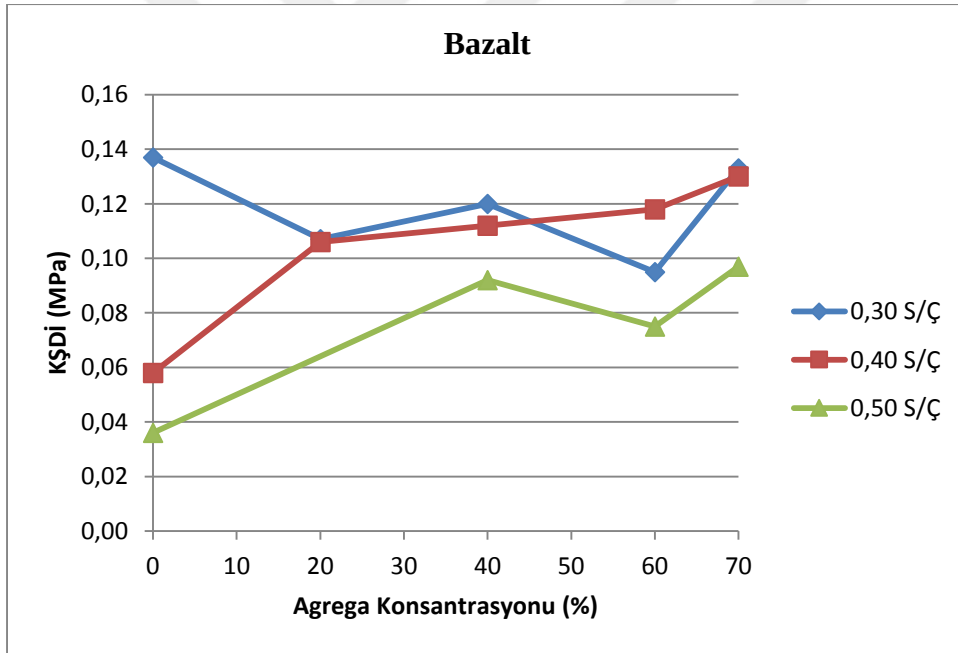
Şekil 4. 24 : Beyaz kireçtaşı içeren karışımların agreg a konsantrasyonu-KŞDİ ilişkisi.



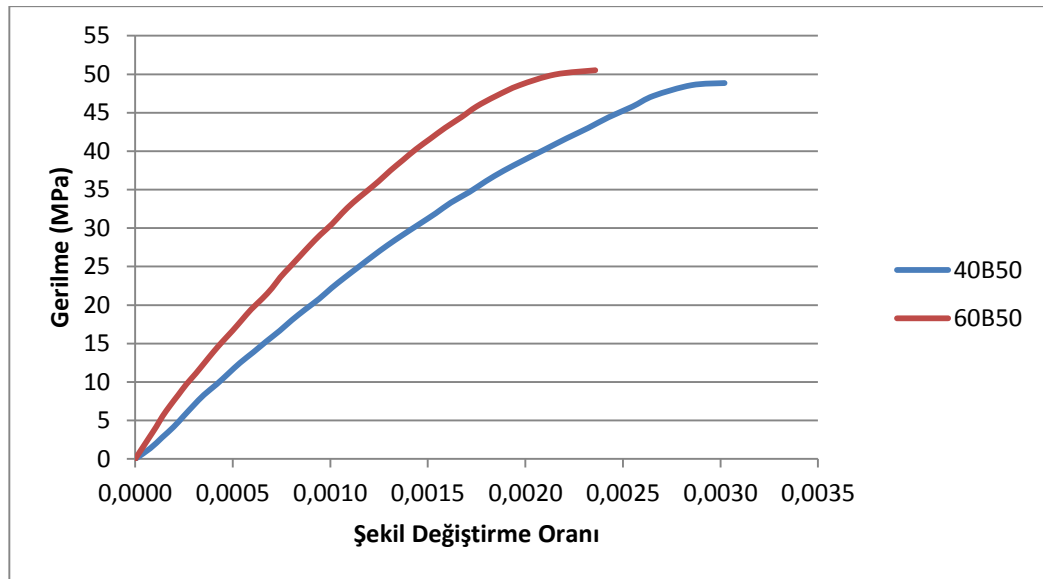
Şekil 4. 25 : Siyah kireçtaşı içeren karışımların agreg a konsantrasyonu- KŞDİ ilişkisi.

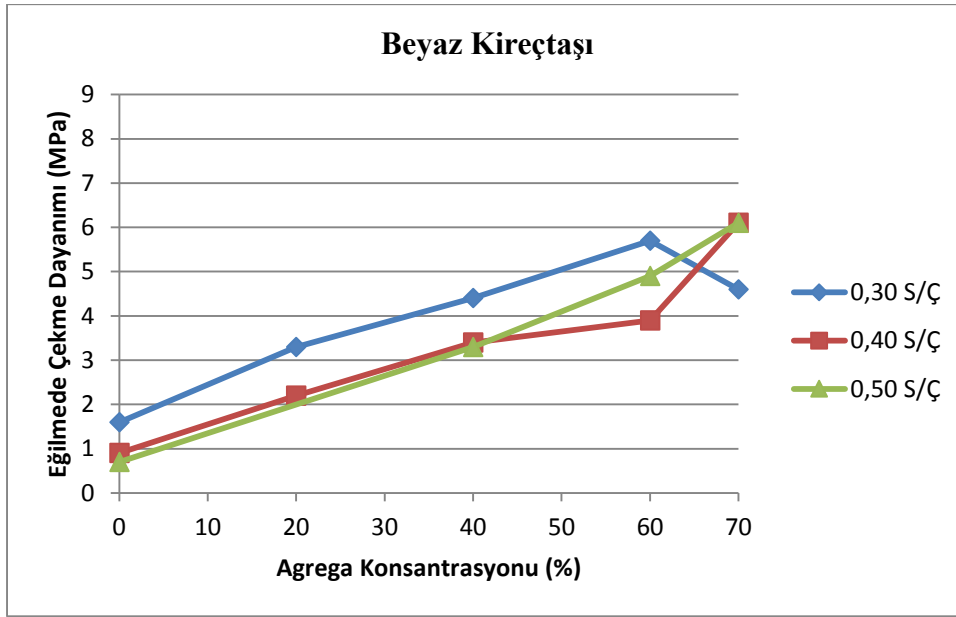


Şekil 4. 26 : Dolomit içeren karışımların agreg a konsantrasyonu-KŞDİ ilişkisi.

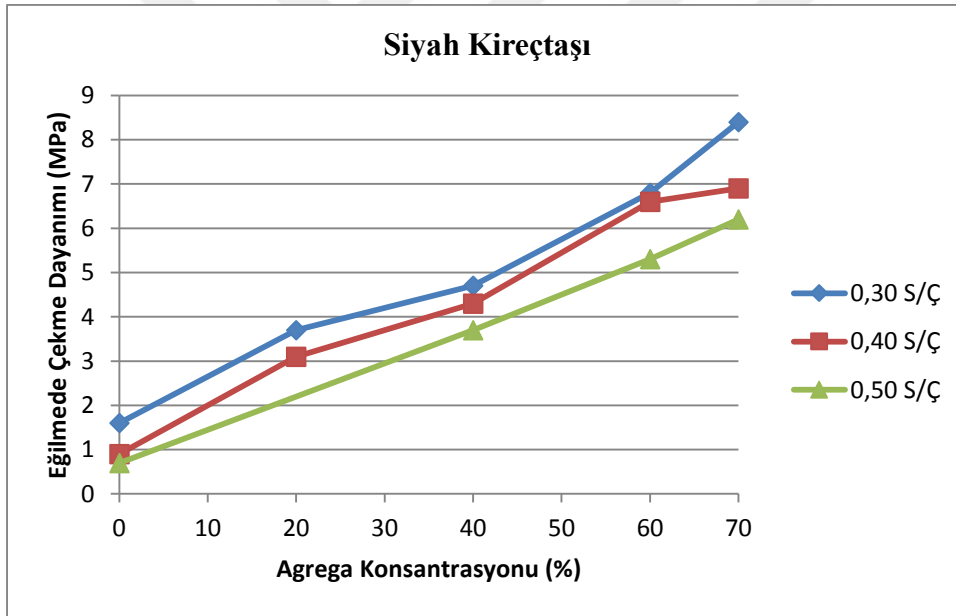


Şekil 4. 27 : Bazalt içeren karışımların agreg a konsantrasyonu-KŞDİ ilişkisi.

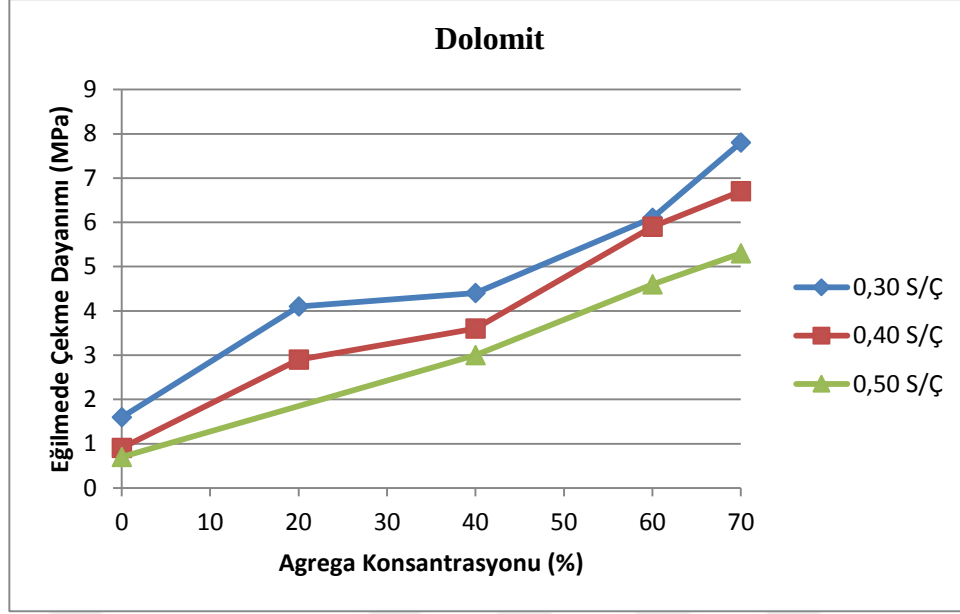




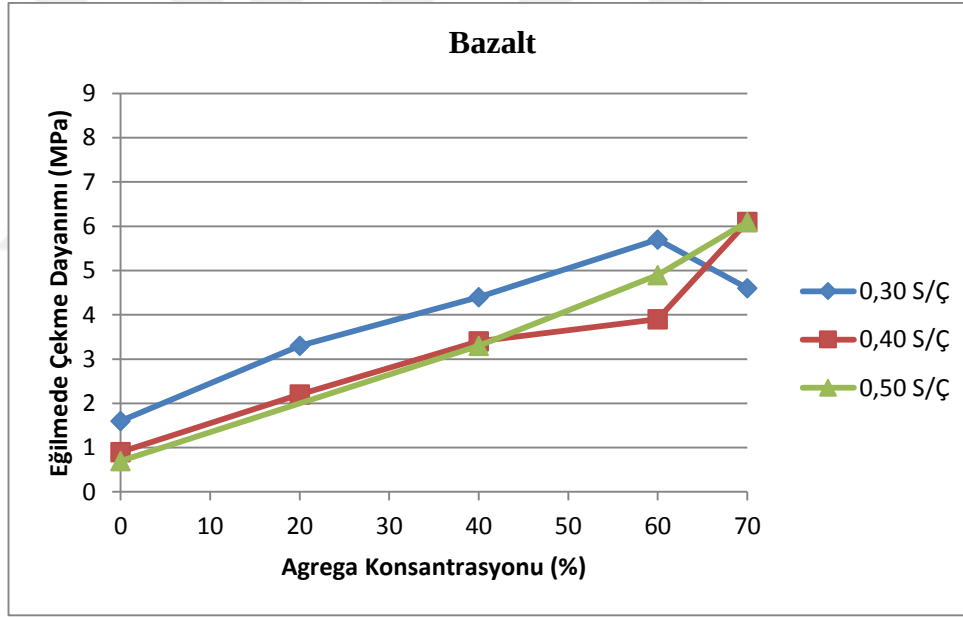
Şekil 4. 29 : Beyaz kireçtaşı içeren karışımların agreg a konsantrasyonu-eğilmede çekme dayanımı ilişkisi.



Şekil 4. 30 : Siyah kireçtaşı içeren karışımların agreg a konsantrasyonu-eğilmede çekme dayanımı ilişkisi.



Şekil 4. 31 : Dolomit içeren karışımların agreg a konsantrasyonu-eğilmede çekme dayanımı ilişkisi.

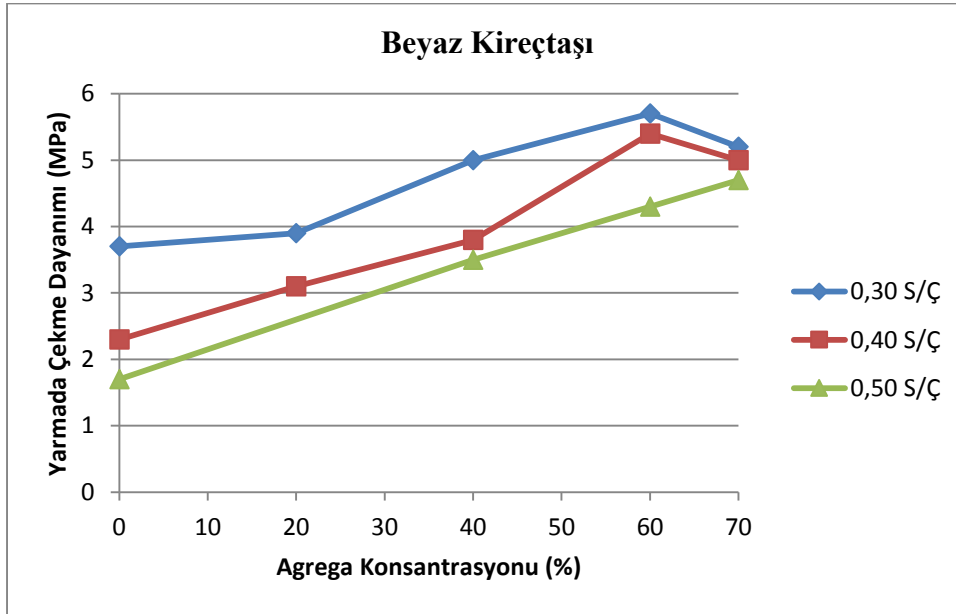


Şekil 4. 32 : Bazalt içeren karışımların agreg a konsantrasyonu-eğilmede çekme dayanımı ilişkisi.

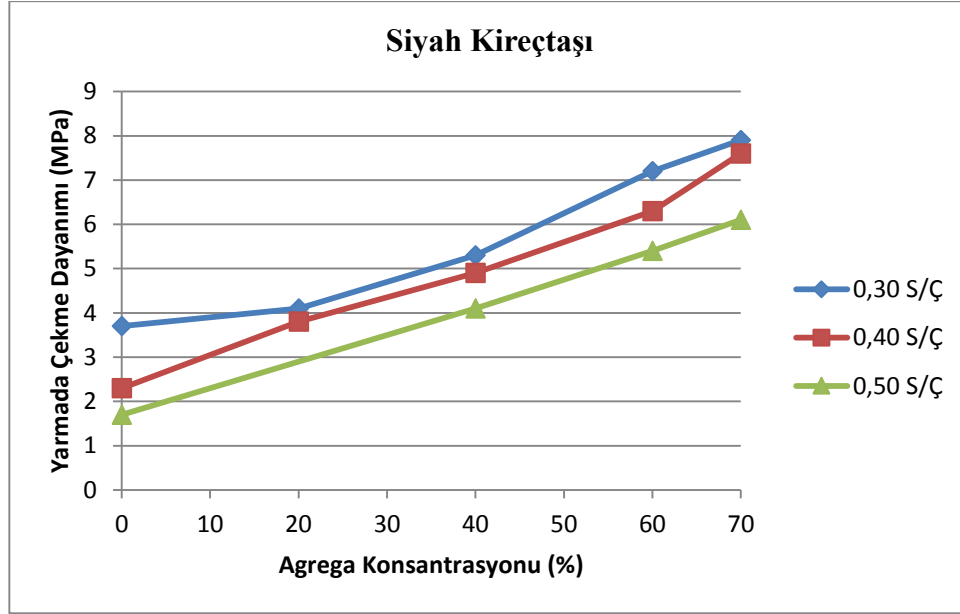
4.5.2 Yarmada çekme dayanımına etki

Çizelge 3.10’da verilen deney sonuçları ve Şekil 4.33-36’da verilen agreg a konsantrasyonu-yarmada çekme dayanımı eğrileri, eğilmede çekme dayanımında olduğu gibi yarmada çekme dayanımının genel olarak agreg a konsantrasyonu ile birlikte arttığını, S/Ç oranı ile birlikte azaldığını ve yine benzer şekilde agreg a konsantrasyonunun yarmada çekme dayanımı üzerindeki etkisinin S/Ç oranından daha

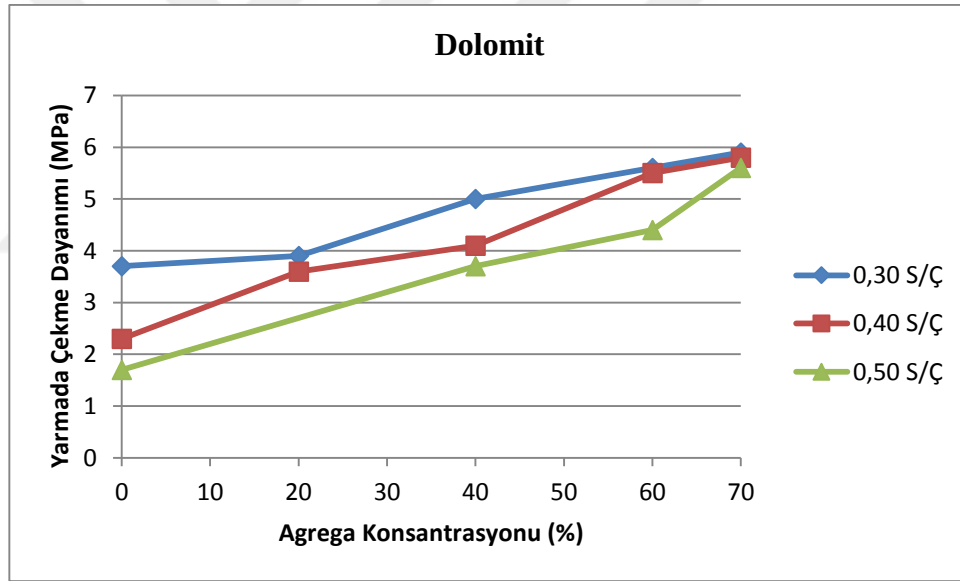
belirgin olduğunu göstermektedir. Ancak eğilme deneyinden farklı olarak siyah kireçtaşı ve bazalt içeren karışımların yarmada çekme dayanımı daha yüksek, beyaz kireçtaşı ve dolomit içeren karışımlarınki ise daha düşüktür. Eğilme deneyi gibi bir dolaylı çekme deneyi olan yarma deneyi, eğilme deneyinden farklı olarak yükleme karşılıklı iki noktadan uygulandığı için, uygulanan yük, yükleme kesitindeki agregaları kesmeye çalışmaktadır. Agreganın kesme kuvvetine karşı mukavemetinin zayıf olması durumunda çatlak agregaya içerisinden geçerek ilerlemekte, agregaya mukavemetinin yüksek olması durumunda ise agregaya yüzeyini dolaşmakta ve yarma dayanımında artış olmaktadır. Bu nedenle daha sağlam yapıdaki siyah kireçtaşı ve bazalt içeren agregalarda daha yüksek yarmada çekme dayanımı elde edilmektedir.



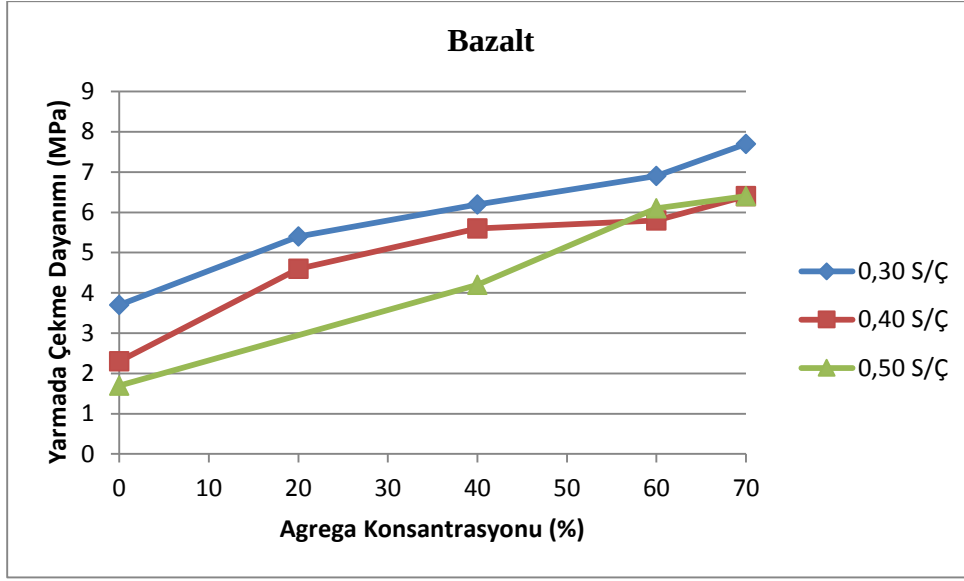
Şekil 4. 33 : Beyaz kireçtaşı içeren karışımların agregaya konsantrasyonu-yarmada çekme dayanımı ilişkisi.



Şekil 4. 34 : Siyah kireçtaşı içeren karışımların agreg a konsantrasyonu-yarmada çekme dayanımı ilişkisi.



Şekil 4. 35 : Dolomit içeren karışımların agreg a konsantrasyonu-yarmada çekme dayanımı ilişkisi.



Şekil 4. 36 : Bazalt içeren karışımların agreg a konsantrasyonu-yarmada çekme dayanımı ilişkisi.

Özturan ve Çeçen'in [30] yüksek dayanımlı betonlarda basınç dayanımının, iri agreganın dayanımı ve yüzey karakterinden etkilenmesine karşın çekme dayanımının harç dayanımına bağlı olduğunu gösterdiğini ifade etmesine karşın, yukarıda açıklandığı üzere bu çalışmada, hamur yapısının çekme dayanımı üzerinde tek etkili parametre olmayıp, agreg a özellik ve konsantrasyonunda önemli etkileri olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu farklı değerlendirmenin nedeni, Özturan ve Çeçen'in [30] çalışmasında tüm bileşenleri sabit tutarak yüksek dayanımlı çimento kullanması ve agreg a olarak çakıl kullanması nedeniyle agreg a etkilerinin değerlendirilememesi olduğu düşünülmektedir.

Bu çalışma ile benzer olarak Beshr ve arkadaşlarının [31] yaptığı çalışmada yarmada çekme dayanımının agreg a türünden etkilendiği, Yıldırım [10], Özdemiroğlu [22], Akçay ve arkadaşları [27] ve Sarısu'nun [35] çalışmalarında ise agreg a konsantrasyonu arttıkça çekme dayanımının artış eğiliminde olduğu belirtilmiştir.

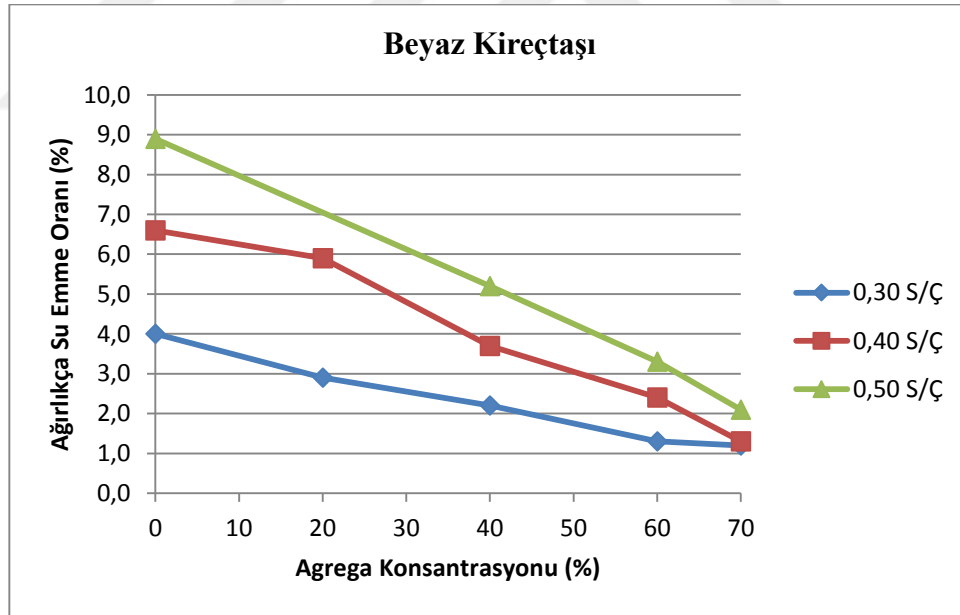
4.6 Agreg a Konsantrasyonunun Su Geçirirliğine Etkisi

Normal agregalarda su emme oranı genellikle çimento hamurundan daha düşüktür. Bu nedenle S/Ç oranı arttıkça hamur içerisindeki boşluk artacağından hamurun, dolayısıyla da betonun su emme oranının artması, agreg a konsantrasyonu arttıkça da su emme oranı düşük bileşen arttığından betonun su emme oranının düşmesi beklenir. Çizelge 3.11'de verilen atmosfer basıncında su emme deneyinin sonuçları da bu

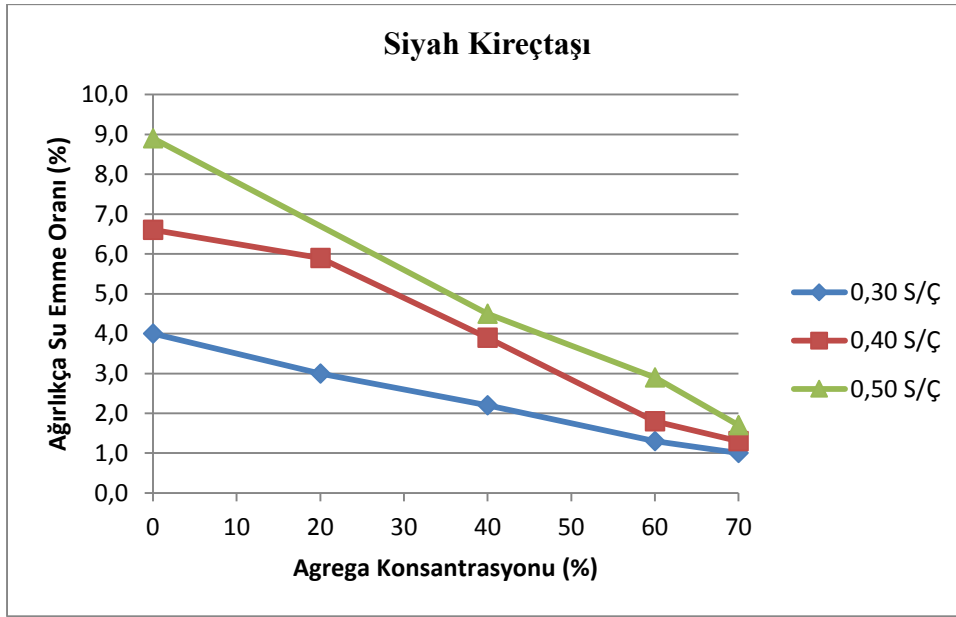
doğrultuda çıkmış olup betonun ağırlıkça su emme oranı, agreg a konsantrasyonu ile ters, S/Ç oranı ile doğru orantılı olarak değışmiştir. Grassl ve arkadaşlarının [26] %10-50 agreg a konsantrasyonu ile yaptığı çalışmada da benzer şekilde, konsantrasyon arttıkça permabilitenin düştüğü sonucuna varılmıştır.

Betonun S_A değeri, bileşenleri olan hamur ve agreganın S_A değeri ile doğru orantılı olsaydı “ $S_{A,beton}=V_a.S_{A,agrega}+V_h.S_{A,hamur}$ ” eşitliğinin geçerli olması beklenirdi. Ancak Şekil 4.38-41’de verilen agreg a konsantrasyonu-ağırlıkça su emme oranı ilişkisi ve Çizelge 3.11’de ve Şekil 4.37-40’da verilen ağırlıkça su emme oranları incelendiğinde, agreg a konsantrasyonu ve ağırlıkça su emme oranı arasında doğrusal yakın ancak parabolik bir ilişki olduğu görülmektedir. Bunun nedeni agreg a içerisindeki fillerin hamur içerisindeki boşlukları doldurarak, emilen su miktarını düşürmesidir.

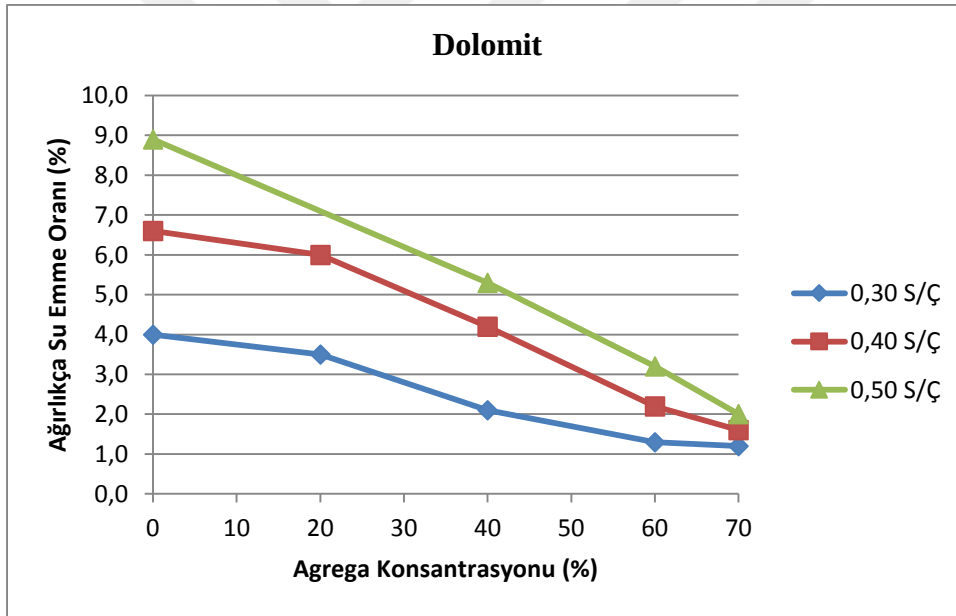
Deneyler sonucunda aynı konsantrasyon ve S/Ç oranında agreg a türüne bağlı belirgin bir fark gözlemlenmemiş olup, S_A değeri üzerindeki esas belirleyici bileşenin hamur yapısı olduğu görülmüştür.



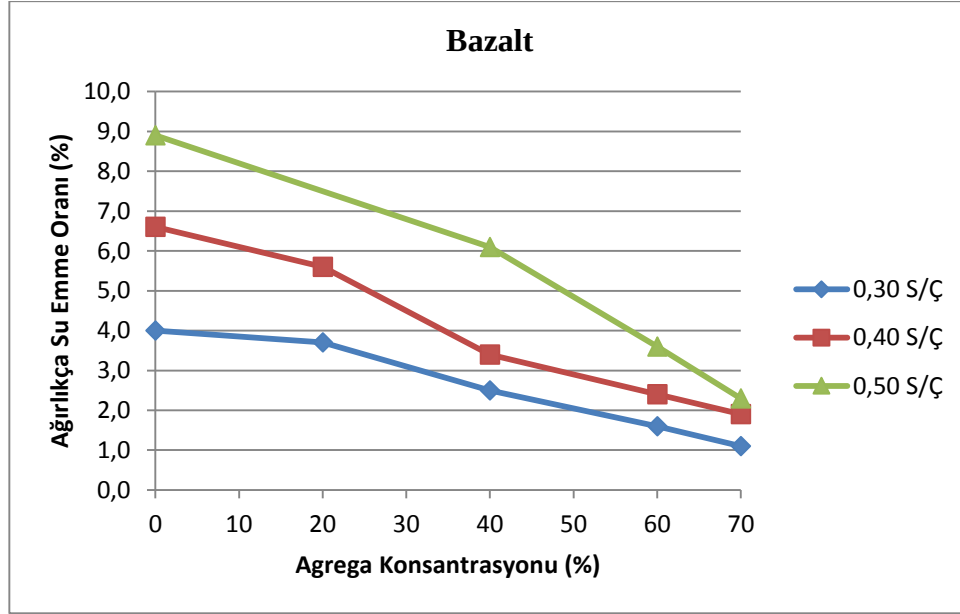
Şekil 4. 37 : Beyaz kireçtaşı içeren karışımların agreg a konsantrasyonu-ağırlıkça su emme oranı ilişkisi.



Şekil 4. 38 : Siyah kireçtaşı içeren karışımların agreg a konsantrasyonu-ağırlıkça su emme oranı ilişkisi.



Şekil 4. 39 : Dolomit içeren karışımların agreg a konsantrasyonu-ağırlıkça su emme oranı ilişkisi.



Şekil 4. 40 : Bazalt içeren karışımların agreg a konsantrasyonu-ağırlıkça su emme oranı ilişkisi.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1 Basınç Dayanımına İlişkin Sonuçlar

- S/Ç oranı arttıkça hamurun basınç dayanımı düşmektedir.
- Genel olarak basınç dayanımı, agrega konsantrasyonuna bağlı bir artış eğilimindedir. Ancak, 0,30 S/Ç oranındaki çimento hamuruna agrega ilave edildiğinde basınç dayanımı öncelikle düşmekte, bir minimum değerden geçtikten sonra artmaya başlamaktadır.
- Basınç dayanımının agrega konsantrasyonuna bağlı artış eğilimi S/Ç oranının artmasıyla birlikte genellikle azalmaktadır.
- 0,30 S/Ç oranı ve düşük agrega konsantrasyonuna sahip karışımlarda, basınç dayanımı agrega türünden etkilenmektedir. Bu S/Ç için %20 ve %40 agrega konsantrasyonlarında betonun basınç dayanımı, agregaların basınç dayanımı ile benzer şekilde küçükten büyüğe beyaz kireçtaşı, siyah kireçtaşı, dolomit ve bazalt sıralamasıyla elde edilmiştir.
- 0,30 S/Ç oranına sahip karışımlarda %60 agrega konsantrasyonundan itibaren tüm agrega türlerinde yakın basınç dayanımları elde edilmiştir.
- 0,40 S/Ç oranına sahip karışımlarda; düşük agrega konsantrasyonlarında bazalt, yüksek agrega konsantrasyonlarında ise siyah kireçtaşı içeren karışımların basınç dayanımı daha yüksektir.
- 0,50 S/Ç oranına sahip karışımlarda ise siyah kireçtaşı, dolomit ve bazalt içeren karışımların aynı konsantrasyonda birbirine yakın ve beyaz kireçtaşı içeren karışımlardan daha yüksek basınç dayanımına sahiptir.

5.2 Elastik Özelliklere İlişkin Sonuçlar

- Elastisite modülü değeri agrega konsantrasyonundaki artış ile birlikte doğrusala yakın bir şekilde artmaktadır.
- S/Ç oranı arttıkça elastisite modülü düşmekte ve agrega türünün elastisite modülü üzerindeki etkisi azalmaktadır; 0,30 S/Ç oranında elastisite modülleri yüksek konsantrasyonlarda büyükten küçüğe dolomit, bazalt ve siyah kireçtaşı-beyaz kireçtaşı sıralaması ile elde edilirken 0,40 ve 0,50 S/Ç oranlarında agrega türüne bağlı belirgin bir değişim görülmemiştir.
- 0,40 S/Ç oranından sonra Poisson oranı agrega konsantrasyonu ile birlikte genel olarak artarken, 0,30 S/Ç oranında ise belirgin bir değişim görülmemiştir.

5.3 İn elastik Özelliklere İlişkin Sonuçlar

- 0,30 S/Ç oranındaki çimento hamuruna agrega ilave edildiğinde süreksizlik ve çözülme sınırları öncelikle düşmekte, bir minimum değerden geçtikten sonra artmaya başlamaktadır. 0,40 ve 0,50 S/Ç oranlarında ise süreksizlik ve çözülme sınırları, agrega konsantrasyonundaki artışla birlikte sürekli artma eğilimindedir.
- Aynı agrega konsantrasyonunda süreksizlik sınırındaki gerilme, artan S/Ç oranı ile birlikte düşmektedir.
- Süreksizlik sınırına ulaşılan bağıl gerilme değeri genel olarak; beyaz kireçtaşı içeren karışımlarda %75-95, siyah kireçtaşı içeren karışımlarda %65-85, dolomit içeren karışımlarda %85-90 ve bazalt içeren karışımlarda ise %75-85 aralığında değişmektedir.
- Çözülme sınırına ulaşılan bağıl gerilme değeri genel olarak; beyaz kireçtaşı, siyah kireçtaşı ve bazalt içeren karışımlarda %85-95, dolomit içeren karışımlarda ise %75-95 aralığında değiştiği görülmektedir.
- Özellikle yüksek S/Ç oranlarında olmak üzere tüm beton karışımlarında, çözülme sınırına ulaşılan bağıl gerilme değeri hamur karışımlarınınkinden büyüktür.

5.4 Kırılma Şekil Değiştirme İşine İlişkin Sonuçlar

- KŞDİ genel olarak S/Ç oranındaki artış ile birlikte düşmekte, agreganın konsantrasyonundaki artış ile birlikte artmaktadır. Basınç dayanımı, süreksizlik ve çözülme sınırlarında olduğu gibi 0,30 S/Ç oranında KŞDİ önce düşmüş sonra artış eğilimi göstermeye başlamıştır.
- Agreganın konsantrasyonundaki artış ile birlikte basınç dayanımının belirgin şekilde değişmediği karışımlarda, KŞDİ'nde bir miktar düşüş olmuştur.
- 0,30 S/Ç oranında, beton karışımlarının KŞDİ değeri hamur karışımının KŞDİ değerinden düşüktür. 0,40 ve 0,50 S/Ç oranlarında ise genel olarak beton karışımlarının KŞDİ değeri daha yüksektir.

5.5 Çekme Dayanımına İlişkin Sonuçlar

- Eğilmede ve yarmada çekme dayanımı genel olarak agreganın konsantrasyonu ile birlikte artmakta, S/Ç oranı ile birlikte azalmaktadır. Ancak S/Ç oranı, eğilmede ve yarmada çekme dayanımı üzerinde agreganın konsantrasyonu kadar belirgin etkiye sahip değildir.
- Siyah kireçtaşı ve dolomit içeren karışımların eğilmede çekme dayanımı, beyaz kireçtaşı ve bazalt içeren karışımlara göre daha yüksektir.
- Siyah kireçtaşı ve bazalt içeren karışımların yarmada çekme dayanımı, beyaz kireçtaşı ve dolomit içeren karışımlara göre daha yüksektir.

5.6 Geçirimsizliğe İlişkin Sonuçlar

- Betonun ağırlıkça su emme oranı, agreganın konsantrasyonu ile ters, S/Ç oranı ile doğru orantılı olarak değişmiştir.
- Ağırlıkça su emme oranları incelendiğinde, agreganın konsantrasyonu ve ağırlıkça su emme oranı arasında doğrusala yakın ancak parabolik bir ilişki vardır.
- Aynı konsantrasyon ve S/Ç oranında agreganın türüne bağlı belirgin bir fark gözlemlenmemiş olup, su emme oranı üzerindeki esas belirleyici bileşenin hamur yapısı olduğu görülmüştür.

5.7 İleri Çalışmalar İçin Öneriler

Bu çalışmanın geliştirilmesi doğrultusunda:

- Zamana bağlı davranışların, durabilitenin değerlendirildiği,
- Kullanılan agregaların, betonda incelenen özelliklerinin belirlenerek modelleme yapıldığı,
- Süreksizlik ve çözülme sınırlarına ulaşan numunelerden kesitler çıkartılarak çatlak yayılmasının incelendiği,
- Daha yüksek basınç dayanımı elde edilebilecek bileşenlerin kullanıldığı,

çalışmalar yapılması önerilebilir.



KAYNAKLAR

- [1] **Ersoy, H. Y.** (2001). *Kompozit Malzeme*. İstanbul,: Literatür Yayıncılık.
- [2] **Akkaya, Y., Bayramov, F., & Taşdemir, M.A.** (2003). Betonun Kırılma Mekanığı Tasarımda Kullanılan Mekanik Özellikler İle Kırılma Parametreleri Arasındaki Bağlıntılar. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 1426 - 2003/4, 70-75.
- [3] **Akyüz, S.** (1991). Boşluk Oranı ve Geometrisinin Betonun Basınç Dayanımına Etkisi ve Yüksek Dayanımlı Betonda Boşluk Yapısı, 2. Ulusal Beton Kongresi, (53-66). İstanbul.
- [4] **Neville, A. M. & Brooks, J. J.** (2010). *Concrete Technology, Second Edition*. Harlow, UK: Prentice Hall.
- [5] **Young, J. F.** (1981). *Concrete*. Cliffs, N.J., USA: Prentice Hall.
- [6] **Oktar, O. N., Moral, H. & Akyüz, S.** (1984). Beton ve Harçların Basınç Altındaki Kısa Süreli Davranışında Çimento Hamuru Yapısı ve Agrega Granülometrisinin Etkileri (Rapor No. 44). İstanbul : İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Teknik Rapor.
- [7] **Keat, L. B.** (1967). *Fracture of Concrete* (Master's thesis). Massachusetts Institute of Technology. Massachusetts, Cambridge, MA, USA.
- [8] **Oktar, O. N.** (1977). *Bağlayıcı Hamurun Yapısının Betonun Kısa Süreli İnelastik Davranışındaki İşlevi* (Doktora Tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [9] **Chen, B. & Liu., J.** (2004). Effect Of Aggregate On The Fracture Behavior Of High Strength Concrete, *Construction and Building Materials*, 18, 585-590.
- [10] **Yıldırım, H.** (1995), *Agrega Konsantrasyonunun Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi* (Doktora Tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [11] **Slate, O. F. & Meyers, L. B.** (1968), Deformation of Plain Concrete. *Fifth International Symposium on the Chemistry of Cement*. Tokyo, Japan.
- [12] **Johnston, C. D.** (1970). Strength and Deformation of Concrete in Uniaxial Tension and Compression, *Magazine of Concrete Research*, 22 (70).
- [13] **Bache, H. H. & Christensen, P. N.** (1965). Observations on Strength and Fracture in Lightweight and Ordinary Concrete, *Proc. and International Conference on the Structure of Concrete and its Behaviour Under Load*. London, UK.
- [14] **Tanigawa, L. & Yamada, K.** (1978). Size Effect in Compressive Strength of Concrete, *Cement and Concrete Research*, 8.

- [15] **Hansen, T. C.** (1965). Theories of the Multi-Phase Materials Applied to Concrete, Cement Mortar and Cement Paste, *Proceedings of an International Conference*. London, UK.
- [16] **Brandzaeg, A.** (1927). *Failure of a Material Composed of Non-Isotropic Elements*, Bruns: Trondthjem.
- [17] **Jones, R.** (1952), A Method of Studying the formation of cracks in a material subjected to stresses, *British Journal of Applied Physics*, 3 (7), 229-232.
- [18] **Neville, A. M.** (2011). *Properties of Concrete, Fifth Edition*. New York, USA: Prentice Hall.
- [19] **Swamy, R. N. & Rao, C. V. S. K.** (1973). Fracture Mechanism In Concrete Systems Under Uniaxial Loading, *Cement and Concrete Research*, 3, 413-427.
- [20] **Santiago, S. D. & Hilsdorf H. K.** (1973). Fracture Mechanism Of Concrete Under Compressive Loads, *Cement and Concrete Research*, 3, 363-388.
- [21] **Gümüş, E.** (2010). Kırmataş Agregalı Betonlarda Agrega Konsantrasyonunun Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi (Yüksek Lisans Tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [22] **Özdemiroğlu, Ç.** (2014), Agrega Konsantrasyonunun Betonun Kırılmasına Etkisi, (Yüksek Lisans Tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [23] **Garan, Y. S.** (2010), Çakıl Agregalı Betonlarda Agrega Konsantrasyonunun Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi, (Yüksek Lisans Tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
- [24] **Taylor, M. A., Tai, M. K. & Ramey, M. R.** (1994). Role of Fracture Mechanics in Concrete Technology. V. M. Maltobra, (Ed.), *Advances in Concrete Technology*, (pp.161-202). Canmet.
- [25] **Brandt, A. M.** (1995). *Cement Based Composites; Materials, Mechanical Properties and Performance*. London, UK: Spon
- [26] **Amparano, F. E., Xi, Y. & Roh, Y. S.** (2000). Experimental Study On The Effect Of Aggregate Content On Fracture Behavior Of Concrete, *Engineering Fracture Mechanics*, 67, 65-84.
- [27] **Akçay, B. Ağar Özbek, A. ř., Bayramov, F., Atahan, H. N., şengöl, C. & Taşdemir, M. A.** (2012). Interpretation of Aggregate Volume Fraction Effects on Fracture Behavior of Concrete, *Construction and Building Materials*, 28. 437-443.
- [28] **Nikbin, I. M., Beygi, M. H. A., Kazemi, M. T., Amiri, J. V., Rahmani, E., Rabbanifar, S. & Eslami, M.** (2014). Effect of coarse aggregate volume on fracture behavior of self compacting concrete, *Construction and Building Materials*, 52. 137-145.
- [29] **Grassl, P., Wong, H. S. & Buenfeld, N. R.** (2010). Influence of aggregate size and volume fraction on shrinkage induced micro-cracking of concrete and mortar, *Cement and Concrete Research*, 40, 85-93.

- [30] **Özturan, T. & Çeçeç, C.** (1997). Effects of coarse aggregate type on mechanical properties of concretes with different strengths, *Cement and Concrete Research*, 27, 165-170.
- [31] **Beshr, H., Almusallam. A. A. & Maslehuddin M.** (2003). Effect of coarse aggregate quality on the mechanical properties of high strength concrete, *Construction and Building Materials*, 17. 97-103.
- [32] **Al-Baijat, H. M.** (2008). The usage of basalt aggregates in concrete mixes in Jordan, *Jordan Journal of Civil Engineering*, 2, 63-70.
- [33] **Kishore, I. S., Mounika, L. Prasad, C.M. & Krishna, B. H.** (2015). Experimental study on the usage of basalt aggregate in concrete mixes, *SSRG International Journal of Civil Engineering*, 2, 39-42.
- [34] **Taşdemir, M. A. & Karihaloo, B. L.** (2001). Effect of type and volume fraction of aggregate on the fracture properties of concrete, *Fracture Mechanics of Concrete Structures*, 123-129.
- [35] **Sarısu, A.F.** (1996). *Betonun Mod I durumundaki göçmesine agrega konsantrasyonunun etkisi* (Yüksek Lisans Tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [36] **Kozul, R. & Darwin, D.** (1997). Effects of aggregate type, size and content on concrete strength and fracture energy (Report No. 43). Kansas: University of Kansas Center For Research, Structural Engineering and Engineering Materials SM Report.
- [37] **ASTM** (2014). *Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression* (ASTM C469-14).



EKLER

EK A : Beyaz Kireçtaşı Agregası Mineralojik-Petrografik Analizi

EK B : Siyah Kireçtaşı Agregası Mineralojik-Petrografik Analizi

EK C : Dolomit Agregası Mineralojik-Petrografik Analizi

EK D : Bazalt Agregası Mineralojik-Petrografik Analizi

EK E : Basınç Gerilmesi – Şekil Değiştirme Oranı Grafikleri

EK F : Elastisite Modülünün Tespiti

EK G : Bağlı Gerilme – Poisson Oranı Grafikleri

EK G : Bağlı Gerilme – Hacimsel Şekil Değiştirme Oranı Grafikleri

EK A : Beyaz Kireçtaşı Agregası Mineralojik-Petrografik Analizi

Çalışmada beyaz kireçtaşı olarak adlandırılan agregada üzerinde yapılmış olan mineralojik ve petrografik inceleme sonuçları aşağıda verilmiştir.

Makroskopik İnceleme

TS 10088 EN 932-3 standardı esaslarına göre yapılmış olan makroskopik incelemede;

- Tanelerin beyaz-bej renkli homojen görünümlü, mikro-kristalen tane boyutlu olduğu,
- Yüzeylerin beyaz tozlu olduğu ve tebeşirimsi bir görünümü olduğu, azda olsa limonitçe sıvandığı,
- Kayacın masif bir yapı ve doku gösterdiği,
- Kayaç sertliğinin yaklaşık 3 Mohs olduğu,
- Asit (%10 HCl) ile muamelede kuvvetli bir reaksiyon gösterdiği,
- Alterasyonun ihmal edilebilir oranda olduğu,

belirlenmiştir.

Mikroskopik İnceleme

Petrografik-polarizen mikroskop altındaki incelemede;

- Kayacın tümüyle karbonat minerallerinden oluştuğu,
- Fosil izlerinin oldukça yaygın olduğu,
- Kökensel olarak biyolojik-kimyasal etkiler ile kristalleştiği,
- Mineral bileşiminin mikritik-sparitik kalsit, ikincil iri kalsit ve opak minerallerden oluştuğu,
- İkincil kalsitlerin genelde 0.4 mm irilikte, nadiren bundan daha büyük tane boyutlarında olduğu,
- Kayaçta belli bir miktar boşluk bulunduğu,
- Opak minerallerin limonitten oluştuğu,
- Tanelerde ve tane aralarında alterasyon izlenmediği,

belirlenmiştir. Petrografik-polarizen mikroskop ile saptanmış bileşim Çizelge A.1’de verilmiştir.

Çizelge A. 1 : Beyaz kireçtaşı agreganın kimyasal bileşimi

Mineral / Bileşen	Oran, %
Mikritik-sparitik kalsit	85-89
İkincil kalsit (kristalize, boşluklarda)	8-10
Opak mineraller	< 0,5
Boşluk	3-5

Mineralojik ve petrogrifik incelemeler sonucu kayaç “Mikritik kireçtaşı” olarak adlandırılmıştır.

EK B : Siyah Kireçtaşı Agregası Mineralojik-Petrografik Analizi

Çalışmada siyah kireçtaşı olarak adlandırılan agregada üzerinde yapılmış olan mineralojik ve petrografik inceleme sonuçları aşağıda verilmiştir.

Makroskopik İnceleme

TS 10088 EN 932-3 standardı esaslarına göre yapılmış olan makroskopik incelemede;

- Tanelerin koyu gri renkli olduğu,
- az oranda ikincil kalsit minerallerine rastlandığı,
- Homojen, masif yapılı olduğu,
- Kayaç sertliğinin 3,0-3,5 Mohs civarında olduğu,
- Asit (%10 HCl) ile muamelede reaksiyon göstermediği,
- Bozuşma, alterasyon gözlenmediği,

belirlenmiştir.

Mikroskopik İnceleme

Petrografik-polarizen mikroskop yapılan incelemede;

- Kayacın çoğunluğunun kalsit taneli olduğu,
- Tanelerin köşeli ve yuvarlak yapıda olduğu,
- Belirgin bir bozuşma olmadığı,
- Boyutların 0,04-0,30 mm aralığında olduğu,
- Eser miktarda dolomit, kuvars bulunduğu,

belirlenmiştir. Petrografik-polarizen mikroskop ile saptanmış bileşim Çizelge B.1’de verilmiştir.

Çizelge B. 1 : Siyah kireçtaşı agreganın kimyasal bileşimi

Mineral ve Tane Bileşenleri	Oran, %
<i>Kalsit</i>	94-97
<i>Dolomit</i>	1-2
<i>Kuvars</i>	1<
Opak Mineraller (limonit ve hematit halinde)	1-3

Mineralojik ve petrografik incelemeler sonucu kayaç “Rekristalize - Kireçtaşı” olarak adlandırılmıştır.

EK C : Dolomit Agregası Mineralojik-Petrografik Analizi

Çalışmada dolomit olarak adlandırılan agrega üzerinde yapılmış olan mineralojik ve petrografik inceleme sonuçları aşağıda verilmiştir.

Makroskopik İnceleme

TS 10088 EN 932-3 standardı esaslarına göre yapılmış olan makroskopik incelemede;

- Tanelerin gri-bej renkli masif görünümlü olduğu,
- Mikro-kristalen ve kriptokristalen tane boyutlu olduğu,
- Çatlakların nadir ve genelde mm altı boyut kalınlığında olduğu,
- Yüzeylerin nispetten temiz, yer yer mercekli yapılarda beyaz renkli ikincil kalsit mineralleşmeleri içerdiği,
- Kayaç sertliğinin yaklaşık 3,5 Mohs olduğu,
- Asit (%10 HCl) ile muamelede reaksiyon verdiği,
- Belirgin bir alterasyon gözlenmediği,

belirlenmiştir.

Mikroskopik İnceleme

Petrografik-polarizen mikroskop altında yapılan incelemede;

- Kayaçta çok yüksek oranda mikritik kalsitten oluştuğu,
- Fosil içerikli olduğu ancak fosil kavrıkları mikritik kalsite dönüştüğü,
- Kayaç boşluklarında ve çatlaklarında iri taneli, ikincil kalsitler oluştuğu, bunların genellikle 0,7 mm altı boyutta ve yarı özşekli kristaller halinde olduğu,
- Dilinim izlerinin belirgin olduğu, bu mineraller dışında kayaçta dolomit ve çok az oranda opak mineral gözlemlendiği,

belirlenmiştir. Petrografik-polarizen mikroskop ile saptanmış bileşim Çizelge C.1’de verilmiştir.

Çizelge C. 1 : Dolomit agreganın kimyasal bileşimi

Mineral ve Tane	Oran, %
Kalsit (mikritik-birincil)	50-55
Kalsit (ikincil)	28-30
Dolomit	6-8
Fosil kavrı	5-10
Opak	1-2

Mineralojik ve petrografik incelemeler sonucu kayaç “Dolomitik Mikritik Kireçtaşı” olarak adlandırılmıştır.

EK D : Bazalt Agregası Mineralojik-Petrografik Analizi

Çalışmada bazalt olarak adlandırılan agrega üzerinde yapılmış olan mineralojik ve petrografik inceleme sonuçları aşağıda verilmiştir.

Makroskopik Özellikler

TS 10088 EN 932-3 standardı esaslarına göre yapılmış olan makroskopik incelemede;

- Kayacın gri tonlarda ve ince-orta taneli olduğu,
- Genel özellikleri yönüyle magmatik kökenli olup masif, homojen ve kompakt özellikler gösterdiği,
- Boyutları 2 mm'ye kadar çıkabilen gözenekli bir yapıya sahip olduğu, gözeneklerin birbirleri ile bağlantısı bulunmadığı, nadirde olsa bu tür boşlukların yer yer beyaz renkli mineral dolguları içerdiği,
- Yüzeylerde çatlak ve çatlaklara bağlı ikincil dolgular gözlenmediği,
- Kayaç sertliğinin yaklaşık 5,0-5,5 Mohs olduğu,
- Asit (%10 HCl) ile muamelede boşluk ve gözeneklerde bulunan beyaz renkli dolgularda az da olsa bir reaksiyon verdiği, bunlar dışında herhangi bir reaksiyon izlenmediği belirlenmiştir.
- Makro görünümde ayrışma verileri zayıfta olsa izlendiği,

belirlenmiştir.

Mikroskopik İncelemeler

Polarizen mikroskop altında yapılan inceleme sonucunda;

- Kayacın sığ derinliklere/yüzeye yerleşmiş magmatik kayaç dokusuna sahip olduğu,
- Çubuksu, prizmatik kristallerin arasını yer yer yassı, levhamsı diğer mineraller doldurduğu,
- Kayacın başta plajiyoklaz olmak üzere piroksen, olivin, klorit+epidot, kalsit ve opak minerallerden oluştuğu,
- Yüksek oranda plajiyoklaz içerdiği, plajiyoklazların orta-iri taneler halinde, çoğunlukla 0,7 mm altı tane boyutuna sahip olduğu ve belirgin ayrışma verileri yansıtmadığı,
- Genellikle temiz yüzeyli olduğu ancak bazı alanlarda zayıfta olsa bir miktar kalsit dönüşümleri izlendiği,

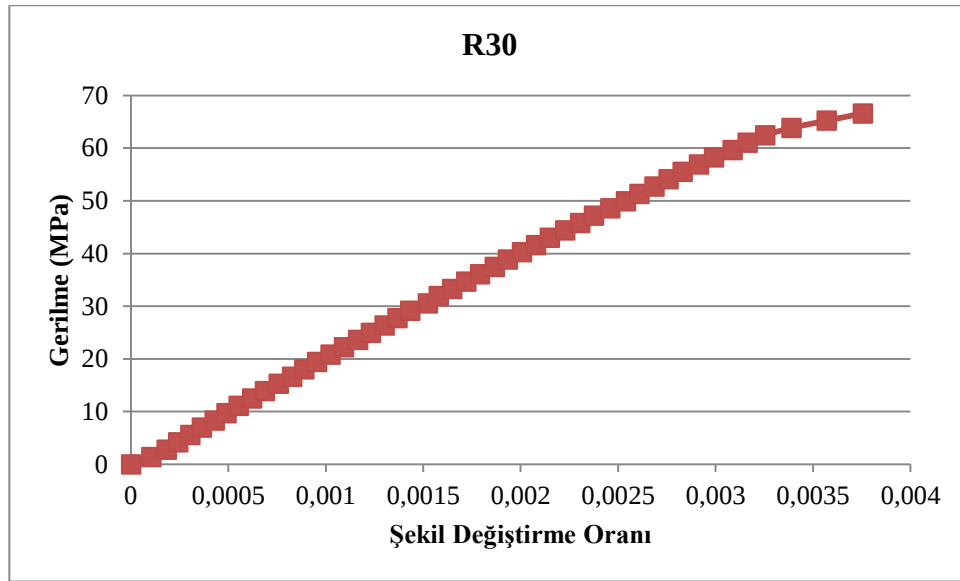
- Ayrışma ürünü olarak gözlenen kalsitlerin genellikle latalar şeklinde olduğu ve dilinim izlerinin nadiren belirgin olduğu,
- Kayaç boşluklarında toplanmalar oluşturduğu, plajiolaz ve piroksenler ile temas halinde de bulundukları,
- Diğer ayrışma ürünleri klorit ve epidotların, bir arada ince taneli agregatlar halinde, plajiyoklazların arasında saçılı halde izlendiği,
- Opak minerallerin esas olarak manyetitler olduğu, bu minerale hematit ve ilmenit gibi diğer opak minerallerin eşlik ettiği, opakların 0,1 m altı tane büyüklüğüne sahip olduğu

belirlenmiştir. Petrografik-polarizen mikroskop ile saptanmış bileşim Çizelge C.1’de verilmiştir.

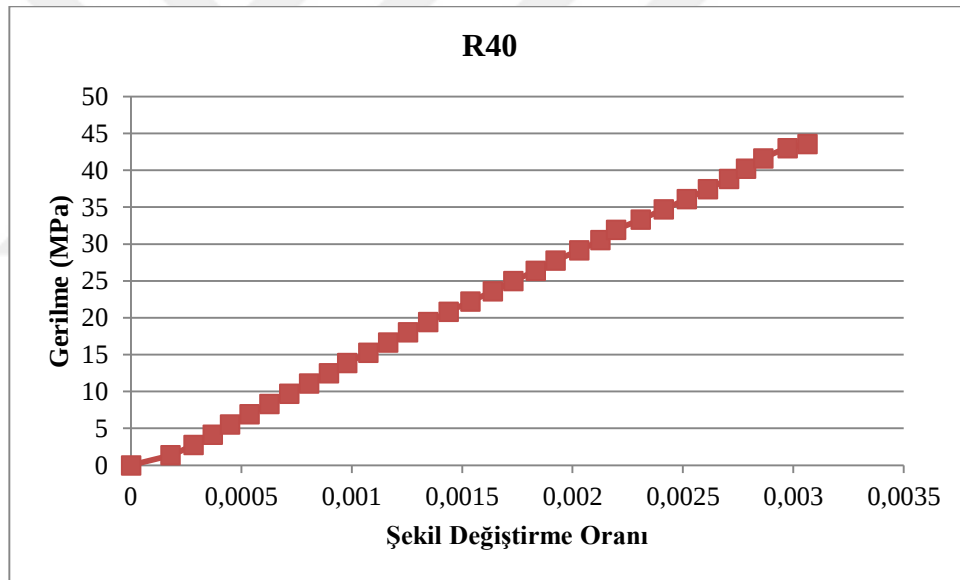
Çizelge D. 1 : Bazalt agreganın kimyasal bileşimi

Mineral / Bileşen	Oran, %
Kuvars	5-10
Plajiolaz	20-25
Piroksen	25-30
Klorit + Epidot	10-15
Kalsit	3-4
Olivin	1-2
Opak mineral (Manyetit)	5-10
Hamur (Camsal+mikrolitik)	25-28

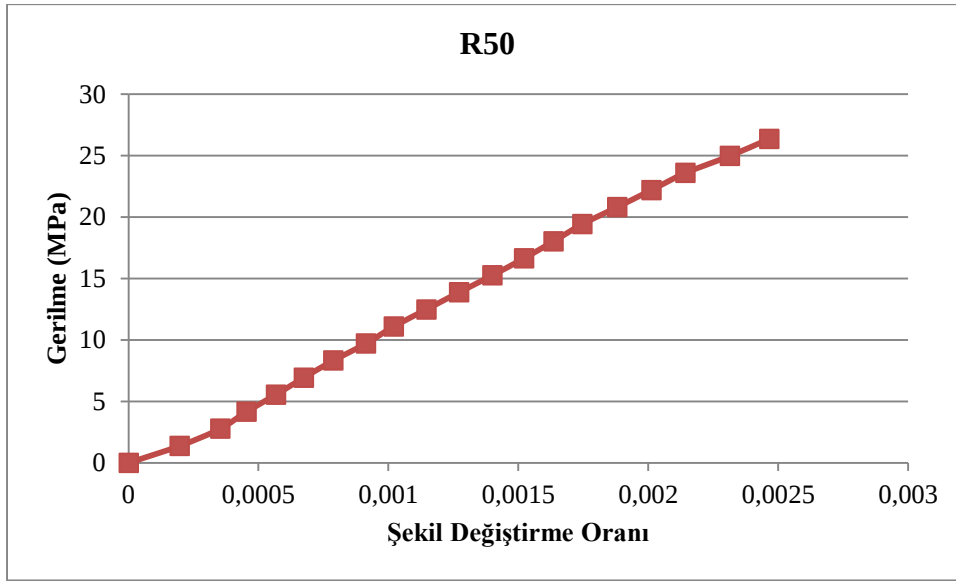
Mineralojik ve petrografik incelemeler sonucu kayaç “Bazalt” olarak adlandırılmıştır.



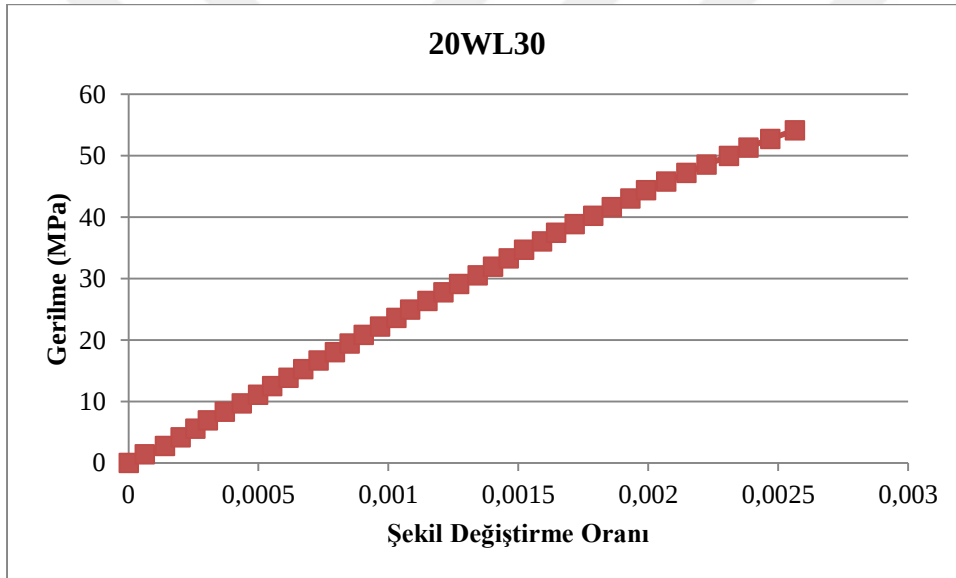
Şekil E. 1 : R30 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.



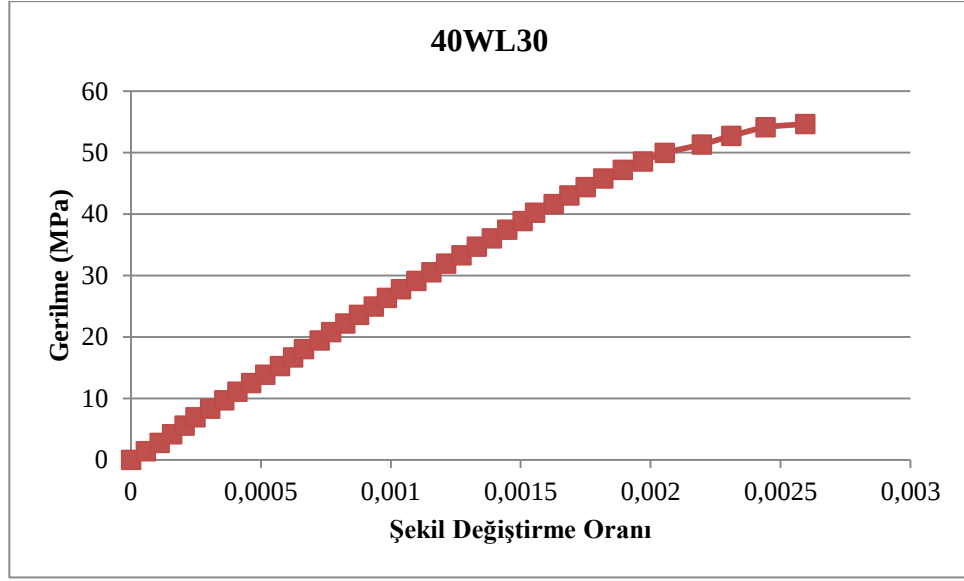
Şekil E.2 : R40 karışım gerilme-şekil değiştirme grafiği.



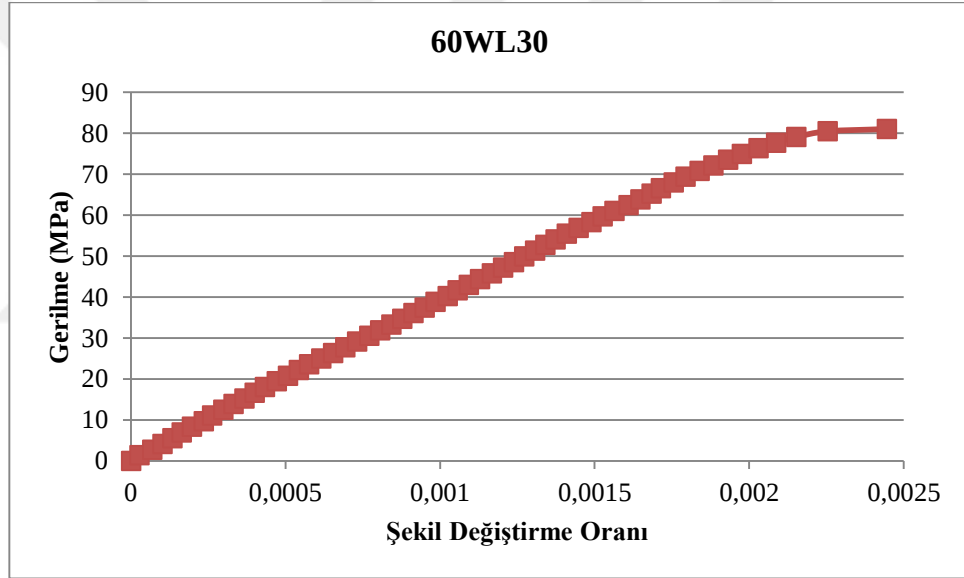
Şekil E.3 : R50 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.



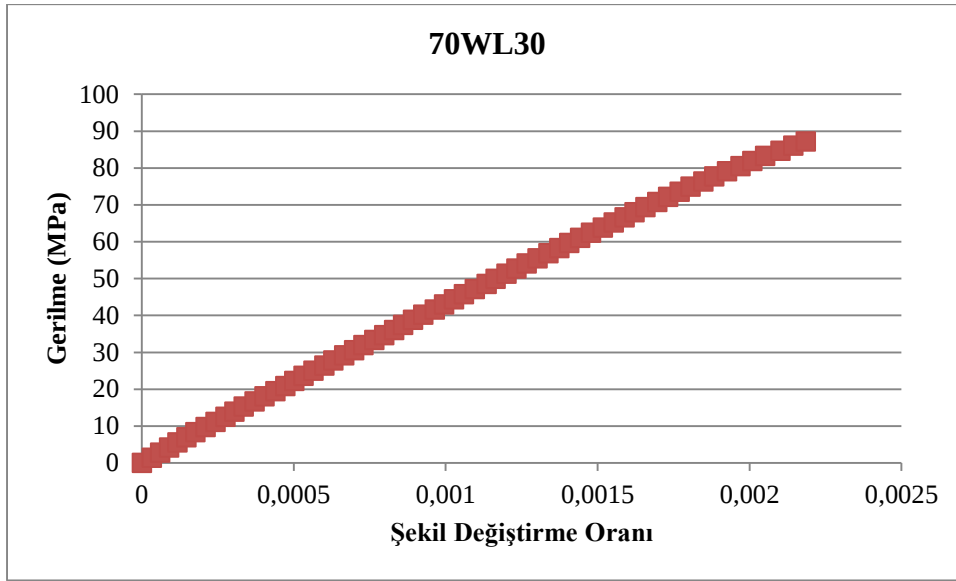
Şekil E.4 : 20WL30 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.



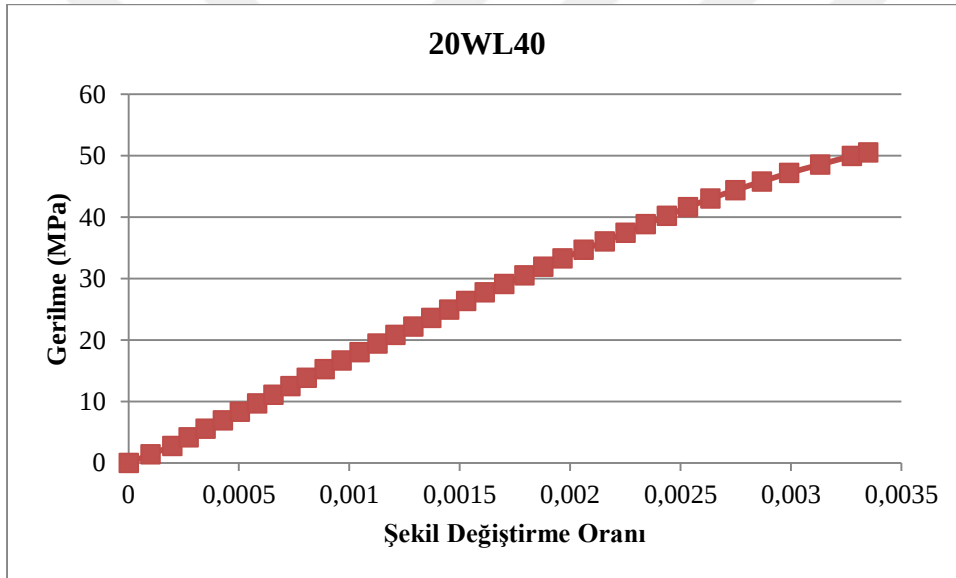
Şekil E 5 : 40WL30 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.



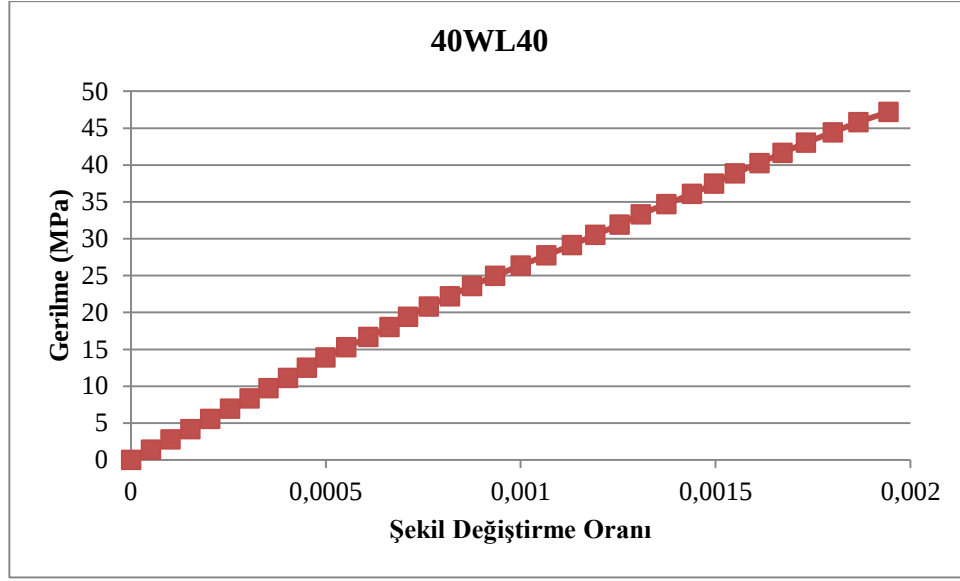
Şekil E.6 : 60WL30 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.



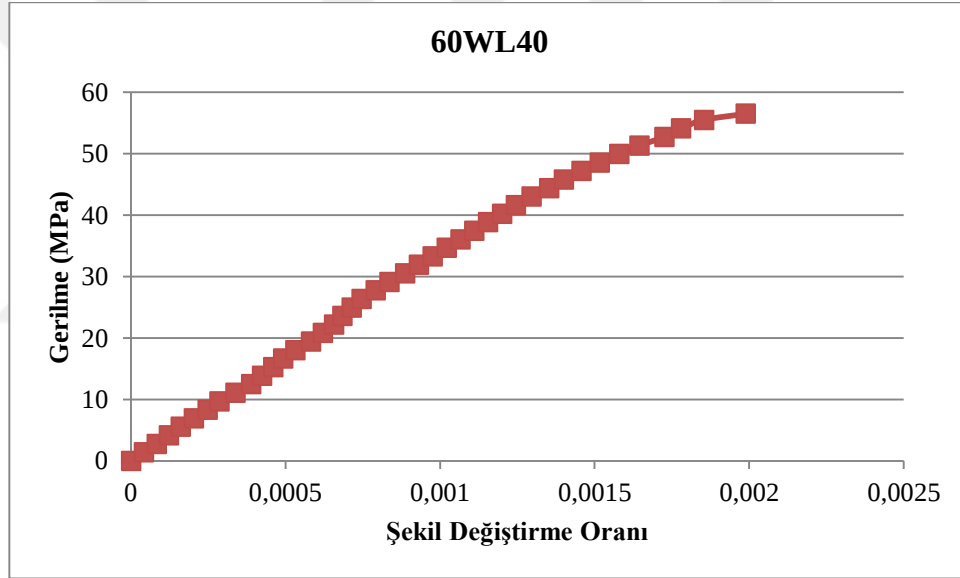
Şekil E.7 : 70WL30 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.



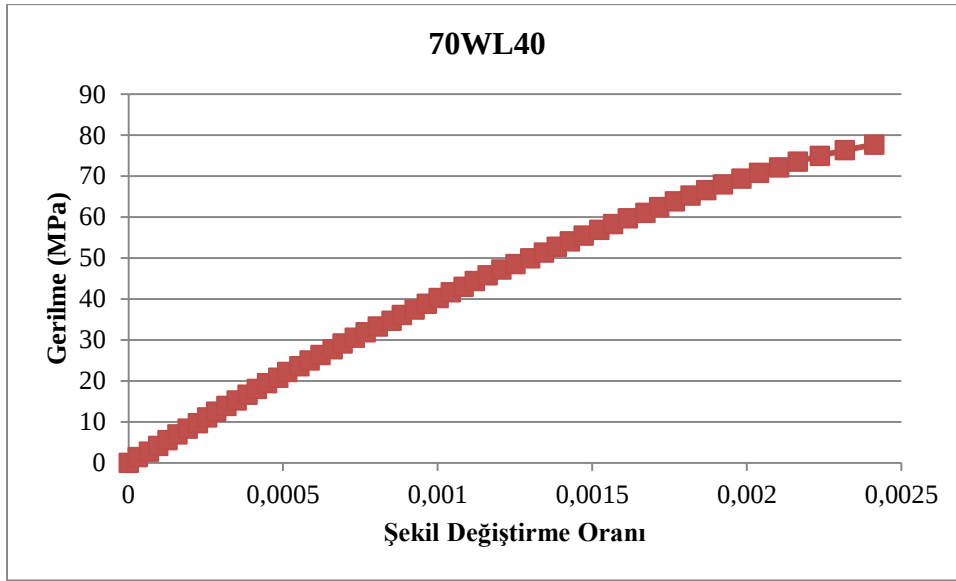
Şekil E.8 : 20WL40 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.



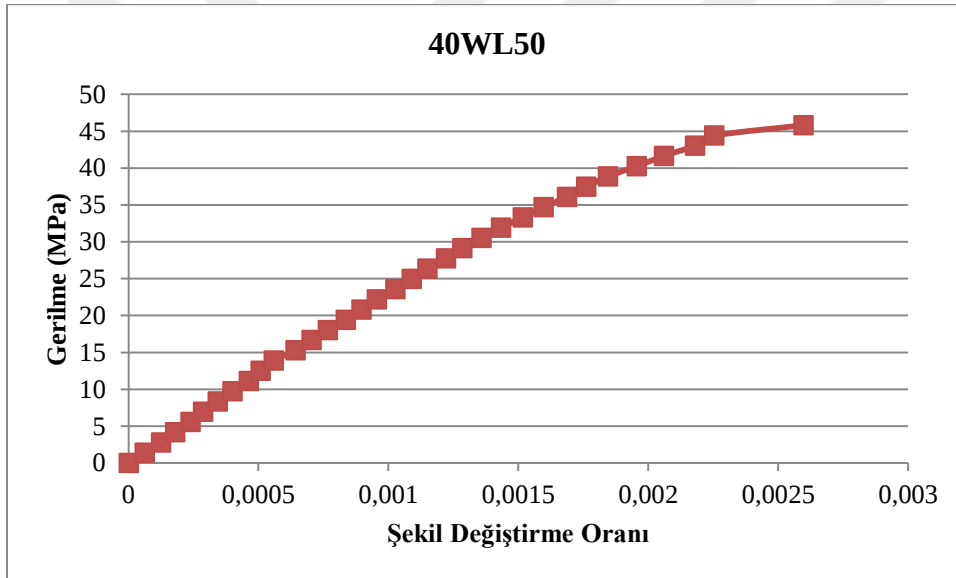
Şekil E.9 : 40WL40 karışım gerilme-şekil değiştirme grafiği.



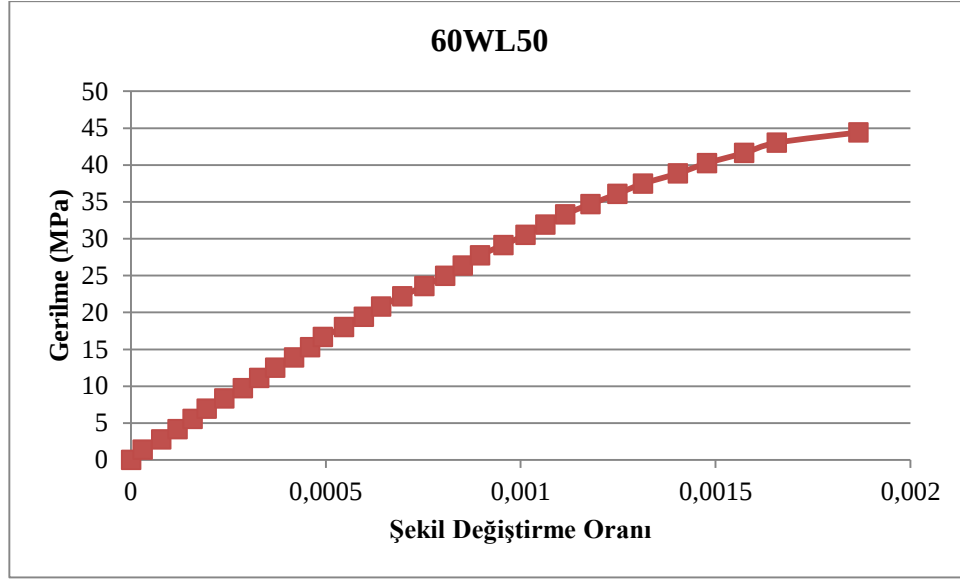
Şekil E.10 : 60WL40 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.



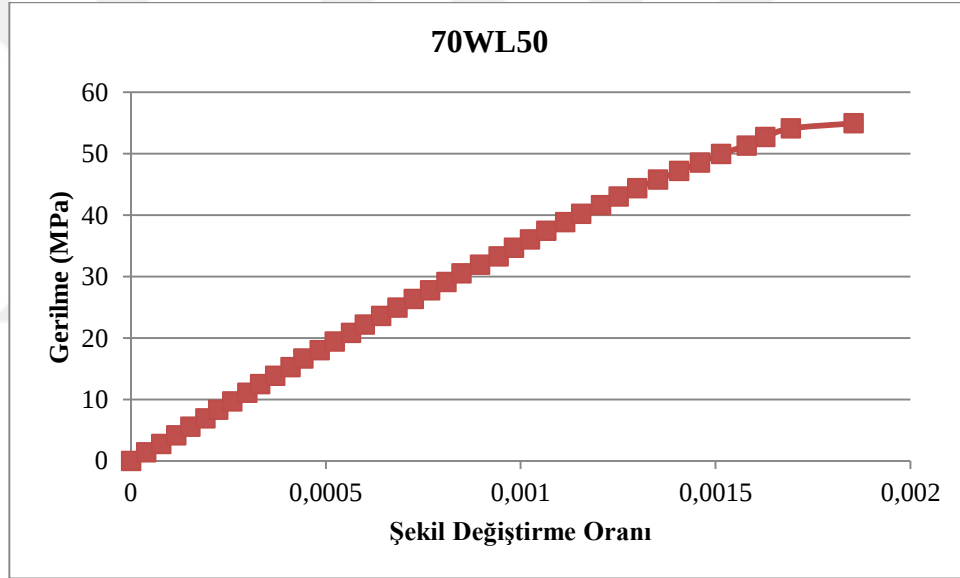
Şekil E.11 : 70WL40 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.



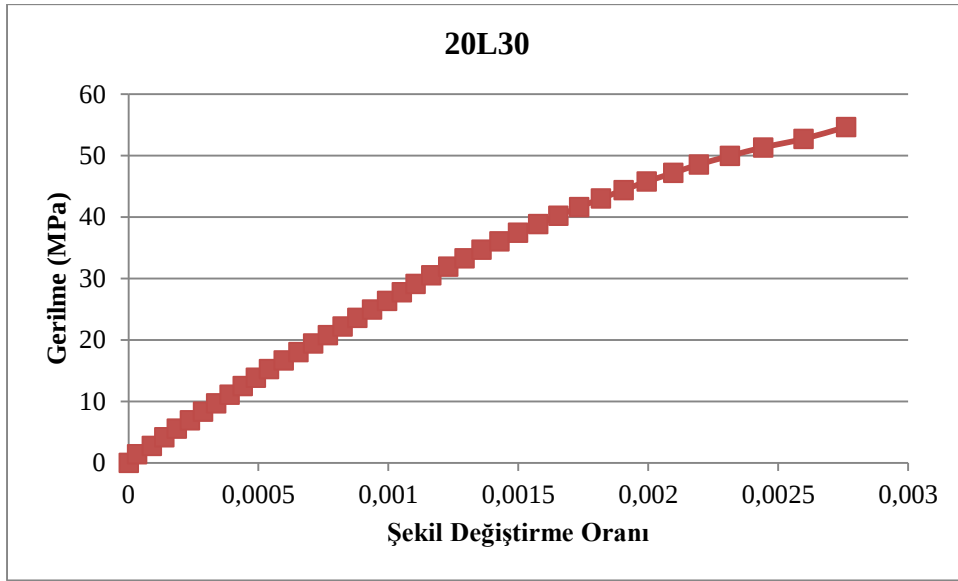
Şekil E.12 : 40WL50 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.



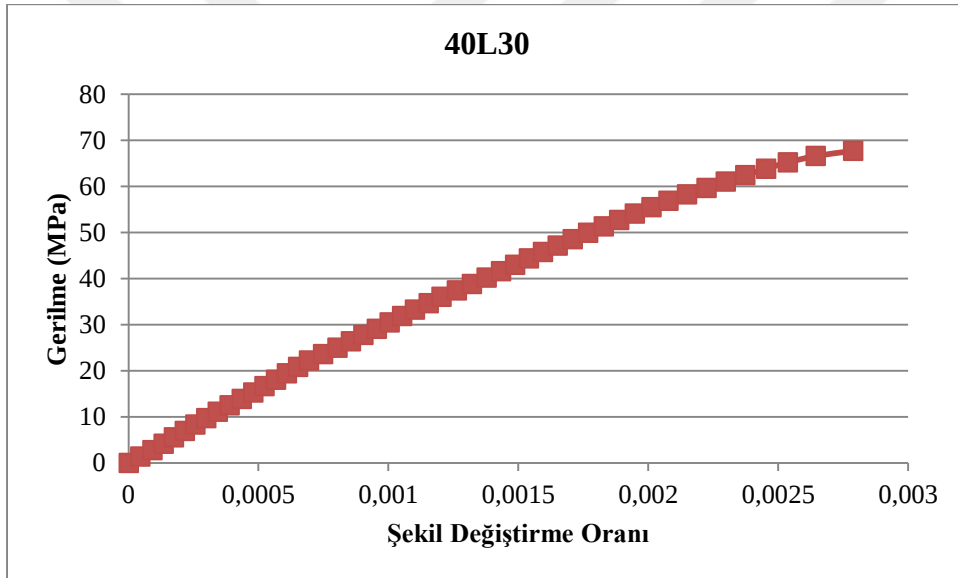
Şekil E.13 : 60WL50 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.



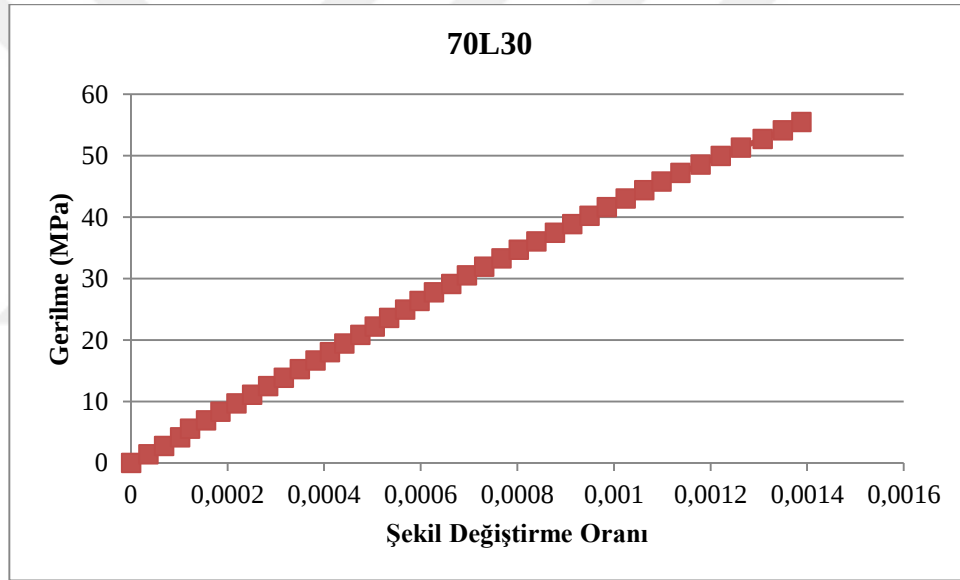
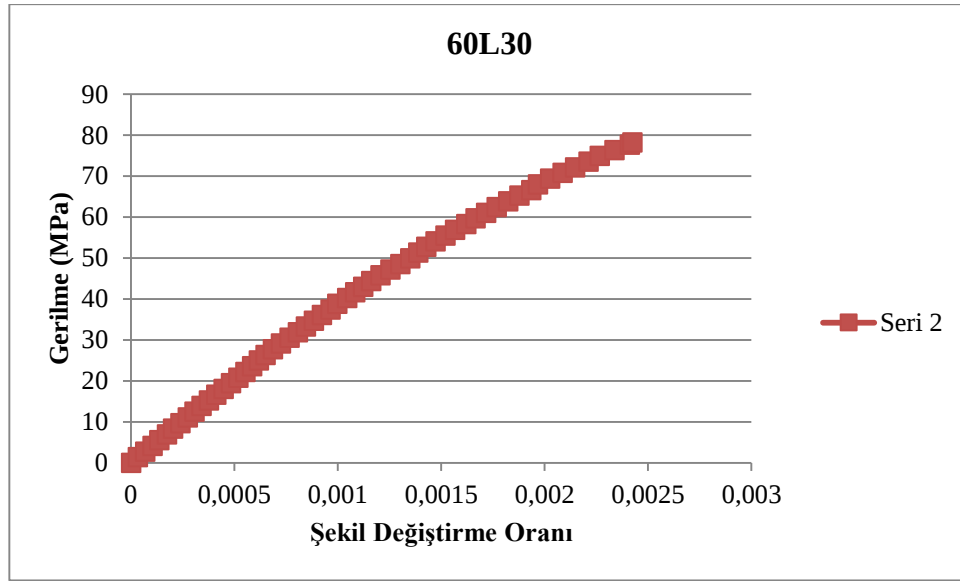
Şekil E.14 : 70WL50 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.

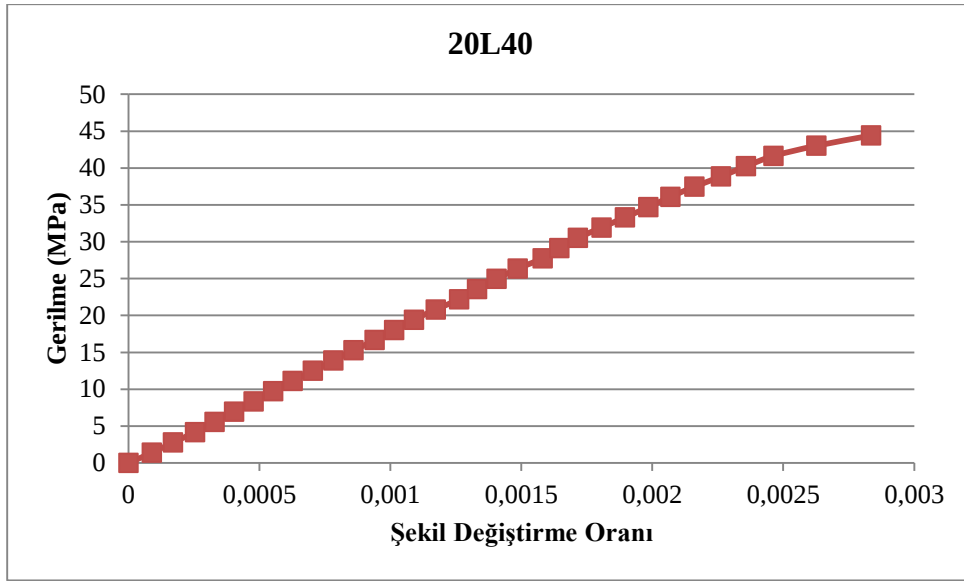


Şekil E.15 : 20L30 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.

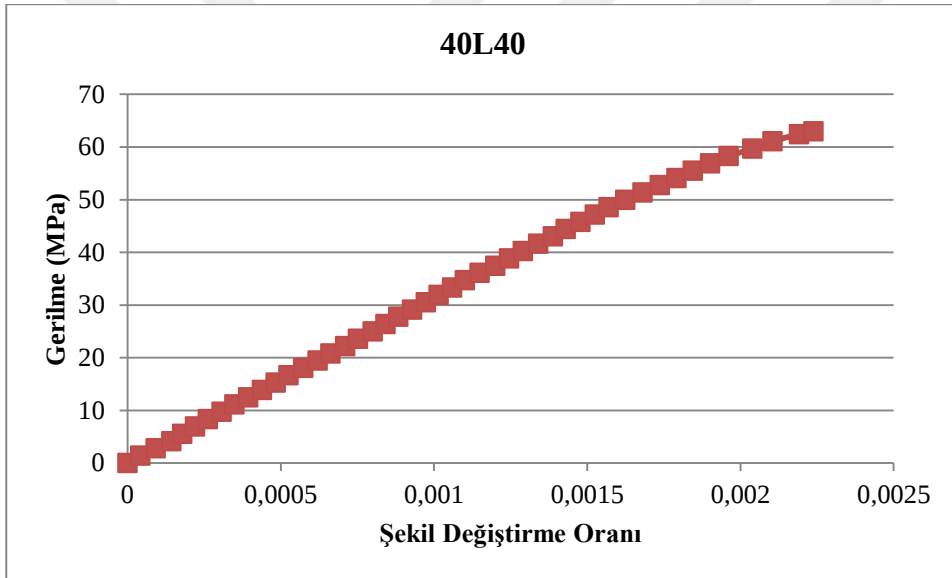


Şekil E.16 : 40L30 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.

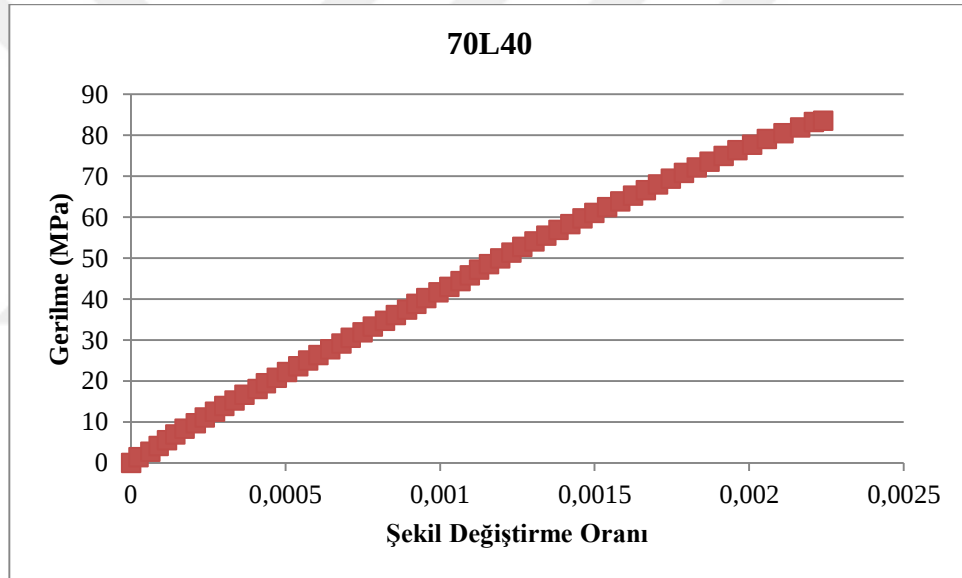
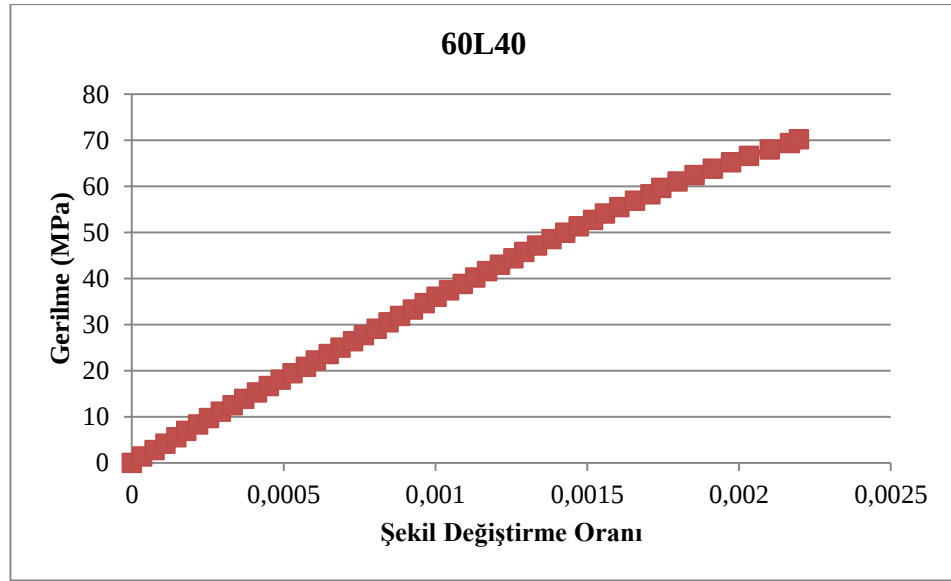


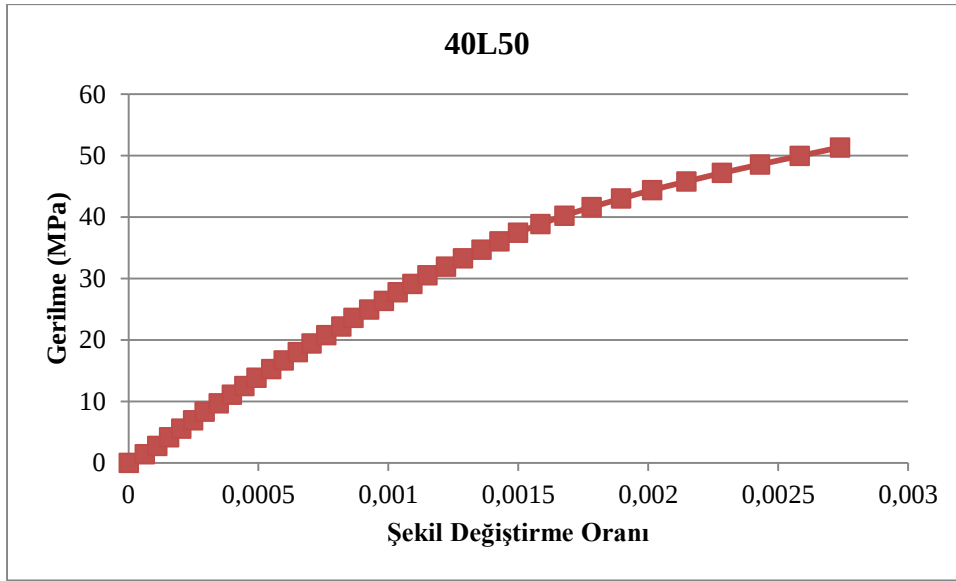


Şekil E.19 : 20L40 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.

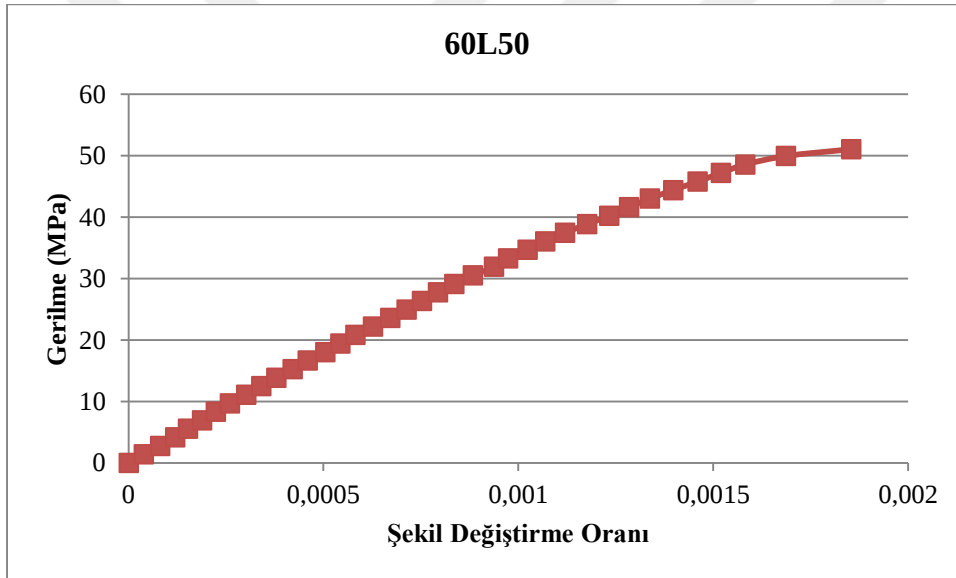


Şekil E.20 : 40L40 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.

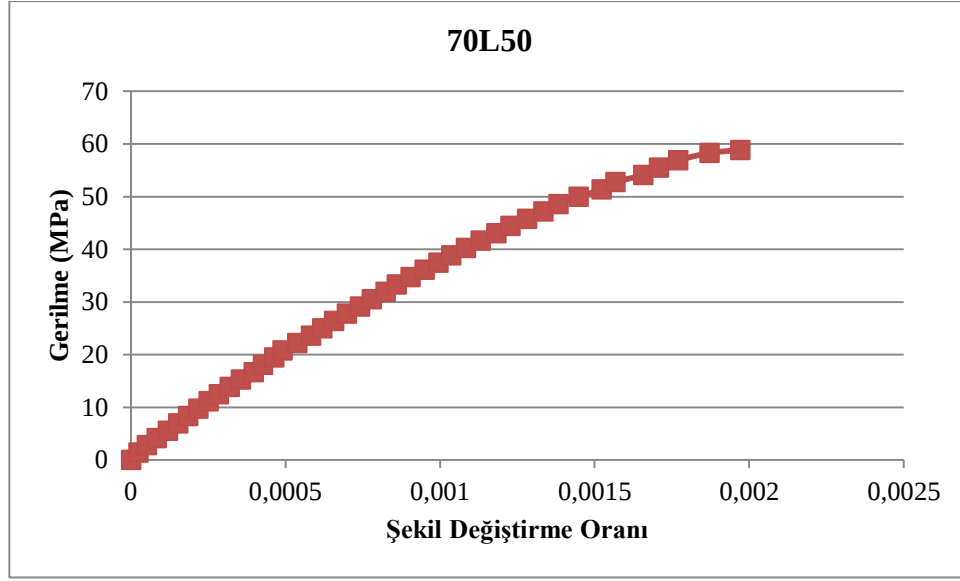




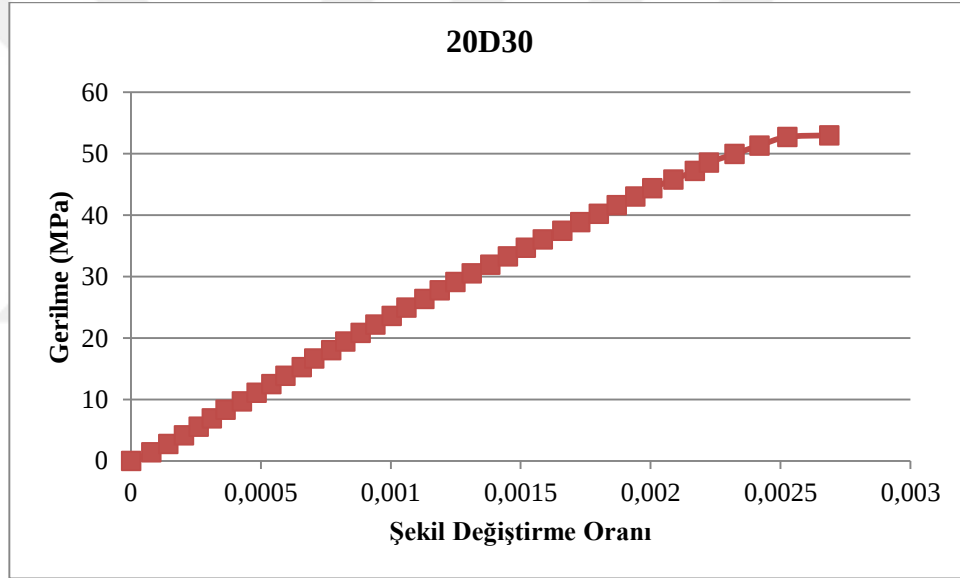
Şekil E.23 : 40L50 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.



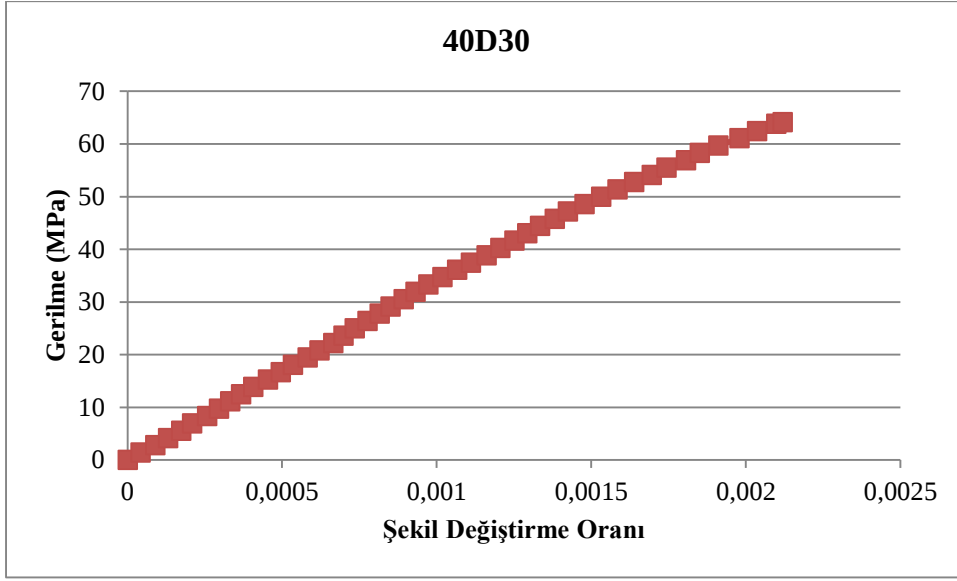
Şekil E.24 : 60L50 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.



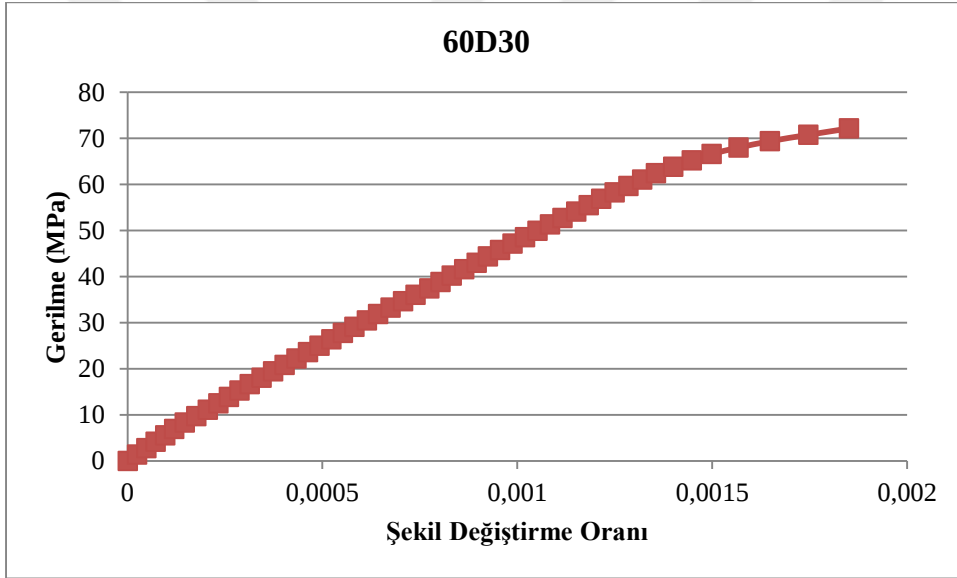
Şekil E.25 : 70L50 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.



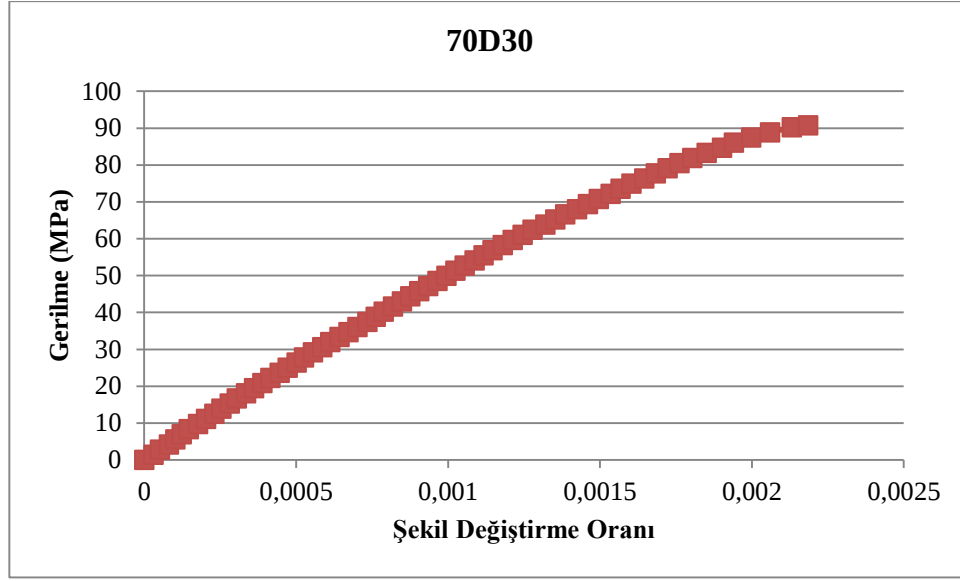
Şekil E.26 : 20D30 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.



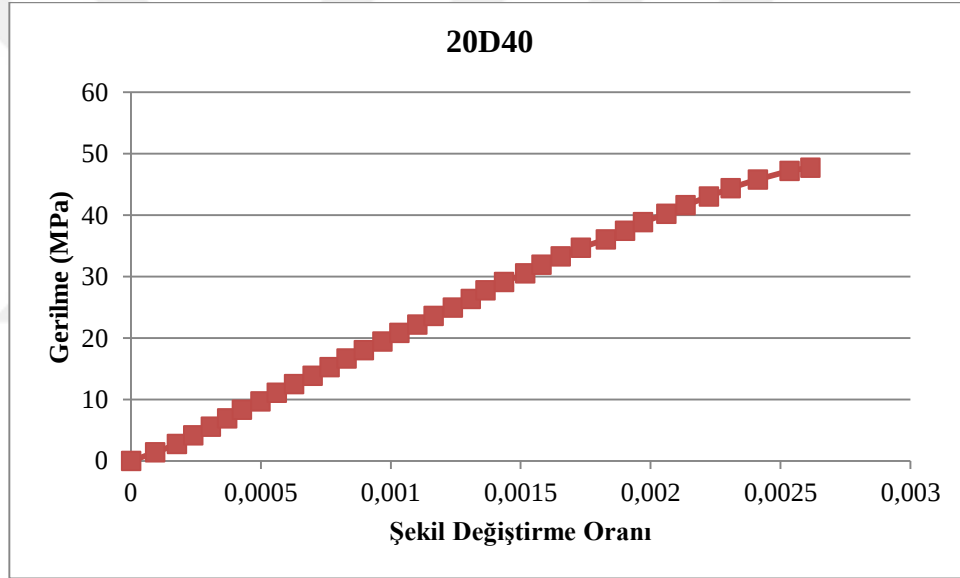
Şekil E.27 : 40D30 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.



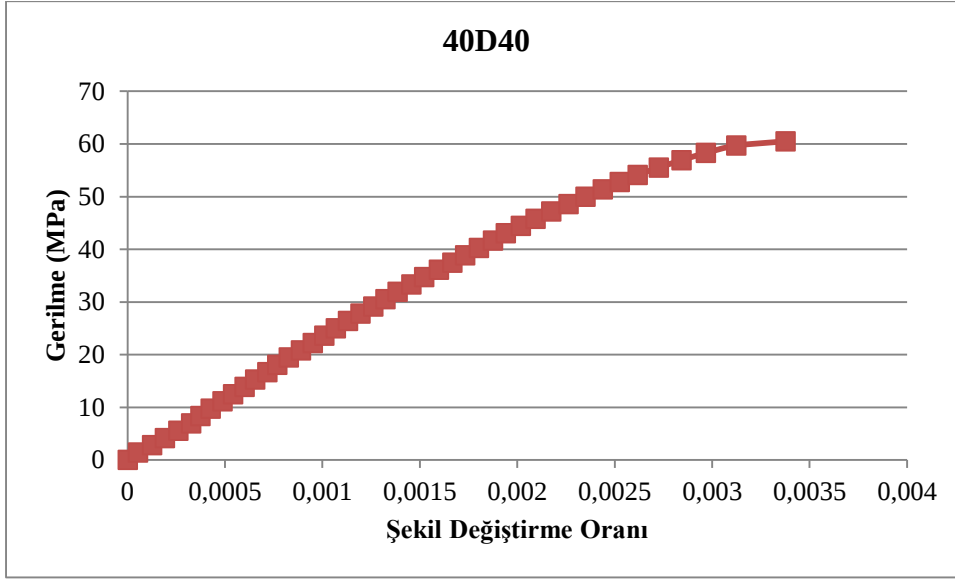
Şekil E.28 : 60D30 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.



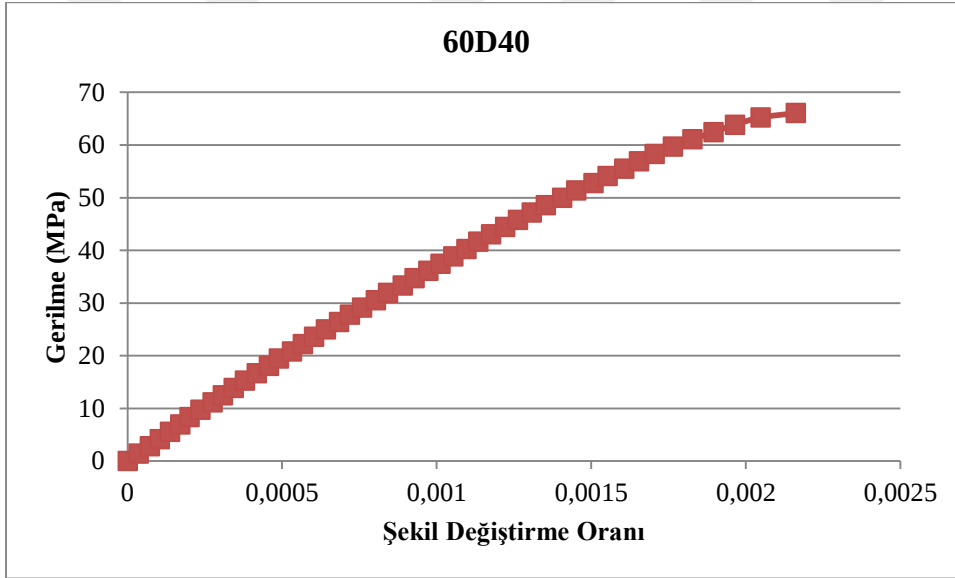
Şekil E.29 : 70D30 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.



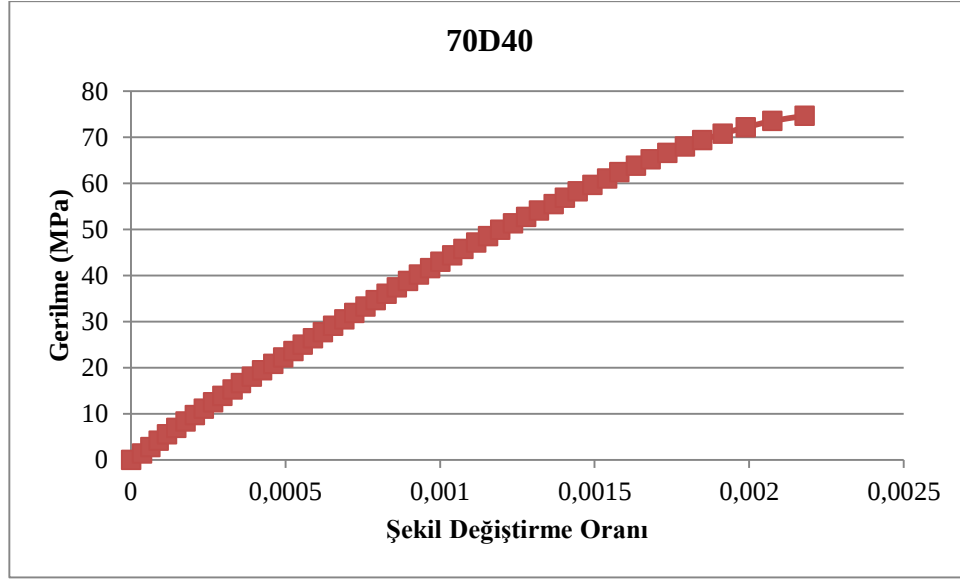
Şekil E.30 : 20D40 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.



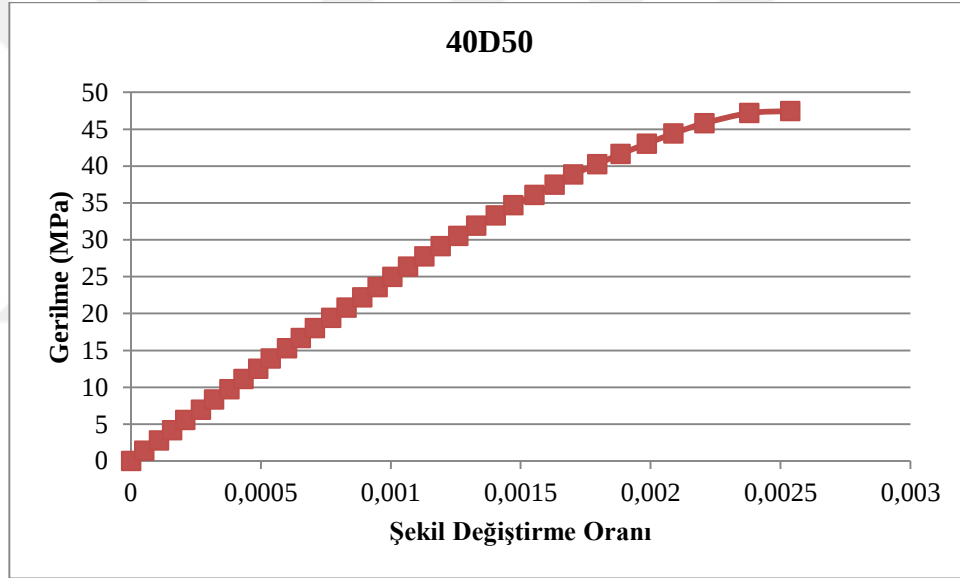
Şekil E.31 : 40D40 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.



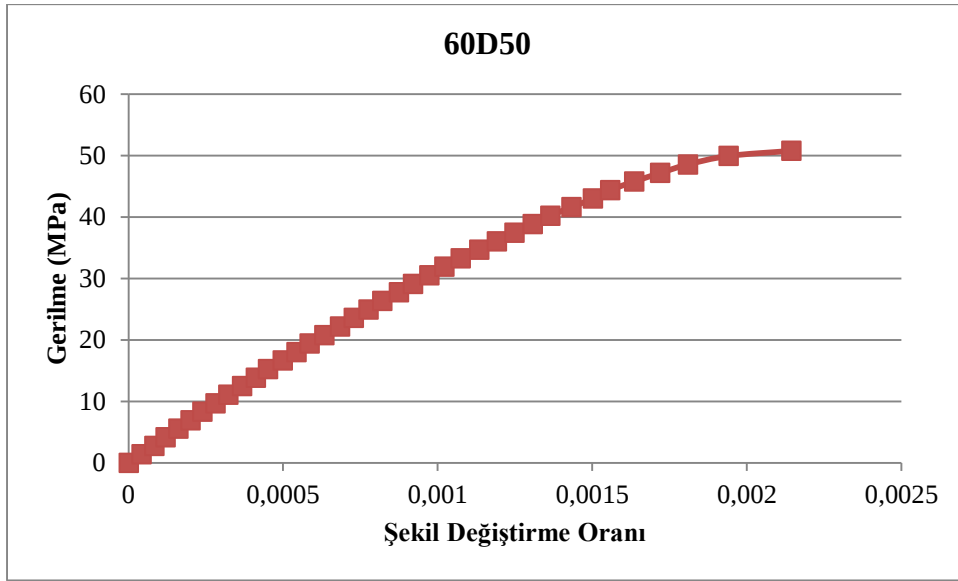
Şekil E.32 : 60D40 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.



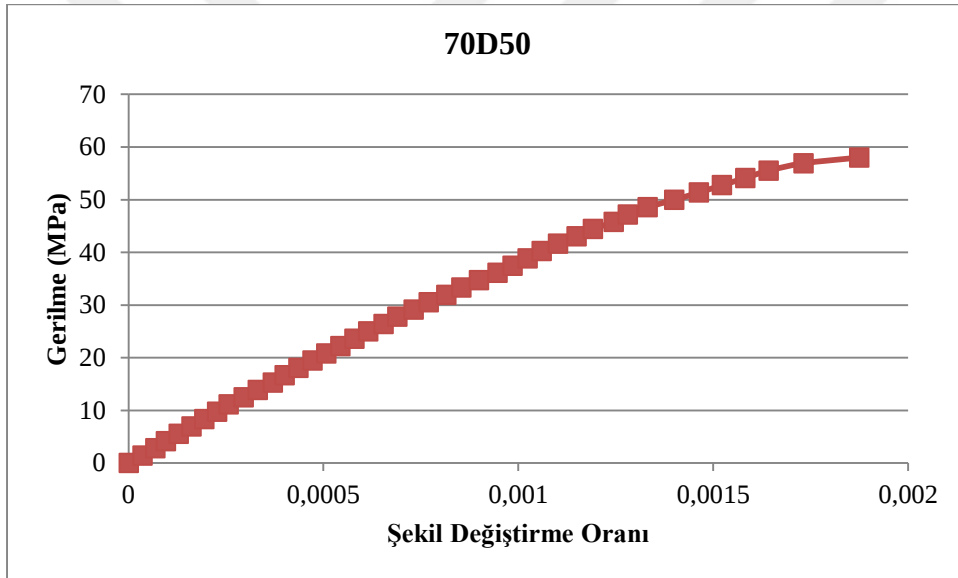
Şekil E.33 : 70D40 karışımı gerilme-şekil değişirme grafiği.



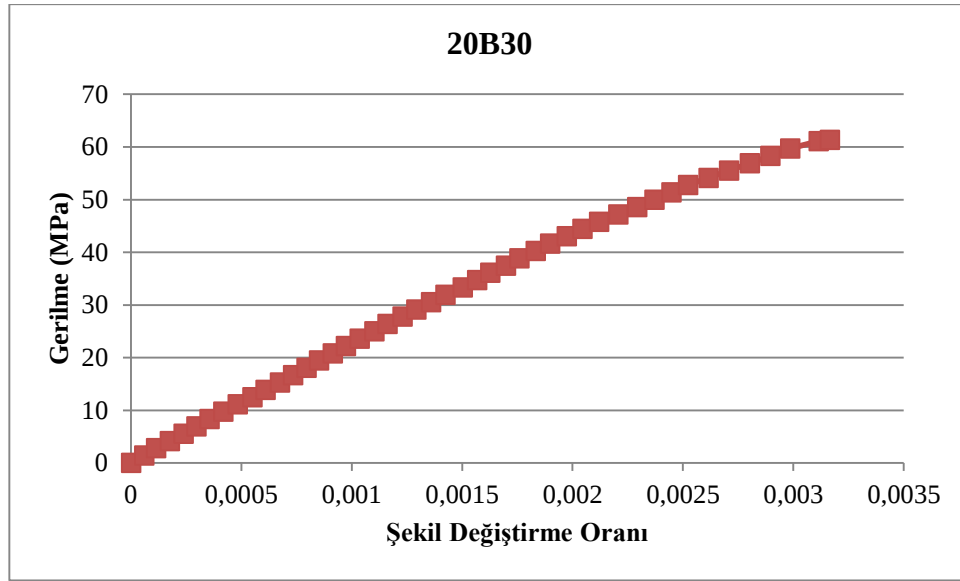
Şekil E.34 : 40D50 karışımı gerilme-şekil değişirme grafiği.



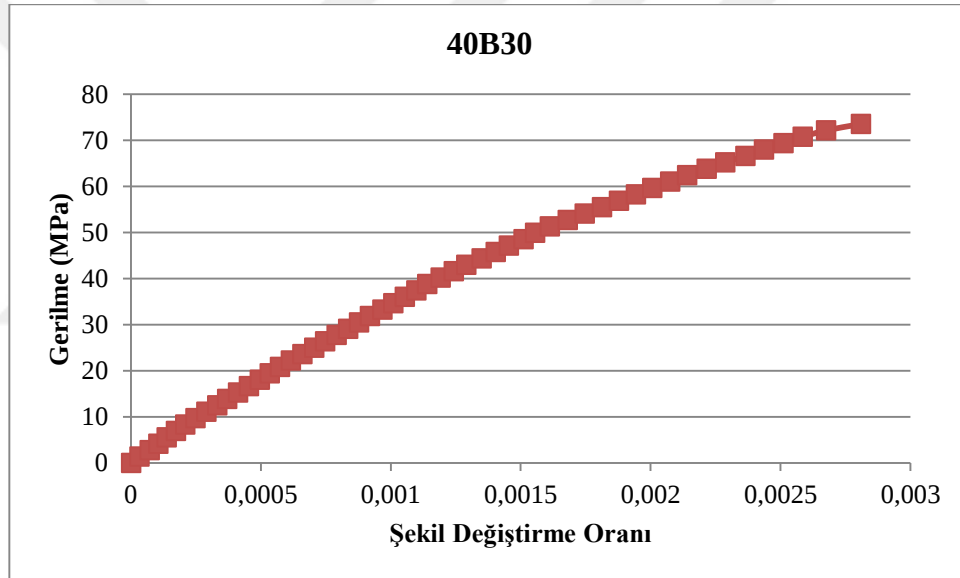
Şekil E.35 : 60D50 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.



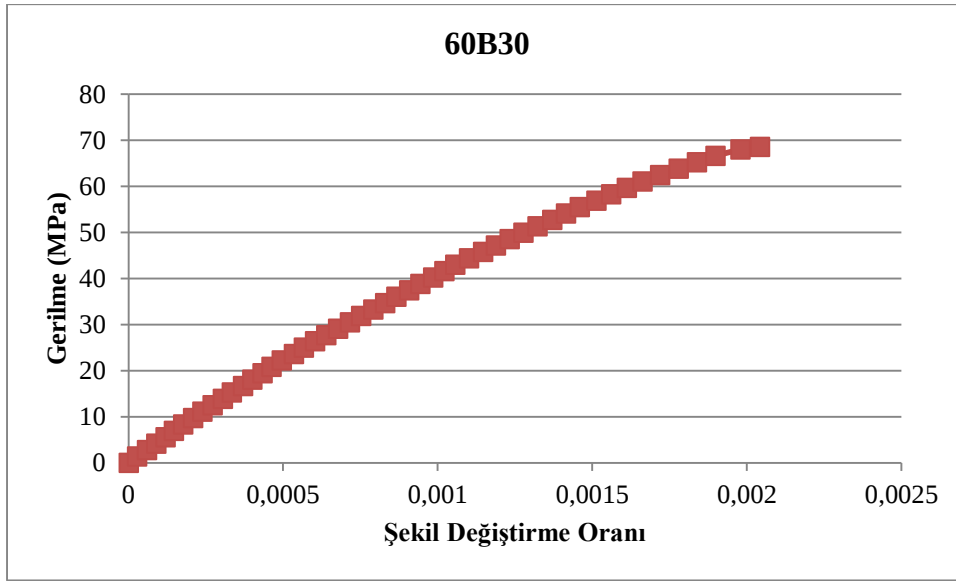
Şekil E.36 : 70D50 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.



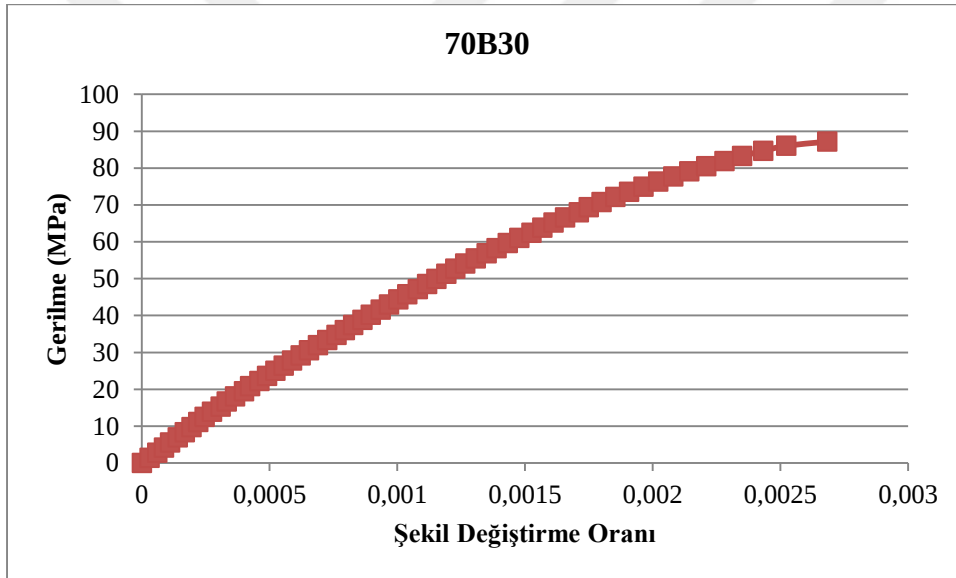
Şekil E.37 : 20B30 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.



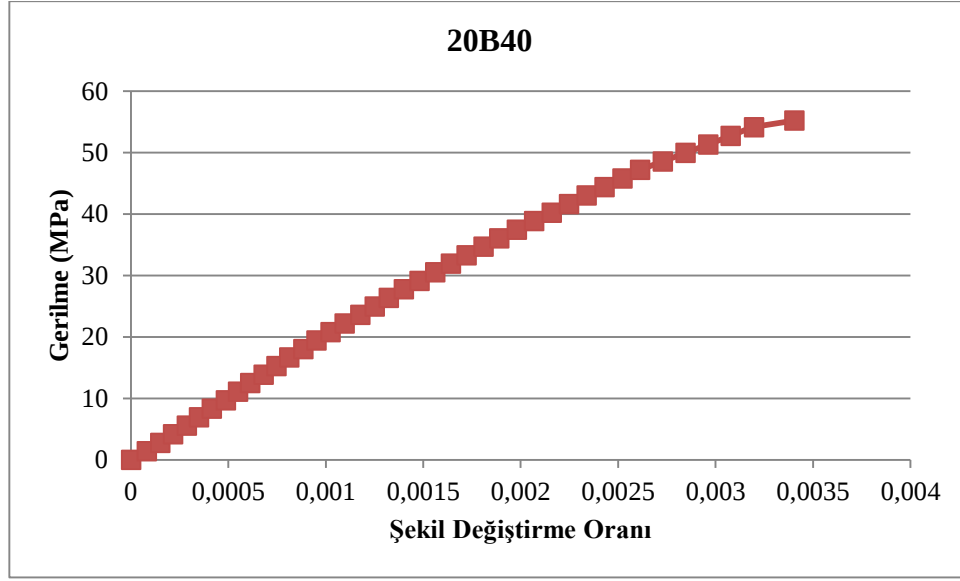
Şekil E.38 : 40B30 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.



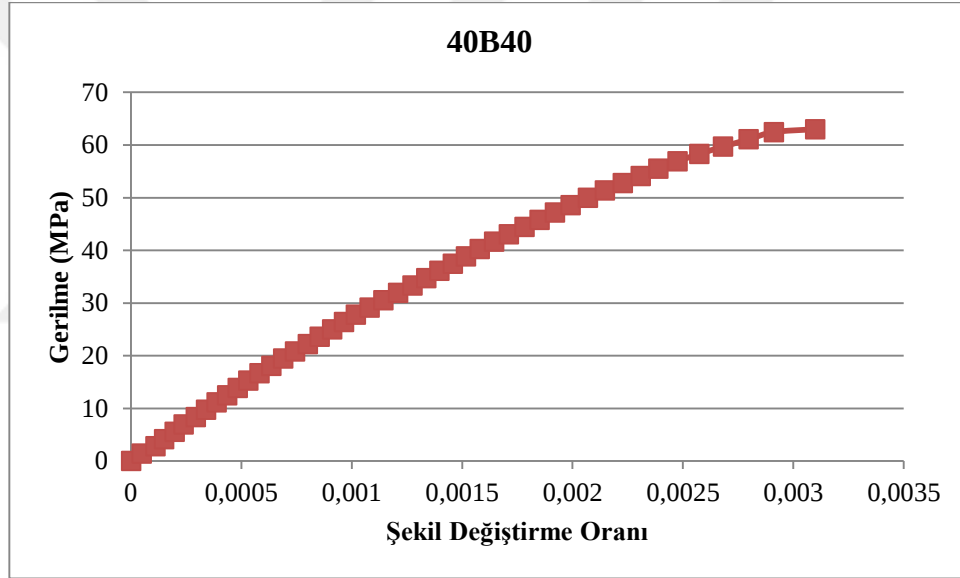
Şekil E.39 : 60B30 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.



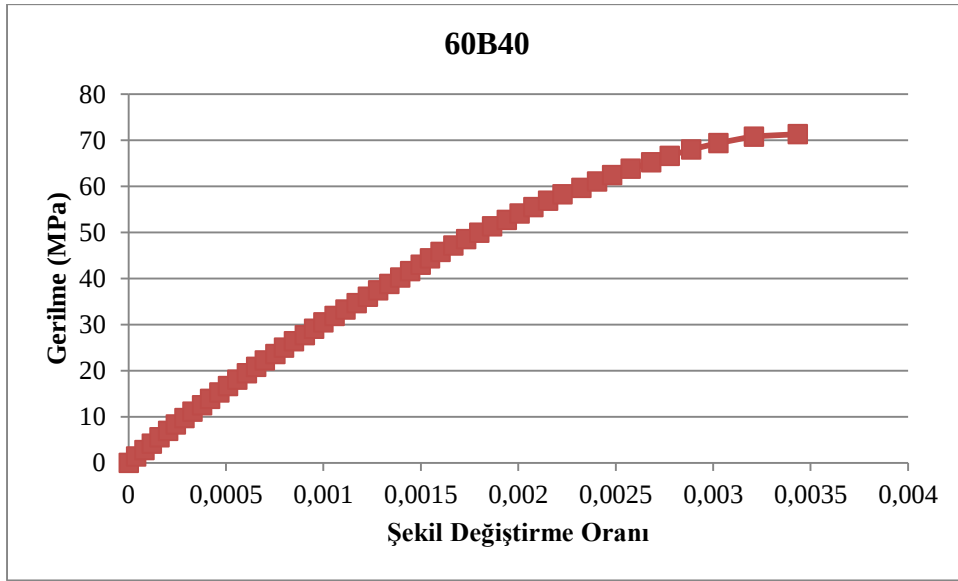
Şekil E.40 : 70B30 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.



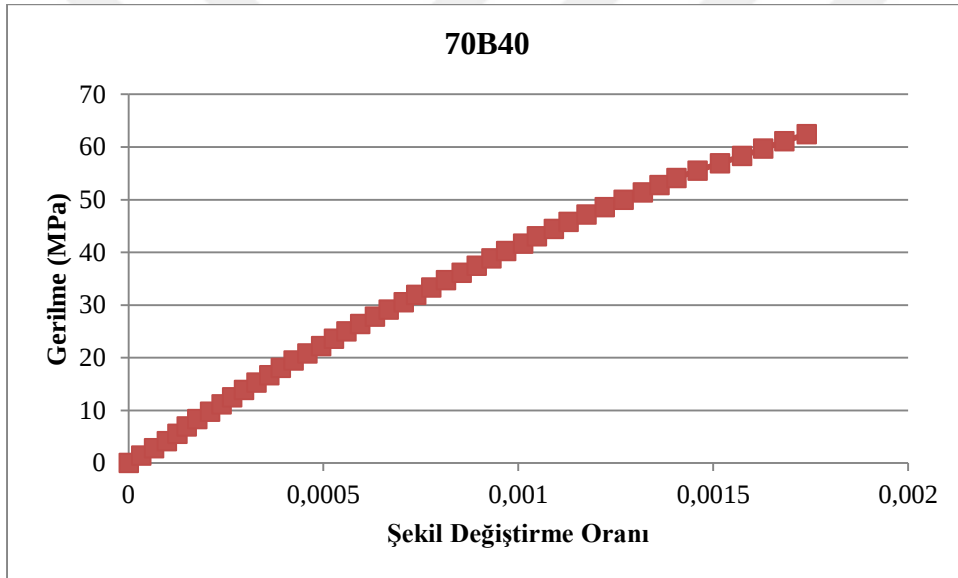
Şekil E.41 : 20B40 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.



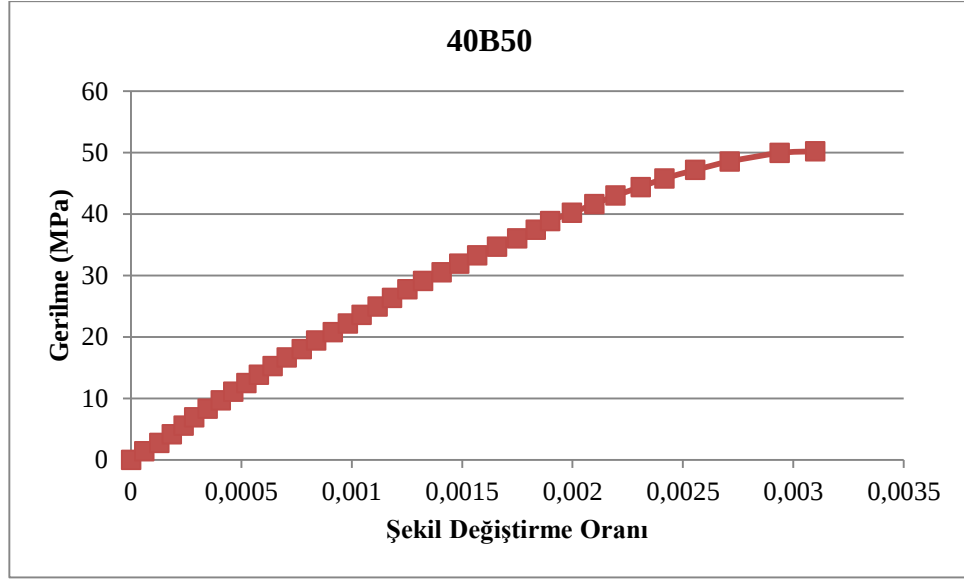
Şekil E.42 : 40B40 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.



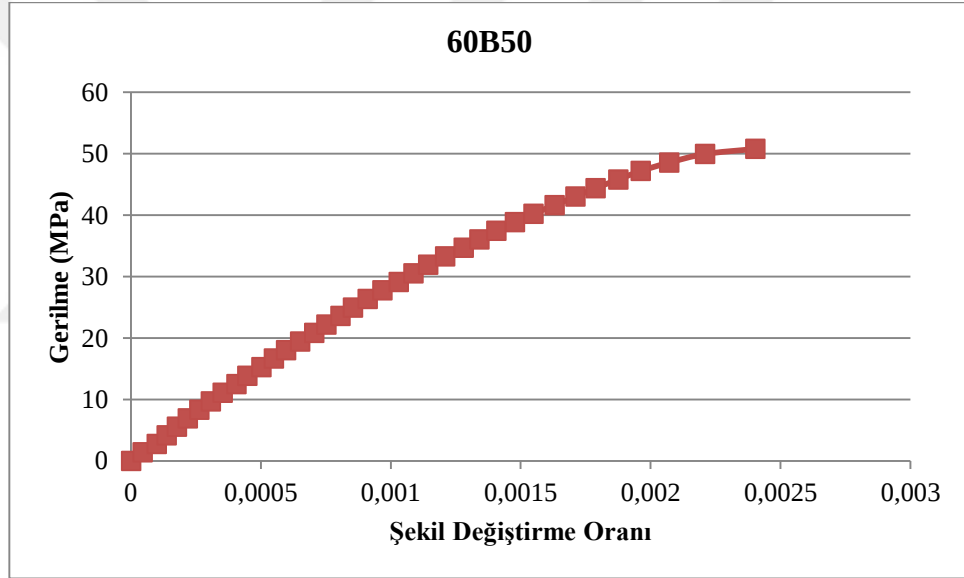
Şekil E.43 : 60B40 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.



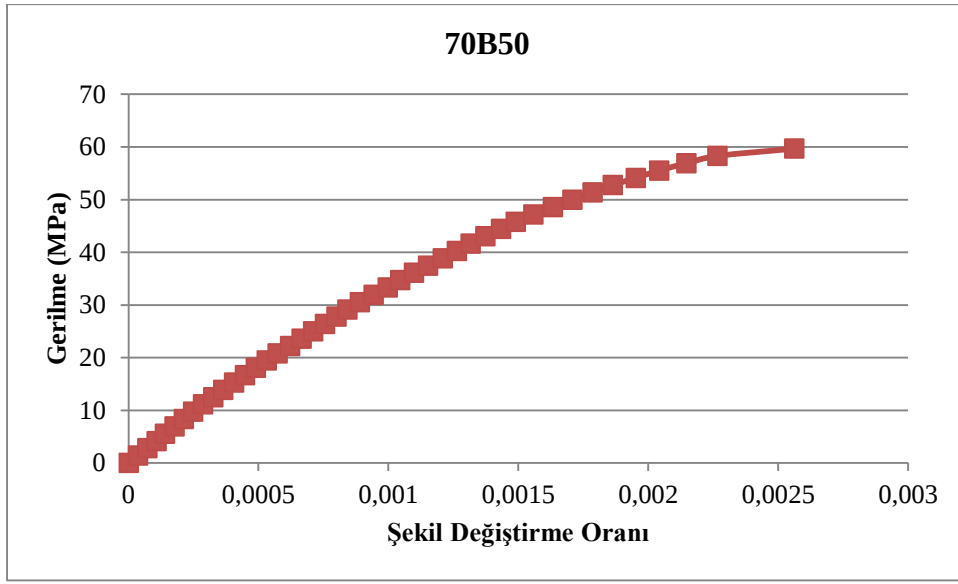
Şekil E.44 : 70B40 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.



Şekil E.45 : 40B50 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.

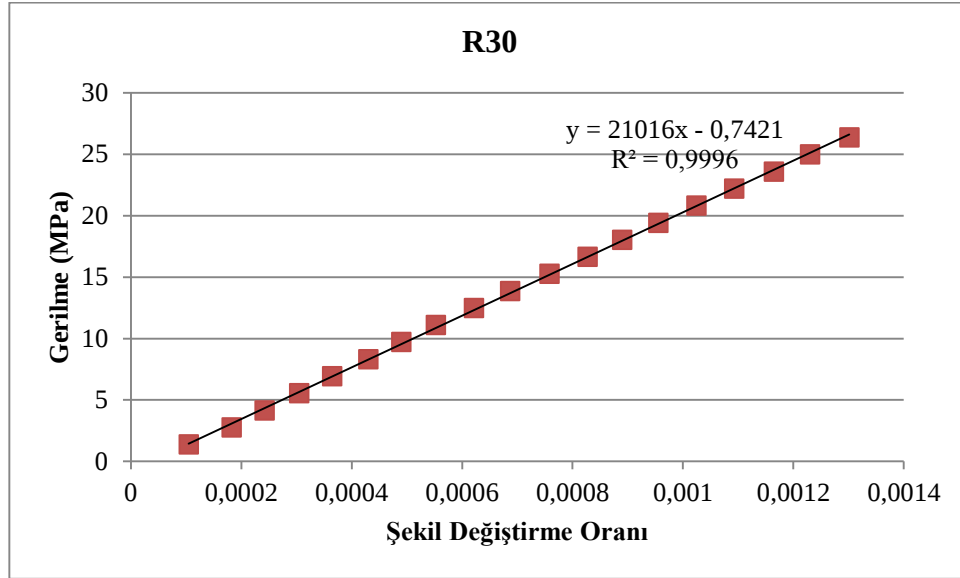


Şekil E.46 : 60B50 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.

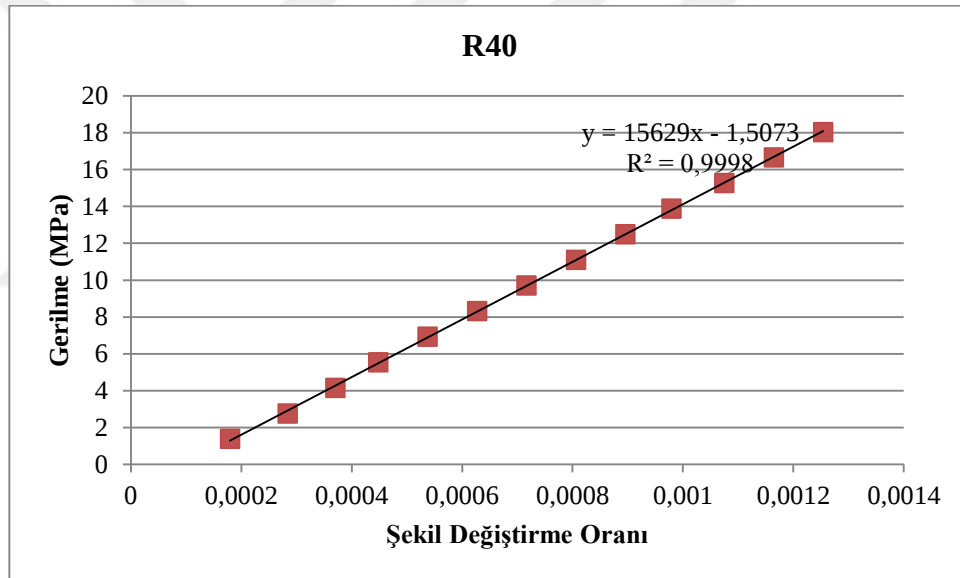


Şekil E.47 : 70B50 karışımı gerilme-şekil değiştirme grafiği.

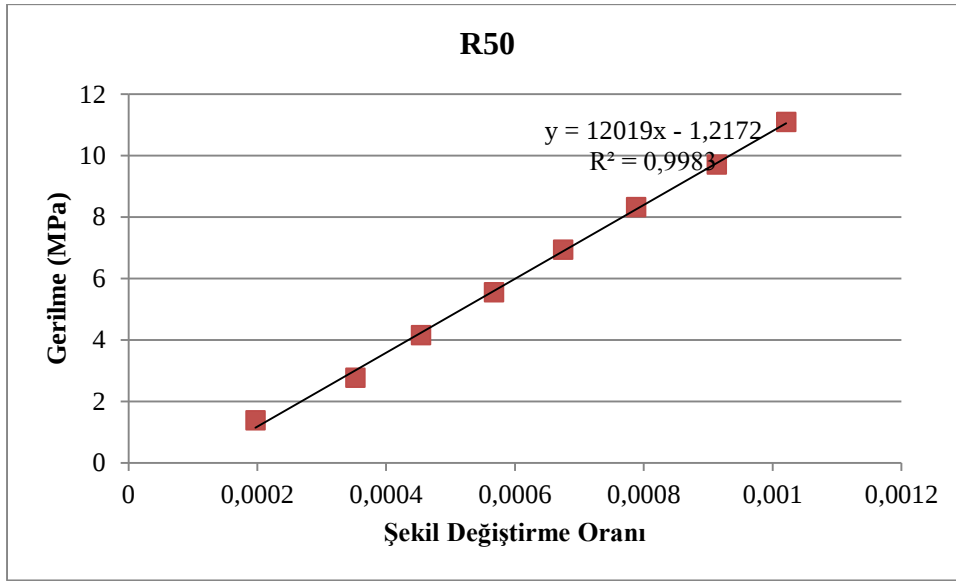
EK F



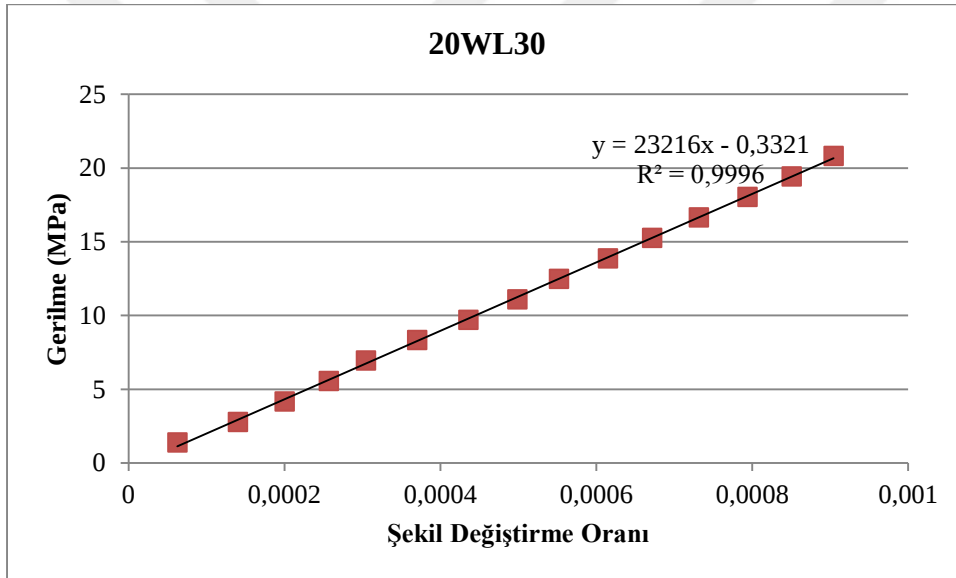
Şekil F. 1 : R30 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.



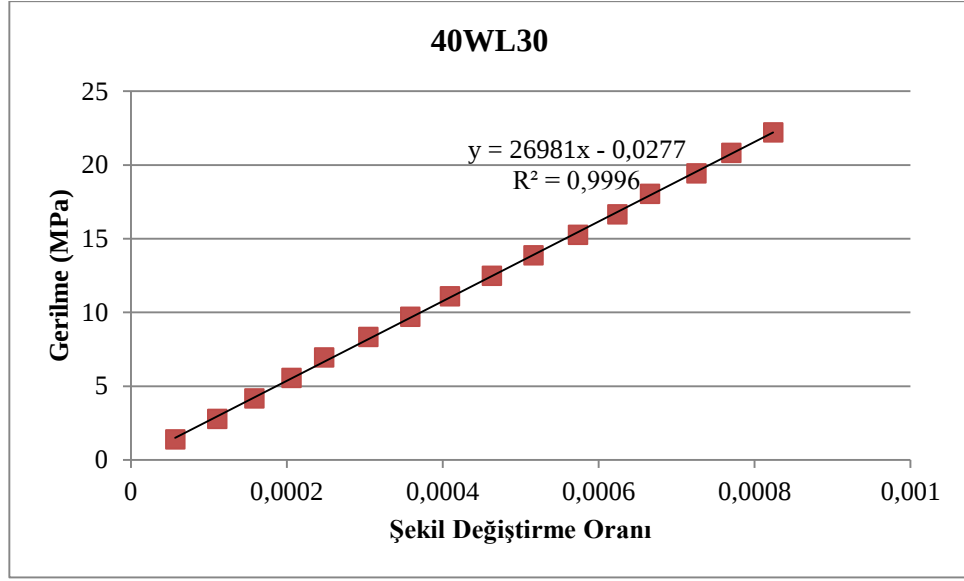
Şekil F. 2 : R40 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.



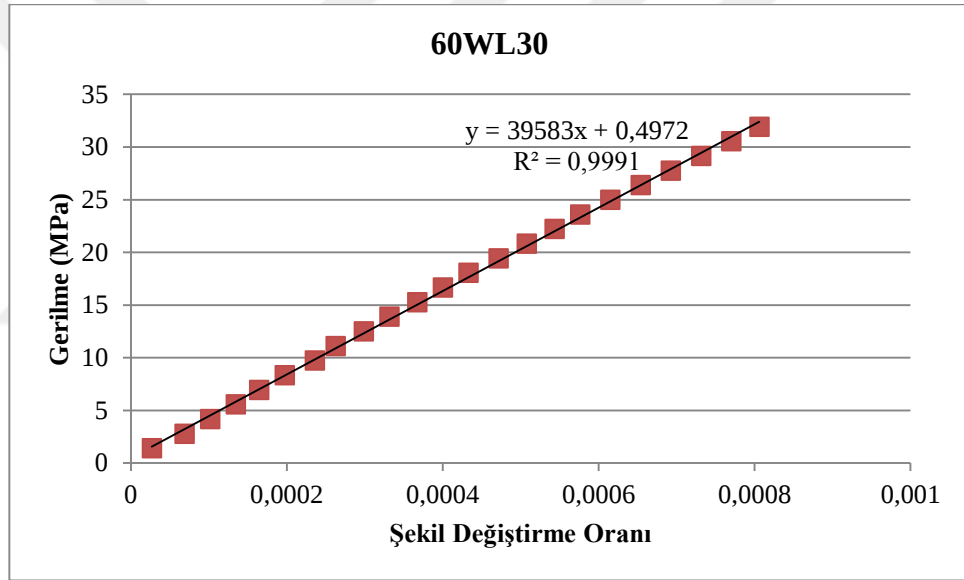
Şekil F. 3 : R50 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.



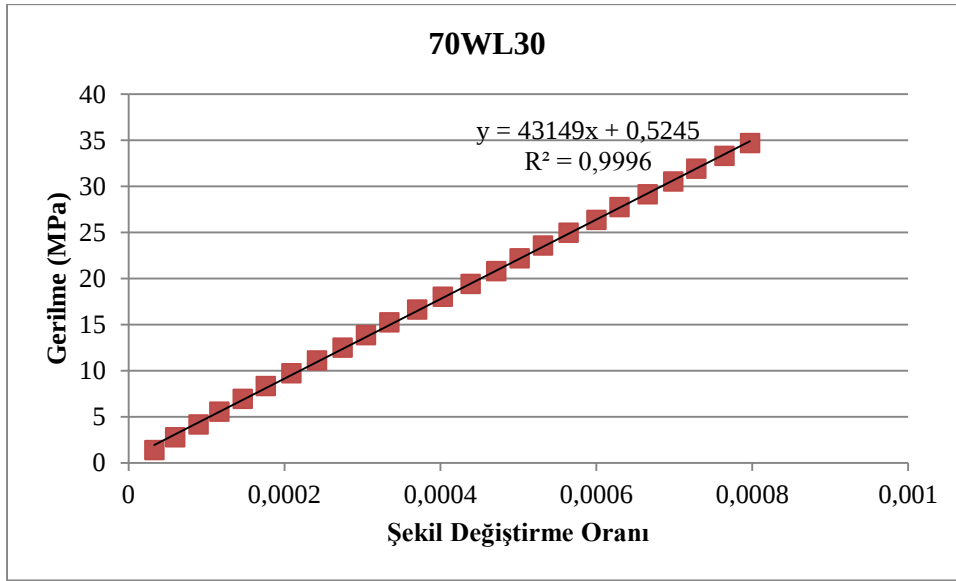
Şekil F. 4 : 20WL30 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.



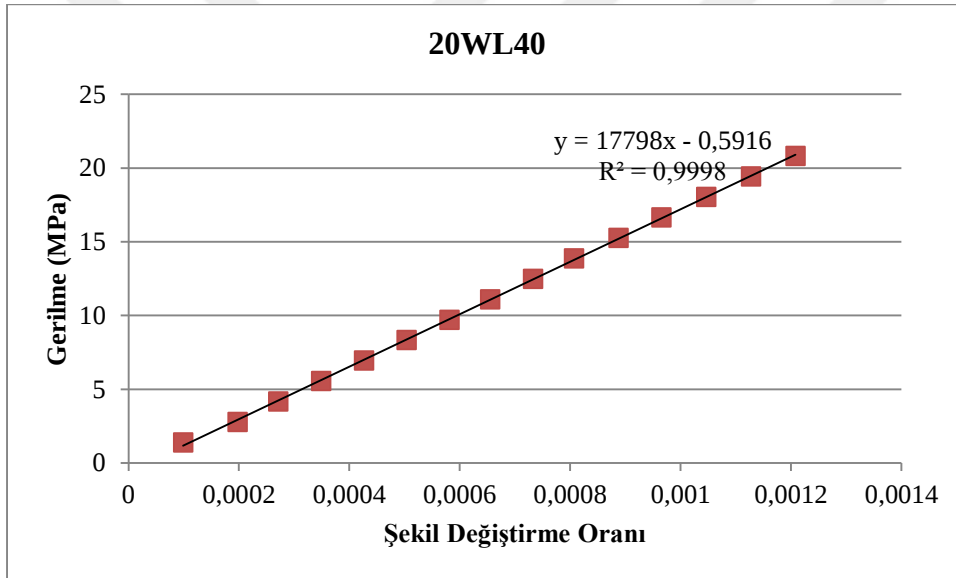
Şekil F. 5 : 40WL30 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.



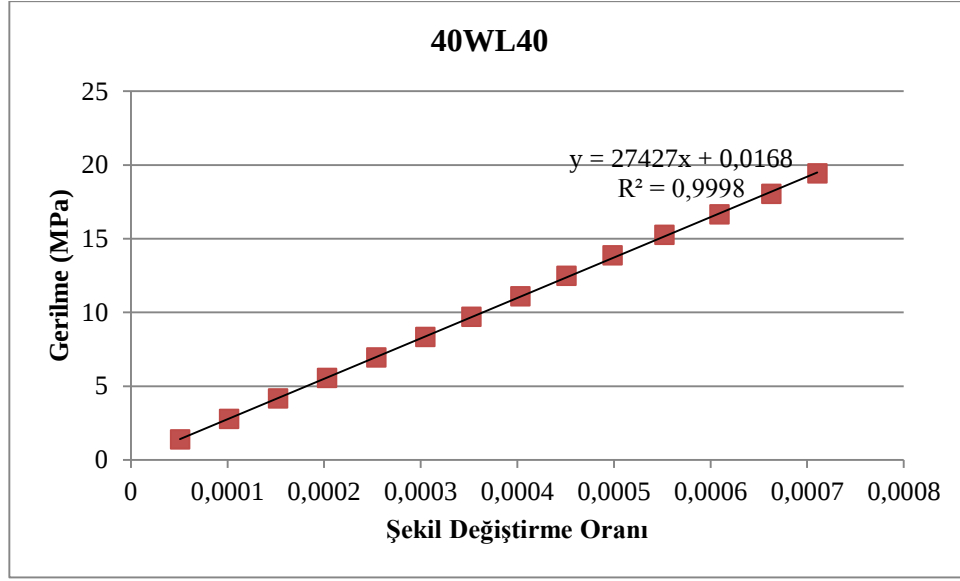
Şekil F. 6 : 60WL30 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.



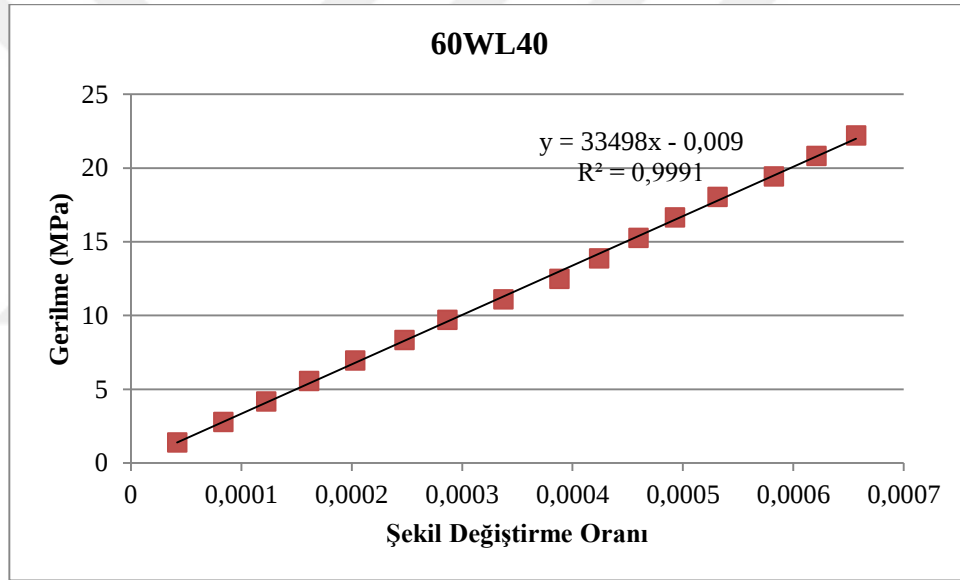
Şekil F. 7 : 70WL30 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.



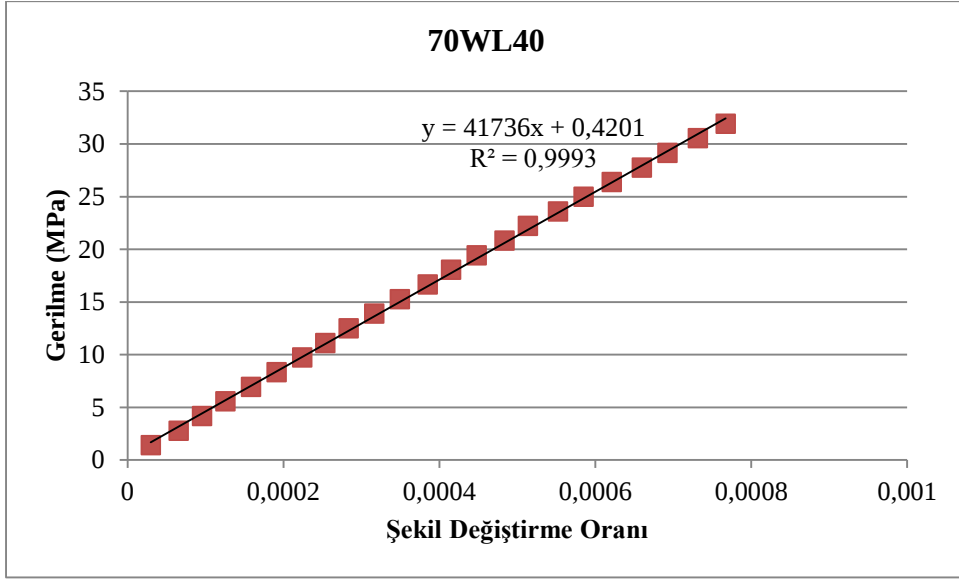
Şekil F. 8 : 20WL40 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.



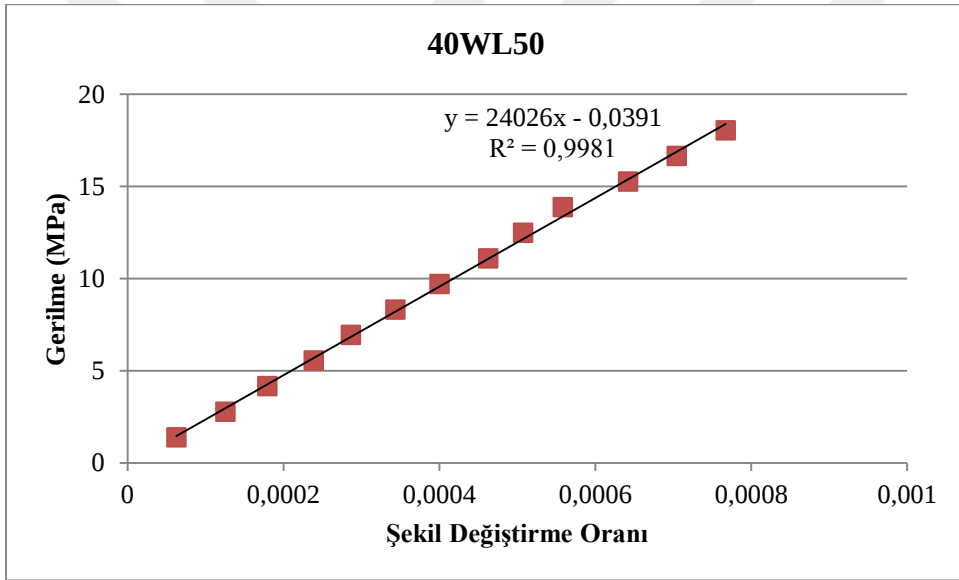
Şekil F. 9 : 40WL40 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.



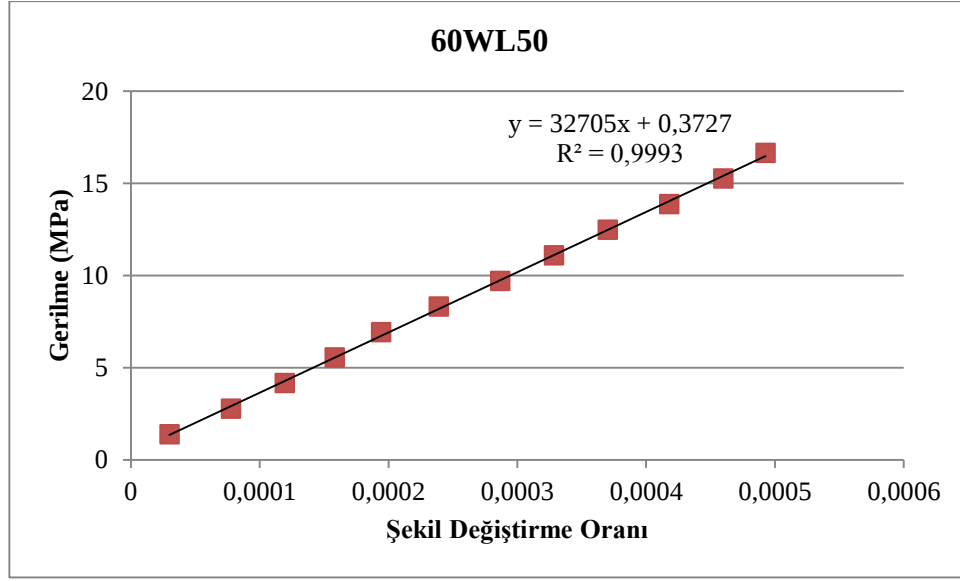
Şekil F. 10 : 60WL40 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.



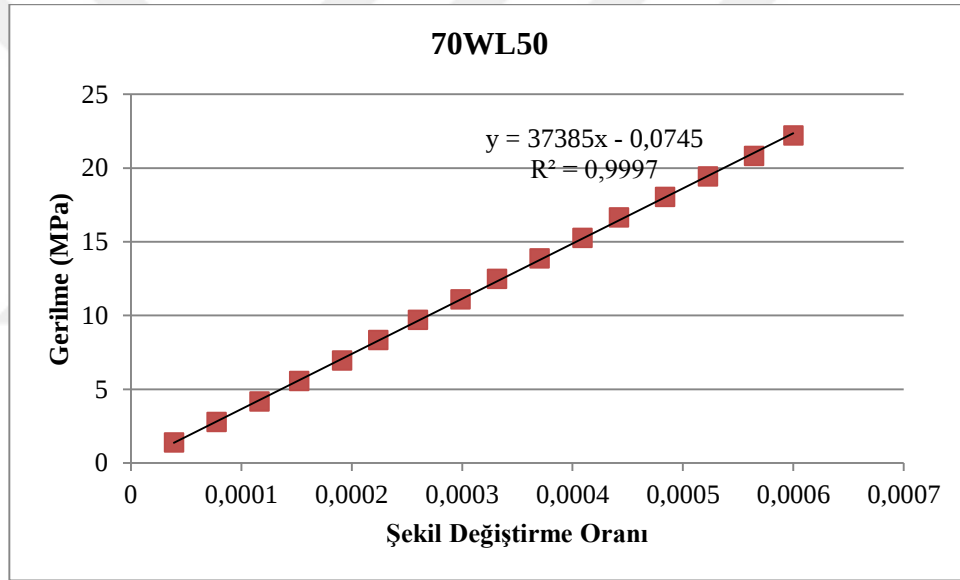
Şekil F. 11 : 70WL40 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.



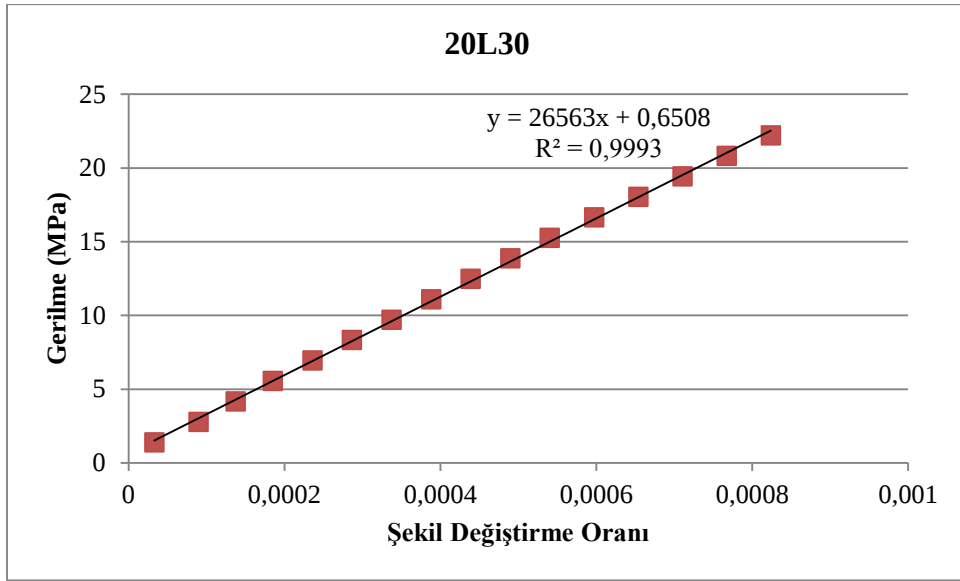
Şekil F. 12 : 40WL50 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.



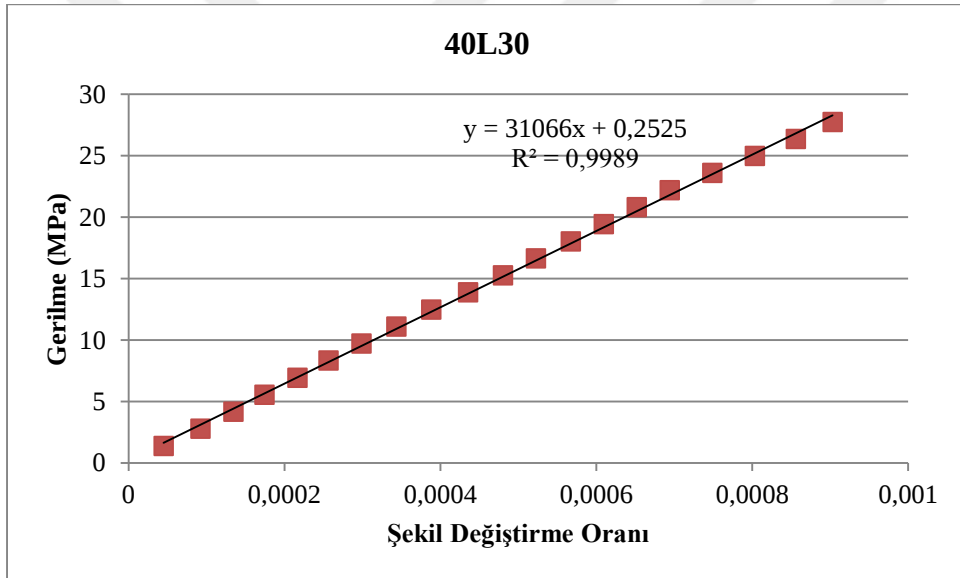
Şekil F. 13 : 60WL50 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.



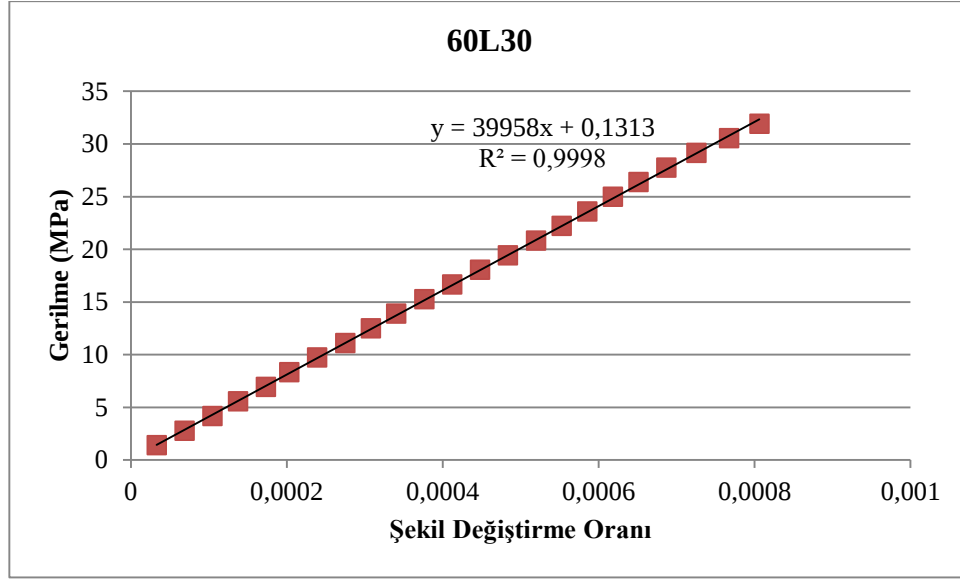
Şekil F. 14 : 70WL50 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.



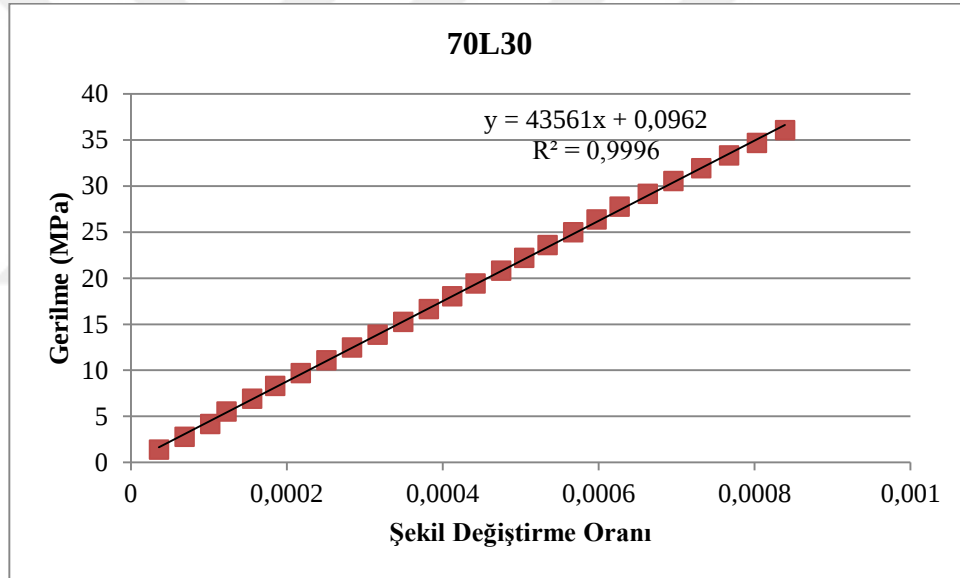
Şekil F. 15 : 20L30 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.



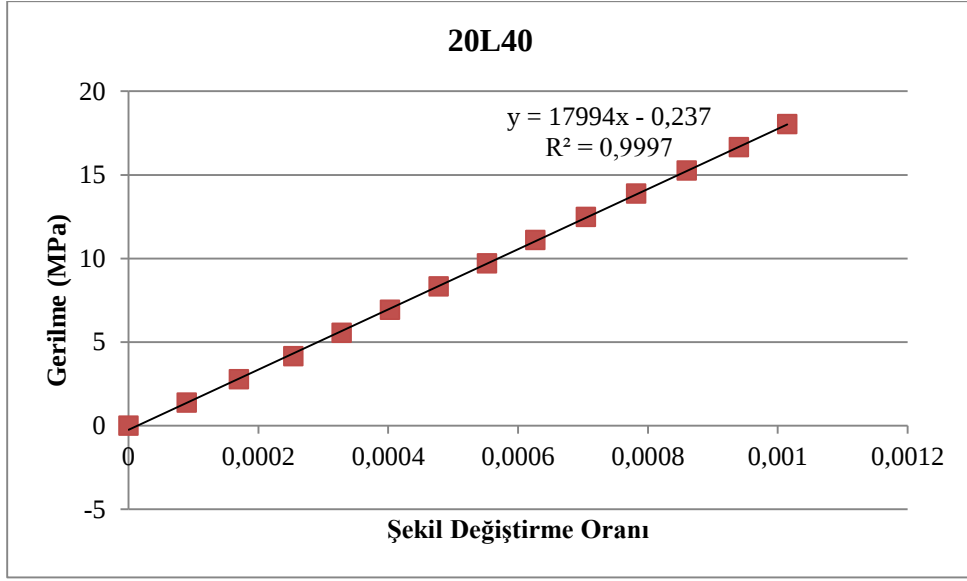
Şekil F. 16 : 40L30 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.



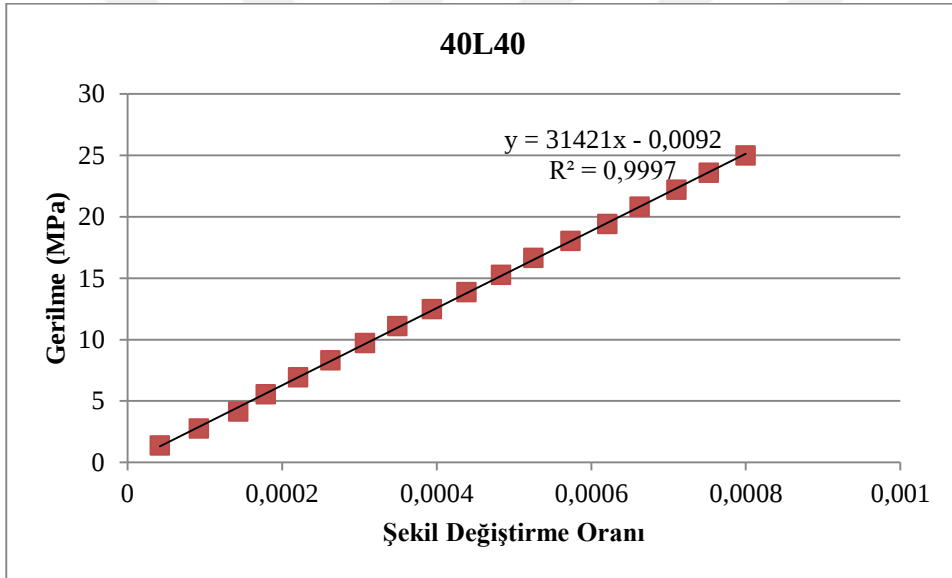
Şekil F. 17 : 60L30 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.



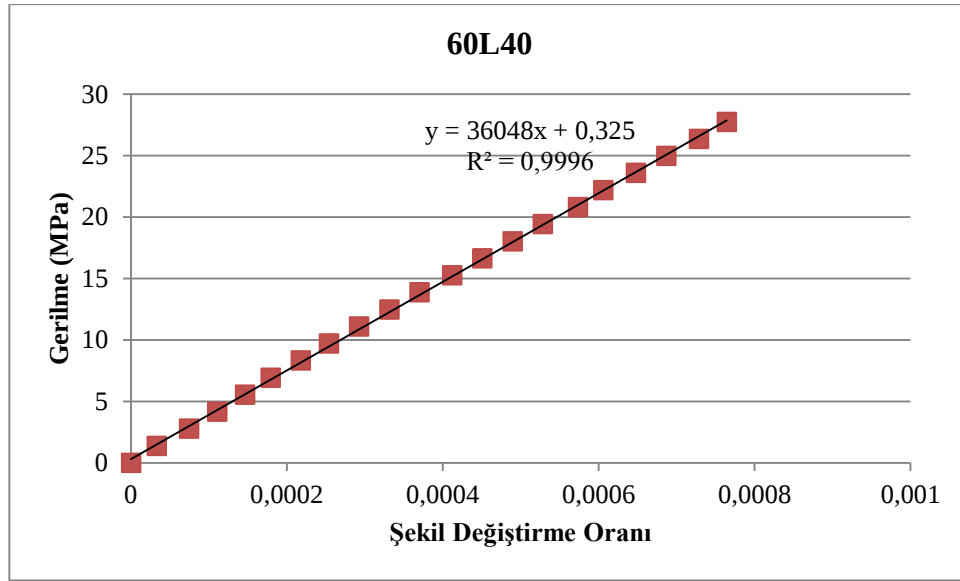
Şekil F. 18 : 70L30 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.



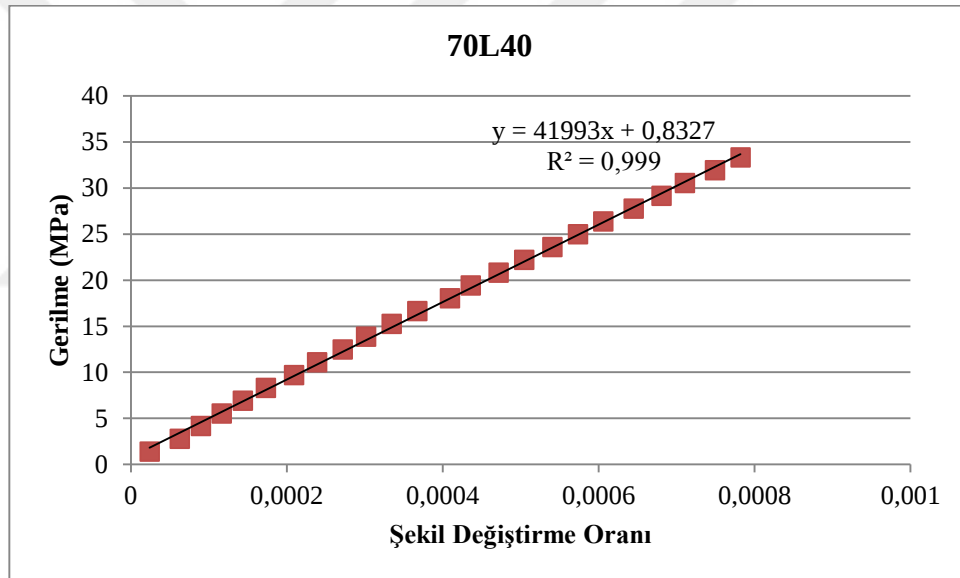
Şekil F. 19 : 20L40 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.



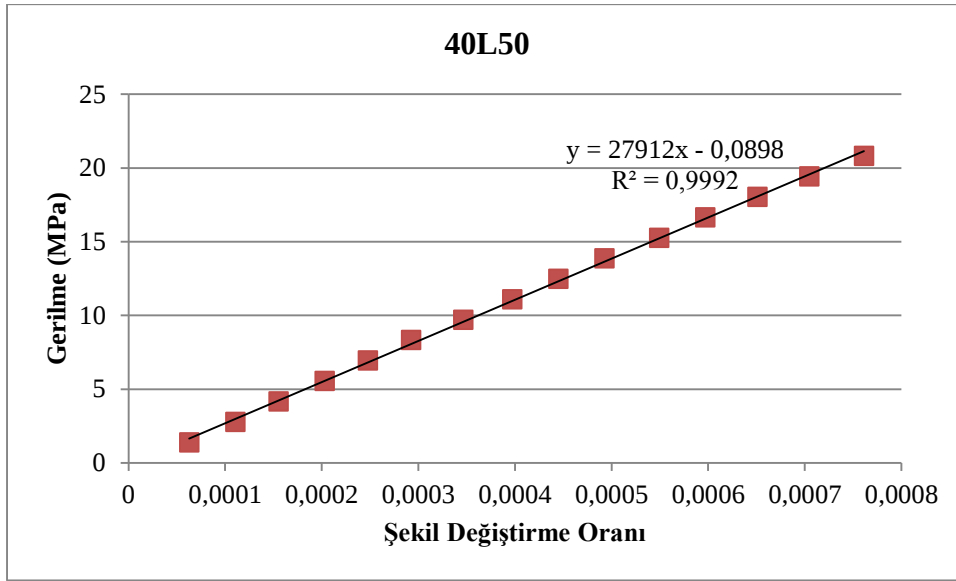
Şekil F. 20 : 40L40 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.



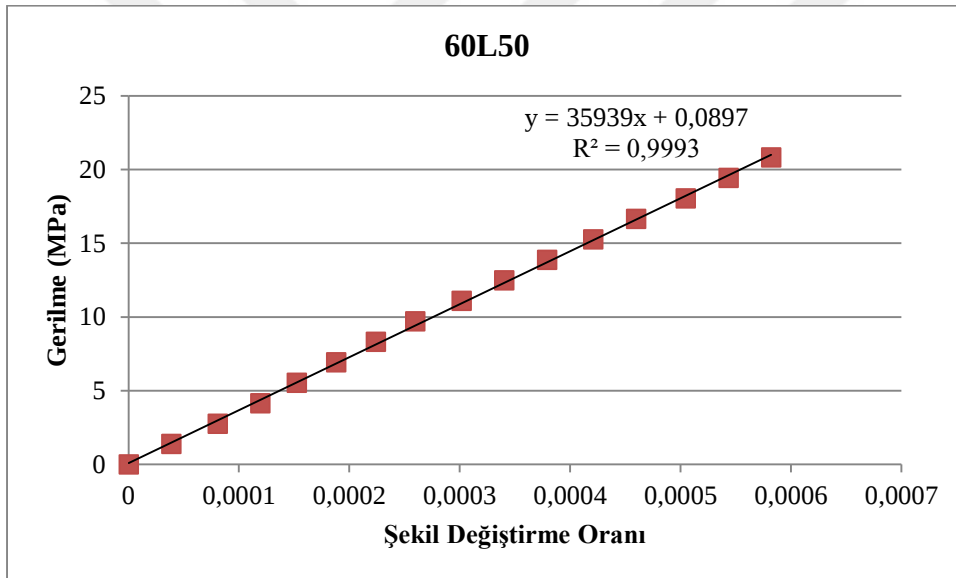
Şekil F. 21 : 60L40 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.



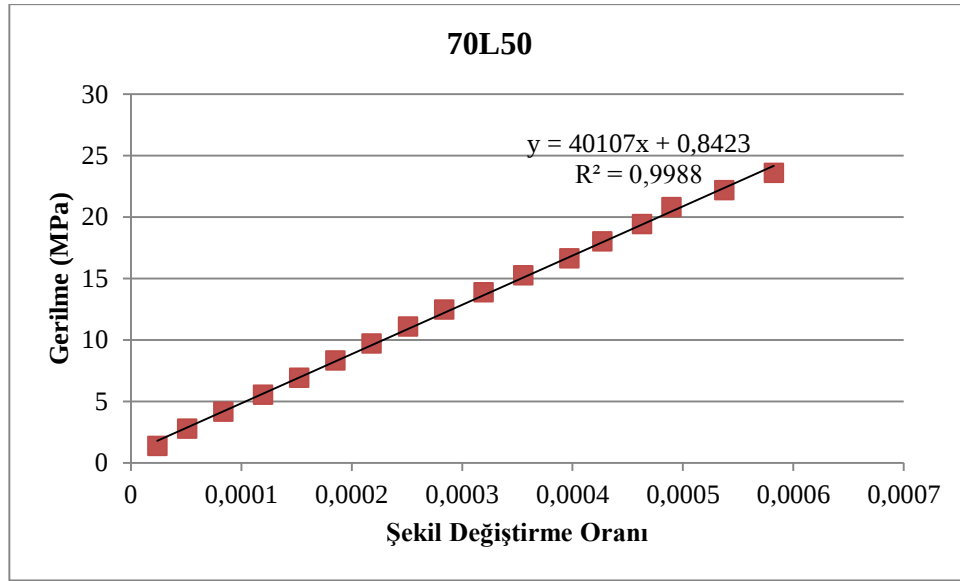
Şekil F. 22 : 70L40 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.



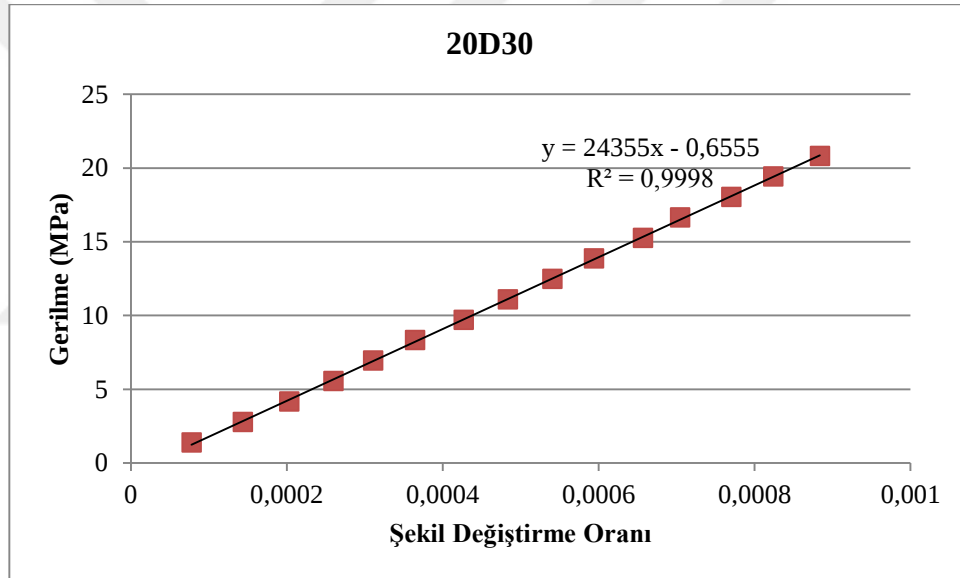
Şekil F. 23 : 40L50 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.



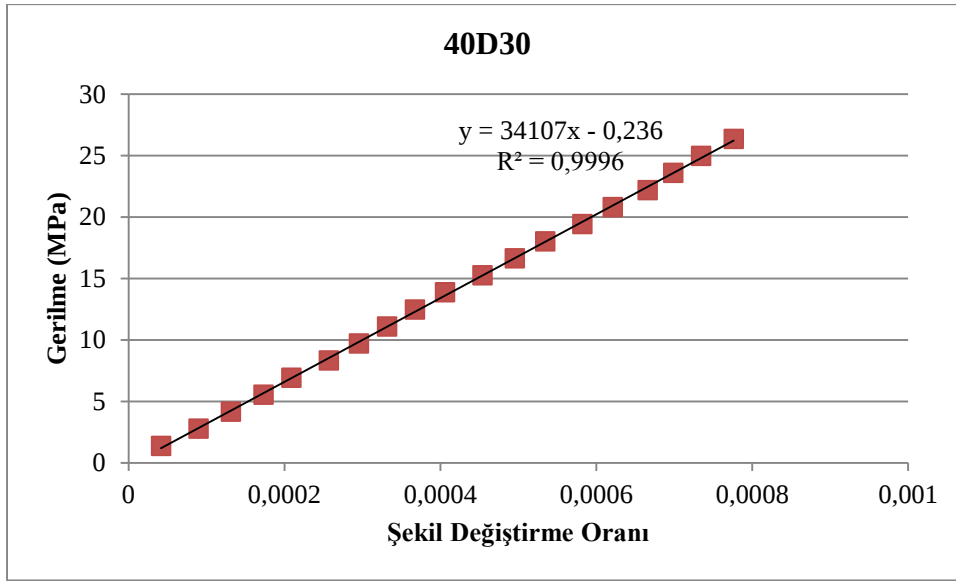
Şekil F. 24 : 60L50 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.



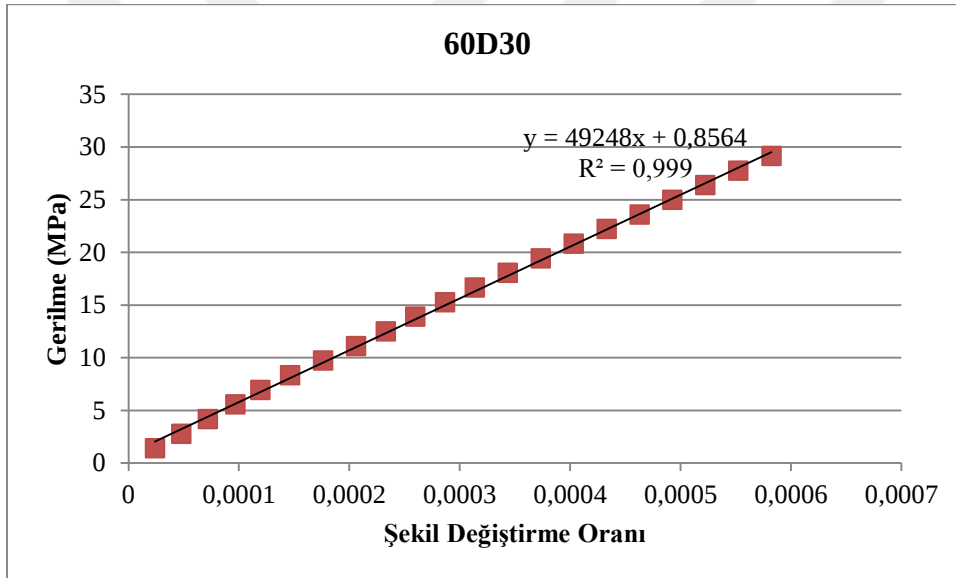
Şekil F. 25 : 70L50 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.



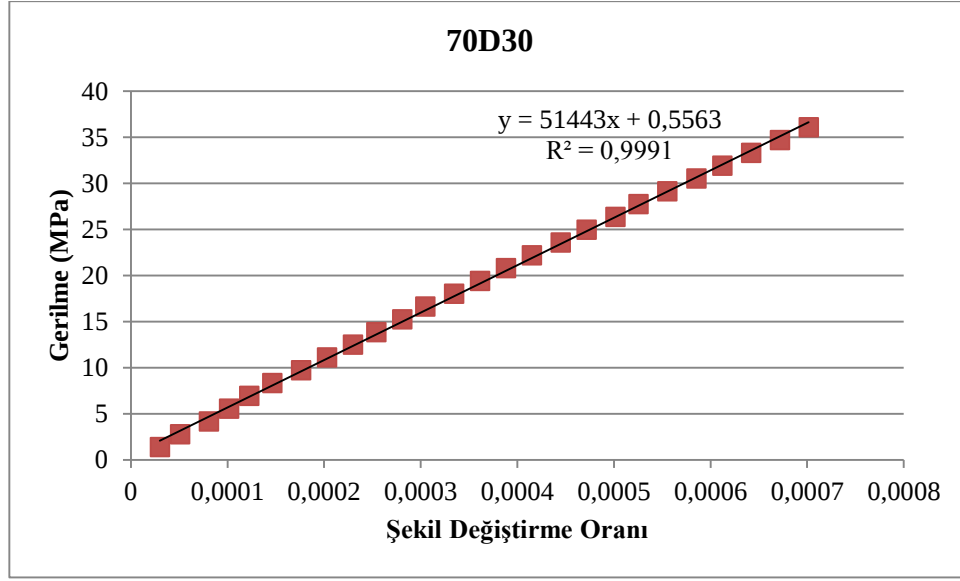
Şekil F. 26 : 20D30 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.



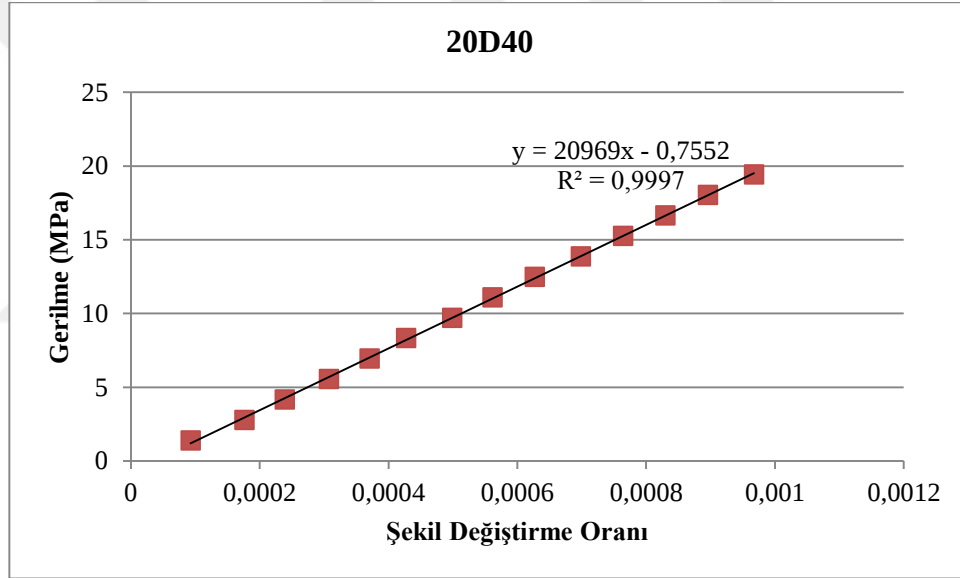
Şekil F. 27 : 40D30 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.



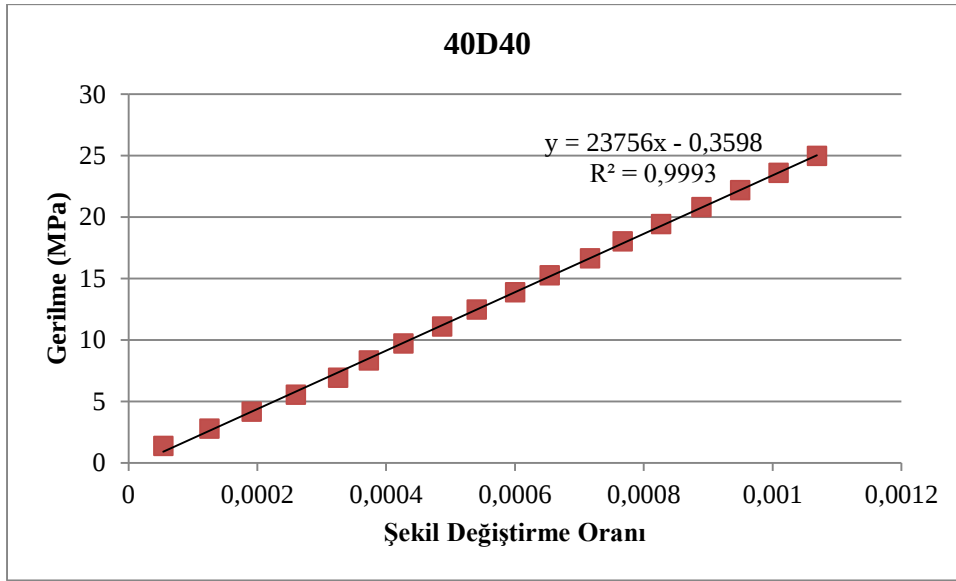
Şekil F. 28 : 60D30 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.



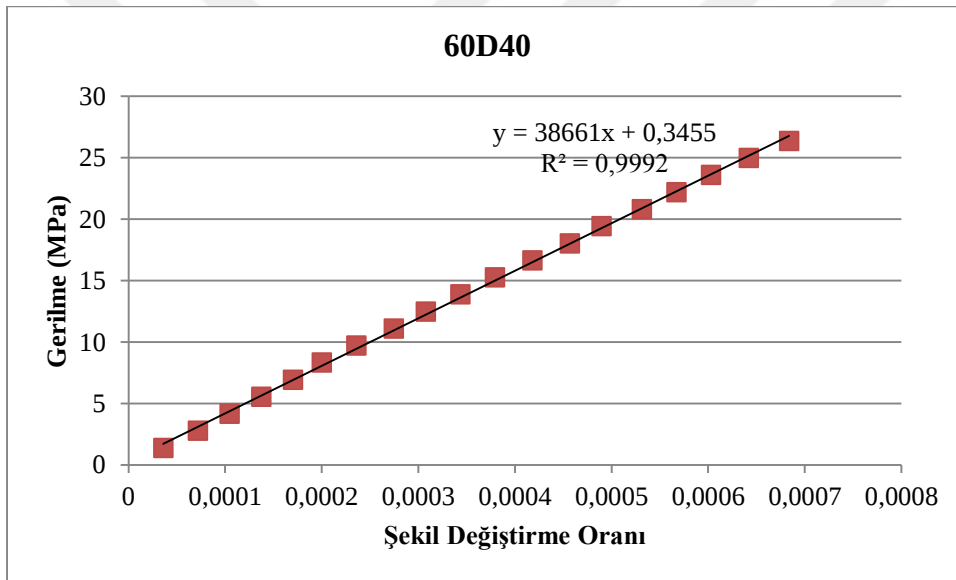
Şekil F. 29 : 70D30 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.



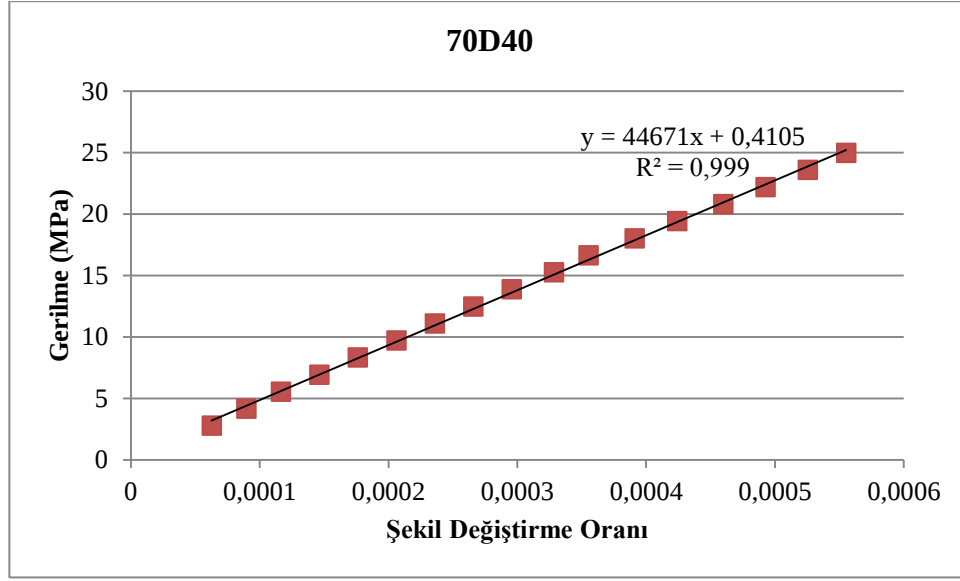
Şekil F. 30 : 20D40 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.



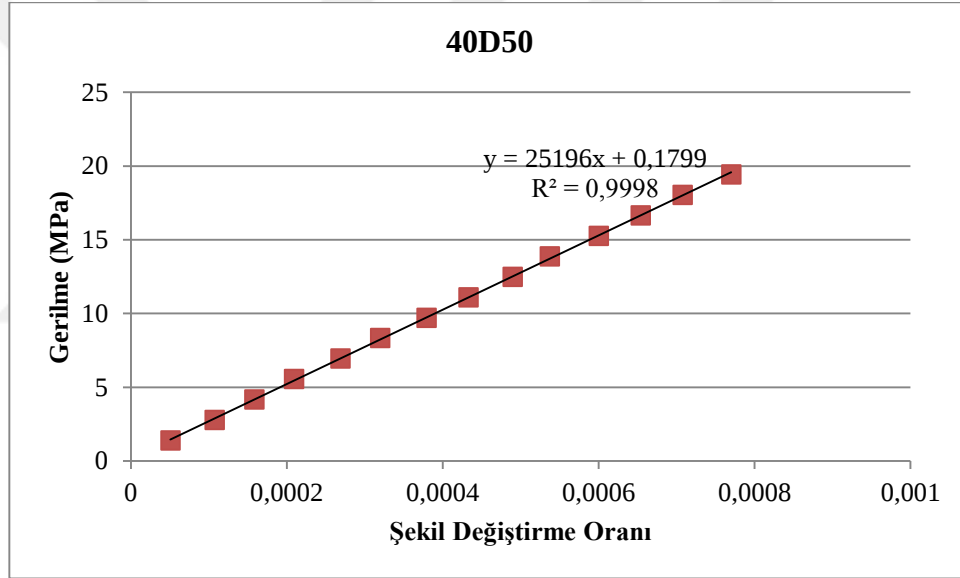
Şekil F. 31 : 40D40 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.



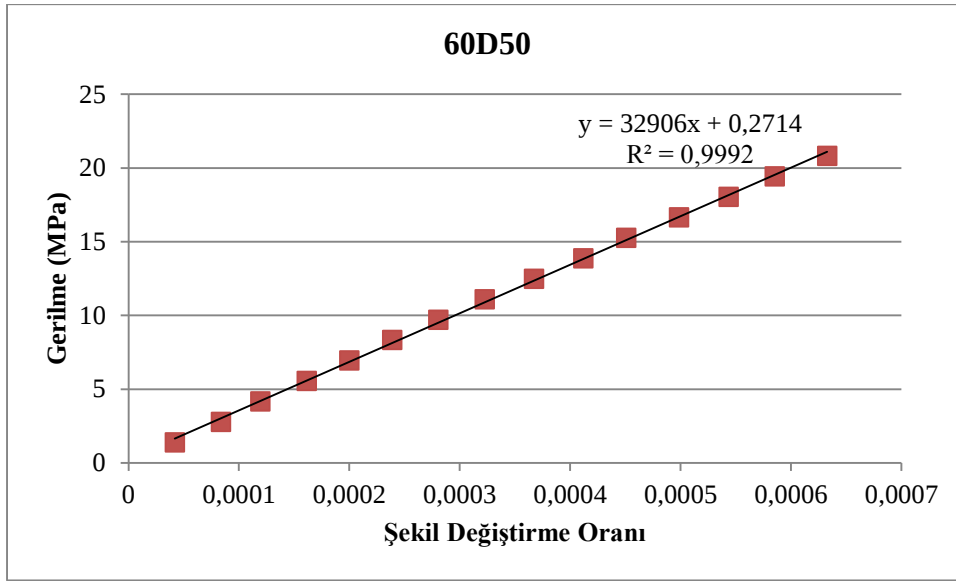
Şekil F. 32 : 60D40 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.



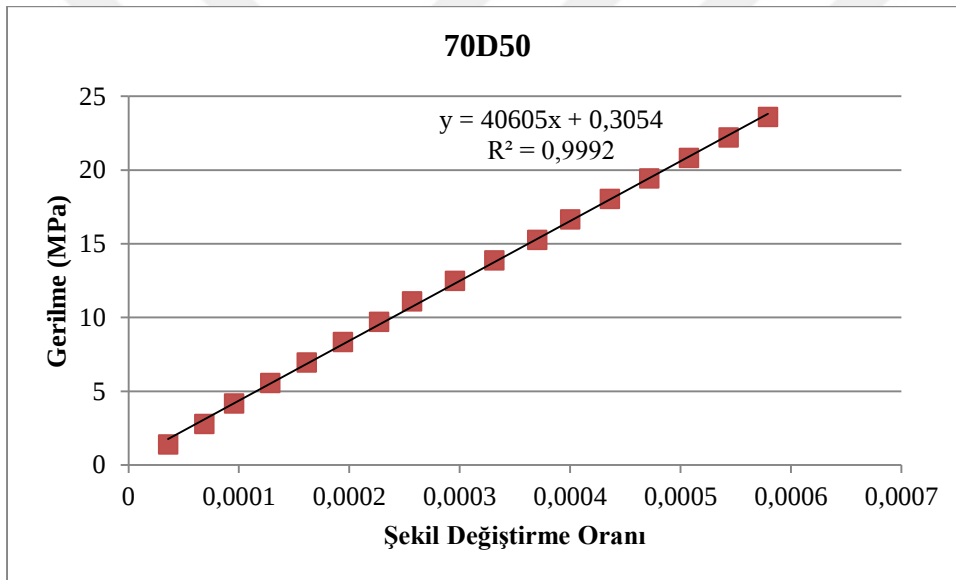
Şekil F. 33 : 70D40 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.



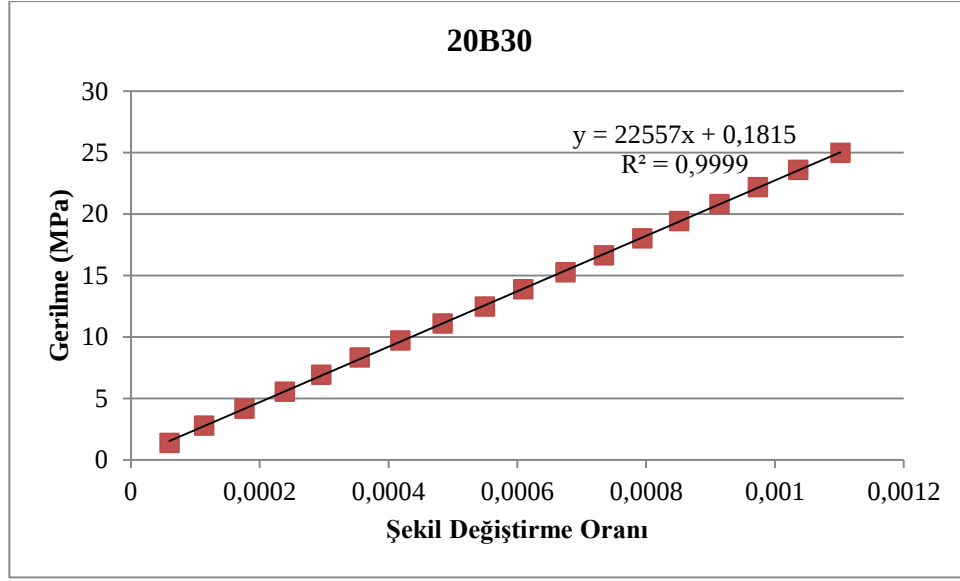
Şekil F. 34 : 40D50 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.



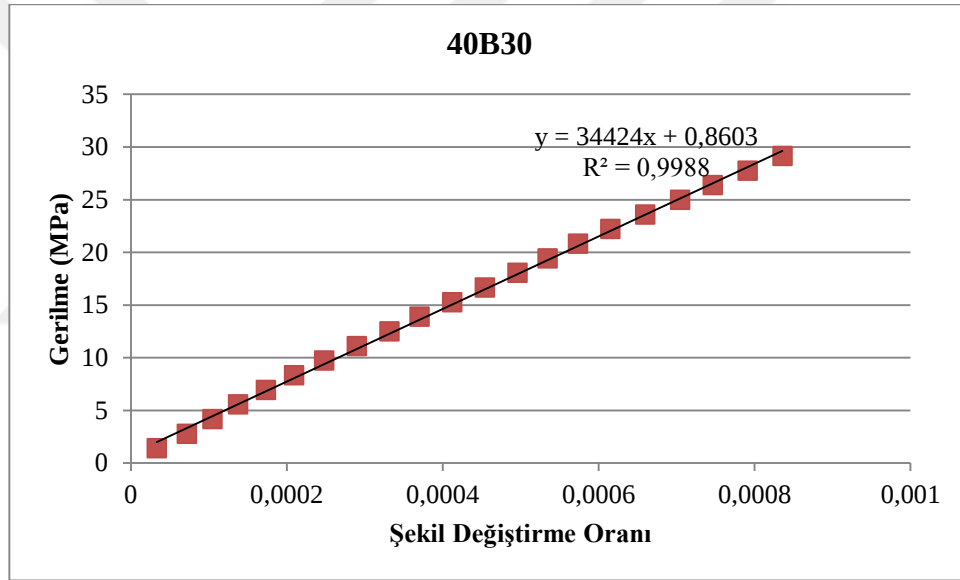
Şekil F. 35 : 60D50 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.



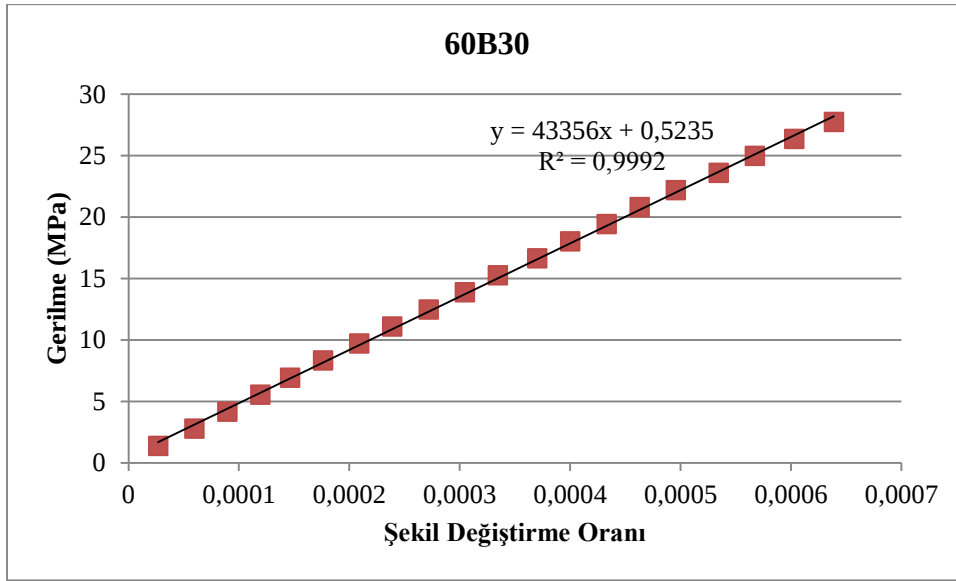
Şekil F. 36 : 70D50 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.



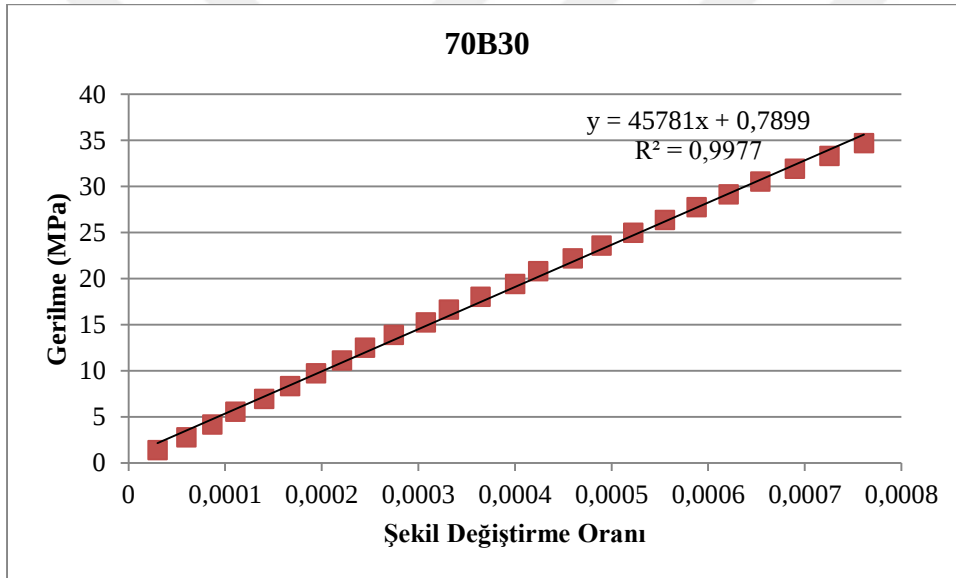
Şekil F. 37 : 20B30 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.



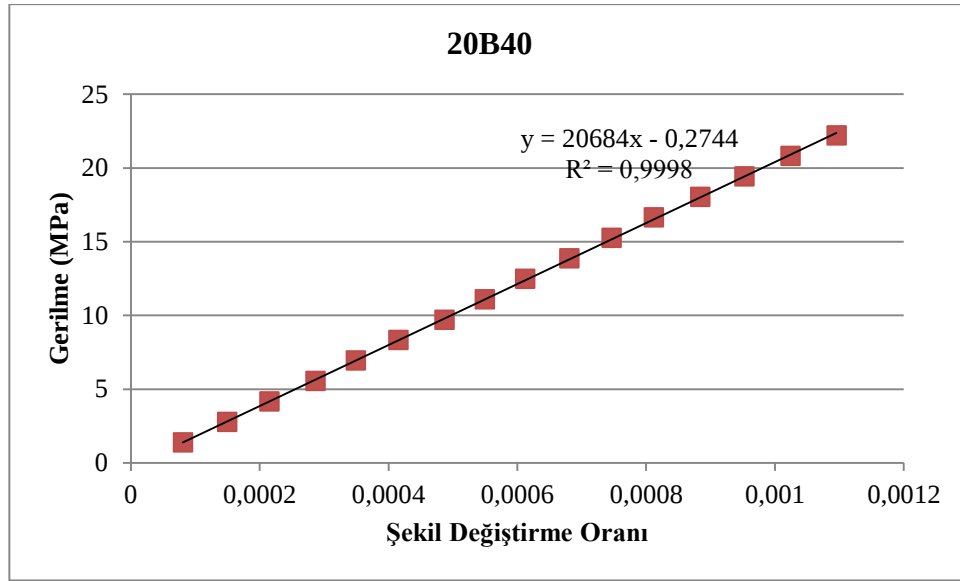
Şekil F. 38 : 40B30 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.



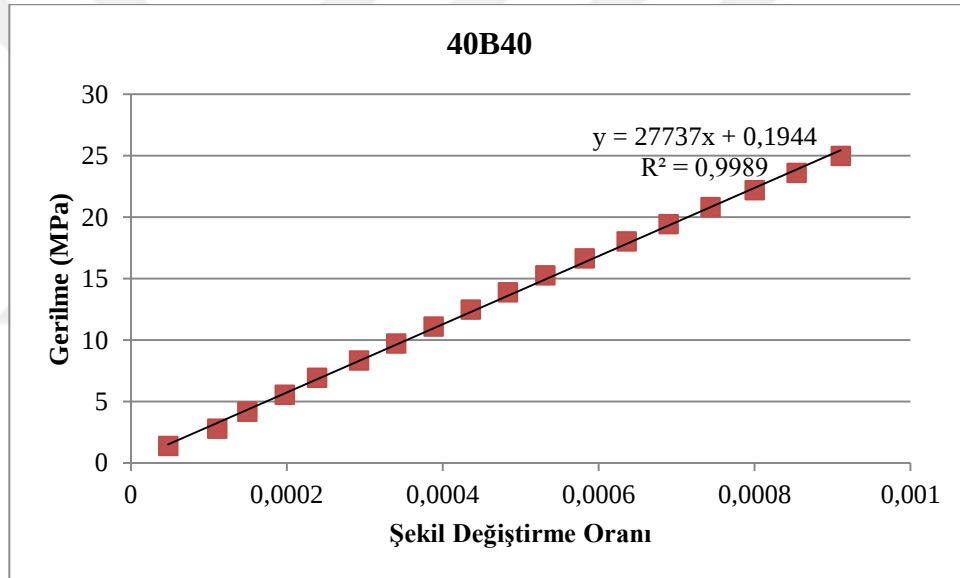
Şekil F. 39 : 60B30 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.



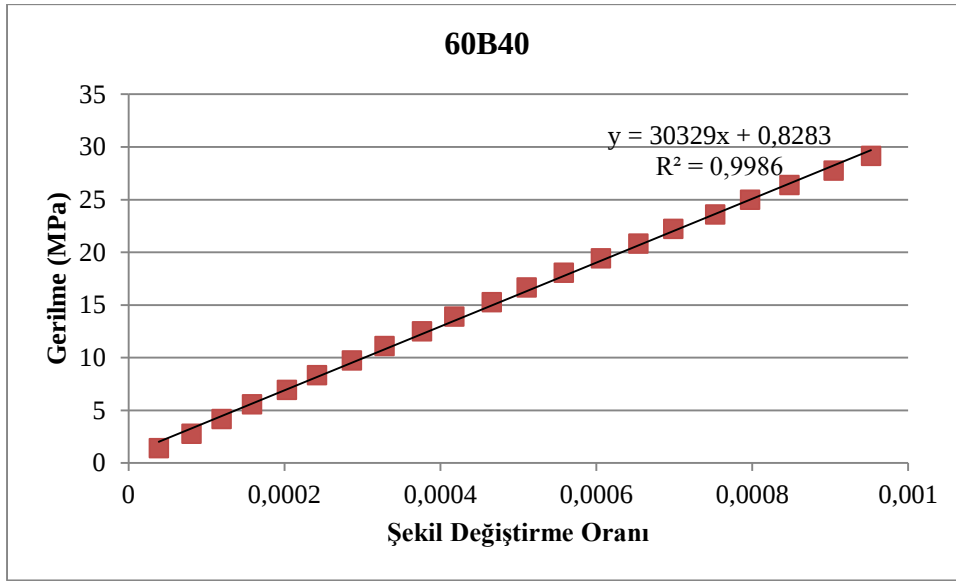
Şekil F. 40 : 70B30 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.



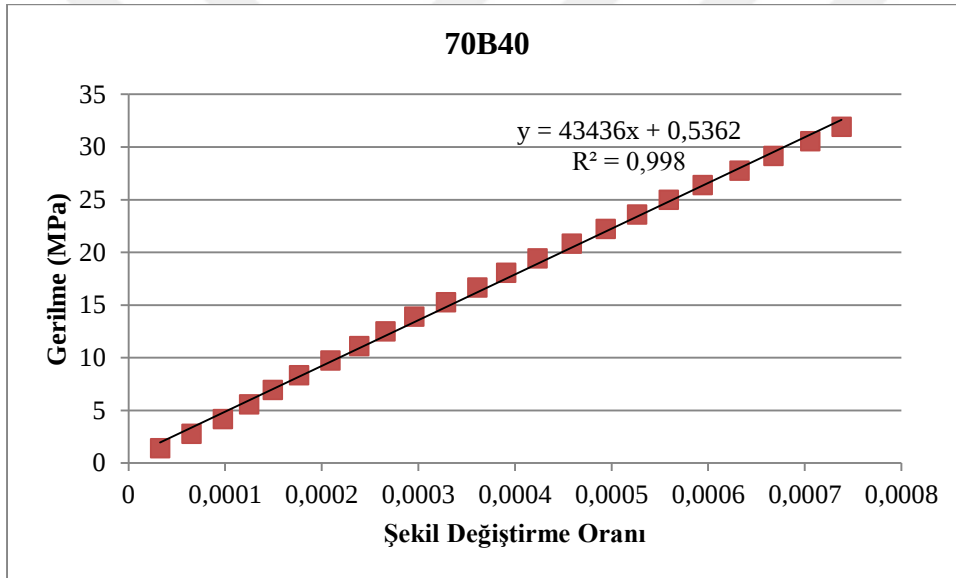
Şekil F. 41 : 20B40 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.



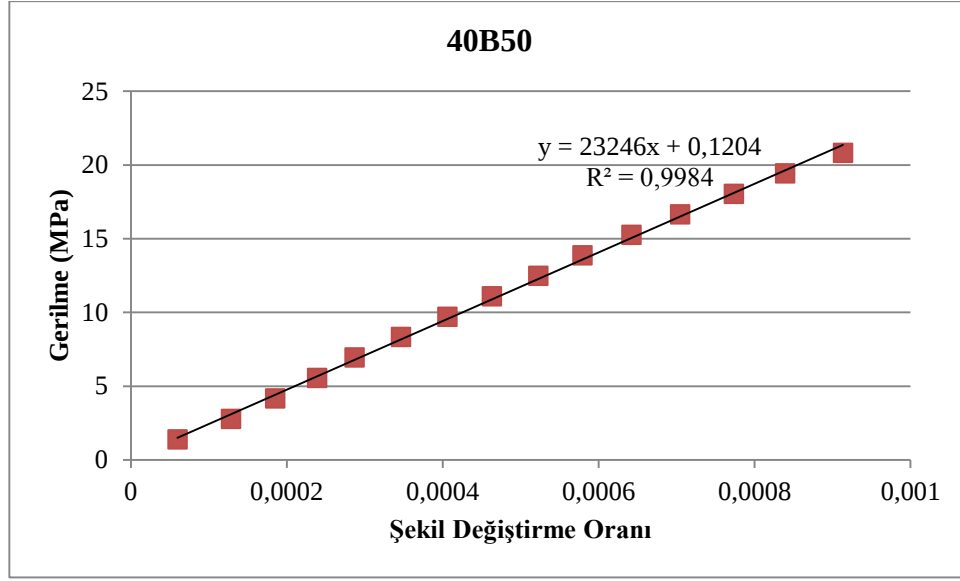
Şekil F. 42 : 40B40 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.



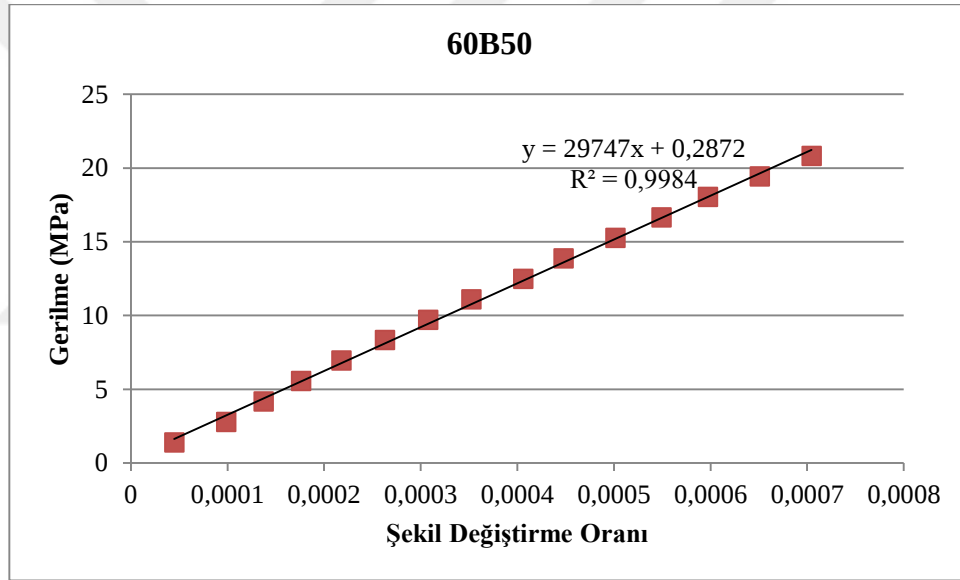
Şekil F. 43 : 60B40 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.



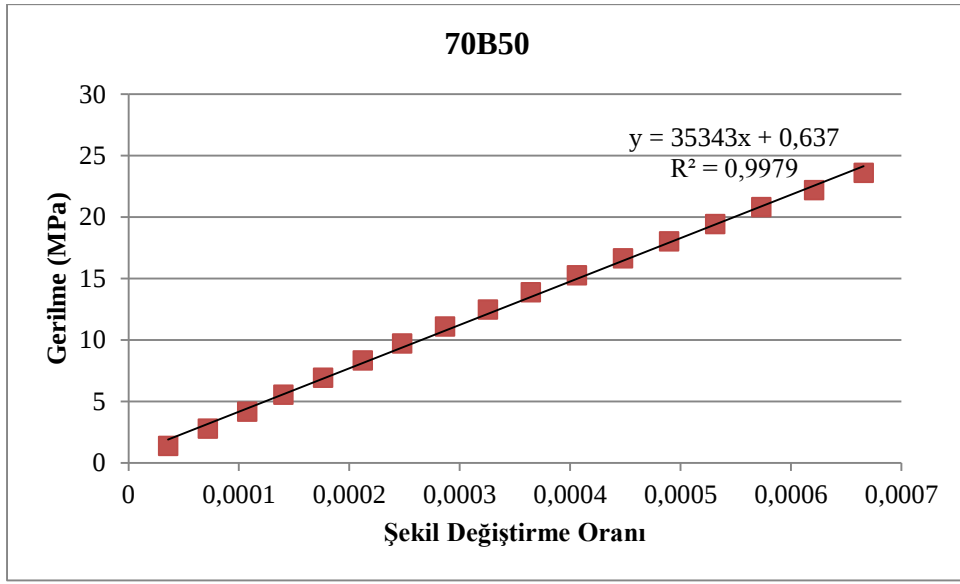
Şekil F. 44 : 70B40 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.



Şekil F. 45 : 40B50 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.

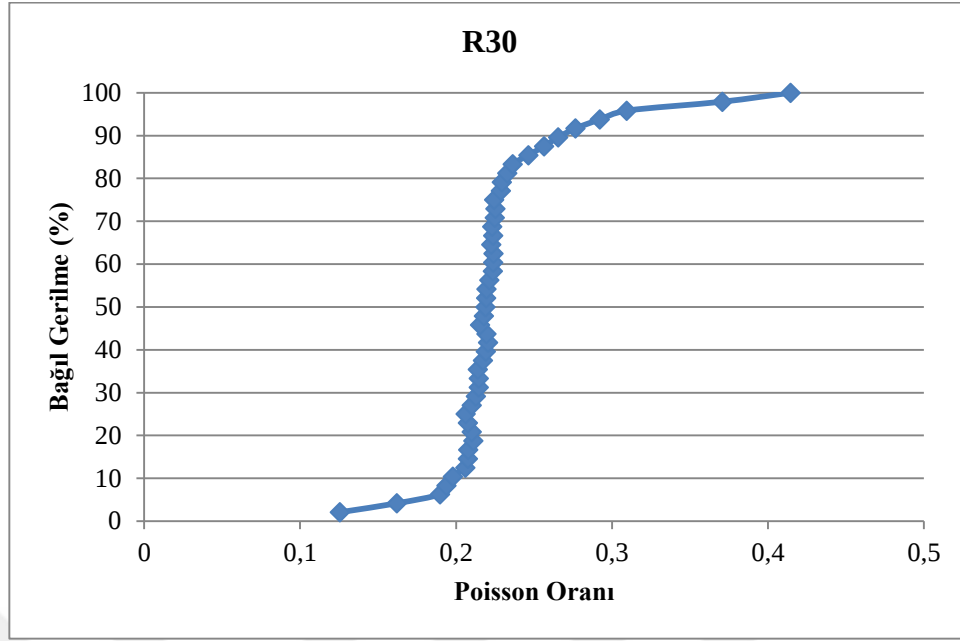


Şekil F. 46 : 60B50 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.

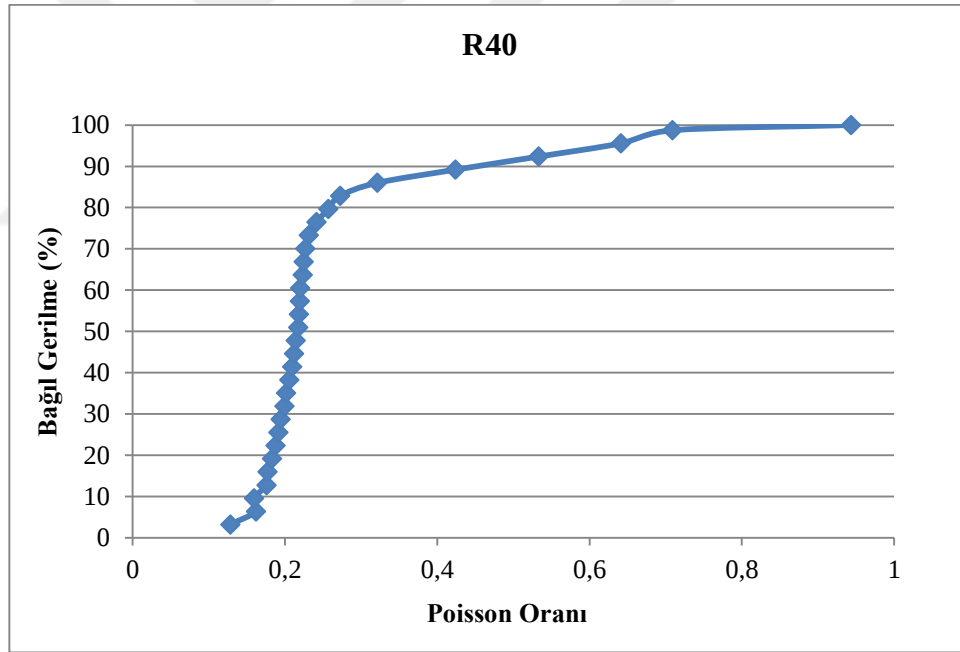


Şekil F. 47 : 70B50 Karışımı Elastisite Modülü Tespiti.

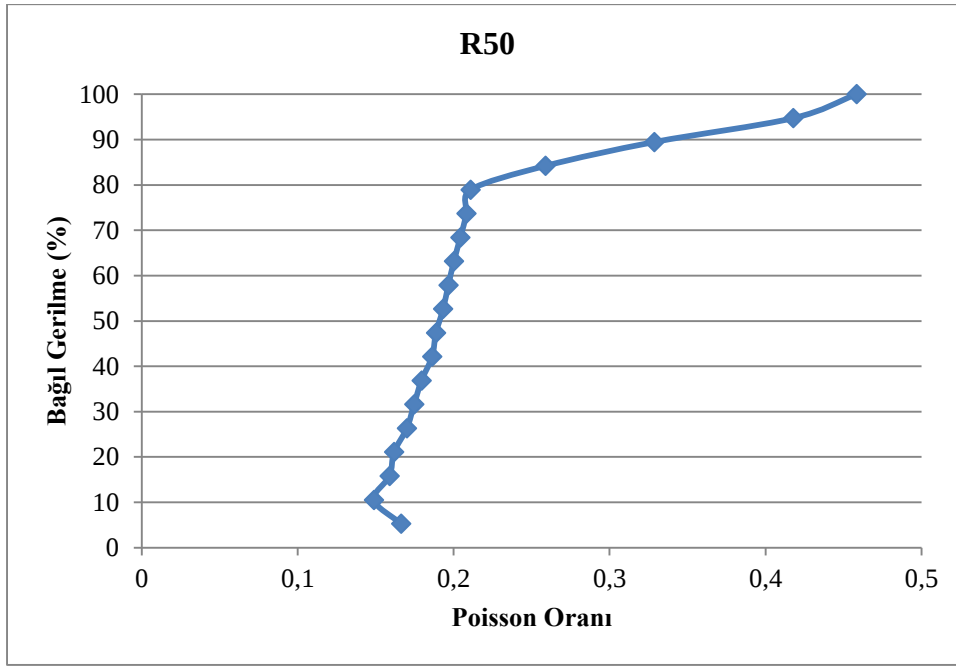
EK G



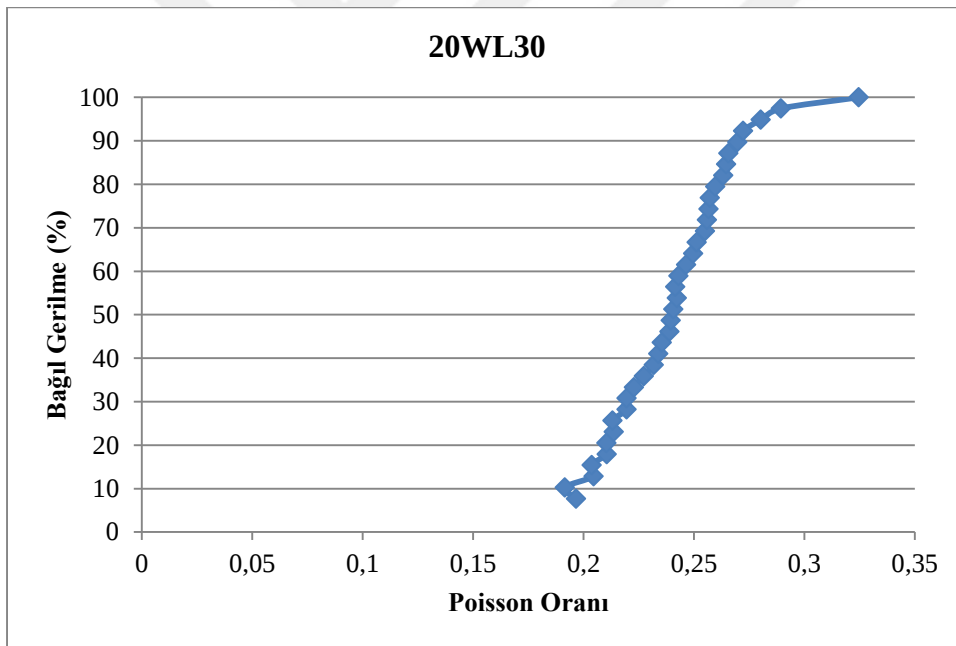
Şekil G. 1 : R30 karışımı bağlı gerilme-Poisson oranı grafiği.



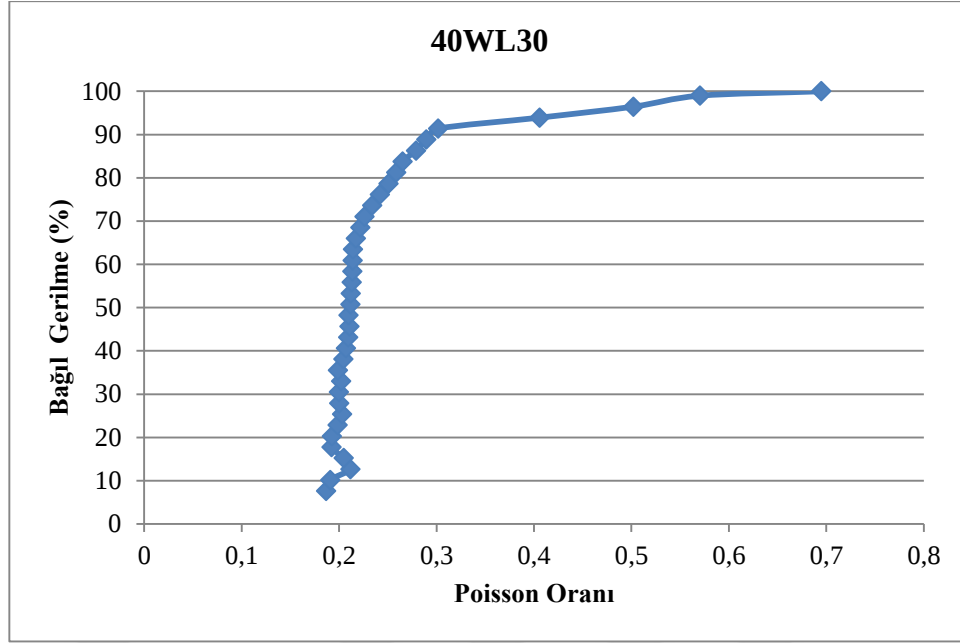
Şekil G. 2 : R40 karışımı bağlı gerilme-Poisson oranı grafiği.



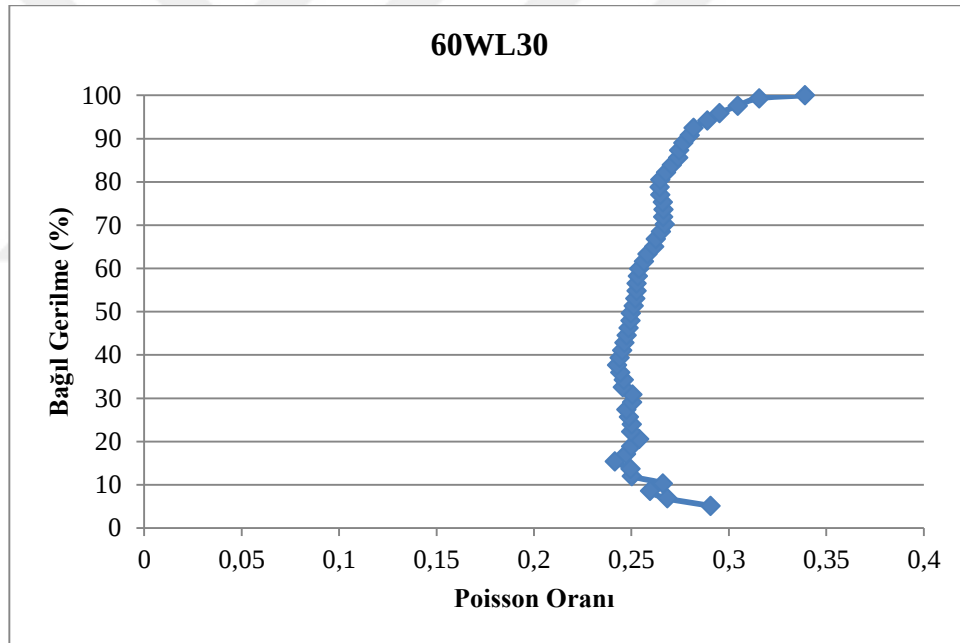
Şekil G. 3 : R50 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.



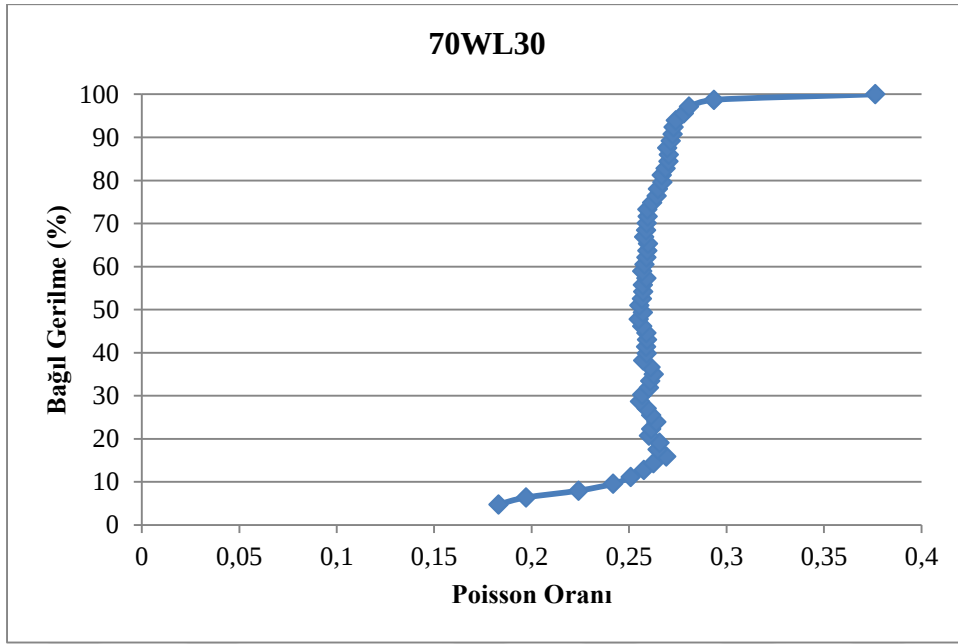
Şekil G. 4 : 20WL30 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.



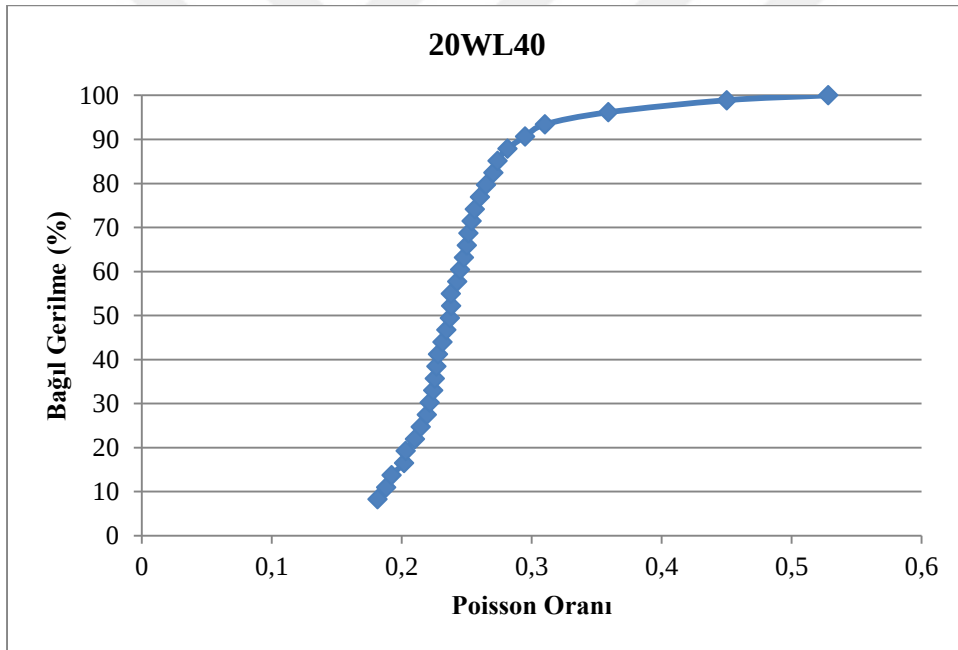
Şekil G. 5 : 40WL30 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.



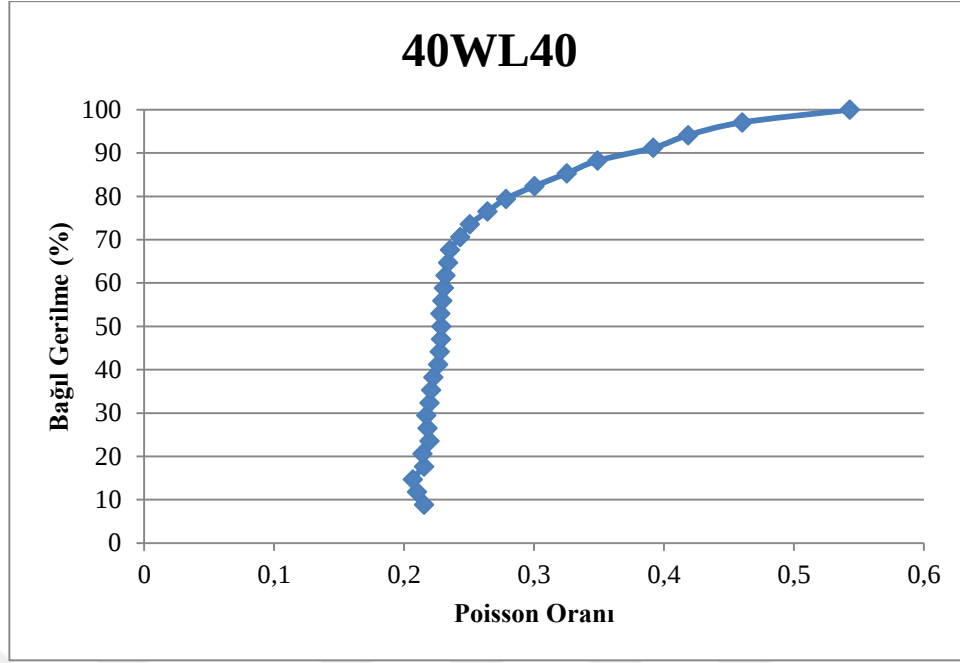
Şekil G. 6 : 60WL30 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.



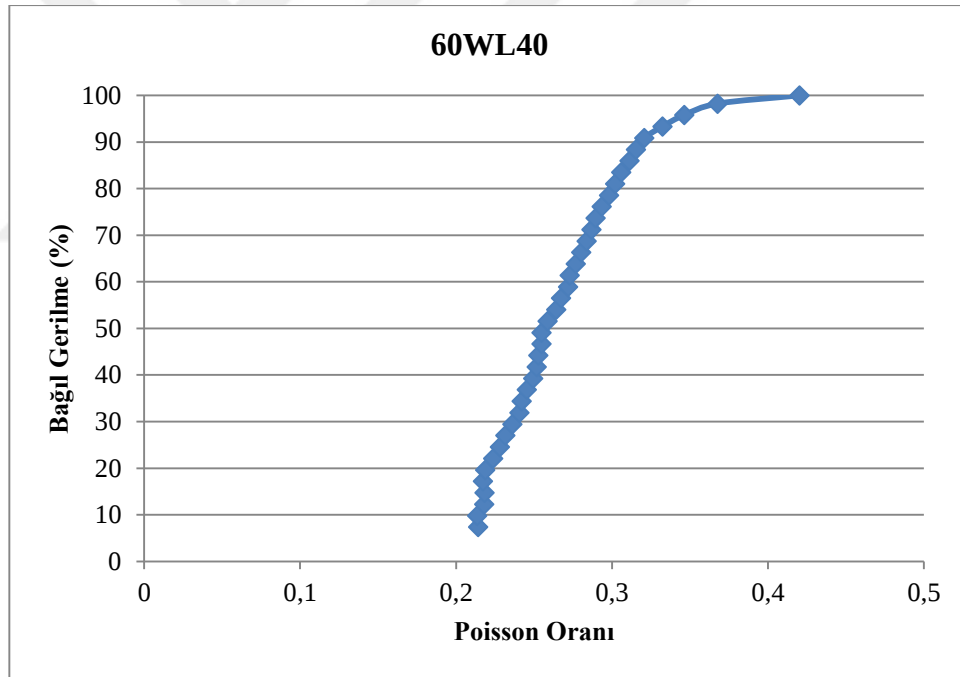
Şekil G. 7 : 70WL30 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.



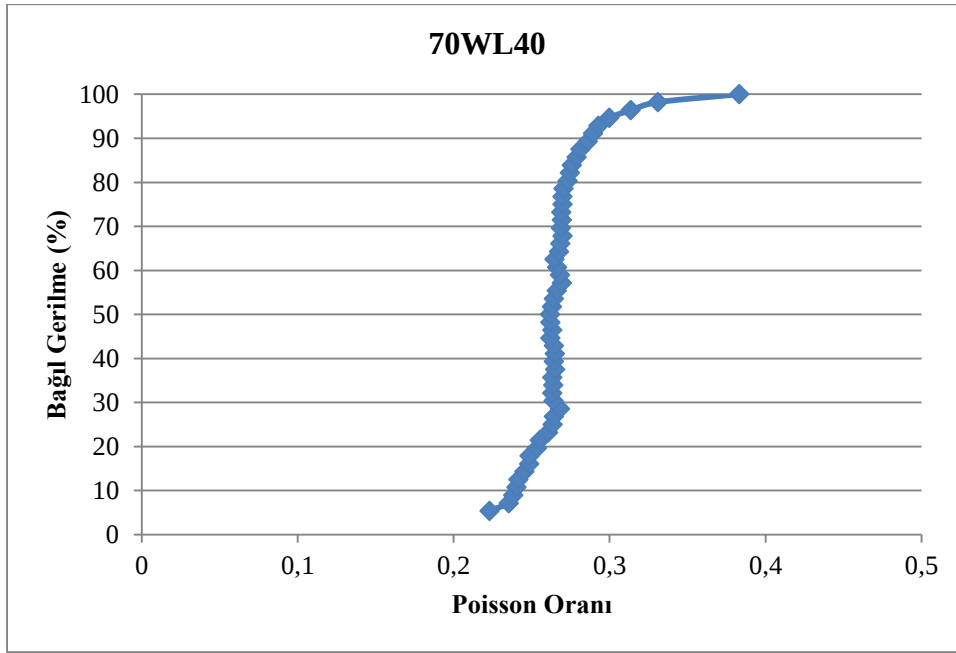
Şekil G. 8 : 20WL40 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.



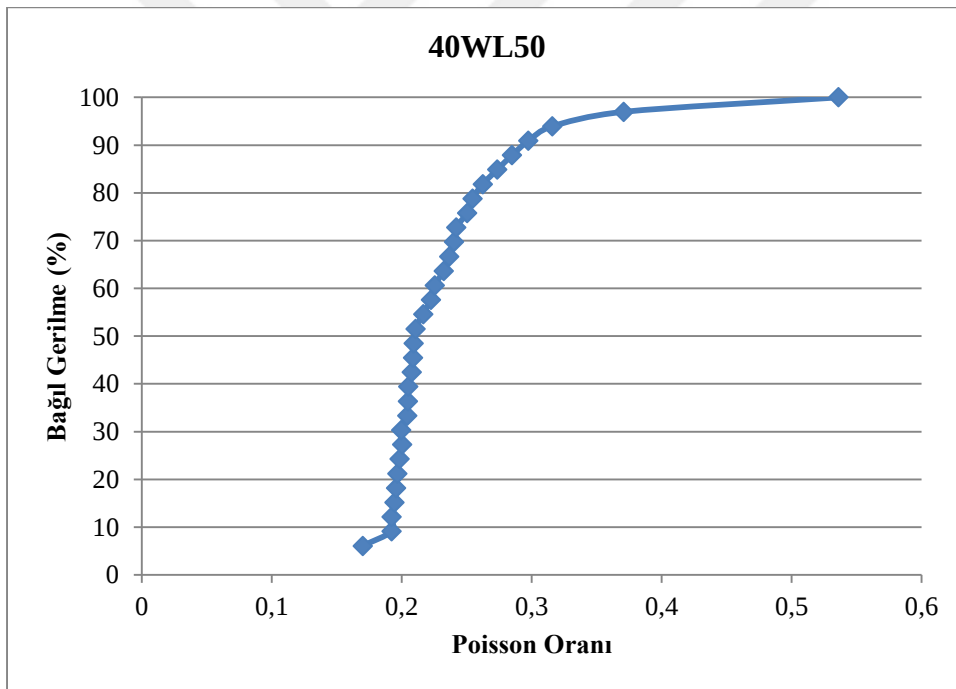
Şekil G. 9 : 40WL40 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.



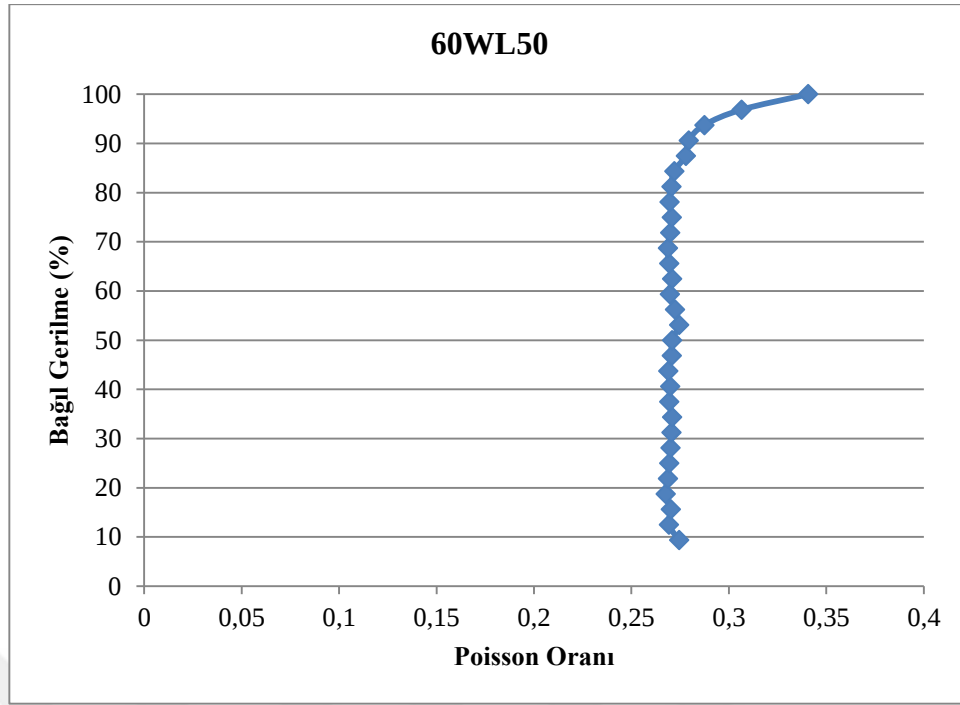
Şekil G. 10 : 60WL40 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.



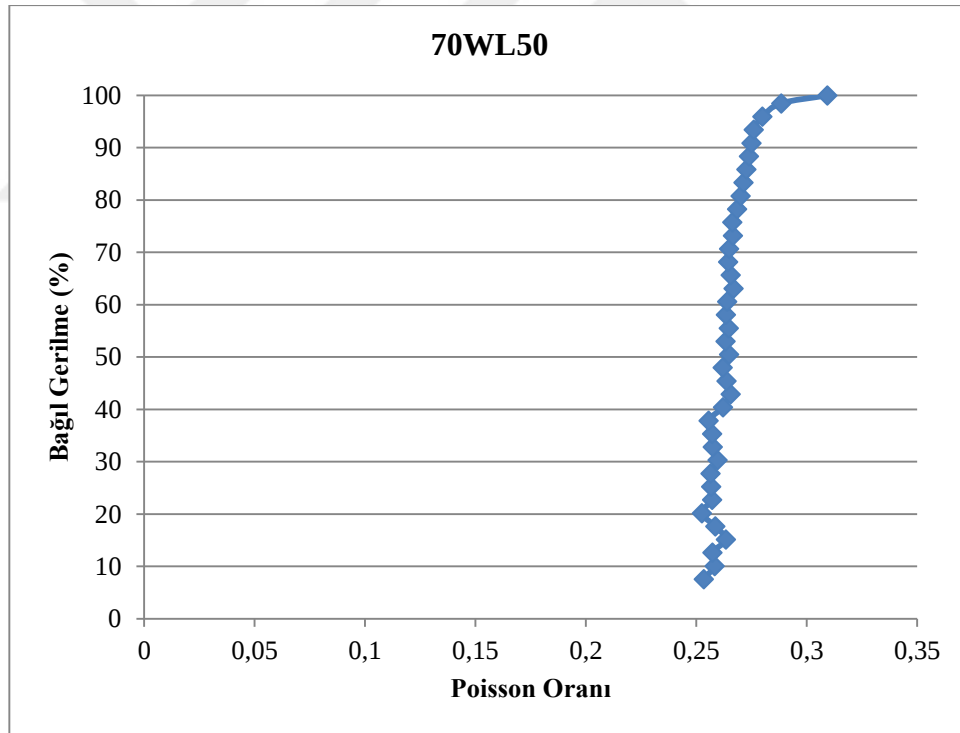
Şekil G. 11 : 70WL40 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.



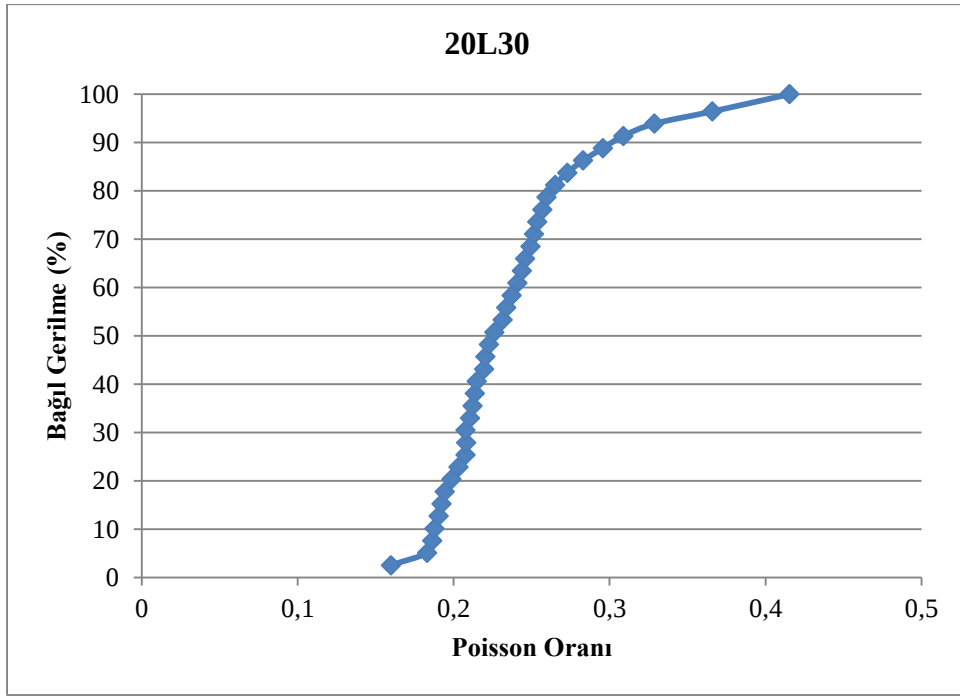
Şekil G. 12 : 40WL50 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.



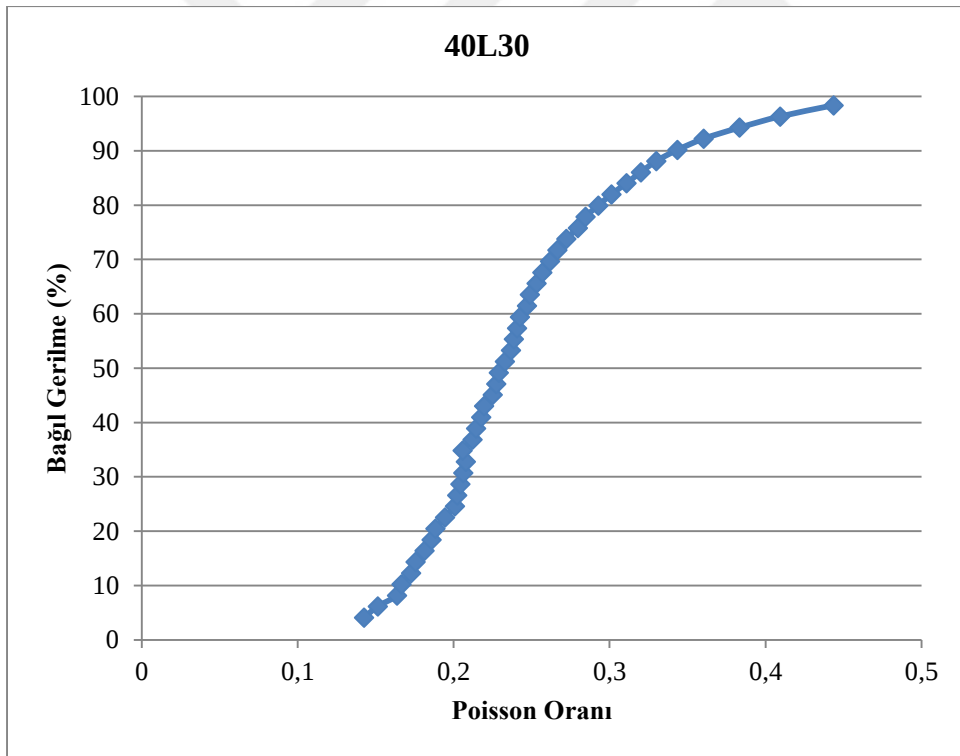
Şekil G. 13 : 60WL50 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.



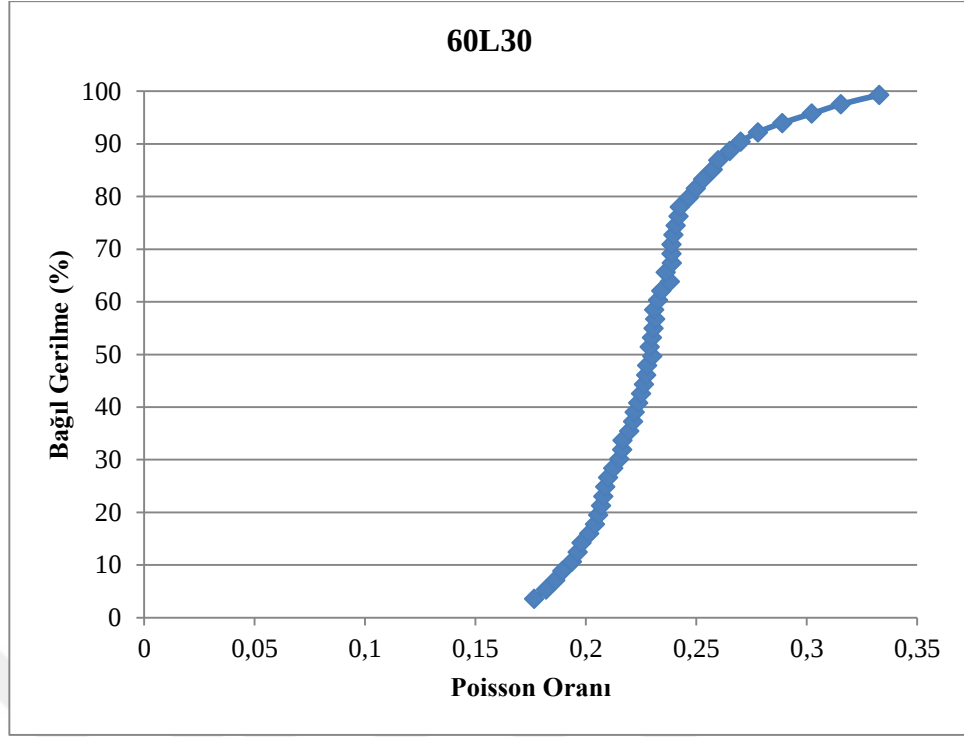
Şekil G. 14 : 70WL50 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.



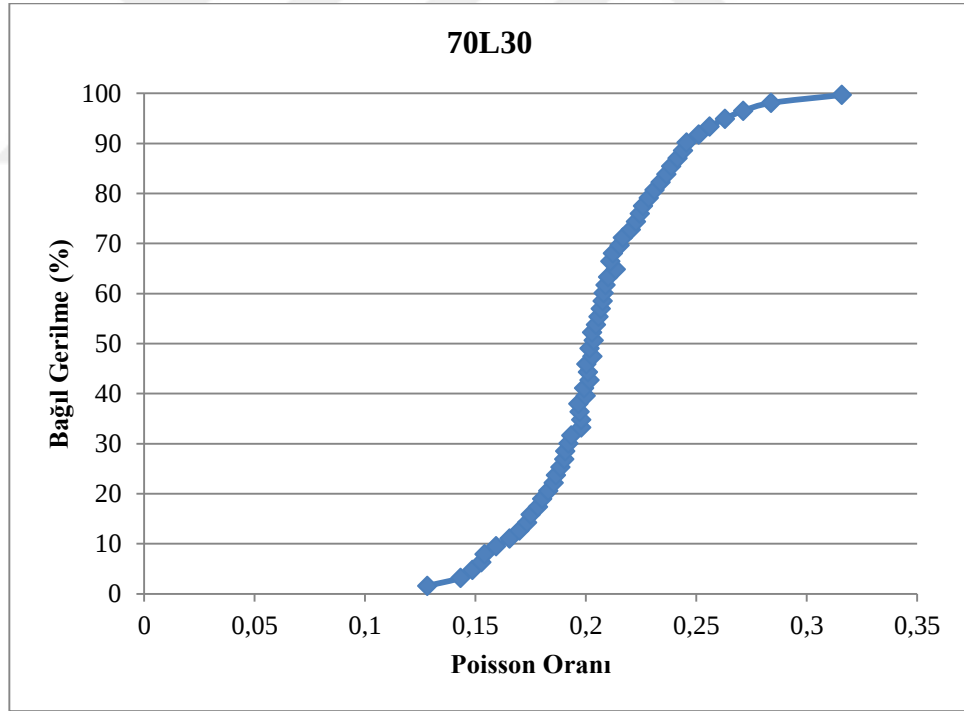
Şekil G. 15 : 20L30 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.



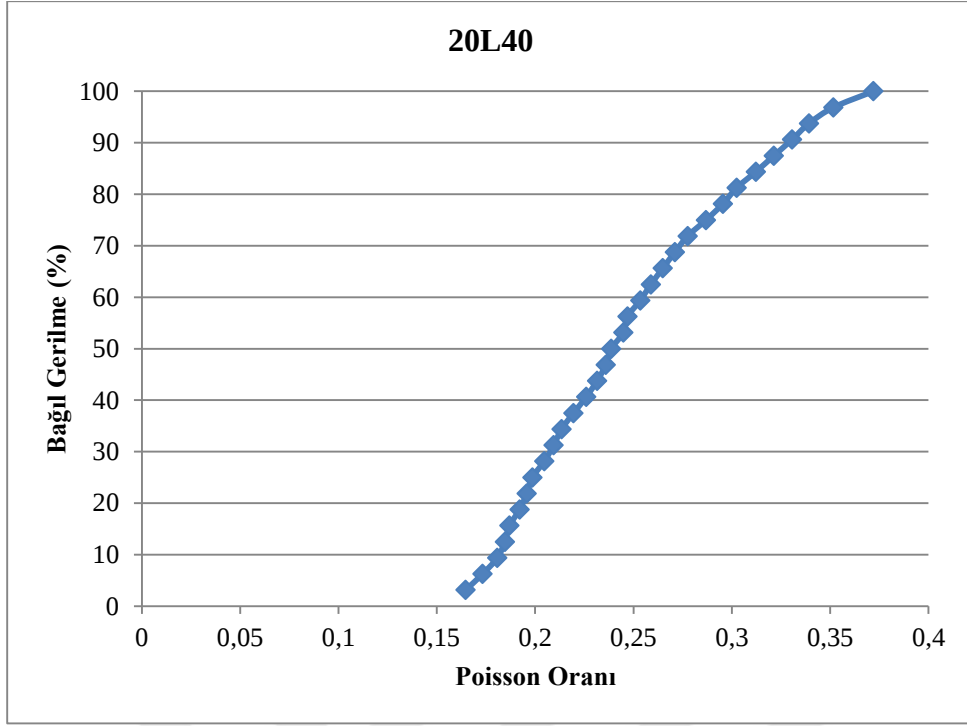
Şekil G. 16 : 40L30 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.



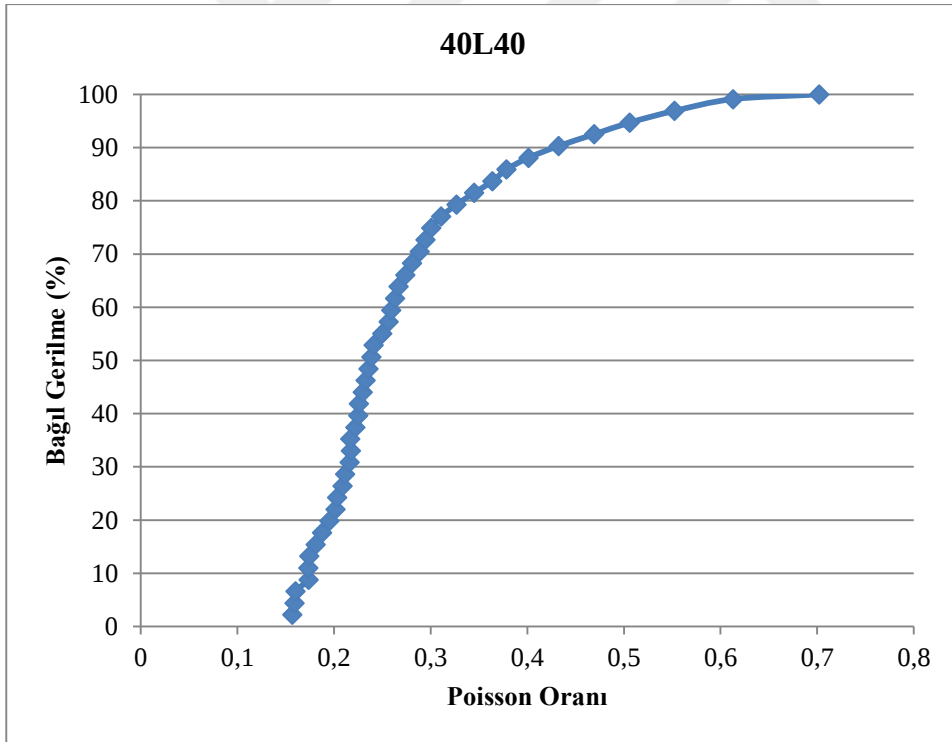
Şekil G. 17 : 60L30 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.



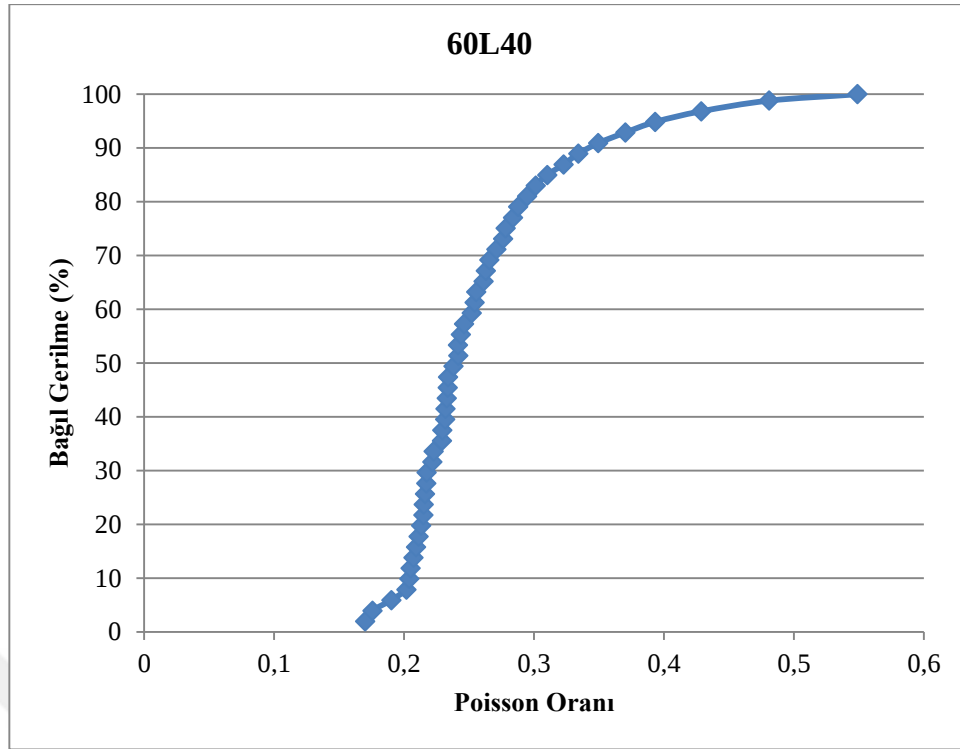
Şekil G. 18 : 70L30 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.



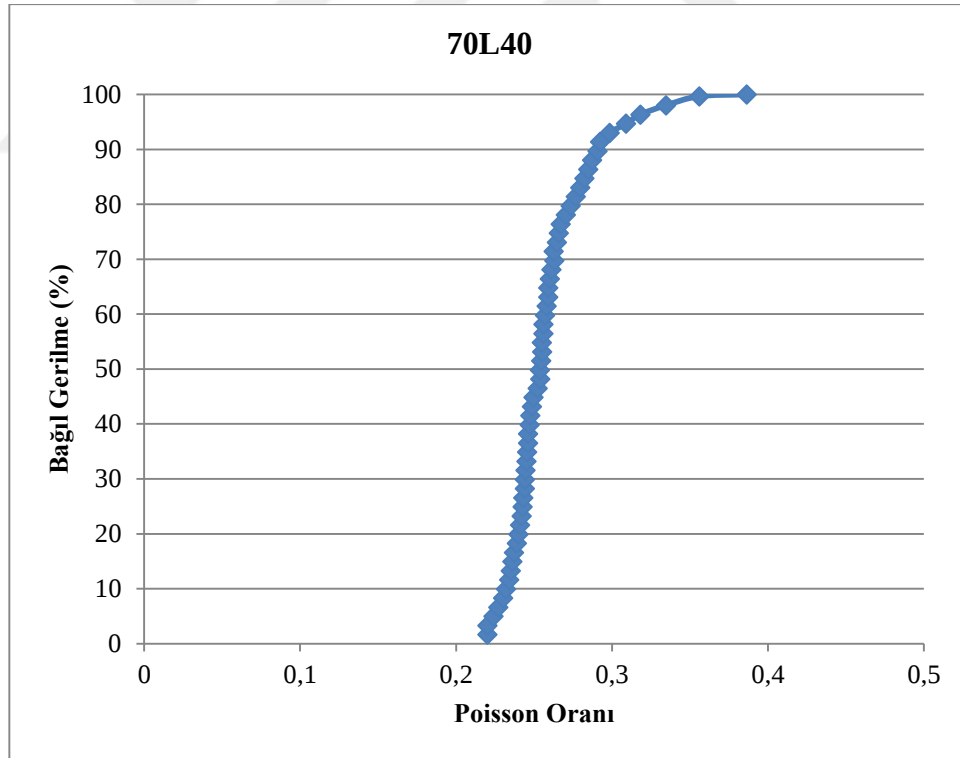
Şekil G. 19 : 20L40 karışımı bağlı gerilme-Poisson oranı grafiği.



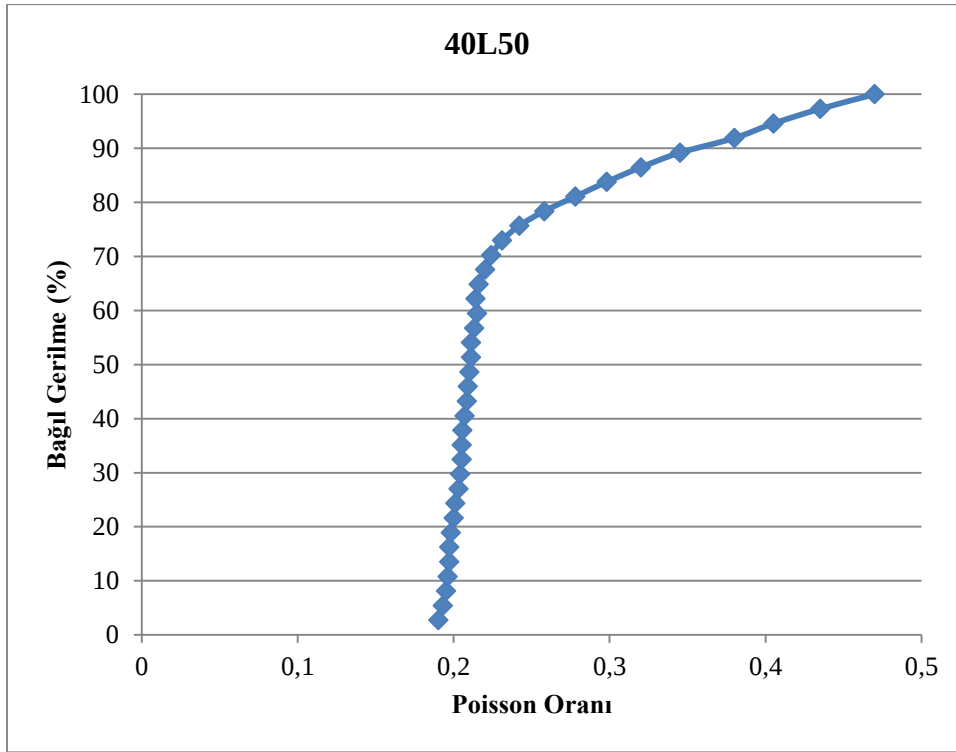
Şekil G. 20 : 40L40 karışımı bağlı gerilme-Poisson oranı grafiği.



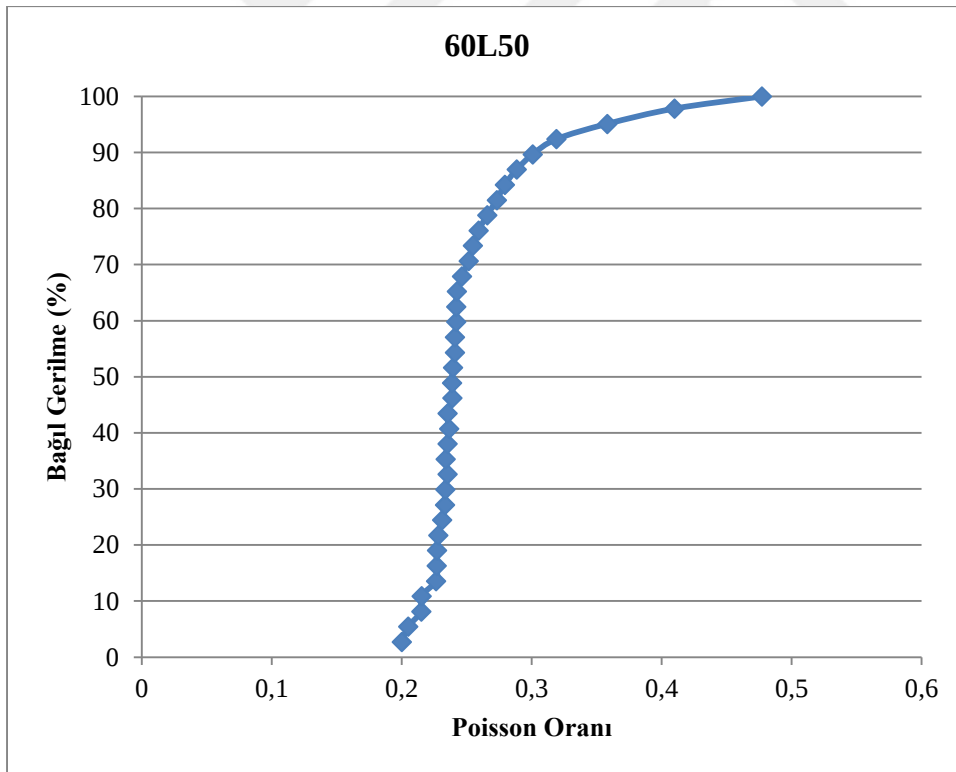
Şekil G. 21 : 60L40 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.



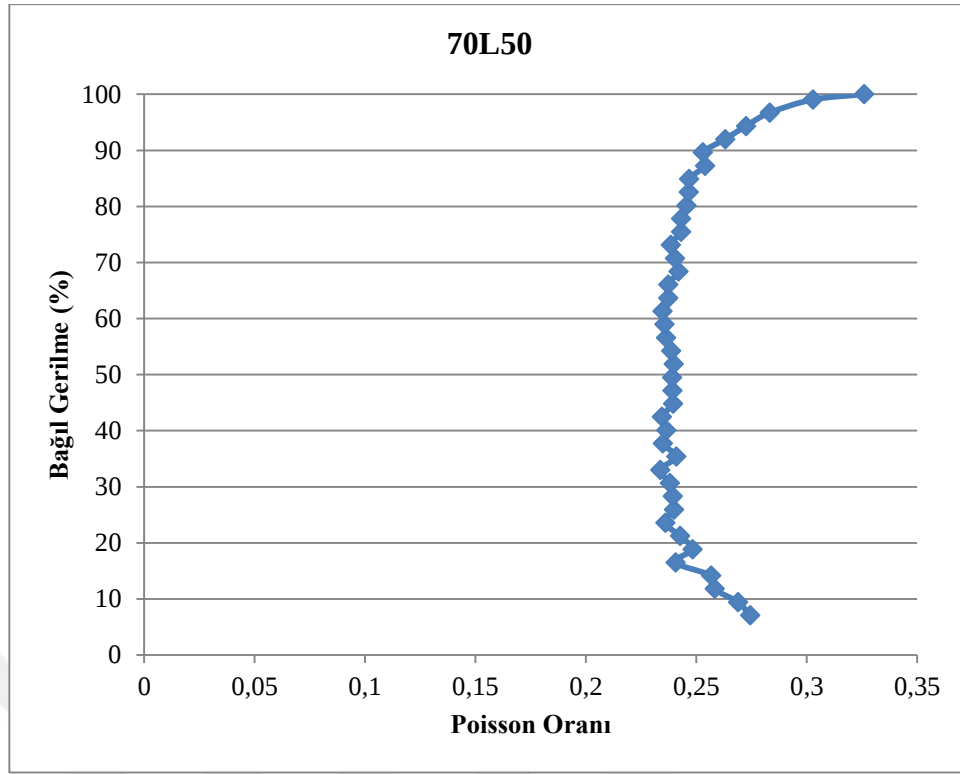
Şekil G. 22 : 70L40 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.



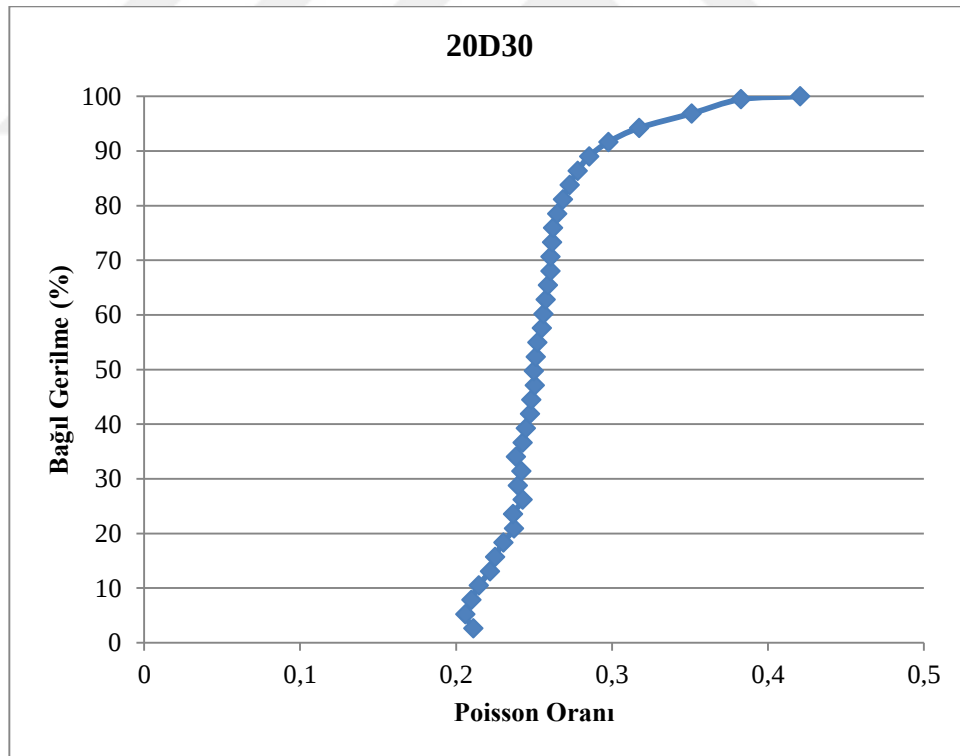
Şekil G. 23 : 40L50 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.



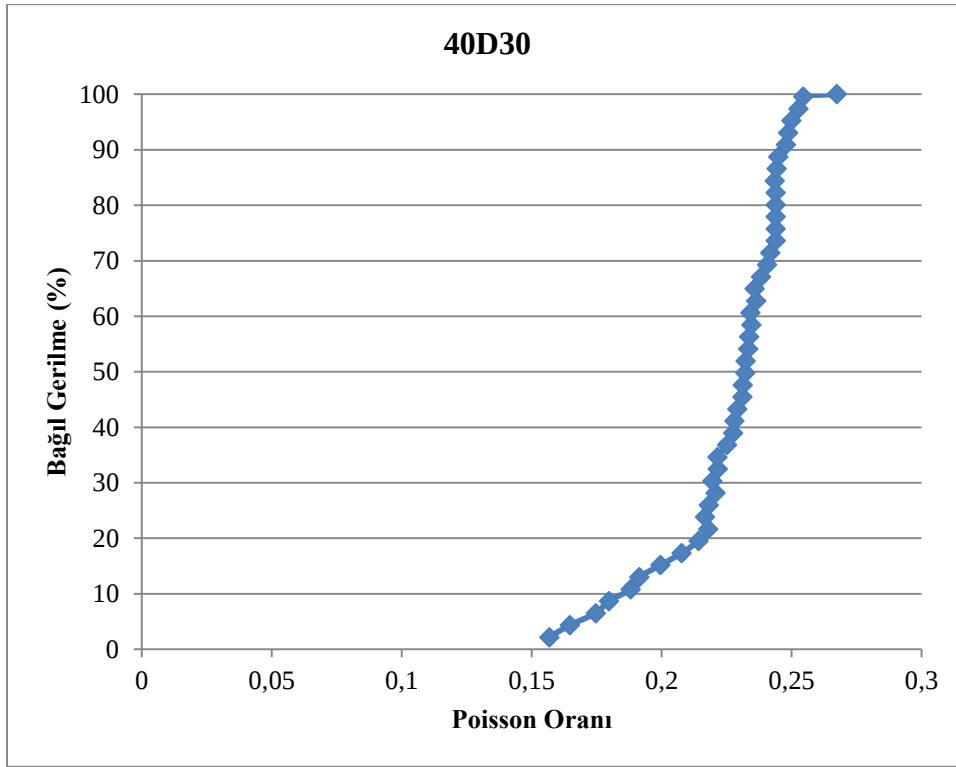
Şekil G. 24 : 60L50 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.



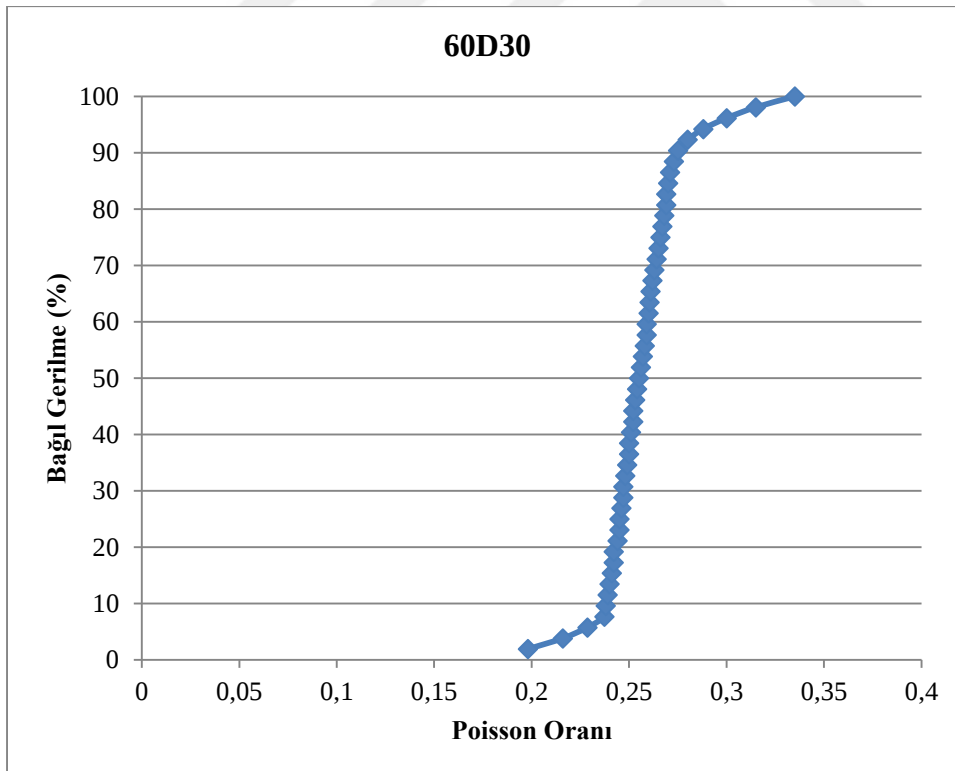
Şekil G. 25 : 70L50 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.



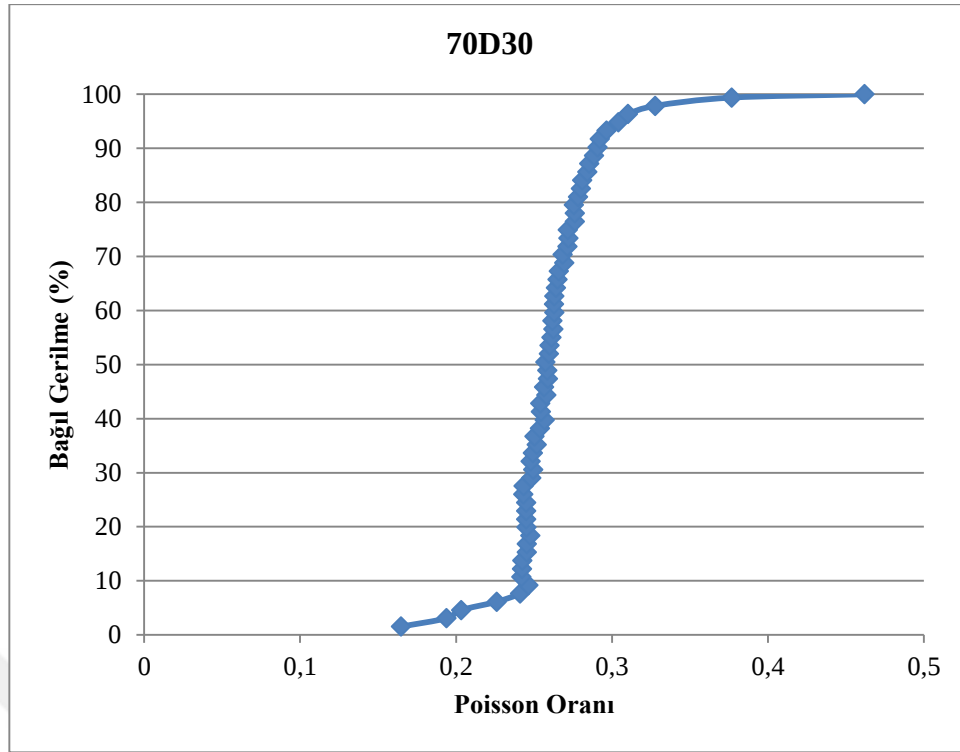
Şekil G. 26 : 20D30 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.



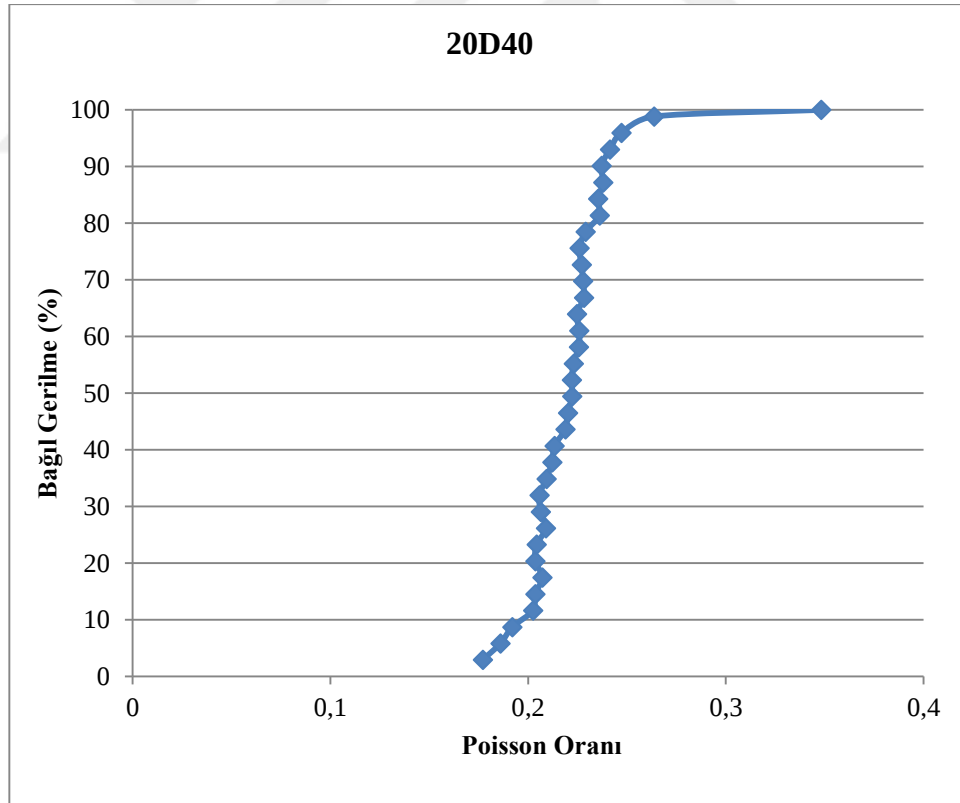
Şekil G. 27 : 40D30 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.



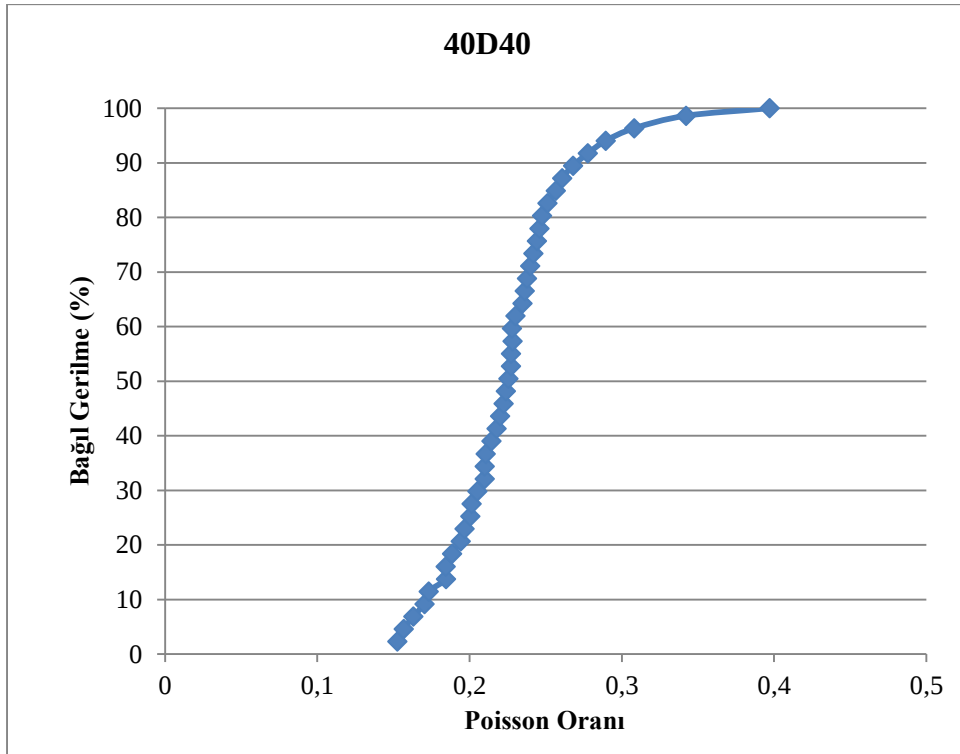
Şekil G. 28 : 60D30 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.



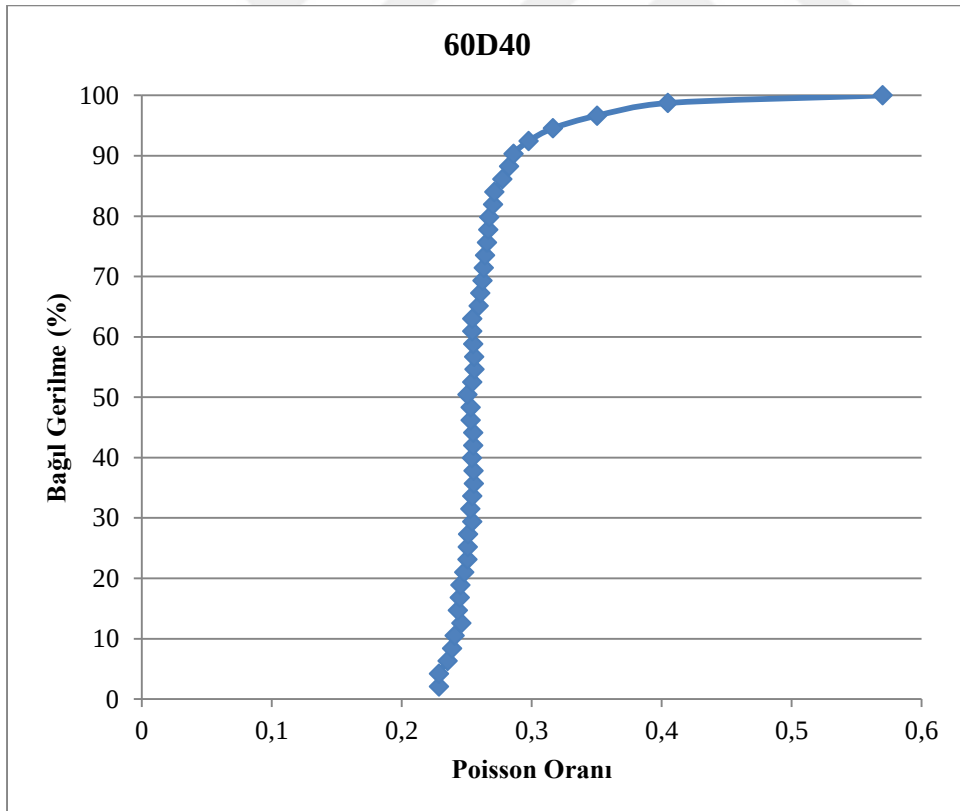
Şekil G. 29 : 70D30 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.



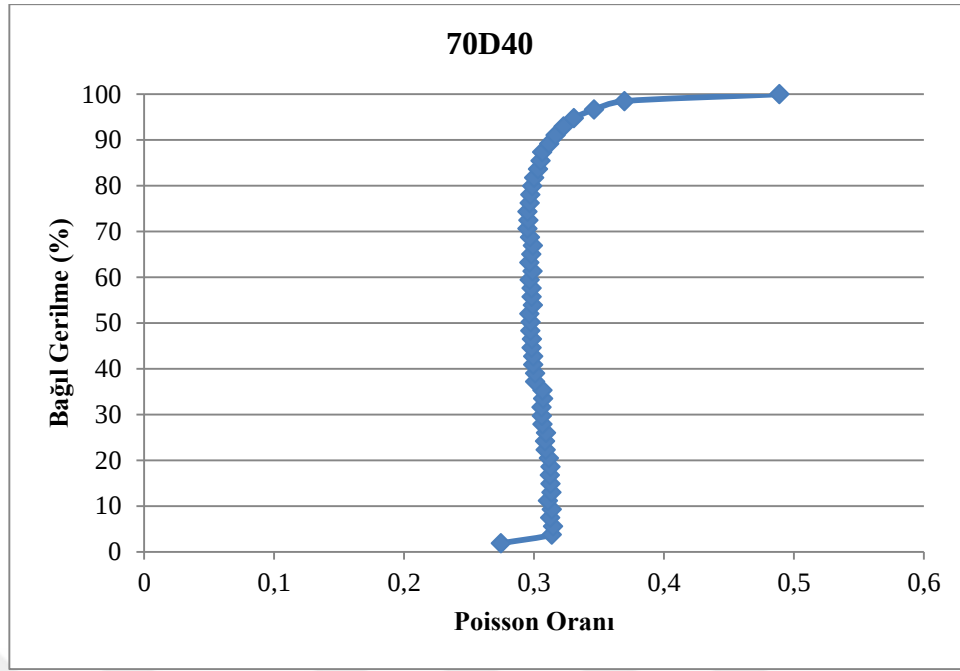
Şekil G. 30 : 20D40 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.



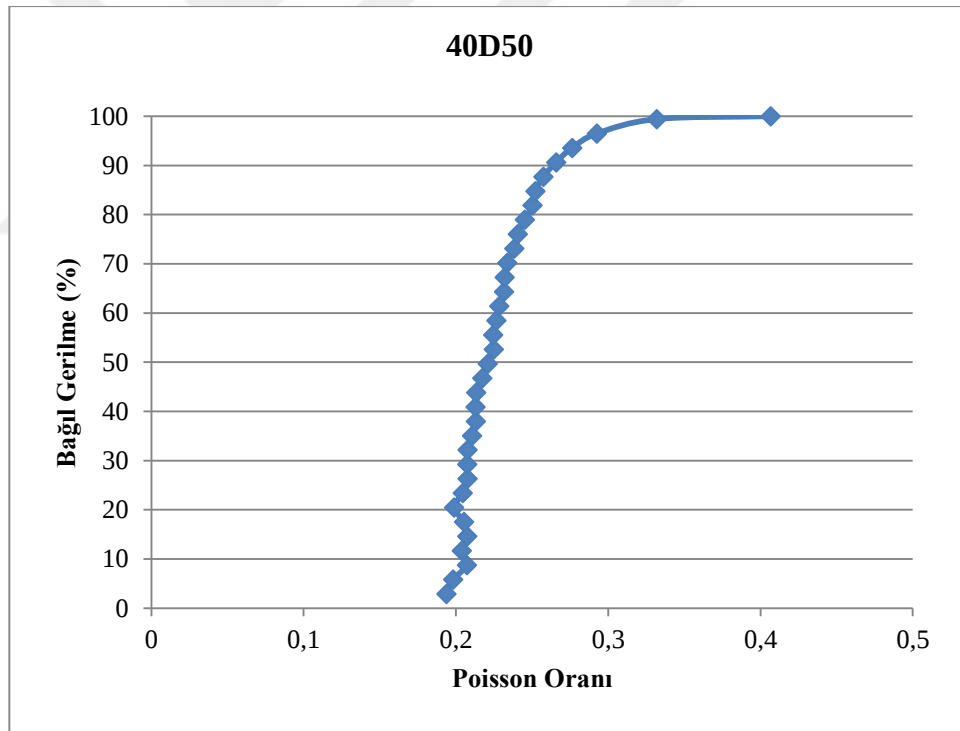
Şekil G. 31 : 40D40 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.



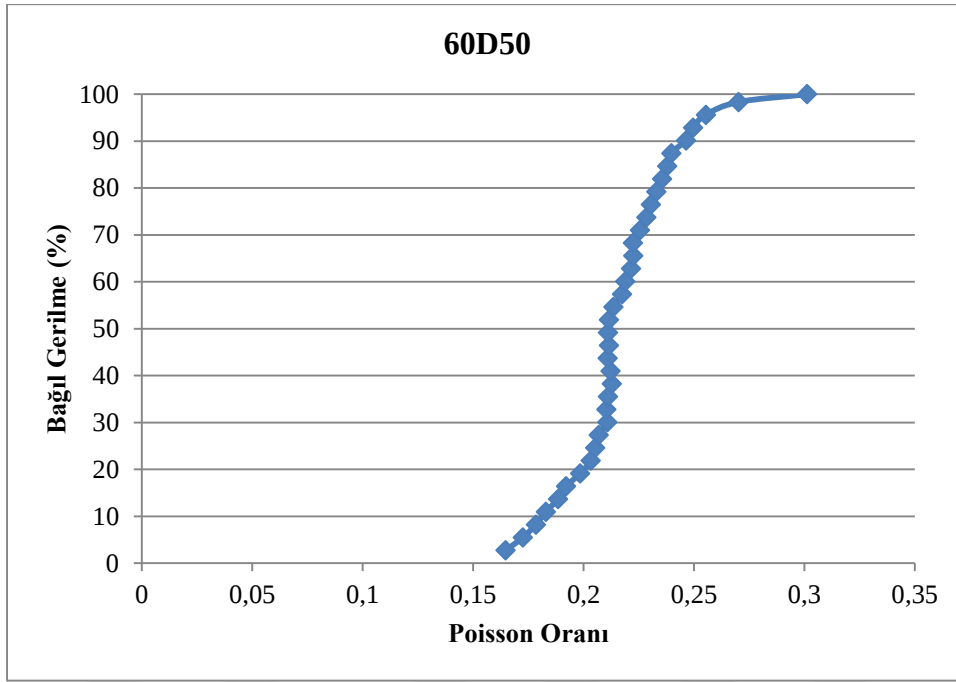
Şekil G. 32 : 60D40 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.



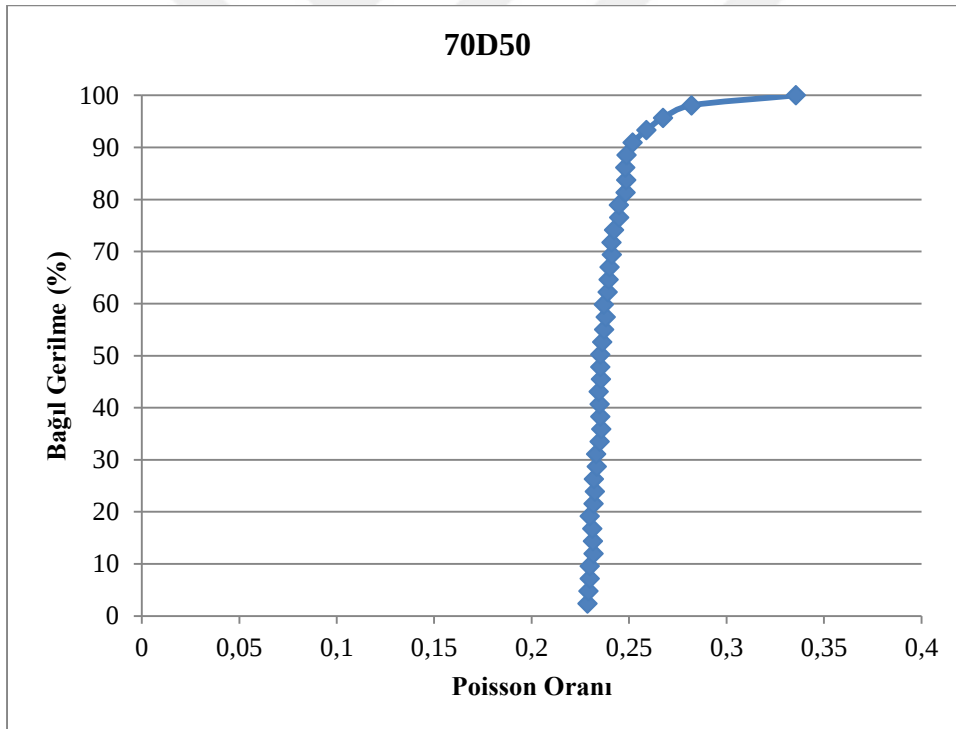
Şekil G. 33 : 70D40 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.



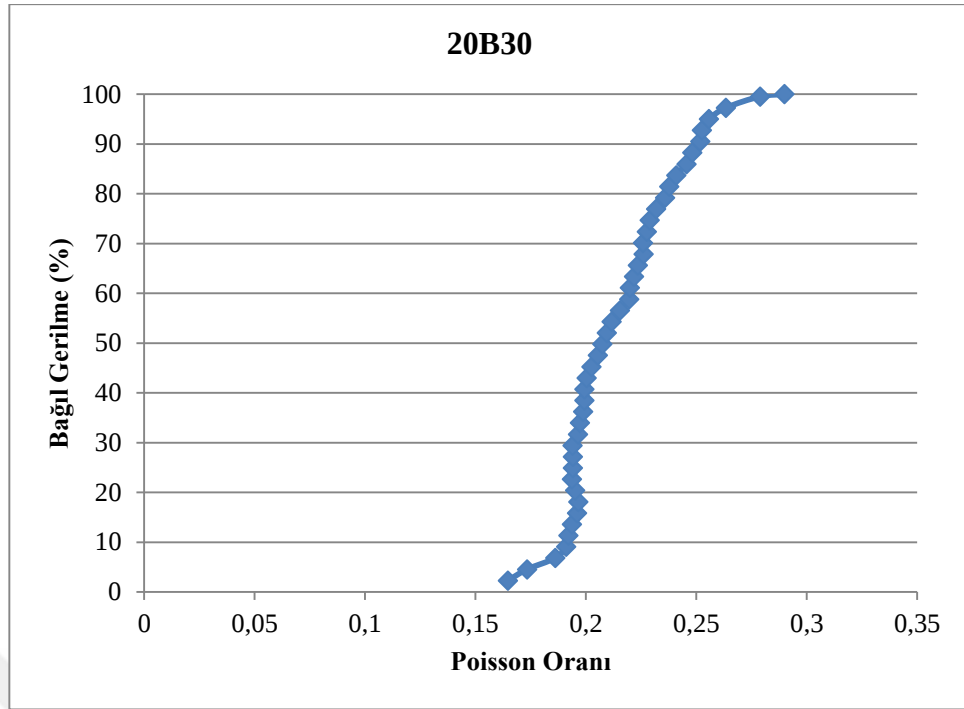
Şekil G. 34 : 40D50 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.



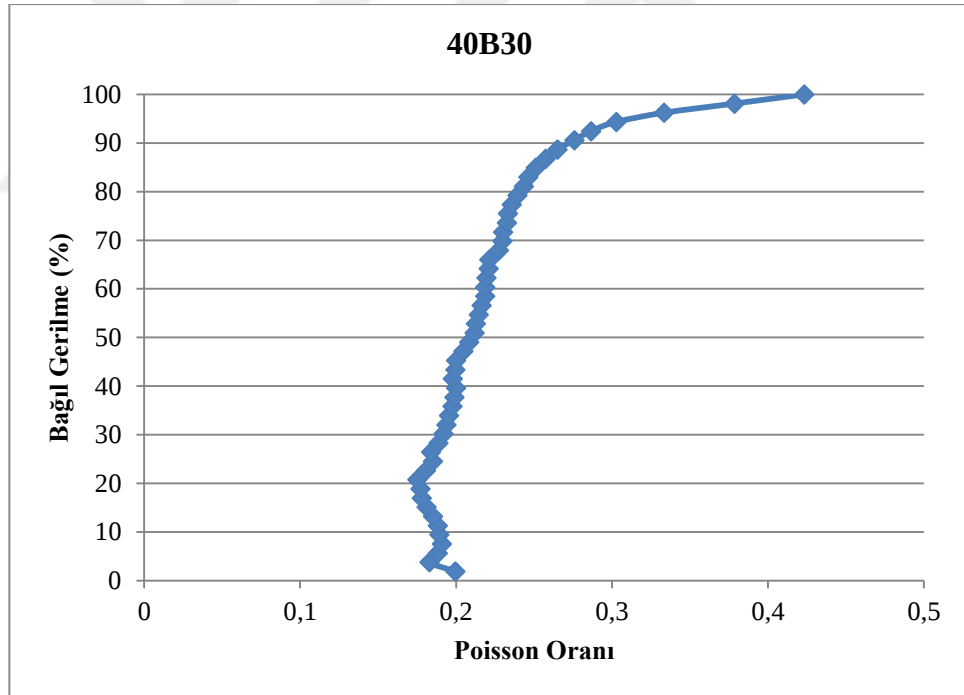
Şekil G. 35 : 60D50 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.



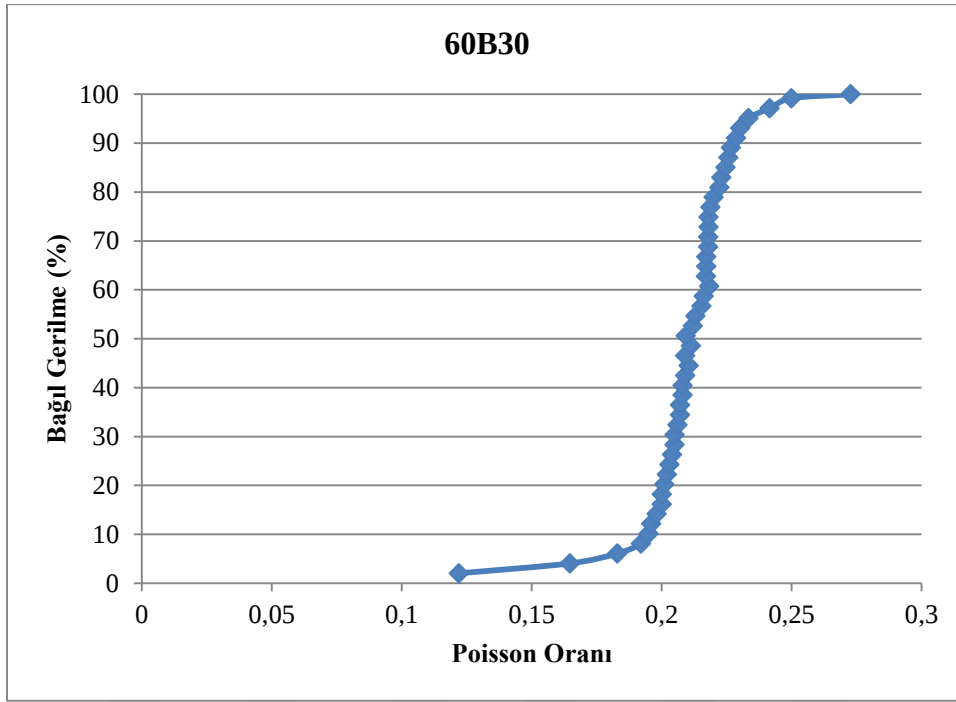
Şekil G. 36 : 70D50 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.



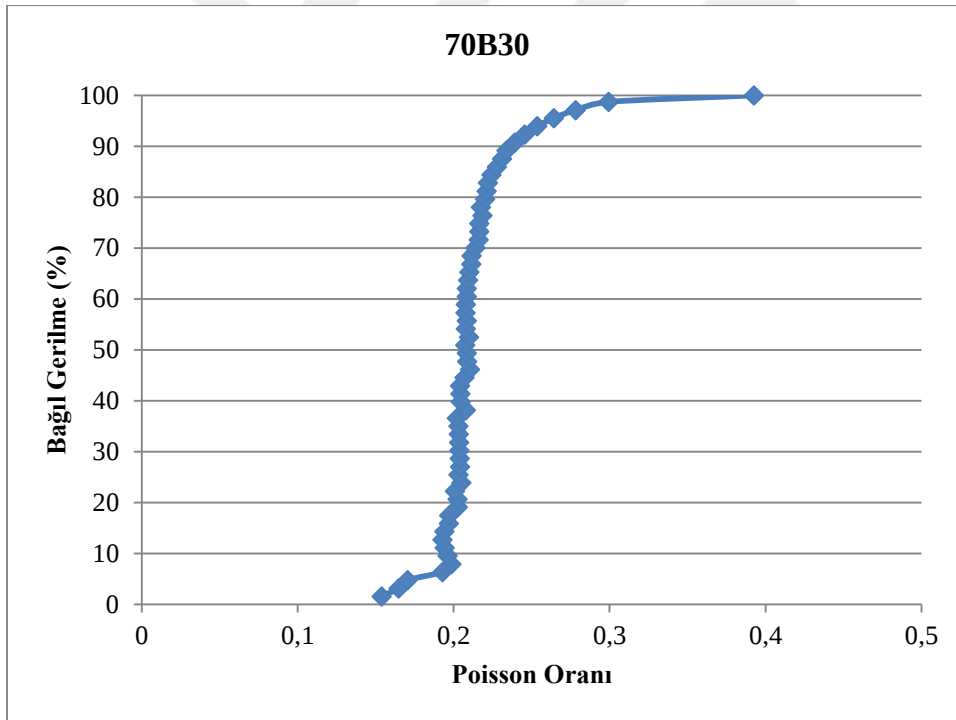
Şekil G. 37 : 20B30 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.



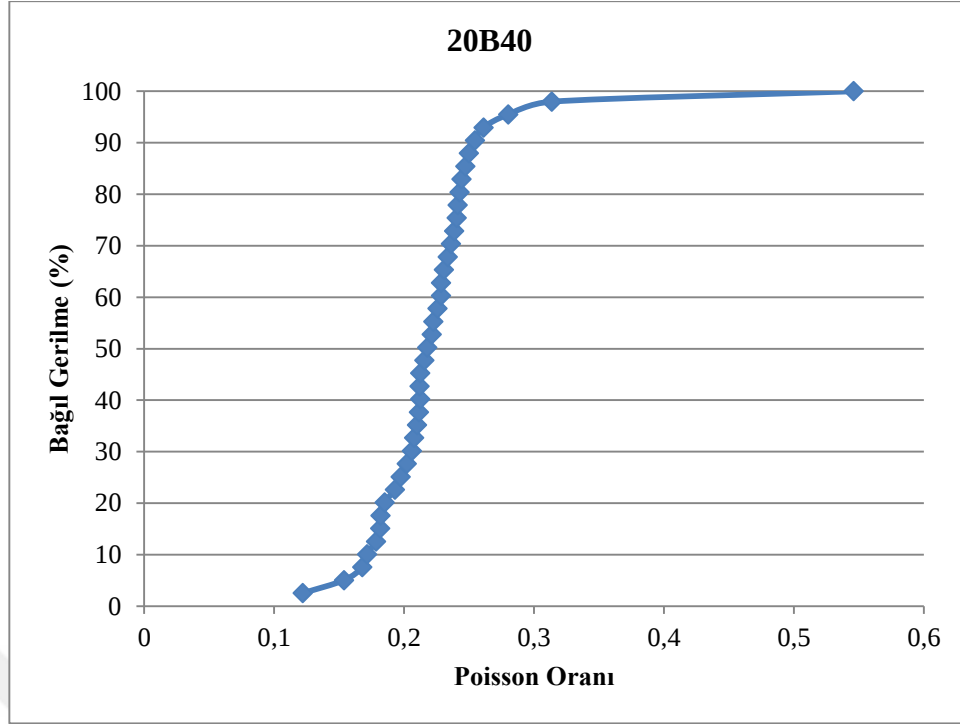
Şekil G. 38 : 40B30 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.



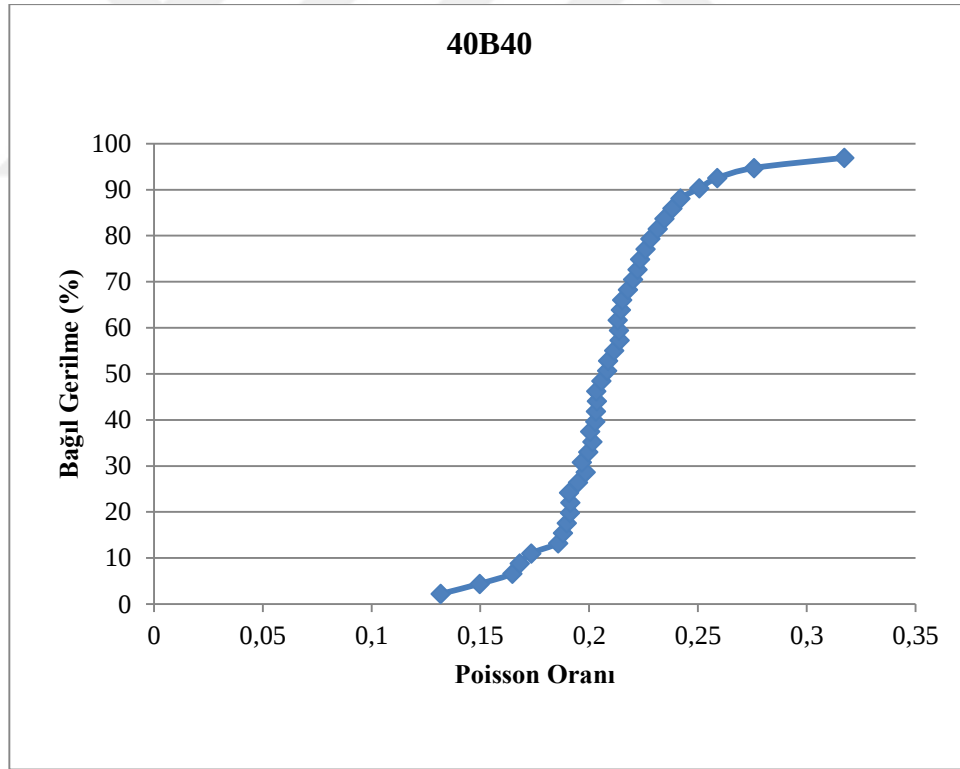
Şekil G. 39 : 60B30 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.



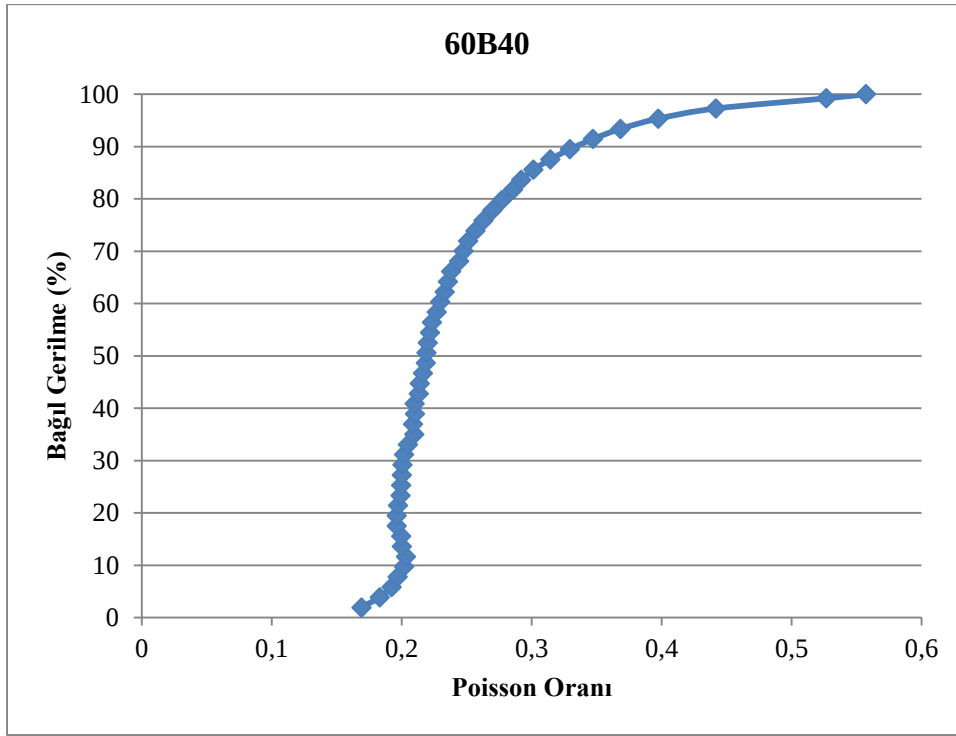
Şekil G. 40 : 70B30 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.



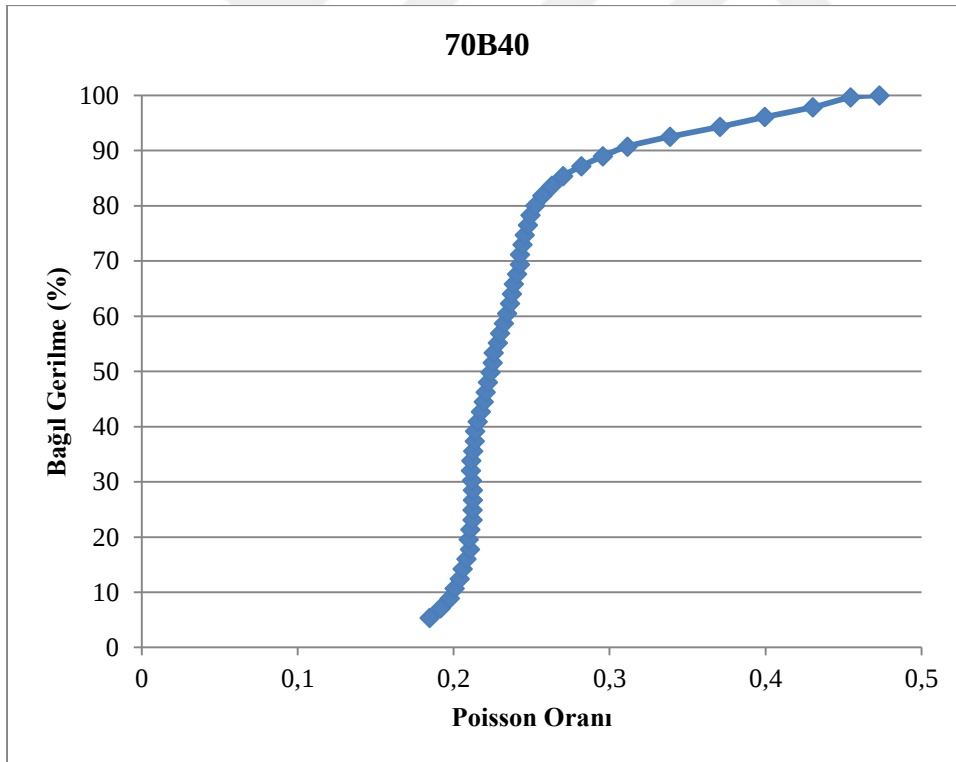
Şekil G. 41 : 20B40 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.



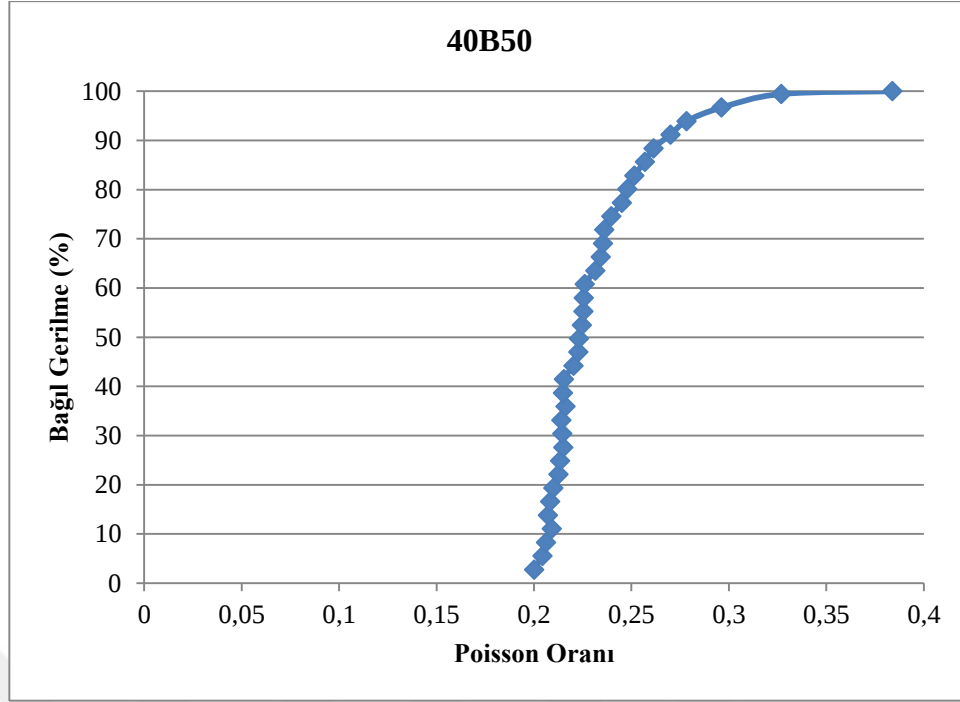
Şekil G. 42 : 40B40 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.



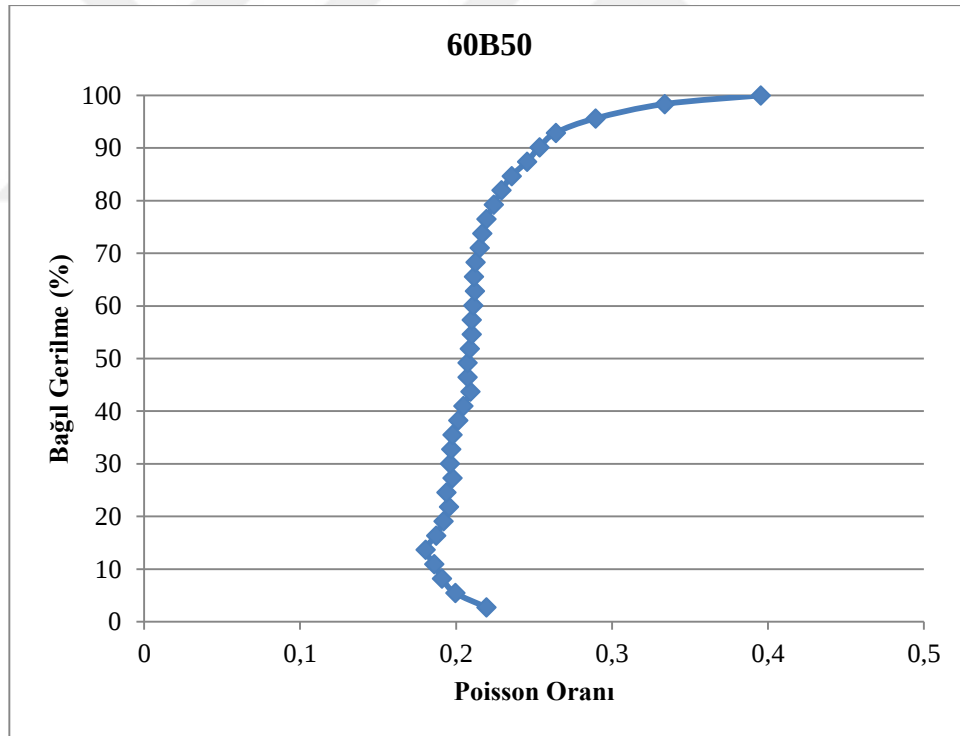
Şekil G. 43 : 60B40 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.



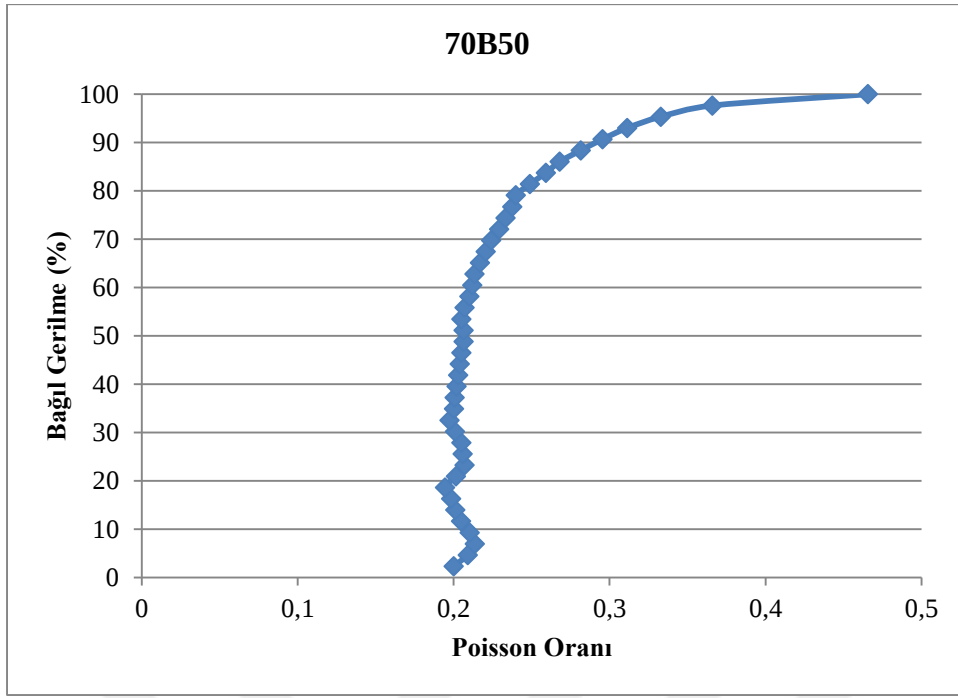
Şekil G. 44 : 70B40 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.



Şekil G. 45 : 40B50 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.

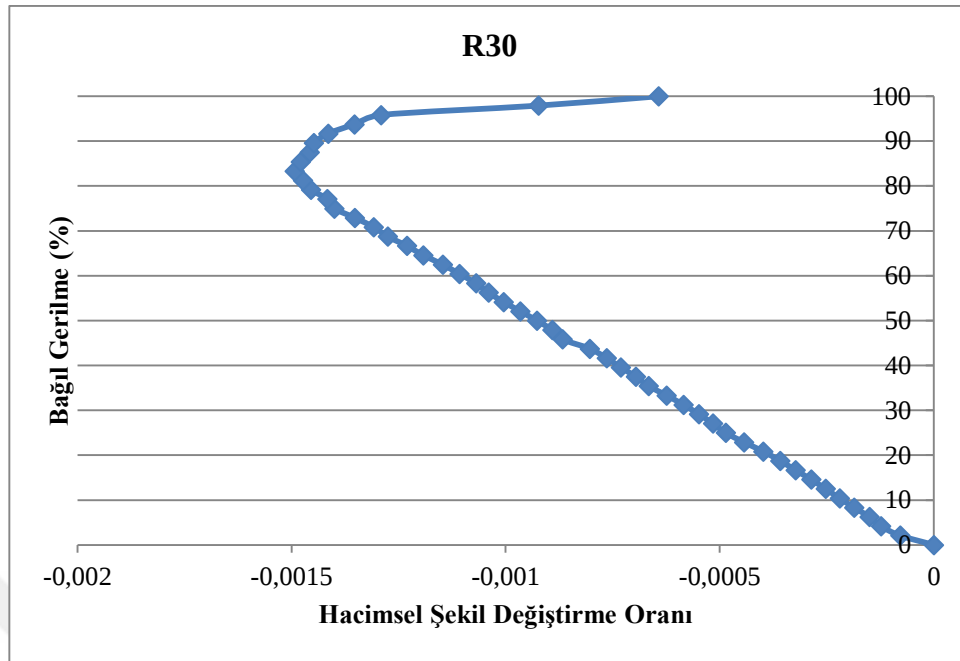


Şekil G. 46 : 60B50 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.

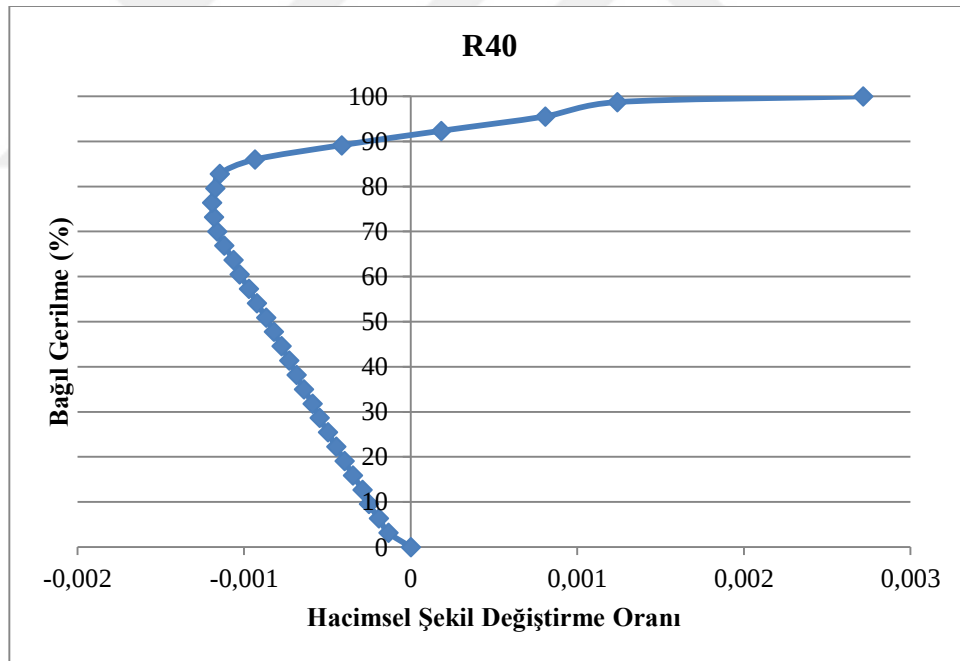


Şekil G. 47 : 70B50 karışımı bağıl gerilme-Poisson oranı grafiği.

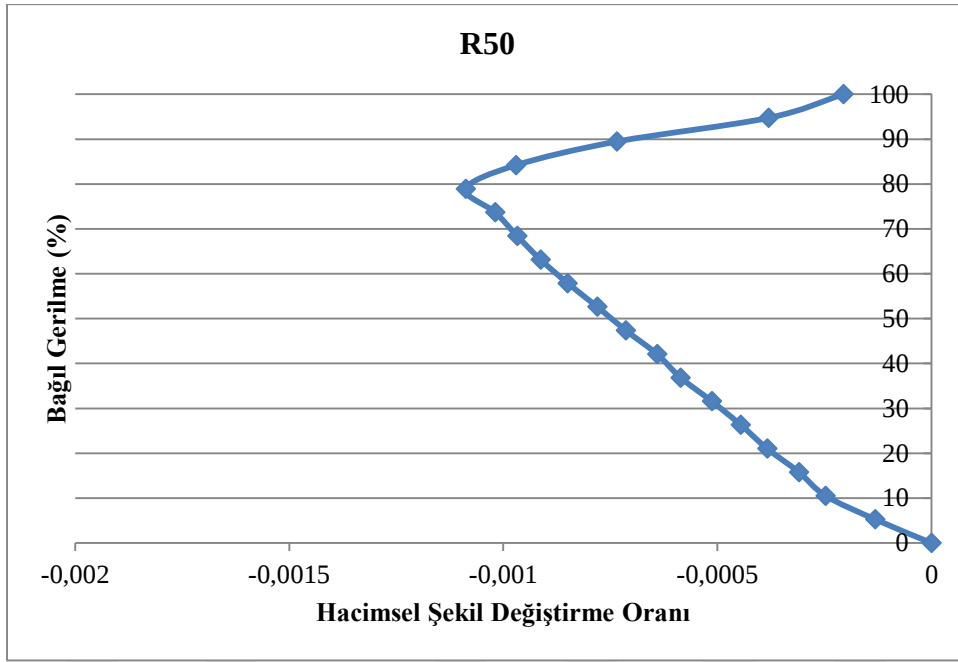
EK H



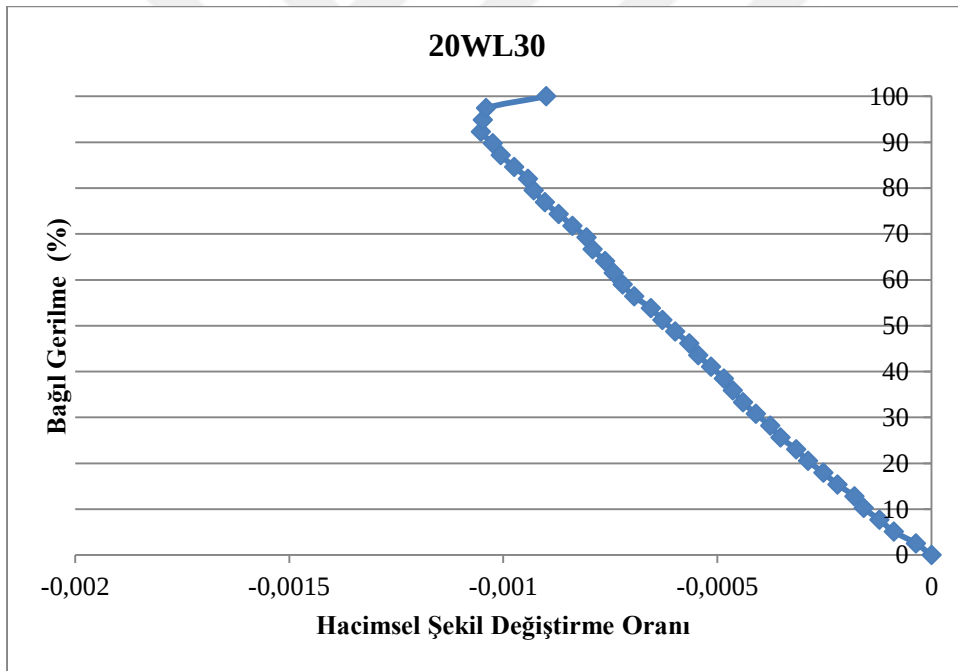
Şekil H. 1 : R30 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.



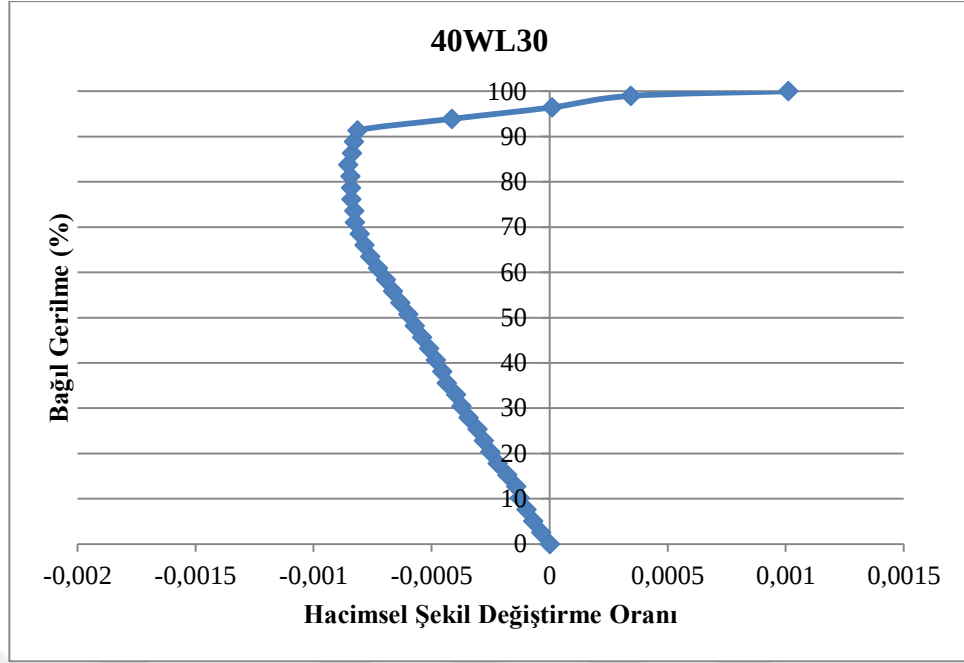
Şekil H. 2 : R40 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.



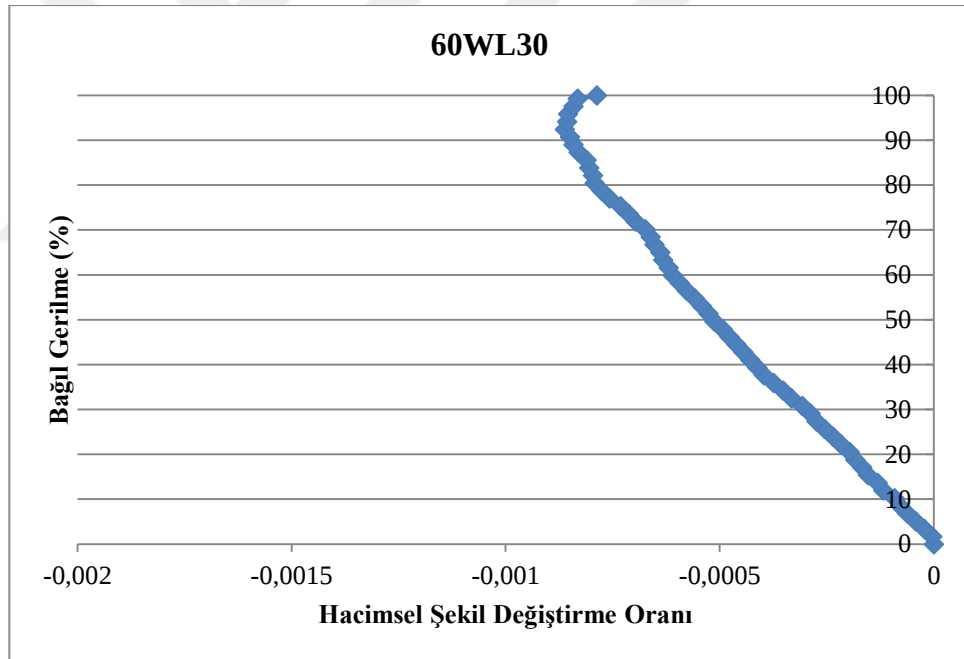
Şekil H. 3 : R50 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.



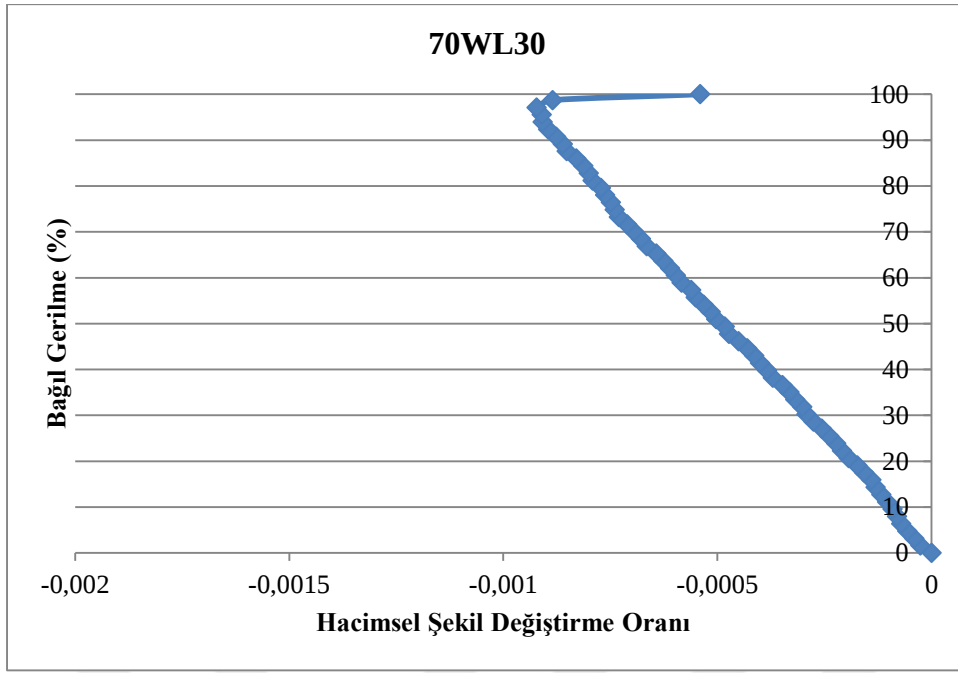
Şekil H. 4 : 20WL30 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.



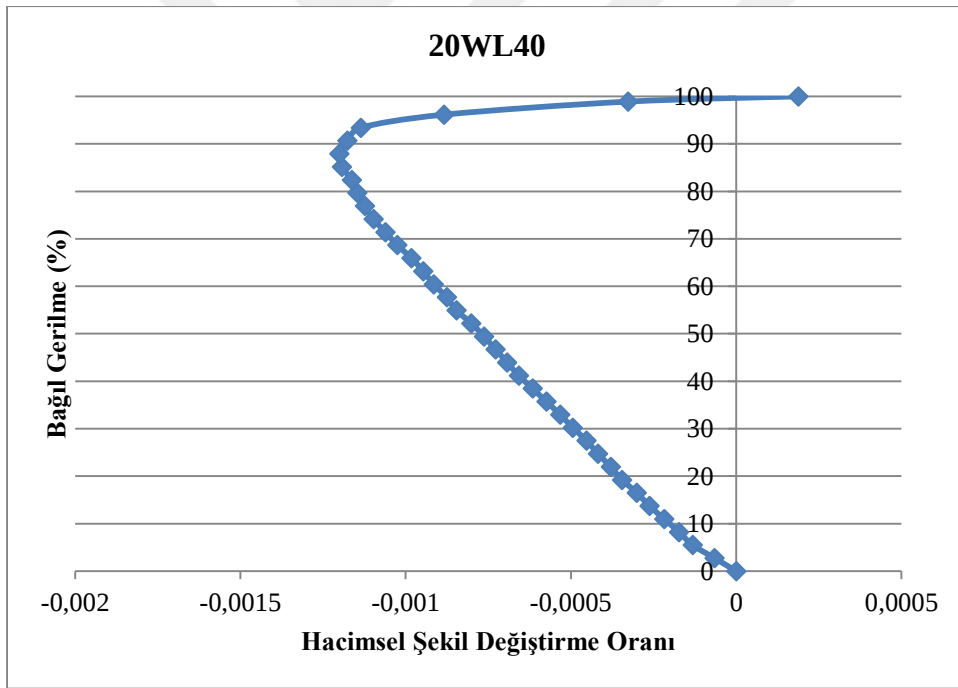
Şekil H. 5 : 40WL30 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.



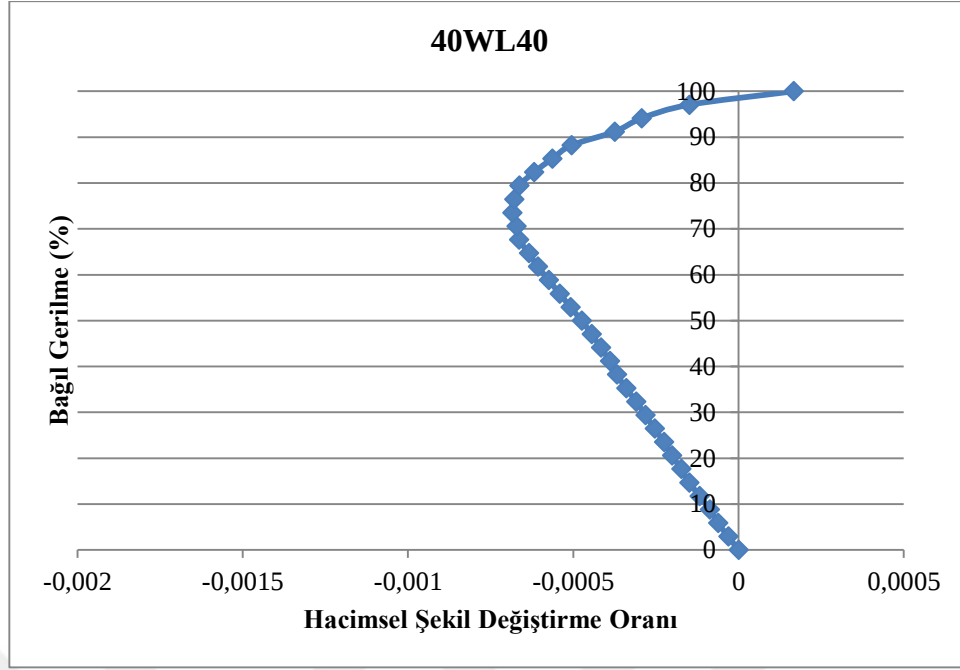
Şekil H. 6 : 60WL30 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.



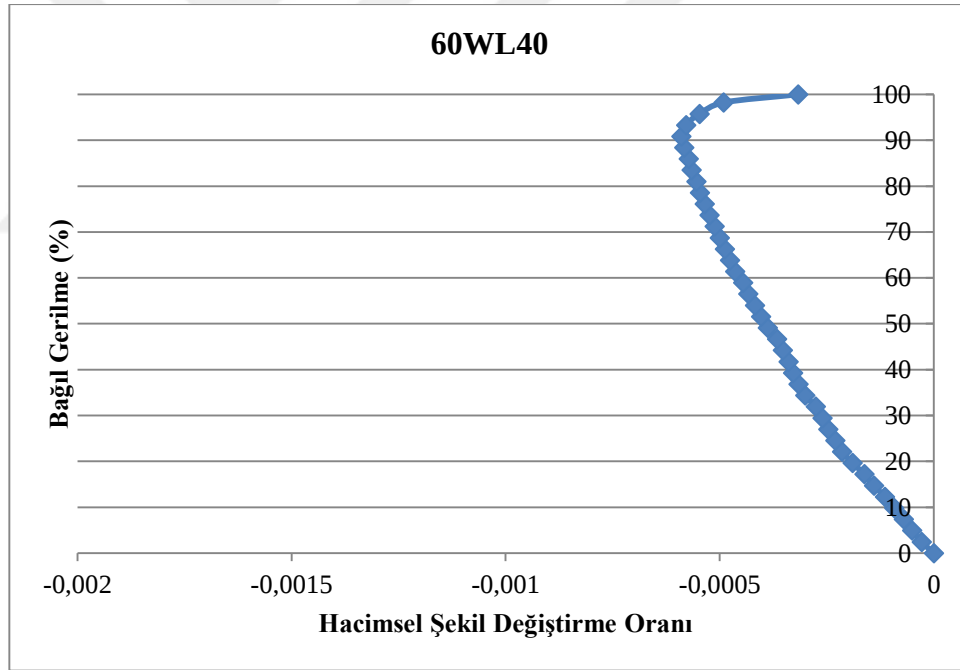
Şekil H. 7 : 70WL30 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.



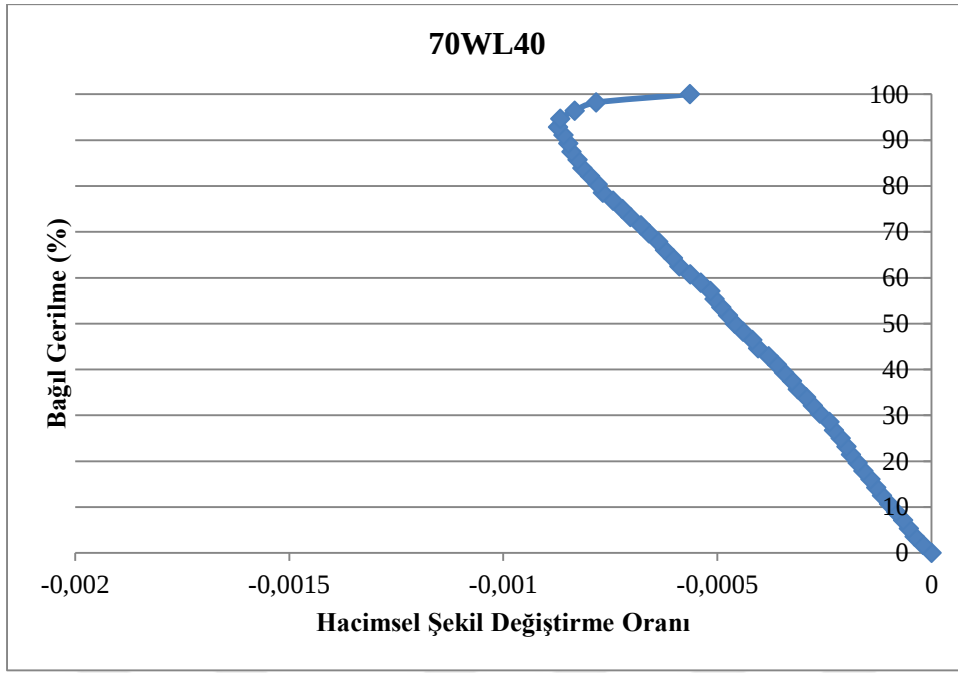
Şekil H. 8 : 20WL40 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.



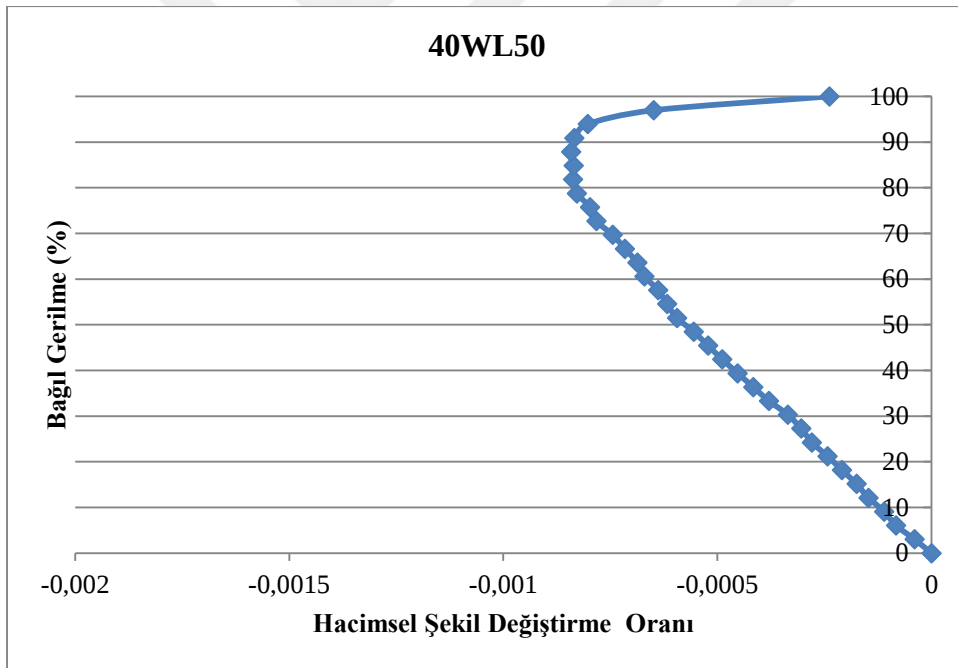
Şekil H. 9 : 40WL40 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.



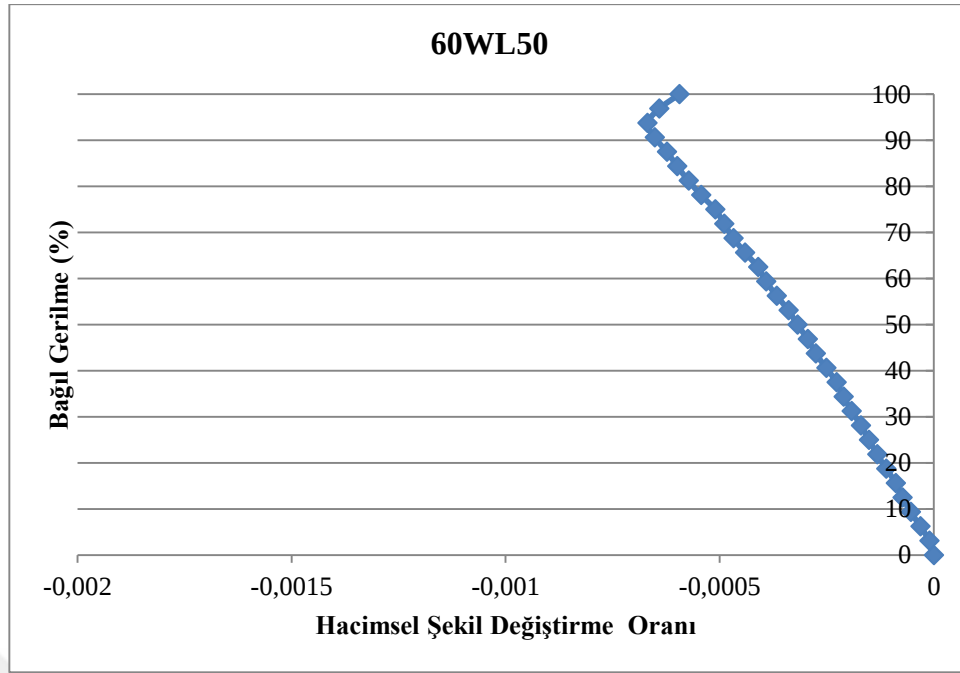
Şekil H. 10 : 60WL40 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.



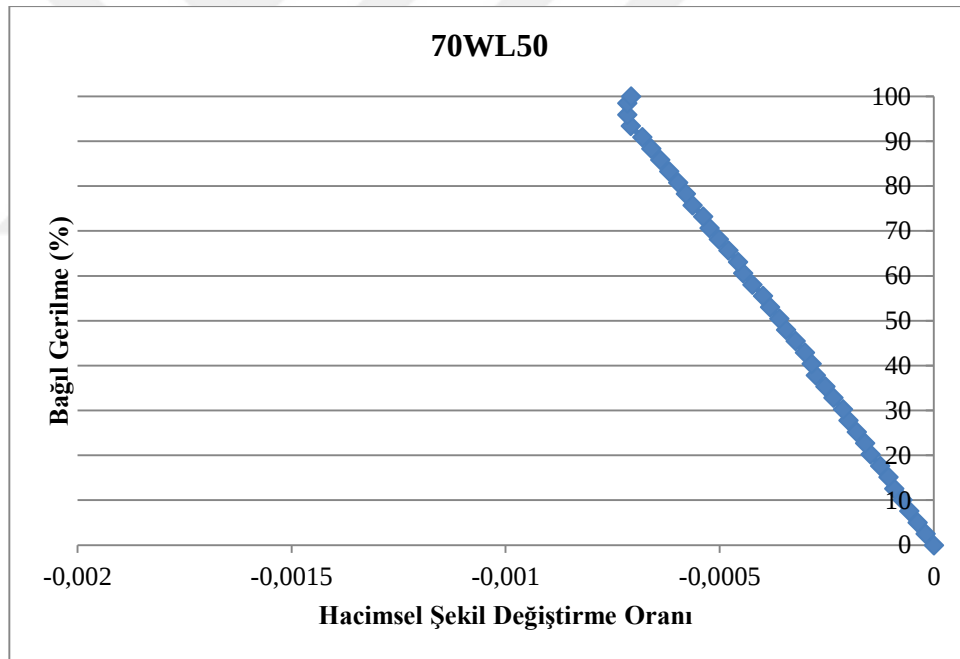
Şekil H. 11 : 70WL40 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.



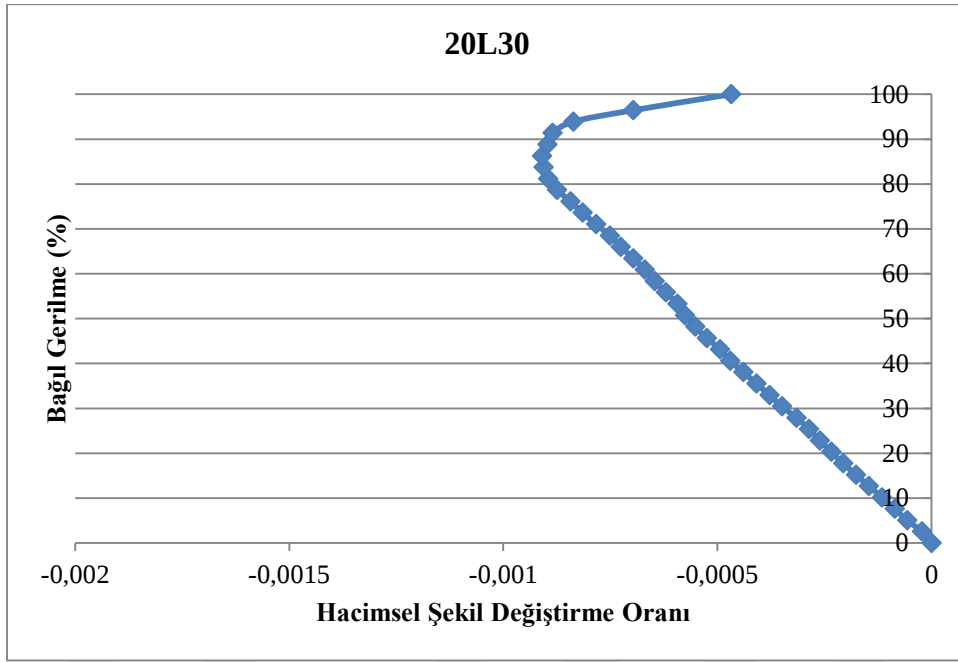
Şekil H. 12 : 40WL50 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.



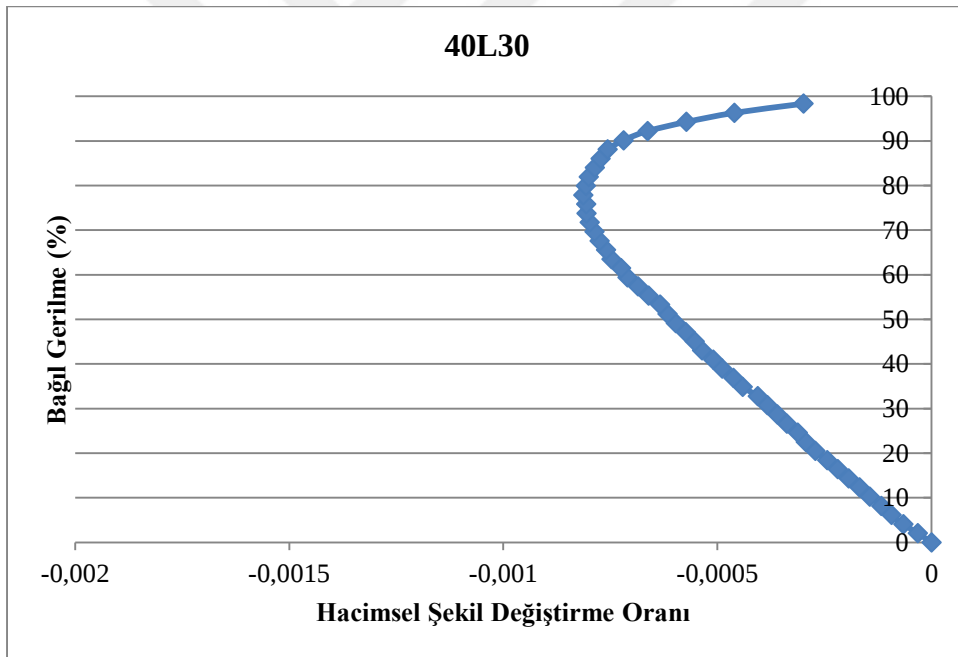
Şekil H. 13 : 60WL50 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.



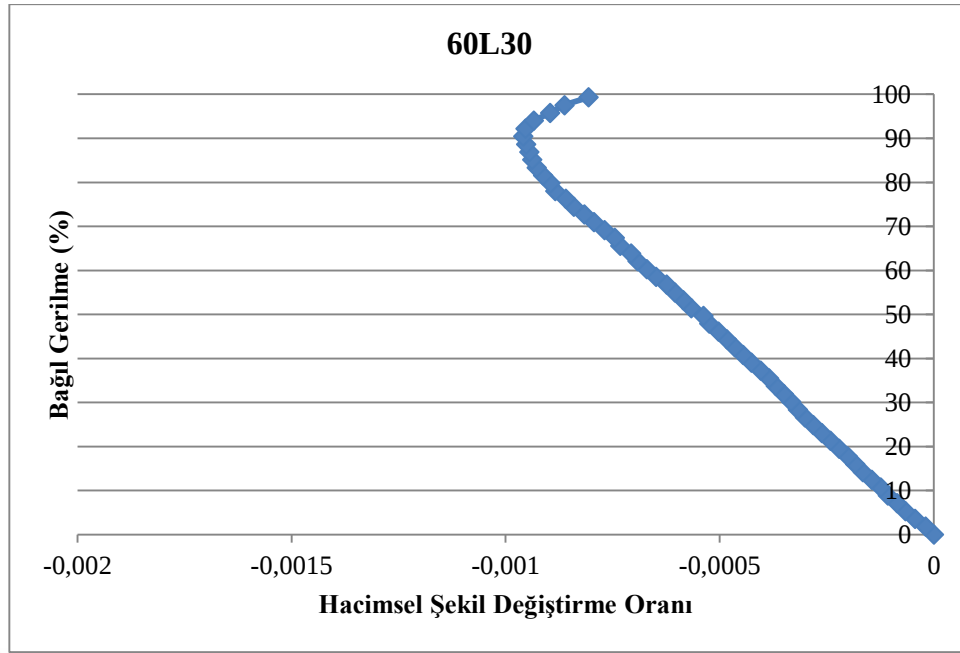
Şekil H. 14 : 70WL50 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.



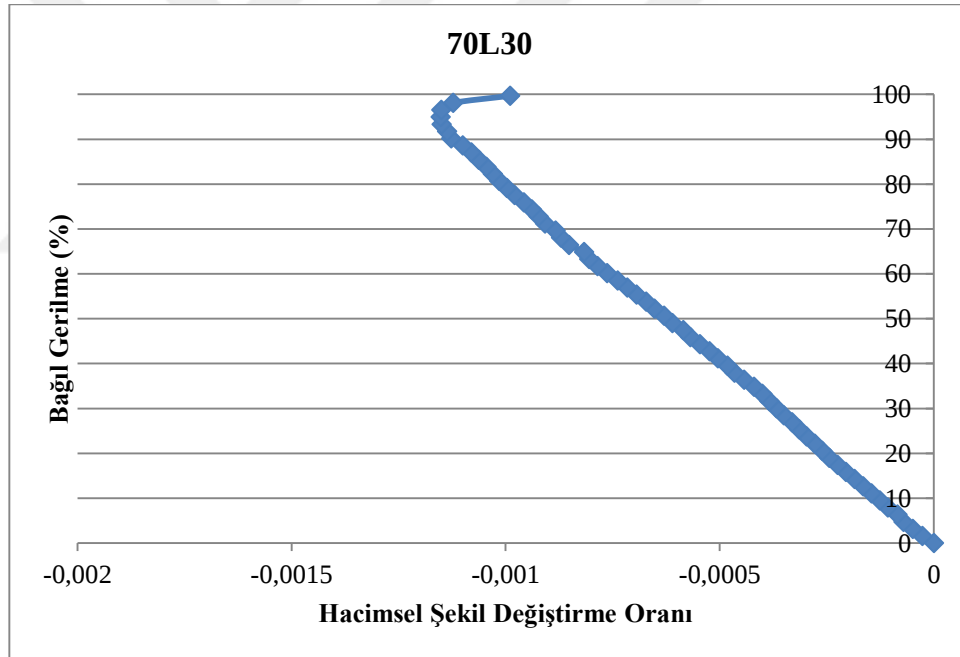
Şekil H. 15 : 20L30 karışımı bağlı gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.



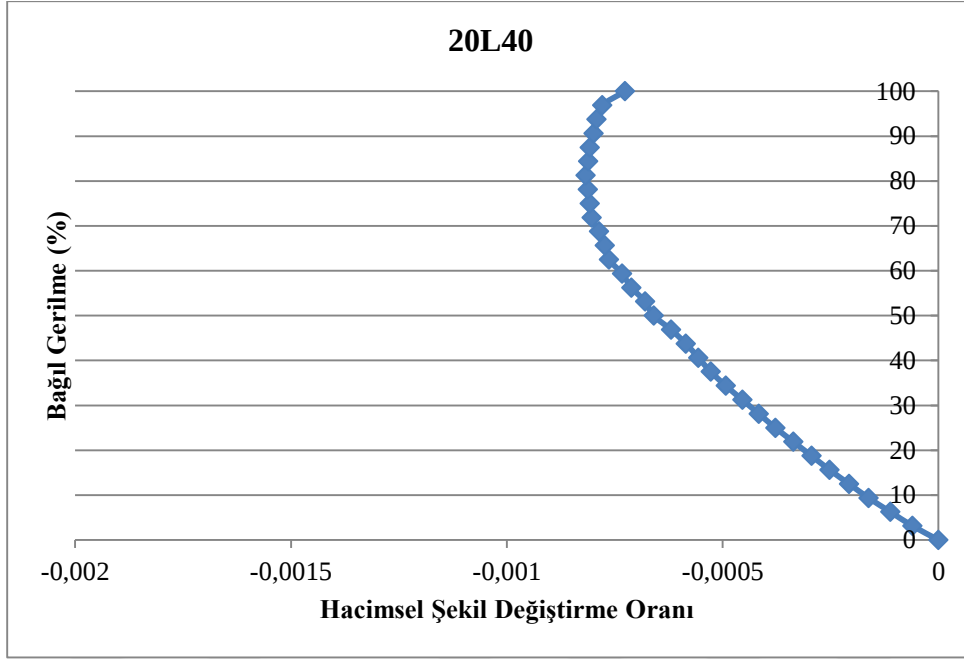
Şekil H. 16 : 40L30 karışımı bağlı gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.



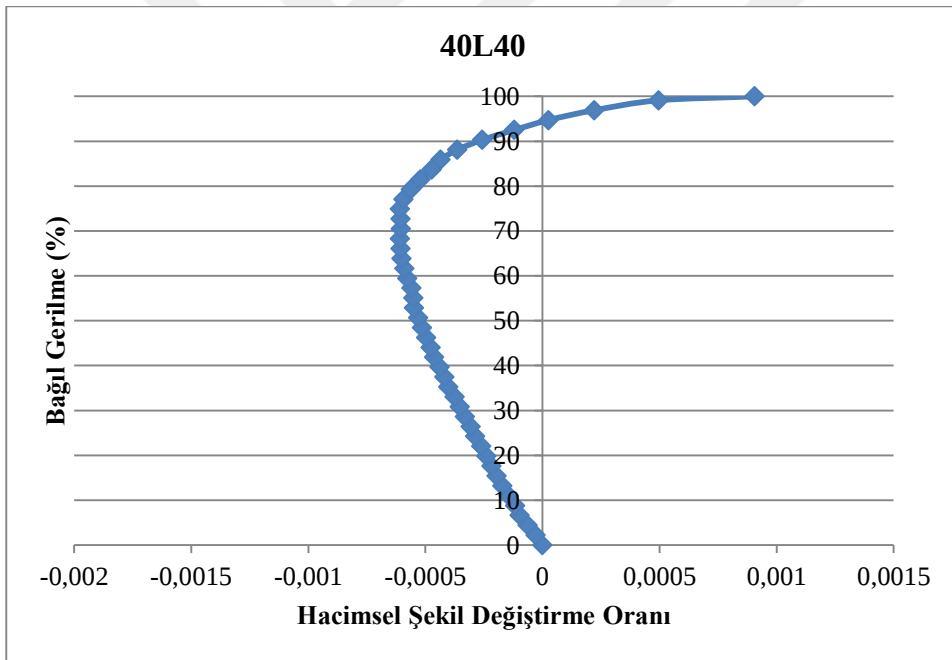
Şekil H. 17 : 60L30 karışımı bağlı gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.



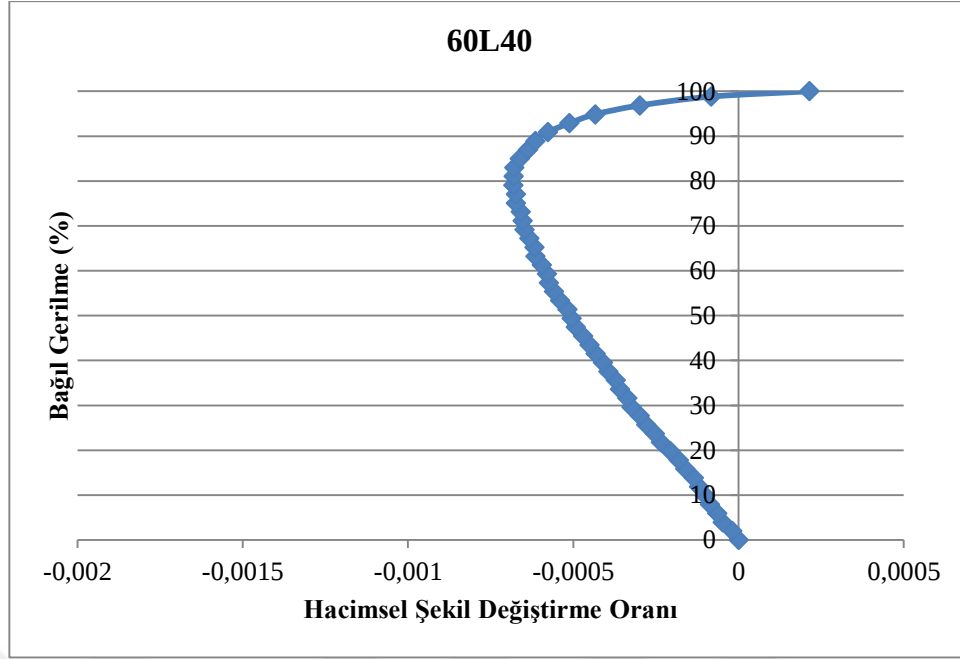
Şekil H. 18 : 70L30 karışımı bağlı gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.



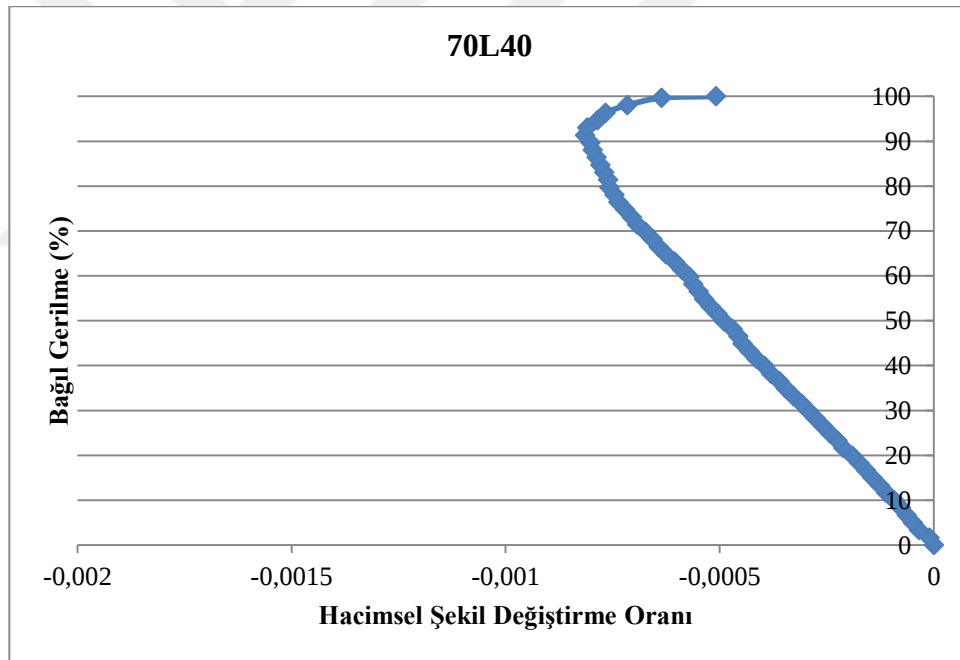
Şekil H. 19 : 20L40 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.



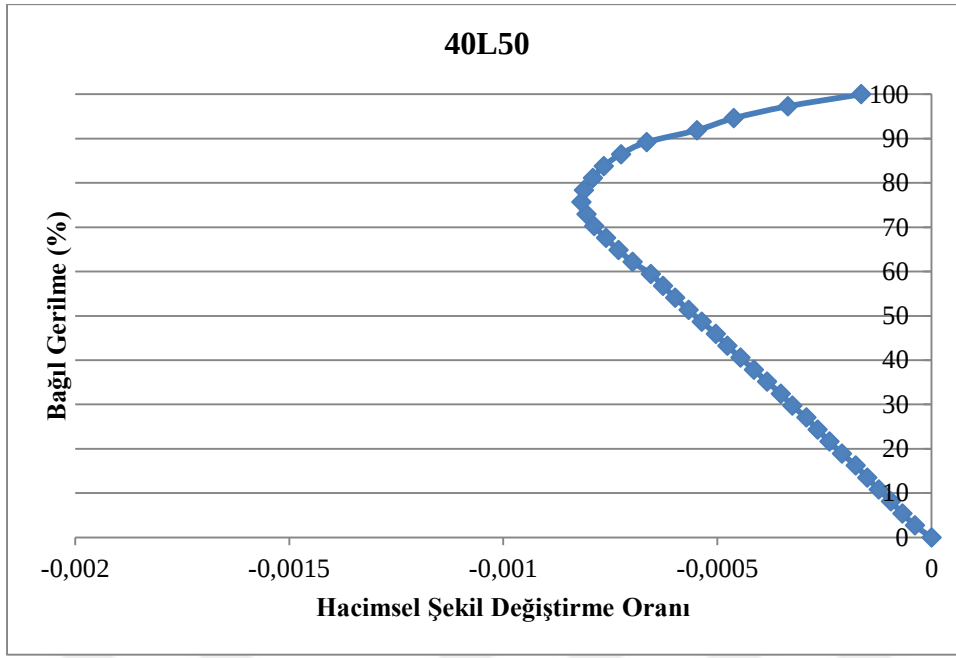
Şekil H. 20 : 40L40 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.



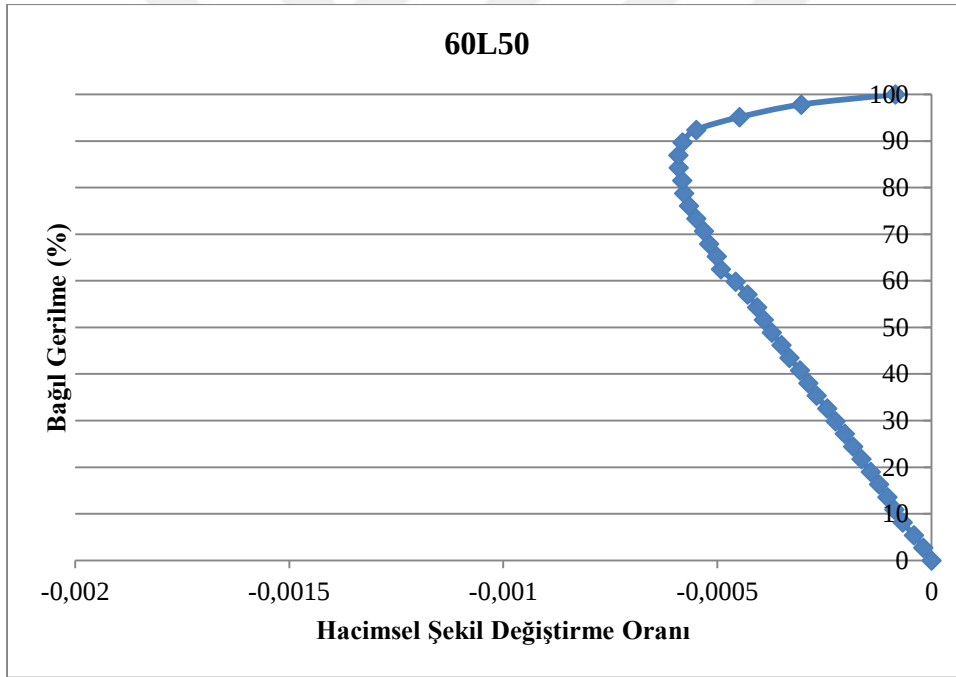
Şekil H. 21 : 60L40 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.



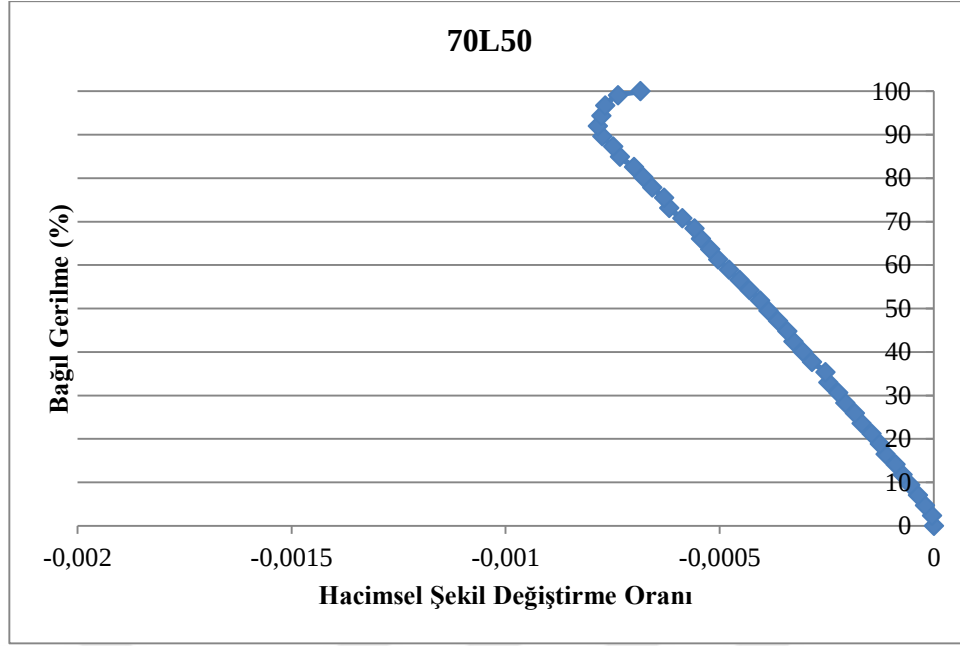
Şekil H. 22 : 70L40 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.



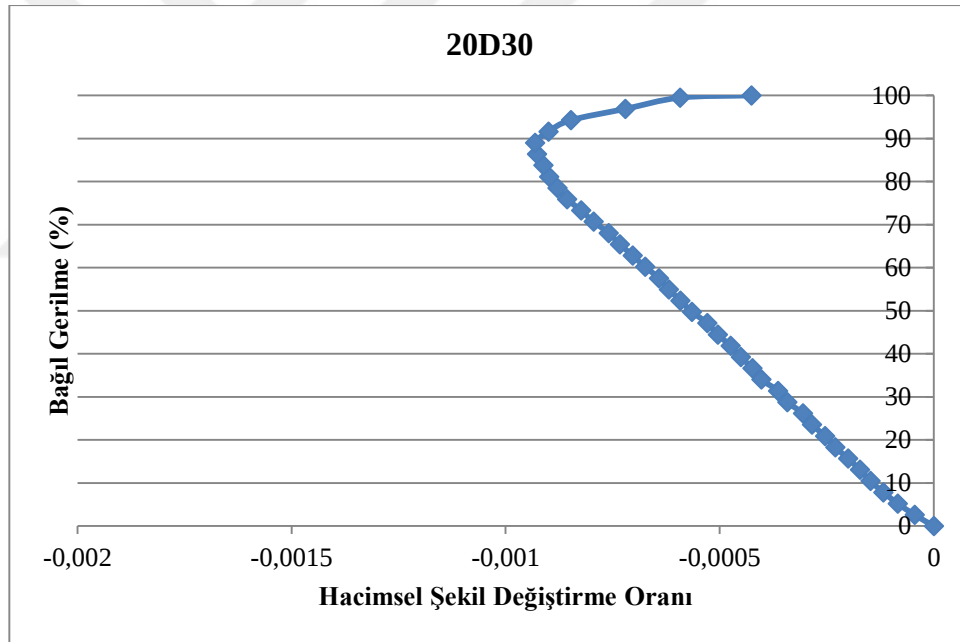
Şekil H. 23 : 40L50 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.



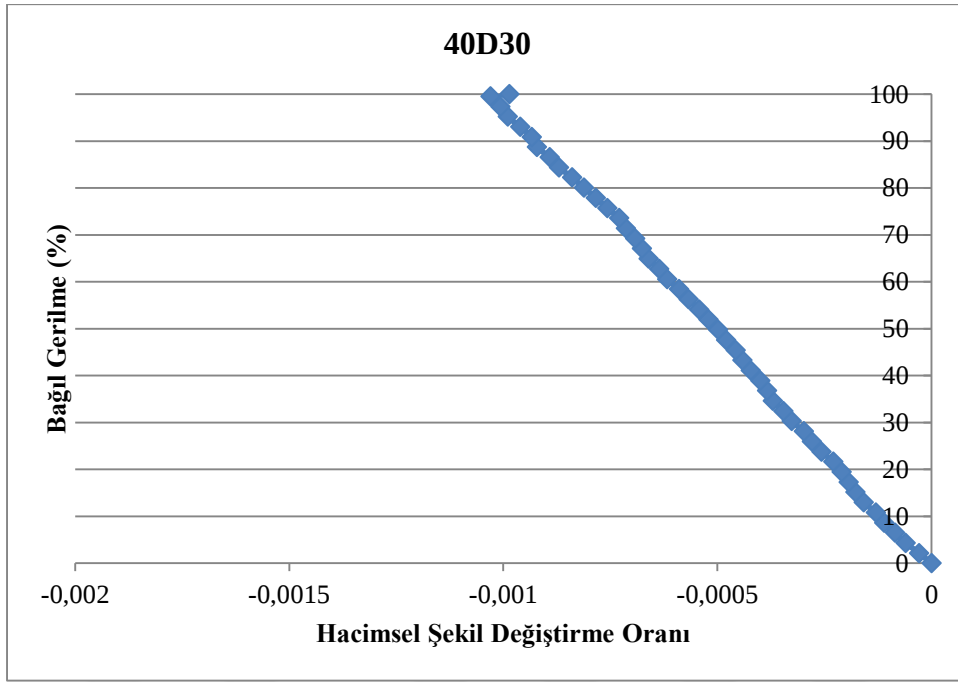
Şekil H. 24 : 60L50 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.



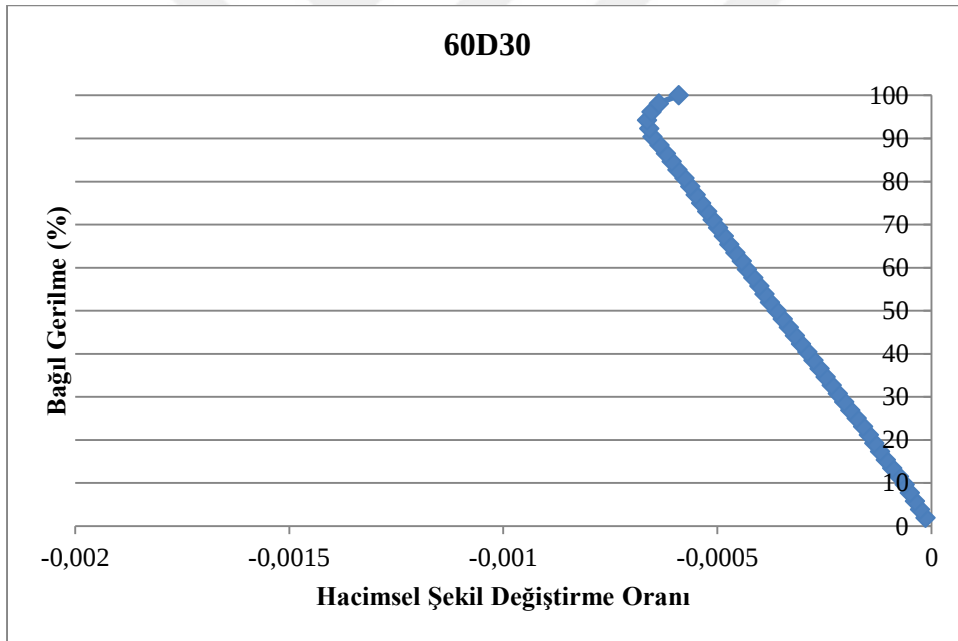
Şekil H. 25 : 70L50 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.



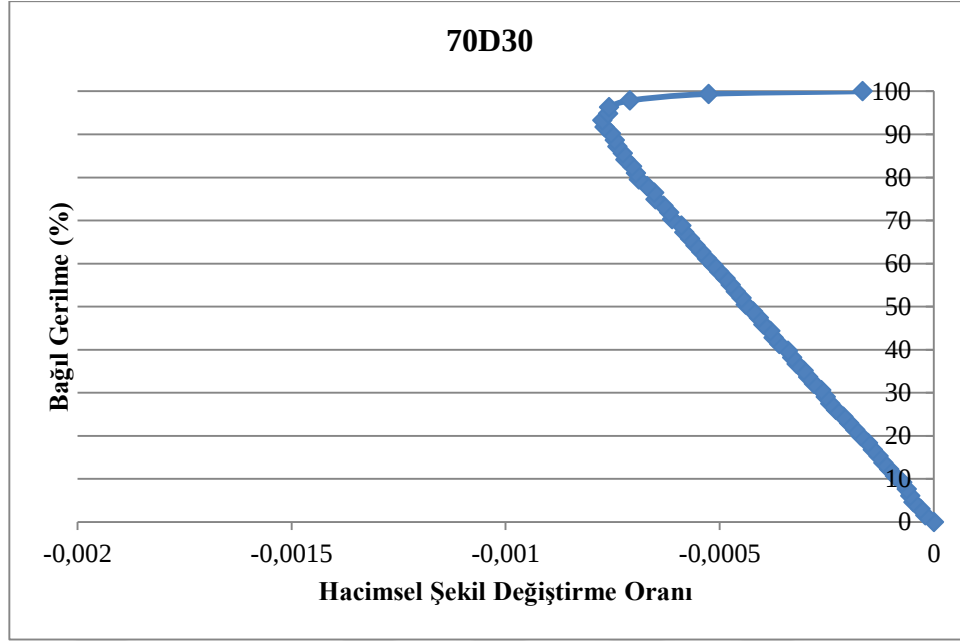
Şekil H. 26 : 20D30 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.



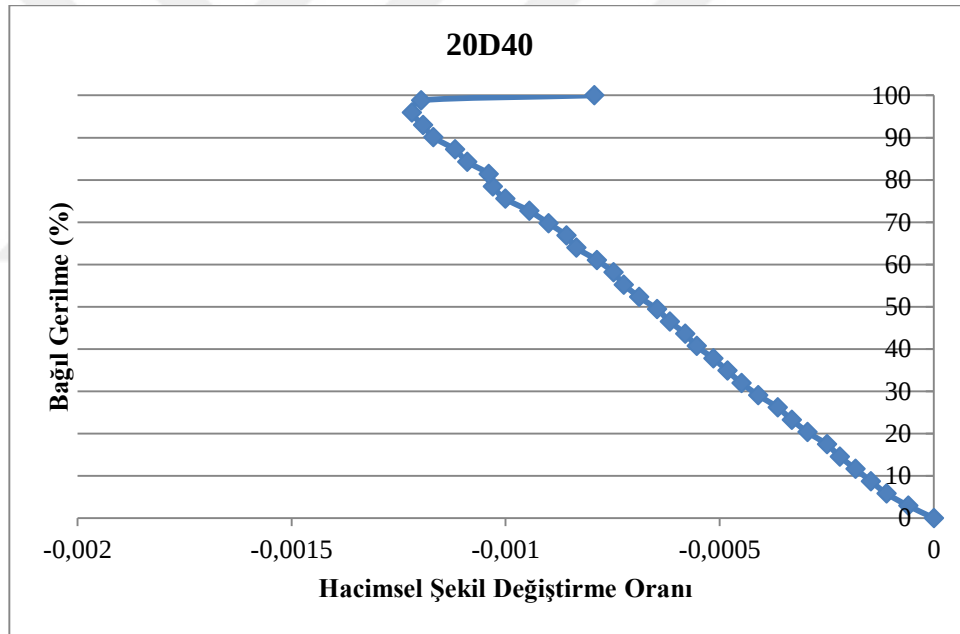
Şekil H. 27 : 40D30 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.



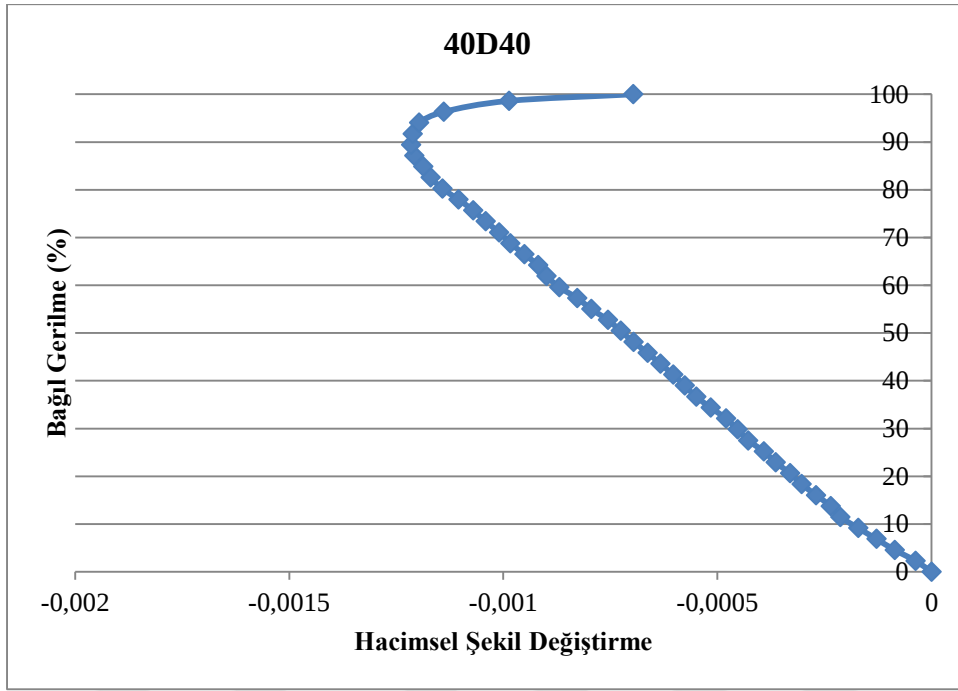
Şekil H. 28 : 60D30 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.



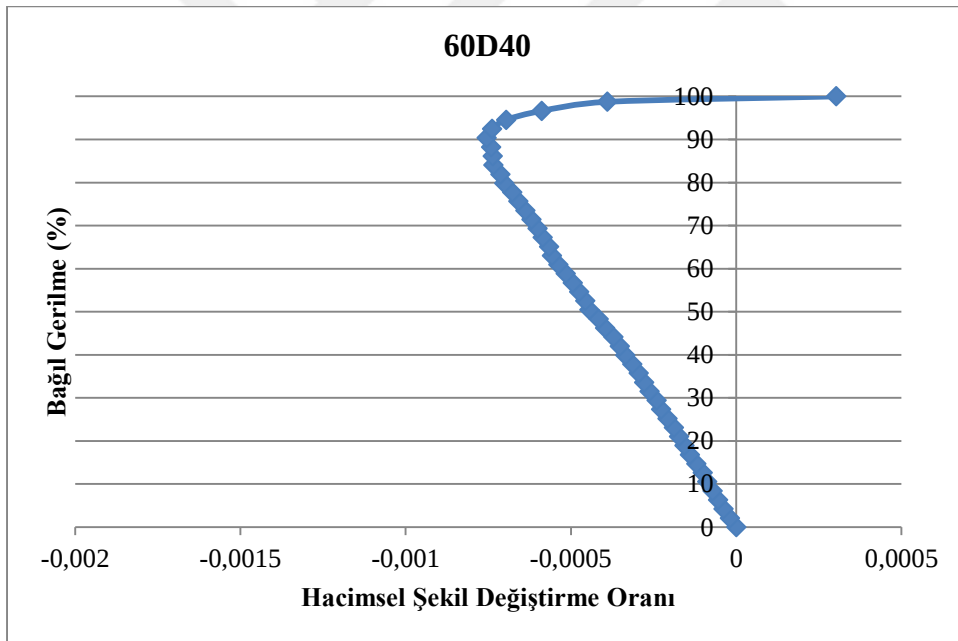
Şekil H. 29 : 70D30 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.



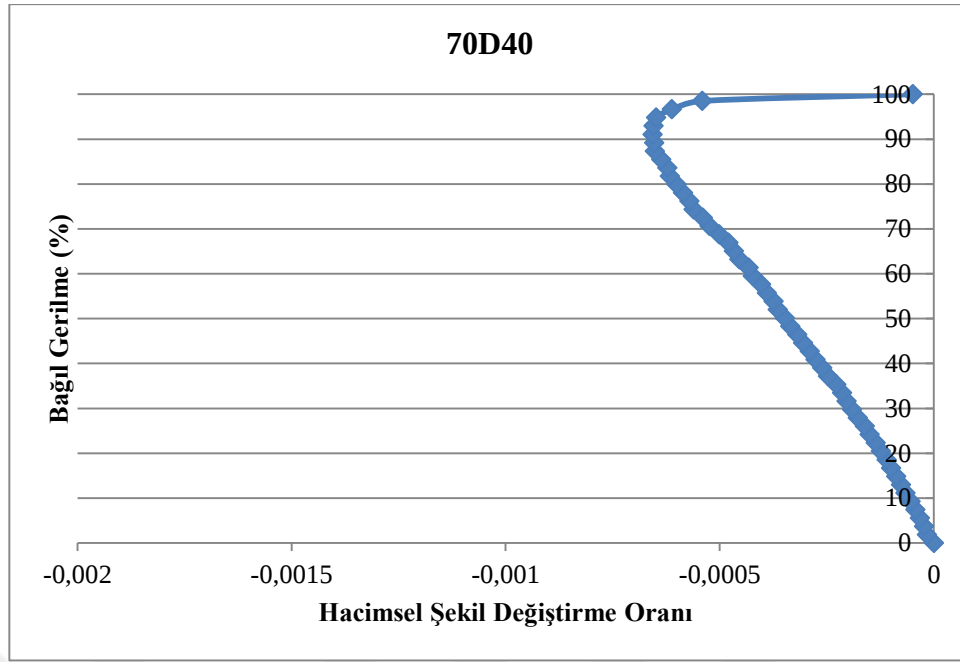
Şekil H. 30 : 20D40 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.



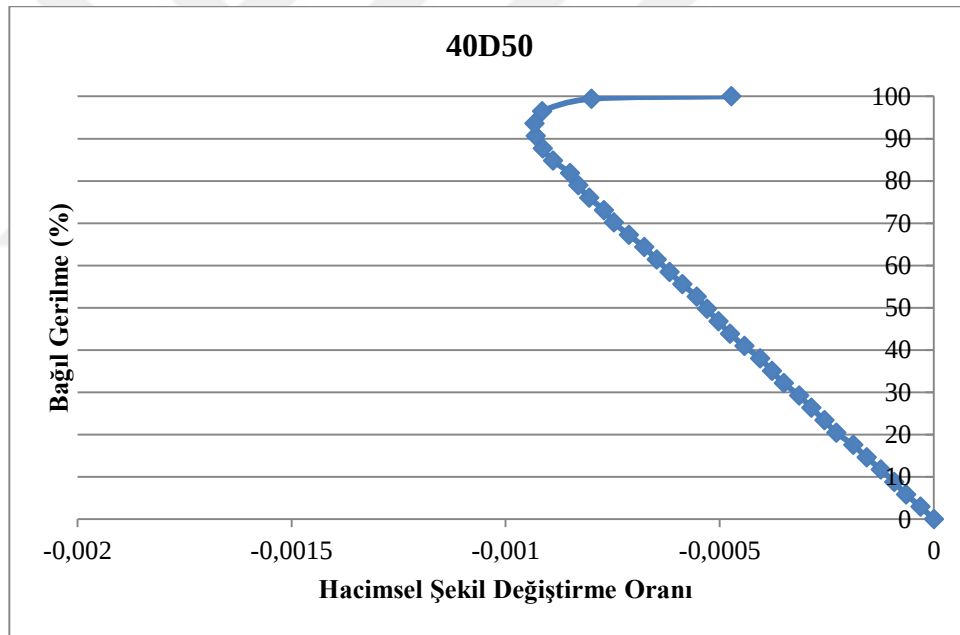
Şekil H. 31 : 40D40 karışımı bağl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.



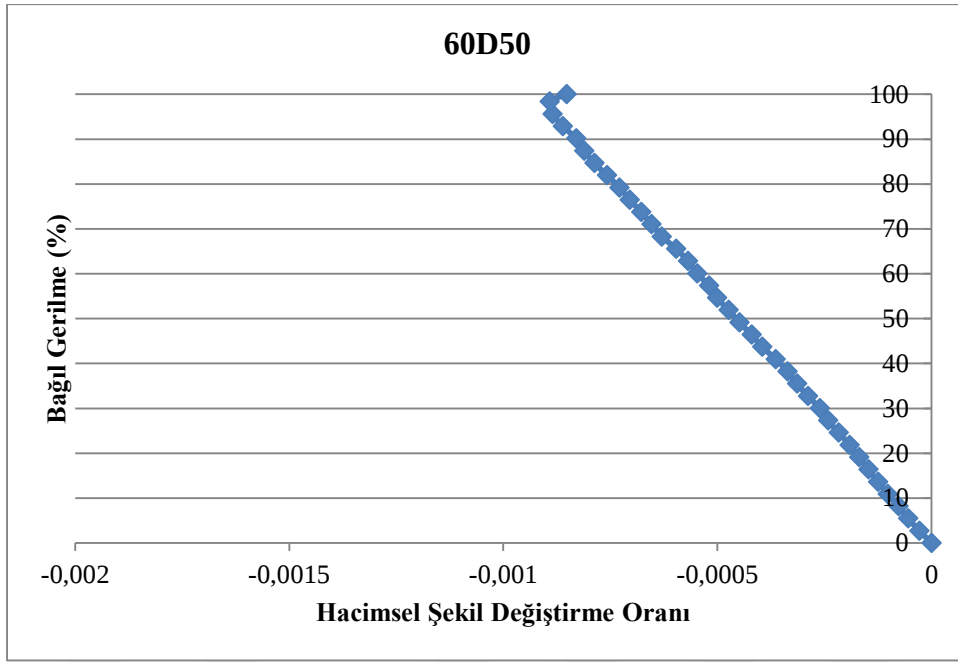
Şekil H. 32 : 60D40 karışımı bağl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.



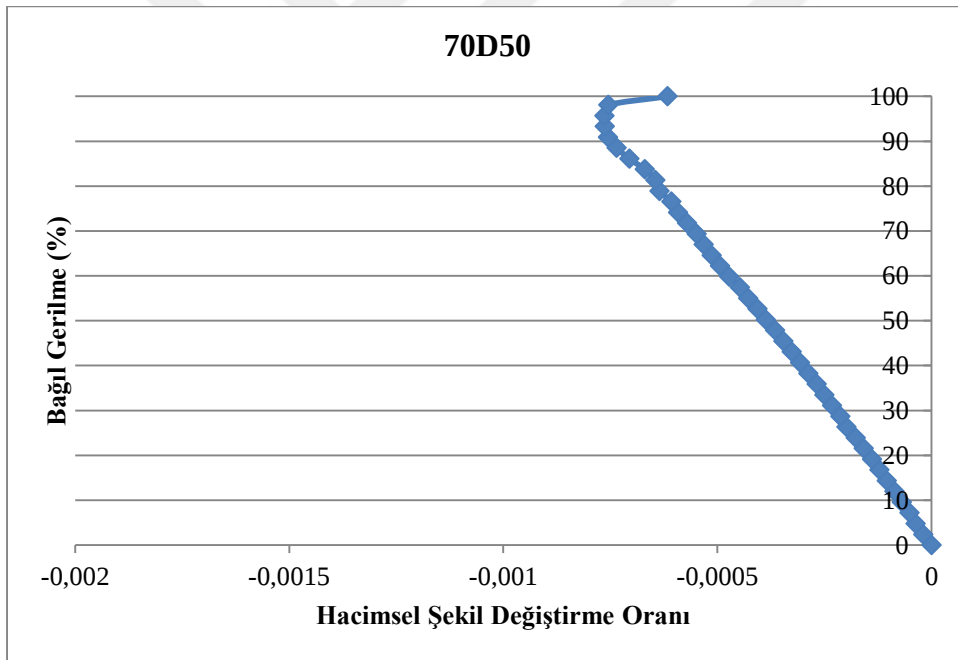
Şekil H. 33 : 70D40 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.



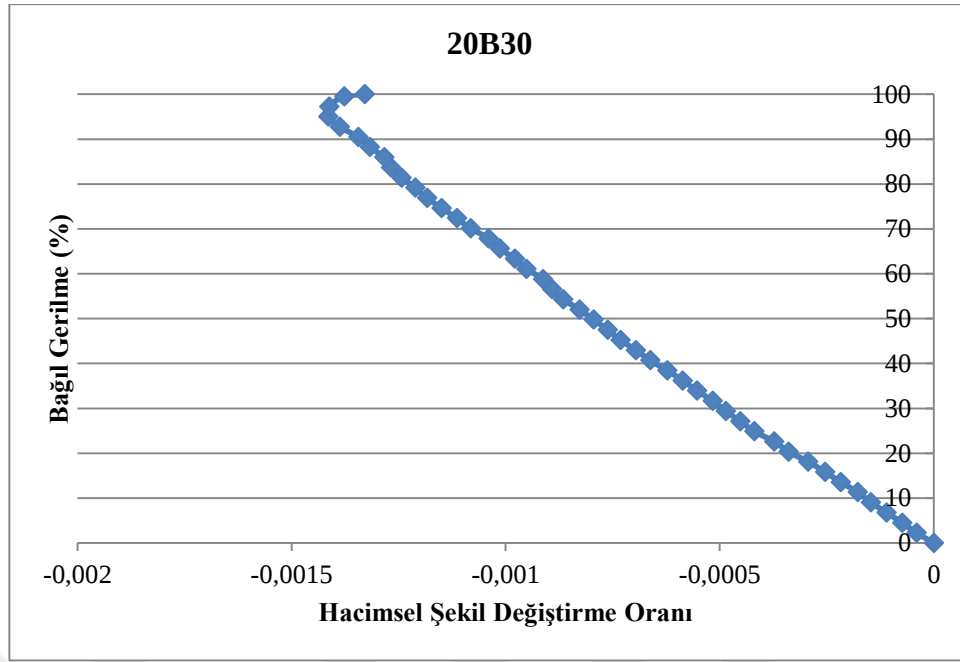
Şekil H. 34 : 40D50 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.



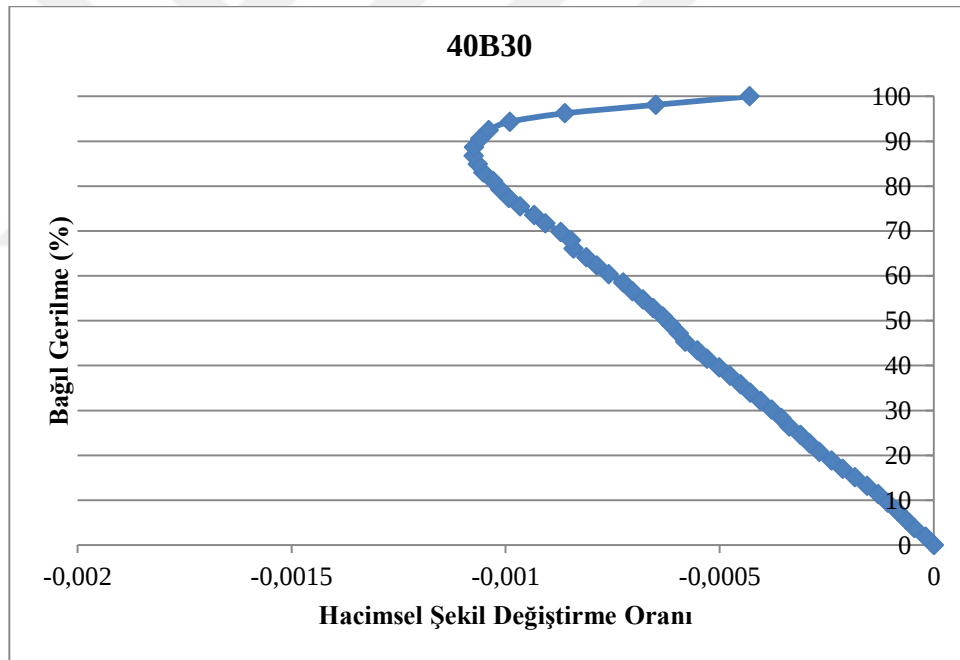
Şekil H. 35 : 60D50 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.



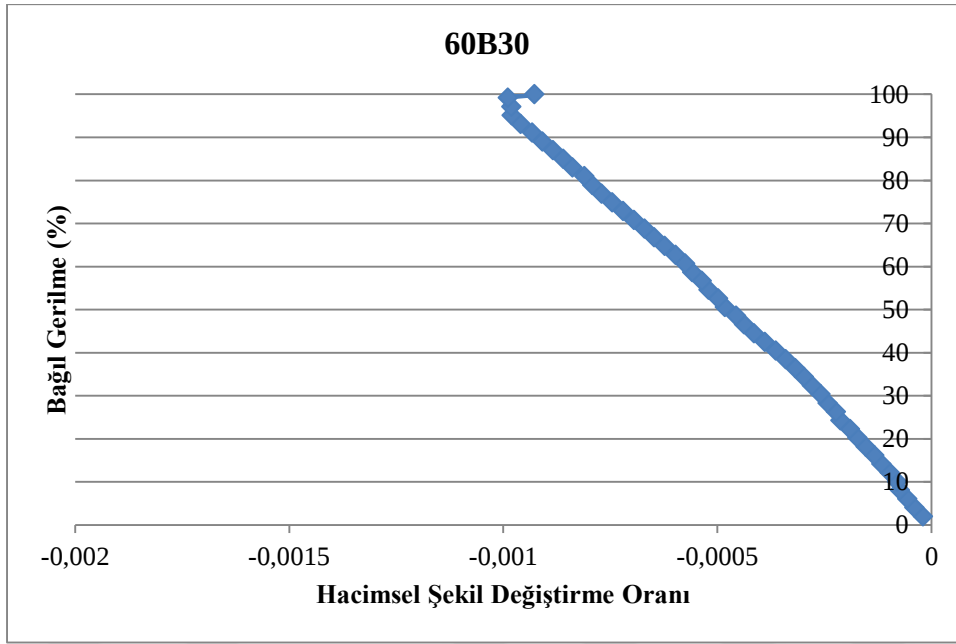
Şekil H. 36 : 70D50 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.



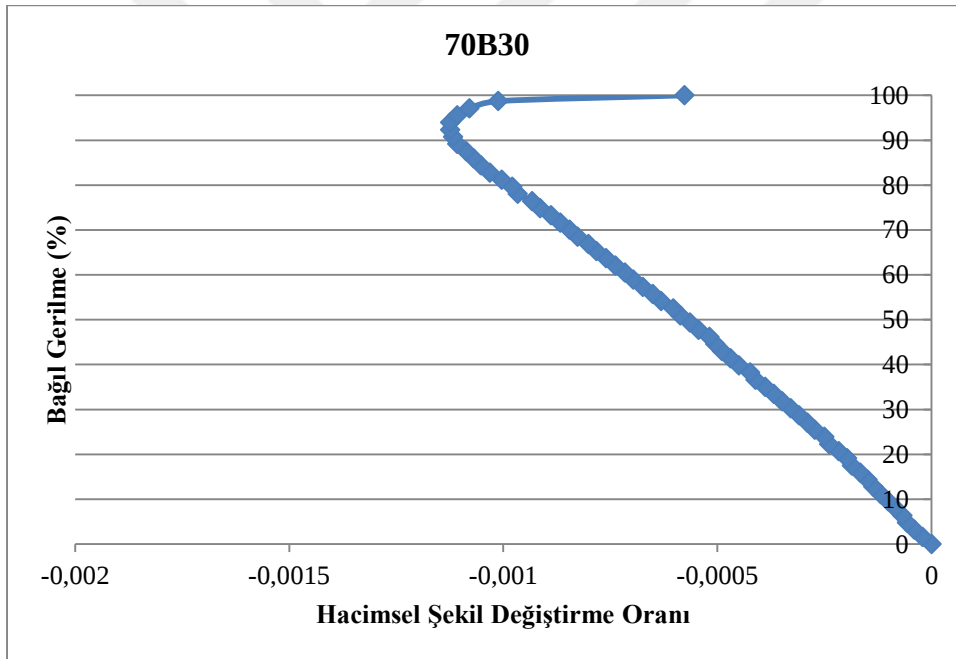
Şekil H. 37 : 20B30 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.



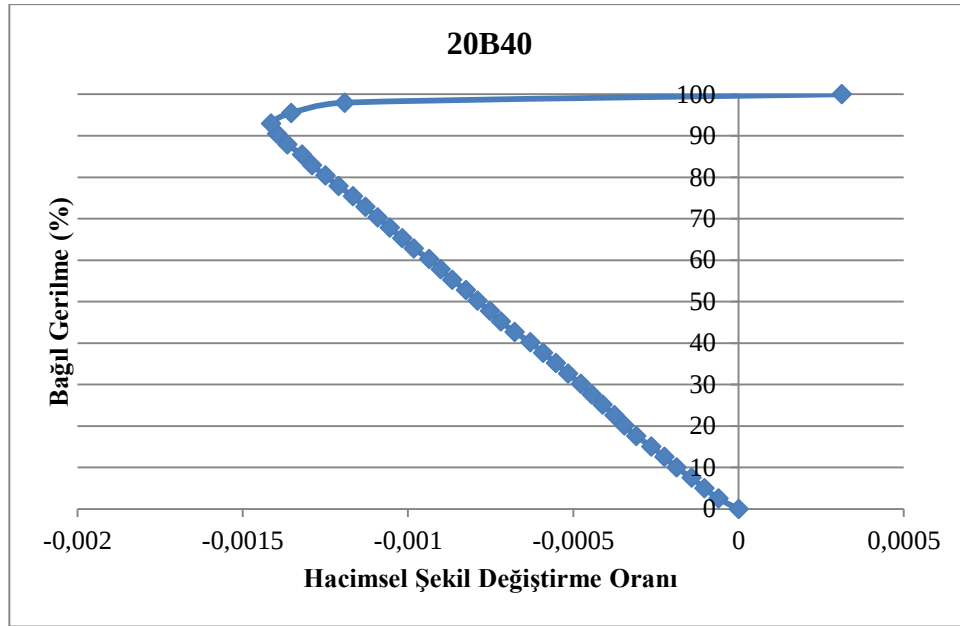
Şekil H. 38 : 40B30 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.



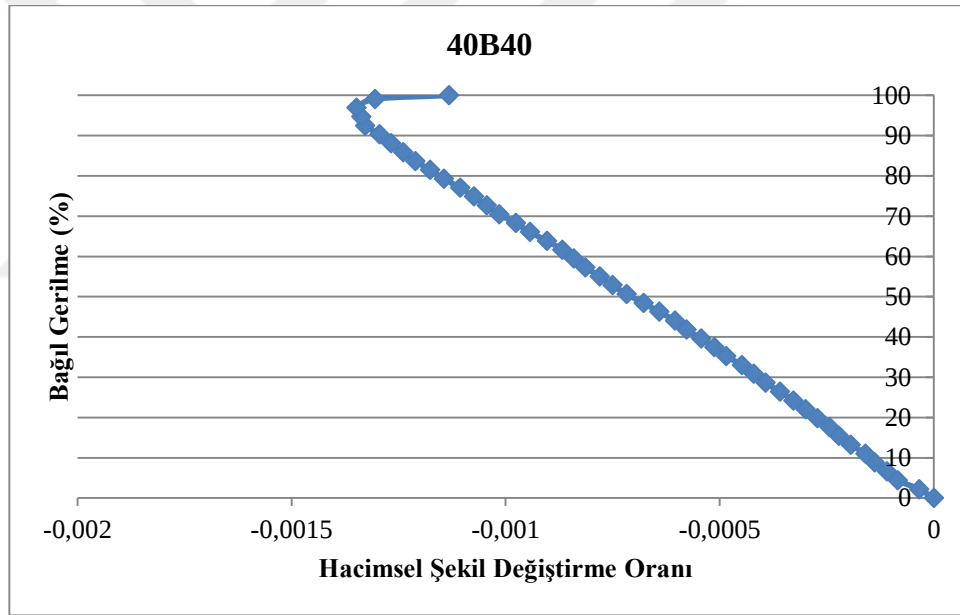
Şekil H. 39 : 60B30 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.



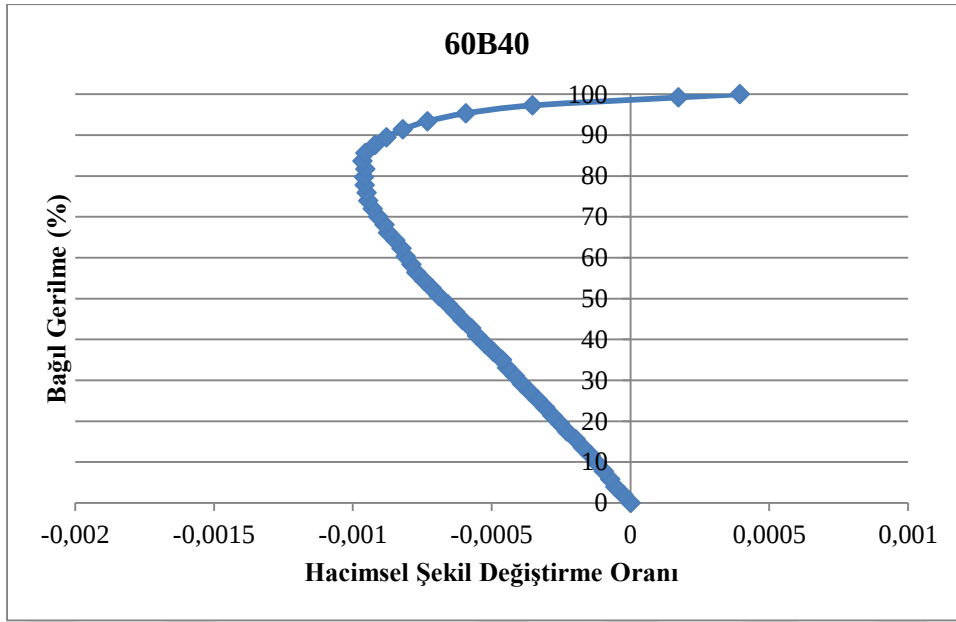
Şekil H. 40 : 70B30 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.



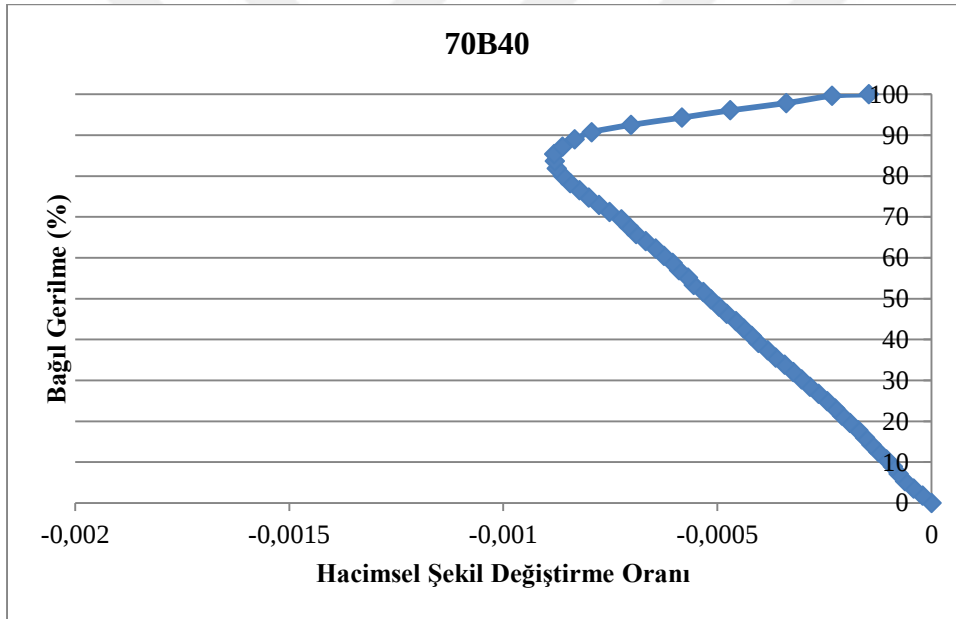
Şekil H. 41 : 20B40 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.



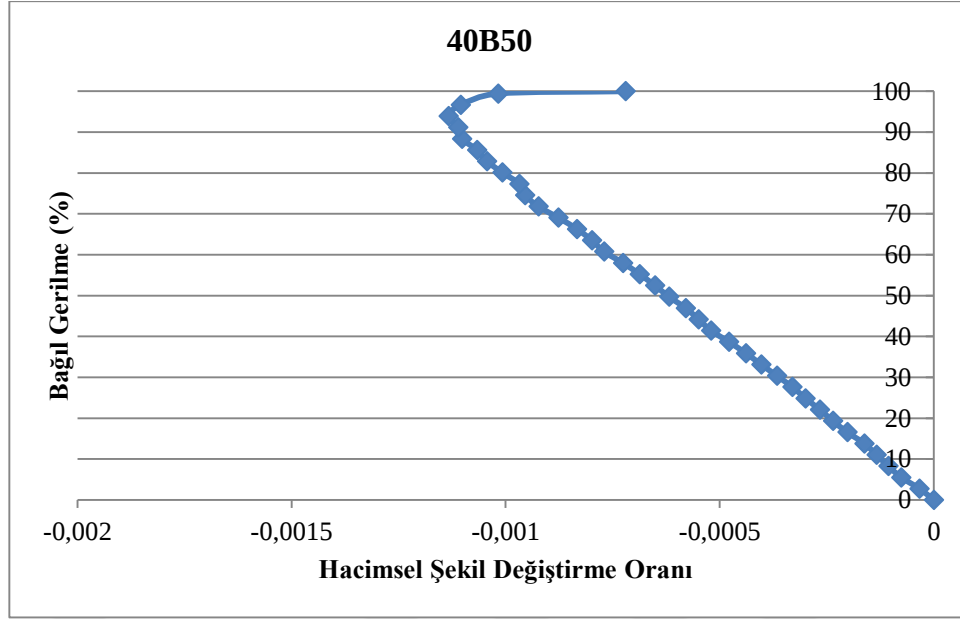
Şekil H. 42 : 40B40 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.



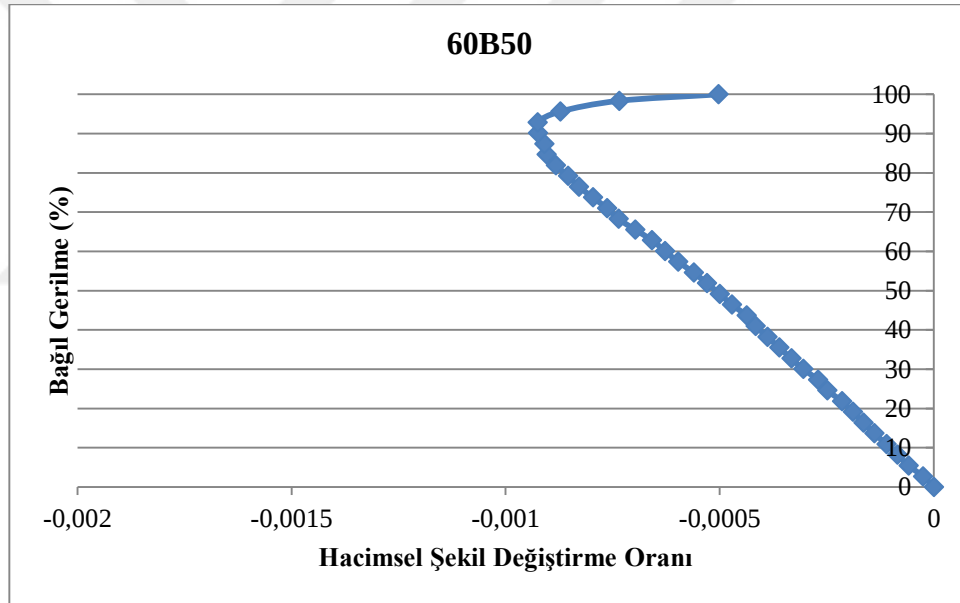
Şekil H. 43 : 60B40 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.



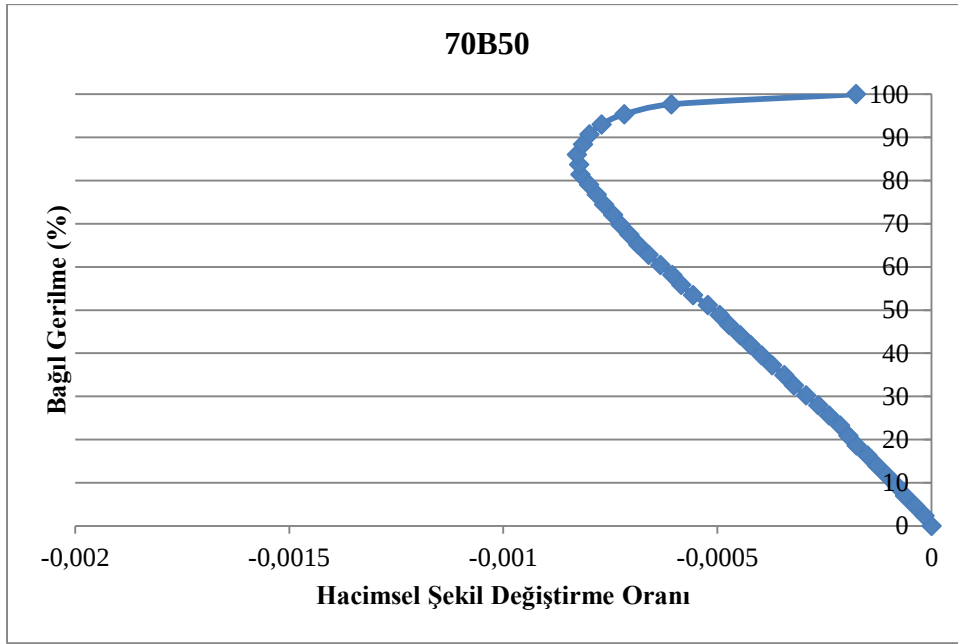
Şekil H. 44 : 70B40 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.



Şekil H. 45 : 40B50 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.



Şekil H. 46 : 60B50 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.



Şekil H. 47 : 70B50 karışımı bağıl gerilme-hacimsel şekil değiştirme oranı grafiği.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Adil Orçun KAYA
Doğum Tarihi ve Yeri : 17.06.1987- Altındağ/Ankara
E-posta : adilorcunkaya@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2009, Gazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2010, İstanbul Teknik Üniversitesi, Yapı Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM:

- 2010-2017 yılları İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi'nde Araştırma Görevlisi olarak çalıştı.
- 2017 yılında İGA Havalimanları İnşaatı Adi Ort. Tic. İşletmesi'nde Üst Yapı Kalite Kontrol Mühendisi olarak çalışmaya başlamıştır.

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR:

- **Kaya, A. O.** ve Yıldırım, H. 2017. Kireçtaşı Kökenli Agregaya İle Üretilmiş Betonlarda Agregaya Konsantrasyonunun Mekanik Özelliklere Etkisi. *Beykent Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*.

DİĞER YAYINLAR:

- Şahin, Y., **Kaya, A. O.** and Yıldırım, H., 2012, Effects of VMA, Fly Ash and different Types of Filler on the Rheological Parameters of Cement Paste, *Tenth International Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete*, Prague, Czech Republic.
- YILDIRIM, H., ŞENGÜL, H., and **KAYA, A. O.**, 2015. Determination of Ultimate Strength of Roller Compacted Concrete with Accelerated Curing, *11th International Congress on Advances in Civil Engineering*, İstanbul, Turkey
- YILDIRIM, H., ATASOY, H., **KAYA, A. O.** and ŞENGÜL, Ö. 2015. Effect of Recycled Wash Water on the Compressive Strength of Concrete, *11th International Congress on Advances in Civil Engineering*, İstanbul, Turkey

