

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİTKİSEL YAĞLARIN KOMPOZİT MALZEME
YAPIMINDA KULLANILMASI**

Figen BALO

Tez Yöneticisi
Yrd.Doç.Dr. H.Lütfü YÜCEL

DOKTORA TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ, 2008

TEŞEKKÜR

Öncelikle uzun ve emekli doktora çalışmam süresince, bana her konuda olduğu gibi bu konuda da maddi ve manevi varlıklarıyla destek veren çok değerli aileme, tez danışmanlığımı yaparak tez konumun belirlenmesi ve yürütülmesinde hiçbir yardımı esirgemeyen Sayın Yrd.Doç.Dr. Halit Lütfi YÜCEL'e ve Sayın Prof. Dr. Yaşar BİÇER'e çok çok teşekkür ederim. Ayrıca İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünden Sayın Prof. Dr. İsmail Hakkı Tavman'a, F.Ü. Makina ve İnşaat Mühendisliği Laboratuvarı çalışanlarına, Kimya Yük. Müh. Alpaslan Kaplan'a, Elazığ Karadeniz Birlik Yağ Fabrikası yetkililerine, Elazığ Çimento Fabrikası yetkililerine, Elazığ Bayındırlık ve İskan Müdürlüğünde çalışmalarım sırasında bana destek veren başta Sayın Servettin Güven olmak üzere tüm müdürlerime, özellikle şube müdürüm Ali Kemal Sarıçiçek'e, şube müdürü Ahmet Yazıcı'ya, Elkt. Müh. Necla Yazıcı'ya, İnş.Müh. Nazan Oktay'a ve Mak. Tek. Veysel Ayıkpehlivan'a, arkadaşlarım Aynur, Nevin, Firdevs, Sabiha'ya, çalışmalarımı yürütmemdeki yardımlarından dolayı Enes, Veysel ve Cihat'a çok çok teşekkür ederim.

Figen BALO

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VII
TABLolar LİSTESİ.....	XI
EKLER LİSTESİ.....	XIII
KISALTMALAR.....	XV
SİMGELER LİSTESİ.....	XVII
ÖZET.....	XIX
ABSTRACT.....	XXI
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
2.1. Epoksilenmiş Bitkisel Yağlar	3
2.2. Uçucu Kül ve Kıl Karışımli Malzemeler.....	6
2.3. Gözenekli Katı Malzemelerde Isı İletkenlik Katsayısı	12
3. DENEYLERDE KULLANILAN EPOKSİLENMİŞ BİTKİSEL YAĞLAR VE KATI MALZEMELER.....	15
3.1. Bitkisel Yağlar.....	15
3.1.1. Bitkisel Yağların Fiziksel Özellikleri.....	15
3.1.2. Bitkisel Yağların Kuruma Özellikleri.....	16
3.1.3. Bitkisel Yağların Türkiye ve Dünya'daki Potansiyeli.....	18
3.1.4. Bitkisel Yağların Endüstriyel Kullanım Alanları.....	20
3.1.5. Bitkisel Yağların Üretim Hedefleri.....	24
3.2. Epoksilenmiş Yağlar.....	26
3.3. Kıl ve Analizi.....	30
3.4. Uçucu Kül ve Analizi.....	31
3.4.1. Uçucu Küllerin Fiziksel Özellikleri.....	32
3.4.2. Uçucu Küllerin Kullanım Alanları ve Değerlendirilmesi.....	33
3.4.3. Afşin-Elbistan Termik Santrali Uçucu Külünün Özellikleri.....	35
4. GÖZENEKLİ KATI MALZEMELERDE ISI İLETKENLİK KATSAYISININ KURAMSAL OLARAK İNCELENMESİ.....	36
4.1. Gözenekli Katı Malzemelerin Isı İletim Katsayısının Tayininde Kuramsal Bir Model.....	36
4.2. Modeldeki Parametrelerin Deneysel veya Kuramsal Yöntemlerle Tespiti.....	43

4.2.1. Porozite Tayini.....	43
4.2.2. Kül-Bağlayıcı Karışımlarında Hacimsel ve Ağırlık Oranları İlişkisi.....	46
4.2.3. Gözeneksiz Kül, Kıl ve Bağlayıcılara Ait Isı İletim Katsayıları.....	47
4.2.3.1. Gözenek İçindeki Gazların Isı İletim Katsayıları.....	47
4.2.3.4. Bir Numunenin Isı İletim Katsayısının Sayısal Olarak bulunması.....	48
5. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	51
5.1. Ön Çalışmalar.....	51
5.2. Deney Numunelerinin Hazırlanışı.....	53
5.3. Deneysel Yöntem ve Yapılan Deneyler.....	62
5.3.1. Numunelerin Isı İletim Katsayılarının Tespiti.....	62
5.3.1.1. Epoksilenmiş Bitkisel Yağ Miktarının, Numunelerin Isı İletim Katsayılarına Etkisi....	67
5.3.1.2. Uçucu Kül Miktarının, Numunelerin Isı İletim Katsayılarına Etkisi.....	67
5.3.1.3. İşlem Sıcaklığının, Numunelerin Isı İletim Katsayılarına Etkisi.....	70
5.3.1.4. Yağ Cinsinin, Numunelerin Isı İletim Katsayılarına Etkisi.....	70
5.3.2. Numunelerin Kütle ve Yoğunluklarının Tespiti.....	77
5.3.2.1. Epoksilenmiş Bitkisel Yağ Miktarının, Numunelerin Kütle ve Yoğunluklarına Etkisi.....	77
5.3.2.2. Uçucu Kül Miktarının, Numunelerin Kütle ve Yoğunluklarına Etkisi.....	77
5.3.2.3. İşlem Sıcaklığının, Numunelerin Kütle ve Yoğunluklarına Etkisi.....	82
5.3.2.4. Yağ Cinsinin, Numunelerin Kütle ve Yoğunluklarına Etkisi.....	82
5.3.3. Numunelerin Basma Mukavemetlerinin Tespiti.....	89
5.3.3.1. Epoksilenmiş Bitkisel Yağ Miktarının, Numunelerin Basma Mukavemetlerine Etkisi..	90
5.3.3.2. Uçucu Kül Miktarının, Numunelerin Basma Mukavemetlerine Etkisi.....	90
5.3.3.3. İşlem Sıcaklığının, Numunelerin Basma Mukavemetlerine Etkisi.....	90
5.3.3.4. Yağ Cinsinin, Numunelerin Basma Mukavemetlerine Etkisi.....	95
5.3.4. Numunelerin Çekme Mukavemetlerinin Tespiti.....	95
5.3.4.1. Epoksilenmiş Bitkisel Yağ Miktarının, Numunelerin Çekme Mukavemetlerine Etkisi.....	98
5.3.4.2. Uçucu Kül Miktarının, Numunelerin Çekme Mukavemetlerine Etkisi.....	98
5.3.4.3. İşlem Sıcaklığının, Numunelerin Çekme Mukavemetlerine Etkisi.....	98
5.3.4.4. Yağ Cinsinin, Numunelerin Çekme Mukavemetlerine Etkisi	98
5.3.5. Numunelerin Sürtünme ile Aşınma Kaybı Değerlerinin Tespiti.....	105
5.3.5.1. Epoksilenmiş Bitkisel Yağ Oranının, Numunelerin Aşınma Miktarlarına Etkisi.....	106
5.3.5.2. Uçucu Kül Oranının, Numunelerin Aşınma Miktarlarına Etkisi.....	107
5.3.5.3. İşlem Sıcaklığının, Numunelerin Aşınma Miktarlarına Etkisi.....	107

5.3.5.4. Yağ Cinsinin, Numunelerin Aşınma Miktarlarına Etkisi.....	112
5.3.6. Numunelerin İşlenebilme Özelliklerinin Tespiti.....	112
5.3.7. Numunelerin Su Emme Miktarının Tespiti.....	114
5.3.7.1. Epoksilenmiş Bitkisel Yağ Oranının, Numunelerin Su Emme Miktarlarına Etkisi.....	115
5.3.7.2. Uçucu Kül Oranının, Numunelerin Su Emme Miktarlarına Etkisi.....	115
5.3.7.3. İşlem Sıcaklığının, Numunelerin Su Emme Miktarlarına Etkisi.....	115
5.3.7.3. İşlem Sıcaklığının, Numunelerin Su Emme Miktarlarına Etkisi.....	122
5.3.7.4. Yağ Cinsinin, Numunelerin Su Emme Miktarlarına Etkisi.....	122
5.3.7.5. Numunelerin Su Emme Deneyleri.....	122
5.3.8. Numunelerin Kuruma Hızlarının Tespiti.....	128
5.3.8.1. Epoksilenmiş Bitkisel Yağ Miktarının, Numunelerin Kuruma Hızlarına Etkisi.....	128
5.3.8.2. Uçucu Kül Miktarının, Numunelerin Kuruma Hızlarına Etkisi.....	135
5.3.8.3. İşlem Sıcaklığının, Numunelerin Kuruma Hızlarına Etkisi.....	135
5.3.8.4. Yağ Cinsinin, Numunelerin Kuruma Hızlarına Etkisi.....	135
5.3.8.5. Numunelerin Kuruma Hızı Deneyleri.....	135
5.4. Numunelerin SEM Analizi.....	141
6. SONUÇLAR, TARTIŞMA VE ÖNERİLER.....	144
KAYNAKLAR.....	148
ÖZÇEÇMİŞ.....	159
EKLER	

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No:

Şekil 3.1.	Dünya’da 2004 -2005 yılları arasında yağ bitkilerinin üretim yüzdeleri.....	18
Şekil 3.2.	Genel olarak bitkisel yağların endüstriyel kullanım alanları.....	20
Şekil 3.3.	Dünyada bitki ve fosil temelli ürünlerin eşit seviyede kullanılabilmesine ait zamanlama projeksiyonu	22
Şekil 3.4.	Çalışmada kullanılan bitkisel yağlardan soya yağının endüstriyel kullanım alanları.....	23
Şekil 3.5.	Soya yağının sentezlenmesiyle, akrilatlanmış epoksilenmiş soya yağının üretimi.....	28
Şekil 3.6.	Kilin SEM görüntüsü.....	31
Şekil 3.7.	Afşin-Elbistan Termik Santrali uçucu külünün SEM görüntüsü	35
Şekil 4.1.	A27 kodlu numuneye ait SEM görüntüsü.....	37
Şekil 4.2.	Gözenekli malzemenin fiziksel modeli.....	37
Şekil 4.3.	Elemanter hücre kesiti.....	38
Şekil 4.4.	Elemanter hücre bileşenleri ısıl dirençlerinin elektriksel benzeşim devre şeması.....	40
Şekil 4.5.	Numunelerde aşınma sonrası izlenen gözenekli yapının görüntüsü.....	46
Şekil 5.1.	Ham soya yağı ile elde edilen numunenin görüntüsü.....	51
Şekil 5.2.	a. %50kil, %50 uçucu kül %60 ESO ile hazırlanmış numunenin görüntüsü b. %50kil, %50 uçucu kül %60 ESFO ile hazırlanmış numune görüntüsü c. %50kil, %50 uçucu kül %55 ESO ile hazırlanmış numune görüntüsü d. %50kil, %50 uçucu kül %55 ESO ile hazırlanmış numunenin yandan görünüşü.....	52
Şekil 5.3.	a. ESFO ve EPO ile hazırlanmış numune b. ESO ile hazırlanmış numune c. EZO ile hazırlanmış numune.....	53
Şekil 5.4.	%50 kil, %50 UK ve %50 ESO ile hazırlanmış numunelerin etüvde 200°C ve 220°C’de 10 saat bekletilmesi ile elde edilen malzemelerin görüntüsü.....	54
Şekil 5.5.	Numunelerin işlem sıcaklıklarının işlem süresine göre değişimi.....	50
Şekil 5.6.	Dört çeşit bitkisel yağla üretilmiş numunelerdeki renk farklılıkları.....	56
Şekil 5.7.	Hazırlanan deney numunelerinin bir kısmının topluca gösterimi.....	57
Şekil 5.8.	160°C’de tüm epoksilenmiş bitkisel yağ, kil ve uçucu kül oranlarında elde edilen numunelere ait görüntüler	58

Şekil 5.9.	%50 Epoksilenmiş bitkisel yağ (ESO, ESFO, EPO ve EZO), %70 uçucu kül, %30 kül ile hazırlanarak 160°C, 180°C ve 200°C’de işlem görmüş numunelere ait görüntüler.....	59
Şekil 5.10.	Numunelerden bir kısmının etüvden çıkmadan önceki görüntüsü.....	59
Şekil 5.11.	Isı iletim katsayısı ölçme aleti.....	62
Şekil 5.12.	Isı iletim katsayısı ölçme cihazı devre şeması.....	63
Şekil 5.13.	Epoksilenmiş bitkisel yağ miktarına göre, numunelerin ısı iletim katsayısı değerlerinin değişimi.....	68
Şekil 5.14.	Uçucu kül oranına göre, numunelerin ısı iletim katsayısı değerlerinin değişimi.....	69
Şekil 5.15.	İşlem sıcaklıklarına göre, numunelerin ısı iletim katsayısı değerlerinin değişimi.....	71
Şekil 5.16.	Yağ cinsine göre, numunelerin ısı iletim katsayısı değerlerinin değişimi.....	72
Şekil 5.17.	Epoksilenmiş bitkisel yağ miktarına göre, numunelerin kütle değerlerinin değişimi.....	78
Şekil 5.18.	Epoksilenmiş bitkisel yağ miktarına göre, numunelerin yoğunluk değerlerinin değişimi	79
Şekil 5.19.	Uçucu kül oranına göre, numunelerin kütle değerlerinin değişimi	80
Şekil 5.20.	Uçucu kül oranına göre, numunelerin yoğunluk değerlerinin değişimi.....	81
Şekil 5.21.	İşlem sıcaklıklarına göre, numunelerin kütle değerlerinin değişimi.....	83
Şekil 5.22.	İşlem sıcaklıklarına göre, numunelerin yoğunluk değerlerinin değişimi.....	84
Şekil 5.23.	Yağ cinsine göre, numunelerin kütle değerlerinin değişimi	85
Şekil 5.24.	Yağ cinsine göre, numunelerin yoğunluk değerlerinin değişimi.....	86
Şekil 5.25.	Basma mukavemeti deneylerinin yapıldığı cihaz.....	89
Şekil 5.26.	Epoksilenmiş bitkisel yağ miktarına göre, numunelerin basma mukavemeti değerlerinin değişimi.....	91
Şekil 5.27.	Uçucu kül oranına göre, numunelerin basma mukavemeti değerlerinin değişimi	92
Şekil 5.28.	İşlem sıcaklıklarına göre, numunelerin basma mukavemeti değerlerinin değişimi	93
Şekil 5.29.	Yağ cinsine göre, numunelerin basma mukavemeti değerlerinin değişimi.....	94
Şekil 5.30.	Epoksilenmiş bitkisel yağ miktarına göre, numunelerin çekme mukavemeti değerlerinin değişimi	99
Şekil 5.31.	Uçucu kül oranına göre, numunelerin	

	çekme mukavemeti değerlerinin değişimi	100
Şekil 5.32.	İşlem sıcaklıklarına göre, numunelerin çekme mukavemeti değerlerinin değişimi	101
Şekil 5.33.	Yağ cinsine göre, numunelerin çekme mukavemeti değerlerinin değişimi	102
Şekil 5.34.	Taş kesme testeresinin önden ve yandan görüntüsü.....	105
Şekil 5.35.	Aşınma deneyi cihazı.....	105
Şekil 5.36.	Numunelerden bir kısmının aşınma işleminden önce ve sonraki durumu.....	105
Şekil 5.37.	Epoksilenmiş bitkisel yağ miktarına göre, numunelerin aşınma kaybı değerlerinin değişimi	108
Şekil 5.38.	Uçucu kül oranına göre, numunelerin aşınma kaybı değerlerinin değişimi.....	109
Şekil 5.39.	İşlem sıcaklıklarına göre, numunelerin aşınma kaybı değerlerinin değişimi	110
Şekil 5.40.	Yağ cinsine göre, numunelerin aşınma kaybı değerlerinin değişimi	111
Şekil 5.41.	Testereyle kesilip, aşınma testinden geçmiş numunelerin bir kısmı.....	112
Şekil 5.42.	Matkapla delinmiş iki numunenin görüntüsü.....	113
Şekil 5.43.	Üzerine çivi çakılmış numunenin görüntüsü.....	113
Şekil 5.44.	Duvar yüzeyine sıvanmış harçların 14 ay sonraki görüntüleri.....	113
Şekil 5.45.	Kütle ve yoğunluk değerlerinin belirlendiği yoğunluk deney seti.....	114
Şekil 5.46.	Epoksilenmiş bitkisel yağ oranına göre, numunelerin su emme miktarı değerlerinin değişimi.....	118
Şekil 5.47.	Uçucu kül oranına göre, numunelerin su emme miktarı değerlerinin değişimi....	119
Şekil 5.48.	İşlem sıcaklıklarına göre, numunelerin su emme miktarı değerlerinin değişimi...	120
Şekil 5.49.	Yağ cinsine göre, numunelerin su emme miktarı değerlerinin değişimi	121
Şekil 5.50.	%70 kil-% 30 uçucu kül oranında üretilen numunelerin su emme işlemi süresince zamana bağlı kütle değerlerinin değişimi	123
Şekil 5.51.	%60 kil-%40 uçucu kül oranında üretilen numunelerin su emme işlemi süresince zamana bağlı kütle değerlerinin değişimi.....	124
Şekil 5.52.	%50 kil-%50 uçucu kül oranında üretilen numunelerin su emme işlemi süresince zamana bağlı kütle değerlerinin değişimi	125
Şekil 5.53.	%40 kil-%60 uçucu kül oranında üretilen numunelerin su emme işlemi süresince zamana bağlı kütle değerlerinin değişimi.....	126
Şekil 5.54.	%30 kil - %70 uçucu kül oranında üretilen numunelerin su emme işlemi süresince zamana bağlı kütle değerlerinin değişimi	127
Şekil 5.55.	Epoksilenmiş bitkisel yağ oranına göre, numunelerin	

	kuruma hızı değerlerinin değişimi	131
Şekil 5.56.	Uçucu kül oranına göre, numunelerin kuruma hızı değerlerinin değişimi.....	132
Şekil 5.57.	İşlem sıcaklıklarına göre, numunelerin kuruma hızı değerlerinin değişimi.....	133
Şekil 5.58.	Yağ cinsine göre, numunelerin kuruma hızı değerlerinin değişimi	134
Şekil 5.59.	%70 kil-%30 uçucu kül oranında üretilen numunelerin kuruma işlemi süresince zamana bağlı kütle değerlerinin değişimi	136
Şekil 5.60.	%60 kil-%40 uçucu kül oranında üretilen numunelerin kuruma işlemi süresince zamana bağlı kütle değerlerinin değişimi	137
Şekil 5.61.	%50 kil-%50 uçucu kül oranında üretilen numunelerin kuruma işlemi süresince zamana bağlı kütle değerlerinin değişimi	138
Şekil 5.62.	%40 kil-%60 uçucu kül oranında üretilen numunelerin kuruma işlemi süresince zamana bağlı kütle değerlerinin değişimi	139
Şekil 5.63.	%30 kil-%70UK oranında üretilen numunelerin kuruma işlemi süresince zamana bağlı kütle değerlerinin değişimi	140
Şekil 5.64.	S45 nolu numunenin SEM görüntüsü.....	142
Şekil 5.65.	A45 nolu numunenin SEM görüntüsü.....	142
Şekil 5.66.	Z45 nolu numunenin SEM görüntüsü.....	143
Şekil 5.67.	P45 nolu numunenin SEM görüntüsü.....	143

TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No:</u>
Tablo 3.1.	Bazı bitkisel yağ tohumlarının temel bileşimi.....15
Tablo 3.2.	Bazı yağ asitlerinin kimyasal ve fiziksel özellikleri, kapalı formülleri.....16
Tablo 3.3.	Endüstride sık kullanılan yağların teknolojik özellikleri ve yağ asit profili.....17
Tablo 3.4.	Bazı ülkelerin 2006 yılı yağlı tohum üretim değerlerinin dağılımı.....18
Tablo 3.5.	Dünya bitkisel yağ üretim ve tüketim miktarları19
Tablo 3.6.	Türkiye’de yağlı tohumlu bitkilerin yıllara göre üretim miktarları19
Tablo 3.7.	Türkiye’nin bitkisel yağ ithalat ve ihracatı19
Tablo 3.8.	Endüstriyel uygulamalarda bitkisel yağların kullanım alanlarının kıyaslanması21
Tablo 3.9.	Karbonhidratlara karşı hidrokarbonlardan üretimler21
Tablo 3.10.	Soya yağı ile elde edilen ürünlere ait bazı örnekler24
Tablo 3.11.	Dünyada 2000-2020 yılları arasında üretim, tüketim ve ihracat değerleri projeksiyonu24
Tablo 3.12.	Dünyada endüstriyel olarak önemli bitkisel yağların, 2000-2020 yılları arasında üretim projeksiyonu 25
Tablo 3.13	Türkiye 2015 yılı bitkisel yağ tüketim projeksiyonu25
Tablo 3.14.	Deneylerde kullanılan epoksilenmiş bitkisel yağların genel özellikleri29
Tablo 3.15.	Deneylerde kullanılan kilin analizi31
Tablo 3.16.	Uçucu küllerinin genel kullanım alanları34
Tablo 3. 17.	Uçucu küllerin inşaat sektöründe kullanıldığı alanlar34
Tablo 3.18.	Türkiye’deki bazı uçucu küllerin kompozisyonlarının beton üretiminde kullanımı için uygunluğunun standart sınırlarıyla karşılaştırılması35
Tablo 3.19.	Deneylerde kullanılan uçucu külün analizi.....35
Tablo 4.1.	Elemanter hücre bileşenlerine ait ısı dirençlerinin matematiksel ifadeleri.....40
Tablo 4.2.	Afşin Elbistan Termik Santrali uçucu külü ve kil matrislerine ait yoğunluk değerleri45
Tablo 4.3.	Deneylerde kullanılan malzemelere ait yoğunluk değerleri45
Tablo 4.4.	Deneylerde kullanılan malzemelere ait ısı iletim katsayıları47
Tablo 4.5.	Afşin Elbistan Termik Santrali baca gazı analiz sonuçları48
Tablo 4.6.	300 K sıcaklığında muhtelif gazların yoğunlukları ve ısı iletim katsayıları49
Tablo 4.7.	Deneysel ve Kuramsal Sonuçların İrdelenmesi50

Tablo 5.1.	Deneylerde kullanılan numune kodları -1.....	60
Tablo 5.2.	Deneylerde kullanılan numune kodları -2.....	61
Tablo 5.3.	Numunelere ait ısı iletim katsayısı değerleri - 1.....	65
Tablo 5.4.	Numunelere ait ısı iletim katsayısı değerleri - 2.....	66
Tablo 5.5.	Numunelere ait kütle değerleri-1.....	73
Tablo 5.6.	Numunelere ait kütle değerleri-2.....	74
Tablo 5.7.	Numunelere ait yoğunluk değerleri-1.....	75
Tablo 5.8.	Numunelere ait yoğunluk değerleri-2.....	76
Tablo 5.9.	Numunelere ait basma mukavemeti değerleri-1.....	87
Tablo 5.10.	Numunelere ait basma mukavemeti değerleri-2.....	88
Tablo 5.11.	Numunelere ait çekme mukavemeti değerleri-1.....	96
Tablo 5.12.	Numunelere ait çekme mukavemeti değerleri-2.....	97
Tablo 5.13.	Numunelere ait aşınma miktarı değerleri-1.....	103
Tablo 5.14.	Numunelere ait aşınma miktarı değerleri-2.....	104
Tablo 5.15.	Deneyde kullanılan zımpara tozunun kimyasal bileşimi.....	106
Tablo 5.16.	Numunelere ait su emme miktarı değerleri-1.....	116
Tablo 5.17.	Numunelere ait su emme miktarı değerleri-2.....	117
Tablo 5.18.	Numunelere ait kuruma hızı değerleri-1.....	129
Tablo 5.19.	Numunelere ait kuruma hızı değerleri-2.....	130
Tablo 6.1.	İşlem sıcaklığında ve kompoziti oluşturan malzemelerin miktarlarında yapılan değişikliklerin, üretilen numunelere ait deney sonuçları üzerindeki etkilerinin irdelenmesi.....	147

EKLER LİSTESİ

EK-1. SU EMME MİKTARI VE KURUMA HIZI DENEYLERİNE AİT SONUÇLARIN TABLOLAR HALİNDE GÖSTERİLMESİ

Ek 1.1.	ESO'lu numunelere ait su emme deneyi sonuçları-1
Ek 1.2.	ESO'lu numunelere ait su emme deneyi sonuçları-2
Ek 1.3.	ESFO'lu numunelere ait su emme deneyi sonuçları-1
Ek 1.4.	ESFO'lu numunelere ait su emme deneyi sonuçları-2
Ek 1.5.	EPO'lu numunelere ait su emme deneyi sonuçları-1
Ek 1.6.	EPO'lu numunelere ait su emme deneyi sonuçları-2
Ek 1.7.	EZO'lu numunelere ait su emme deneyi sonuçları-1
Ek 1.8.	EZO'lu numunelere ait su emme deneyi sonuçları-2
Ek 1.9.	ESO'lu numunelere ait kuruma hızı deneyi sonuçları-1
Ek 1.10.	ESO'lu numunelere ait kuruma hızı deneyi sonuçları-2
Ek 1.11.	ESFO'lu numunelere ait kuruma hızı deneyi sonuçları-1
Ek 1.12.	ESFO'lu numunelere ait kuruma hızı deneyi sonuçları-2
Ek 1.13.	EPO'lu numunelere ait kuruma hızı deneyi sonuçları-1
Ek 1.14.	EPO'lu numunelere ait kuruma hızı deneyi sonuçları-2
Ek 1.15.	EZO'lu numunelere ait kuruma hızı deneyi sonuçları-1
Ek 1.16.	EZO'lu numunelere ait kuruma hızı deneyi sonuçları-2

EK-2. SHOTERM QTM ÖLÇME CİHAZI İLE DEĞİŞİK MALZEMELERİN ISIL İLETKENLİK DEĞERLERİNİN TESPİTİ

EK-3. DEĞİŞİK EPOKSİLENMİŞ BİTKİSEL YAĞ ORANLARININ NUMUNE ÖZELLİKLERİNE OLAN ETKİSİ

Ek 3.1.	160 ⁰ C'de, numune içeriğindeki EVO oranının, ısı iletim katsayısına etkisi
Ek 3.2.	180 ⁰ C'de, numune içeriğindeki EVO oranının, ısı iletim katsayısına etkisi
Ek 3.3.	200 ⁰ C'de, numune içeriğindeki EVO oranının, ısı iletim katsayısına etkisi
Ek 3.4.	160 ⁰ C'de, numune içeriğindeki EVO oranının, kütle etkisi
Ek 3.5.	180 ⁰ C'de, numune içeriğindeki EVO oranının, kütle etkisi
Ek 3.6.	200 ⁰ C'de, numune içeriğindeki EVO oranının, kütle etkisi

- Ek 3.7.** 160⁰C’de, numune içeriğindeki EVO oranının, yoğunluğa etkisi
- Ek 3.8.** 180⁰C’de, numune içeriğindeki EVO oranının, yoğunluğa etkisi
- Ek 3.9.** 200⁰C’de, numune içeriğindeki EVO oranının, yoğunluğa etkisi
- Ek 3.10.** 160⁰C’de, numune içeriğindeki EVO oranının, basma mukavemetine etkisi
- Ek 3.11.** 180⁰C’de, numune içeriğindeki EVO oranının, basma mukavemetine etkisi
- Ek 3.12.** 200⁰C’de, numune içeriğindeki EVO oranının, basma mukavemetine etkisi
- Ek 3.13.** 160⁰C’de, numune içeriğindeki EVO oranının, çekme mukavemetine etkisi
- Ek 3.14.** 180⁰C’de, numune içeriğindeki EVO oranının, çekme mukavemetine etkisi
- Ek 3.15.** 200⁰C’de, numune içeriğindeki EVO oranının, çekme mukavemetine etkisi
- Ek 3.16.** 160⁰C’de, numune içeriğindeki EVO oranının, aşınma miktarına etkisi
- Ek 3.17.** 180⁰C’de, numune içeriğindeki EVO oranlarına, göre aşınma miktarına etkisi
- Ek 3.18.** 200⁰C’de, numune içeriğindeki EVO oranının, aşınma miktarına değişim
- Ek 3.19.** 160⁰C’de, numune içeriğindeki EVO oranının, su emme miktarına etkisi
- Ek 3.20.** 180⁰C’de, numune içeriğindeki EVO oranının, su emme miktarına etkisi
- Ek 3.21.** 200⁰C’de, numune içeriğindeki EVO oranının, su emme miktarına etkisi
- Ek 3.22.** 160⁰C’de, numune içeriğindeki EVO oranının, kuruma hızına etkisi
- Ek 3.23.** 180⁰C’de, numune içeriğindeki EVO oranının, kuruma hızına etkisi
- Ek 3.24.** 200⁰C’de, numune içeriğindeki EVO oranının, kuruma hızına etkisi

KISALTMALAR LİSTESİ

A.K.	Aşınma kaybı
AESO	Akrilatlanmış epoksilenmiş soya yağı
B.M.	Basma mukavemeti
C	Karbon
Ç.M.	Çekme mukavemeti
DETA	Dietilen tetra amin
DOP	Dioktik ftalat
EAS	Epoksilenmiş alil soya yağı
ECO	Epoksilenmiş hint yağı
ELO	Epoksilenmiş keten yağı
EMO	Epoksilenmiş mısır yağı
EMS	Epoksilenmiş metil soya yağı
E.N.	Erime noktası
EPO	Epoksilenmiş palm yağı
ESFO	Epoksilenmiş ayçiçeği yağı
ESO	Epoksilenmiş soya yağı
EVO	Epoksilenmiş bitkisel yağlar
EZO	Epoksilenmiş zeytin yağı
FVO	Fonksiyonolize edilmiş bitkisel yağ
H	Hidrojen
K.H.	Kuruma hızı
KFS	Keratin fiberli soya yağı
MAESO	Maleinlenmiş akrilatlanmış epoksilenmiş soya yağı
O	Oksijen
OEL	Oktilepoksitli keten yağı
PMSO	Pentaeritriolmaletesli soya yağı
PCL	Polykaprolakton
PET	Polietilen terepilat
PHBV	Hidroksibütratlı hidrosivalerit
PLA	Poly laktik asit
PS	Polistren
PVC	Polivinilklorid

R	Hidrokarbon zinciri
S.E.	Su emme
SO	Soya yağı
TETA	Trietilentetra amin
THPE-GE	Trisetantriglisirid eter
UK	Uçucu kül
UV	Ultraviyole
YOAS	Yüksek Oleik Asitli Soya

SİMGELER LİSTESİ

ν	Kinematik vizkozite, (m^2/s)
μ	Dinamik viskozite, (kg/ms)
ε	Isı neşretme katsayısı (siyah cismin ışıınım katsayısı), (-)
ν	Kinematik viskozite, (m^2/s)
σ	Stefan-Boltzman sabiti, ($5.67 \cdot 10^{-8} W/m^2K^4$)
ρ	Yoğunluk, (kg/m^3)
$\rho_{bağ}$	Bağlayıcı malzemenin yoğunluğu, ($\rho_{bağ} = \rho_{kil} + \text{epoksilenmiş bitkisel yağ}$), (g/cm^3)
ρ_k	Katı malzemenin yoğunluğu, (g/cm^3)
$\rho_{kül}$	Sıfır poroziteli külün yoğunluğu, (g/cm^3)
1-F	Ağırlıkça bağlayıcı oranı ($W_{bağ}/W$), (-)
a	Isı yayılım katsayısı, (m^2/s)
A	Isı akımına dik yüzey alanı, (m^2)
A	Alan, (m^2)
C_p	Özgül ısı, ($J/kg^\circ C$)
E	Young modülü, (MPa)
F	Ağırlıkça kül oran($W_{kül}/W$), (-)
F_{basma}	Numunenin karakteristik basma dayanımı, (MPa)
$F_{çekme}$	Numunenin karakteristik çekme dayanımı, (MPa)
g	Yerçekimi ivmesi, (m/s^2)
Gr	Grashof sayısı $\{[g \cdot \beta \cdot (T_1 - T_2) \cdot R] / \nu^2\}$, (-)
h	Isı taşınım katsayısı, (W/m^2K)
h/L	Poroziteye bağlı olarak değişen ‘boyut oranı’ sayısı
I	Isıtıcı telden geçen akım şiddeti, (A)
k	Isı iletim katsayısı, ($kcal \cdot m / h \cdot m^2 \cdot ^\circ C$), (W/mK)($1 W/mK = 0.859 kcal/h.m.^{\circ}C$)
K,H	Isı iletim katsayısı ölçme cihazına ait sabitler, ($K=252 \cdot 10^{-4}$, $H=33 \cdot 10^{-3}$)
$k_{bağ}$	Bağlayıcı malzemenin ısıl iletkenliği, (W/mK)
k_{ef}	Heterojen gözenekli katı malzemenin ortalama efektif ısı iletim katsayısı, (W/mK)
k_G	Gözenek içindeki gazın ısıl iletkenliği, (W/mK)
k_K	Kıl+epoksilenmiş bitkisel yağın ısı iletim katsayısı, (W/mK)

$k_{k\ddot{u}l}$	Sıfır poroziteli k\ddot{u}l\ddot{u}n ısı iletkenliği, (W/mK)
k_s	Numunenin katı fazının ısı iletkenliği, (W/mK)
k_U	Uçucu k\ddot{u}l\ddot{u}n ısı iletim katsayısı, (W/mK)
L	Isıtıcı tel uzunluğu, (m)
L	Levhanın kalınlığı, (m)
m	K\ddot{u}tle, (g)
Pr	Prandtl sayısı (ν / a), (-)
Q	Birim zamanda ısı akımı (kcal/h), (W)
q_r	Radyasyonla ısı transferi, (W/mK))
R	Elektriksel direnç, (m^2K/W)
Ra	Rayleigh sayısı ($Gr^* Pr$), (-)
t	Zaman, (s)
T	Sıcaklık, (K)
T_1, T_2	Sırasıyla sıcak ve soğuk y\ddot{u}zey sıcaklıkları, (K)
ν	Hız, (m/s)
V	Toplam hacim, (m^3)
V	Termo eleman gerilimi, (mV)
V_g	G\ddot{o}zenek hacmi, (m^3)
V_k	Katı kısmının hacmi, (m^3)
W	Ağırlık, (g)
W_d	Su emdirilmiş ağırlıklar, (g)
W_k	Kuru numune ağırlıkları, (g)
z	Herhangibir yerdeki y\ddot{u}kseklik, (m)
Z	Hacimsel k\ddot{u}l oranı ($V_{k\ddot{u}l}/V$), (%)
$Z_{bağ}$	Hacimsel bağlayıcı oranı ($V_{bağ}/V$) ($1-z$), (%)
ΔT	Sıcaklık farkı, (K)
ϕ	G\ddot{o}zeneklilik oranı (porozite), (%)

ÖZET

Doktora Tezi

BİTKİSEL YAĞLARIN KOMPOZİT MALZEME YAPIMINDA KULLANILMASI

Figen BALO

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

2008, Sayfa :159

ÖZET

Bu çalışmada, uçucu kül, doğal kil ve dört çeşit epoksilenmiş bitkisel yağ kullanılarak 180 adet değişik yeni kompozit malzeme üretilmiştir. Elde edilen kompozit malzemelerin ısıl ve mekanik özellikleri incelenerek yalıtım malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Uçucu kül olarak Afşin Elbistan Termik Santral uçucu külü kullanılmıştır. Türkiye’de mevcut termik santrallerden yılda toplam on beş milyon tonun üzerinde üretilip ciddi bir çevre kirliliğine sebep olan bu malzemelerin, yeniden ekonomiye kazandırılması hedeflenirken yalıtım özellikli yeni bir yapı malzemesinin üretilmesi ile aynı zamanda enerji tasarrufu da sağlanmış olacaktır. Bağlayıcı olarak hazırlanan değişik oranlardaki kil ve epoksilenmiş bitkisel yağ karışımları kullanılmıştır. Uçucu kül ve kilin tüm karışımlarda ağırlıkça yüzde oranları 30, 40, 50, 60 ve 70 olarak, epoksilenmiş dört çeşit bitkisel yağın (soya yağı, ayçiçeği yağı, zeytinyağı ve palm yağı) ağırlıkça yüzde oranı ise 40, 45 ve 50 olarak alınmıştır. Numuneler basma, çekme, aşınma, su emme, kuruma hızı, ısı iletim katsayısı, kütle ve yoğunluk değerlerinin tayini için deneylere tabi tutulmuştur.

Bu çalışmanın giriş bölümünde tez konusu tanıtılmış, ikinci bölümünde konu ile ilgili literatür araştırmaları sunulmuştur. Üçüncü bölümde, çalışmanın ana malzemelerinden olan bitkisel yağlar, deneylerde kullanılan epoksilenmiş bitkisel yağlar, uçucu kül ve kil hakkında bilgi verilmiştir. Dördüncü bölümde ise numunelere ait ısı iletim katsayısını veren cebirsel bir denklem geliştirilmiştir. Beşinci ve altıncı bölümde yapılan deneysel çalışmalar ve sonuçları değerlendirilmiştir.

Değerlendirme sonucunda;

- Hazırlanan uçucu kül, kil ve epoksilenmiş bitkisel yağ karışımlı numunelerin ısı iletim katsayılarının küçük olması nedeniyle, gerek dış sıva malzemesi gerekse döşeme-duvar kaplama malzemesi olarak kullanılması halinde büyük oranda enerji tasarrufu sağlayacağı tespit edilmiştir.

- Isı yalıtımı söz konusu olduğu zaman göz önüne alınan kompozit malzemelerdeki uçucu kül ve epoksilenmiş bitkisel yağ oranlarının kile göre daha fazla olması gerektiği, su yalıtımı ve dayanıklılığın önemli olması gereken durumlarda ise kil oranının daha fazla olması gerektiği belirlenmiştir.

- Epoksilenmiş bitkisel yağ ve uçucu kül düşük oranda kullanılırsa, numunelerin aşınma değerleri küçük, basma mukavemeti değerleri yüksek çıkmaktadır. Bu gibi özellikleri göz önünde bulundurularak bu malzemelerin yalıtım özellikli duvar kaplama malzemesi olarak kullanılabileceği saptanmıştır.

- Donmaya karşı dayanımın kontrolü için numunelere su emme deneyi uygulanmıştır. Bu deneylerde su emme oranı TSE normlarında verilen %30 kritik değerin oldukça altında çıkmıştır. Bu nedenle üretilen malzemelerin plaka şeklinde çatı yalıtımında ve dış sıva malzemesi olarak da kullanılabileceği anlaşılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Epoksilenmiş bitkisel yağ, uçucu kül, kil, kompozit malzeme

ABSTRACT

PhD Thesis

USING VEGETABLE OILS IN OBTAINING OF COMPOSITE MATERIALS

Figen BALO

Firat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

2008, Page :159

ABSTRACT

In present work fly ash, natural clay and four different kinds of epoxidized vegetable oils (soybean oil, sunflower oil, olive oil and palm oil) were used to produce 180 kinds of composite materials. By analyzing heat conductivity of these novel materials, their use as an insulation material is investigated.

In the mixture, a kind of thermal central waste product, fly ash is used, which is produced annually over than 15 million tones in Turkey. Not only the re-use of these products is a good development for environment, but also to obtain an insulation material with them is a very important attack for energy saving policy. The fly ashes which are used in the experiments are taken from Afşin-Elbistan Thermal Central. The natural clay and epoxidized oil are used in various ranges as adhesive materials. The percentage ratio of the weights of fly ash and natural clay were 30, 40, 50, 60 and 70. Four different kinds of epoxidized vegetable oils were added to the mixture in a percentage of 40, 45, and 50. The new productions were subjected to some tests to find out their detailed properties such as strain, tension, abrasion, sucking capability of water, rate of drying, thermal conductivity coefficient, mass and density.

This thesis consists of six chapters. The 1st chapter includes the introduction of the subject of the thesis while the 2nd chapter includes the detailed literature survey about the subject. The 3rd chapters involve respectively, the general information about the vegetable oil and the specific information about the used materials in this thesis (epoxidized vegetable oils, fly ash and natural clay). In the 4th chapter has the knowledge about the physical model and

mathematical formulation of the produced materials. In the 5th and 6th chapters the experimental work and its results are presented.

From the test results, some important conclusions are made as follows:

- The thermal conductivity coefficient of the mixture of the epoxidized vegetable oil, fly ash and natural clay is found quite low. Therefore, it is obvious that the use of this new mixed material will cause a great energy saving either it is used as external-wall-compo material or floor-wall-covering material.
- It is observed that, the rate of fly ash and epoxidized vegetable oil should be more than the clay rate, when the thermal insulation is considered. On the other hand, the rate of clay is much more important when the water insulation and strength of the material is considered.
- When the epoxidized vegetable oil and fly ash materials are used in low rates, the strain resistance value of the materials is found high and the abrasion value is low. Therefore it is suggested to be used as wall covering insulation material.
- The resistance of the new materials to the freezing is tested by ‘water sucking method’. Their capability of to sucking water is found lower than the critic level %30 which is given by TSE norm. Hence, the author suggests using this material as roof insulation plates or outer wall compo material.

Key Words: Epoxidized vegetable oils, fly ash, clay, composite material

1. GİRİŞ

Dünya’da gerek hızlı nüfus artışı ve gerekse endüstriyel alandaki büyümeler, yeni enerji ve yapı malzemelerine olan ihtiyacı artırmıştır. Artan enerji ihtiyacı ya yeni enerji kaynaklarının araştırılmasıyla yada enerjinin daha akılcı kullanımıyla karşılanabilir. Bu önlemlerin başında enerji tüketimini minimuma indirmek en kolay seçenektir.

Son yıllarda Dünya’da ve Türkiye’de endüstriyel atıkların değerlendirilmesi önem kazanmıştır. Bu malzemeleri değerlendirmek amacıyla yapılan bu çalışmayla, bir taraftan yalıtım özellikli, daha ucuz yeni bir kompozit türü yapı malzemesi üretimi hedeflenirken, diğer taraftan da atık maddelerin çevreye olan olumsuz etkileri ortadan kaldırılmış olacaktır [1].

Türkiye’deki mevcut 15 termik santralde, atık malzeme olarak yılda on beş milyon tonun üzerinde uçucu kül üretilmektedir. Bu küller, bünyesinde 10^{-6} m. mertebesinde çok küçük gözeneklere sahiptir. Uçucu kül kullanılarak üretilen malzemeler, bu gözenekler sayesinde ısı geçişine karşı direnç gösterebilir. Bu çalışmada, kimyasal yapısına eklenen katkılarla sentezleme işleminden geçirilerek plastiklik verme özelliği kazandırılmış bitkisel yağlar ve doğal kil farklı oranlarda karıştırılarak, Afşin Elbistan termik santralinde üretilen baca altı uçucu külü ile birlikte işleme alınmış ve bu şekilde yeni kompozit malzeme üretimleri yapılmıştır. Üretilen bu yeni malzemeler ısı ve mekanik deneylere tabi tutularak yalıtım malzemesi olarak kullanılabilirlikleri araştırılmıştır.

Üretilen malzemelerin önemli bileşenlerinden biri olan epoksilenmiş bitkisel yağlar, özellikle petrol evsafı olmayan malzemelerin üretiminde Dünyada oldukça geniş çaplı bir kullanım alanı bulmasına rağmen, Türkiye’de boru ve deterjan üretimi dışında pek kullanılmamaktadır. Bu çalışmada, bir taraftan uçucu küllerin değerlendirilmesi ve epoksilenmiş bitkisel yağlar için yeni bir kullanım alanı oluşturulması sağlanırken, diğer taraftan da yalıtım özellikli yeni bir malzeme üretiminin yapılması hedeflenmiştir.

Üretilen bu kompozit türü malzeme, ısı, su ve sese karşı yalıtım sağlamak amacıyla tuğla, iç sıva, dış sıva ve çatı kaplama sıvası olarak değerlendirilebileceği gibi, seramik türü bir malzeme şeklinde de kullanımı söz konusu olacaktır.

Çalışma altı bölüm şeklinde sunulmuştur. Birinci giriş bölümünden sonra bölüm ikide; genel olarak epoksilenmiş bitkisel yağların kullanım alanları, uçucu kül ve kil katı malzemeleri kullanılarak yapılan yalıtım malzemesi üretimleri ve gözenekli katı malzemelerde ısı iletkenlik katsayısının kuramsal olarak incelenmesi hakkında genel teorik bilgiler, literatür araştırmaları eşliğinde sunulmuştur. Bölüm üçte; çalışmanın temel malzemesi olan bitkisel yağların yapıları, fiziki ve kimyasal özellikleri, endüstriyel kullanım alanları ve bitkisel yağların son yıllarda Türkiye ve Dünya’daki üretim potansiyeli ile gelecekteki üretim hedefleri verilmiştir. Ayrıca

deneylerde kullanılan epoksilenmiş bitkisel yağların ve katı materyallerin genel özellikleri, bu konularda yapılmış literatür çalışmalarıyla birlikte gerek yapılan analiz sonuçları, gerekse malzemelerin temin edildiği firmalardan gelen ürün bilgileri ile desteklenerek aktarılmıştır. Bölüm dördte; çalışmada üretilen gözenekli katı malzemenin ısı iletkenlik katsayısının kuramsal olarak incelenmesi amacıyla, fiziksel model oluşturulmuştur. Farklı ısı iletim katsayılarına sahip malzemeler kullanılarak üretilmiş heterojen yapılı bu numunelerden, birine ait fiziksel modelden alınan elemanter hücre kesitinin, Fourier ısı iletimi kanunu esas alınarak, porozite, hacim - ağırlık oranları ilişkisi, gözeneksiz kül-kil ve bağlayıcılara ait ısı iletim katsayıları ve gözenek içindeki gazların ısı iletim katsayıları ile birlikte değerlendirilerek, efektif ısı iletim katsayısını (k_{ef}) veren cebirsel bir denklem çıkarılmıştır. Daha sonra dört farklı epoksilenmiş bitkisel yağ içeriğine sahip örnek numuneler için sayısal çözümler yapılarak elde edilen sonuçların, deney sonuçlarıyla uyumlu olduğu gösterilmiştir. Bölüm beşte; deneye başlamadan önce yapılan hazırlık çalışmaları, konu edilmiştir. Daha sonra numunelerin üretim aşamaları ve numuneler üzerine uygulanan deneyler açıklanmıştır. Çalışmanın bu bölümü aynı zamanda numunelerden elde edilen deney sonuçlarını ve değerlendirmelerini içermektedir. Bölüm altıda; çalışmanın bütünü ele alınarak genel değerlendirme ve sonuçlar yer almıştır. Çalışmada metin içerisinde yerleştirilmeyen bazı tablolar ve şekiller ek şeklinde sunulmuştur.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Epoksilenmiş Bitkisel Yağlar

Çalışma konusu ve çalışmada kullanılan malzemeler ile ilgili geniş bir literatür taraması yapılmıştır. İçerik olarak konuya yakın olanların bir kısmı aşağıda verilmiştir.

Güner ve arkadaşları [2], susam, hint, kolza, ayçiçek, pamuk, soya, keten gibi bitkilerin bünyesindeki trigliserid yağları modifiye ederek üretilmiş reçinelerden, değişik polimerizasyon metodlarıyla kompozitler elde etmenin mümkün olduğunu belirtmişlerdir. Bu şekilde üretilen polimerik kompozit malzemelerin, teknik amaçlar için geniş çapta kullanılabilmeye açık olduğunu ve özellikle ısı dayanımı, esneklik, kimyasallara direnç, biouygunluk, bioazaltılabilirlik, metalik maddelere yapışma, gaz geçirgenliği, elektriksel iletkenlik ve yanmazlık gibi bazı özel özelliklerin bu tip üretimlerle sağlanabileceğini ifade etmişlerdir.

Sharma ve Kundu [3], soya, pamuk, keten, hint, odun yağı...vb doğal yağların polimer kompozit malzeme üretiminde kullanılabilirliği konusunda çalışmışlardır. Özellikle fonksiyonolize edilmiş ayçiçek yağı, soya yağı, kanola yağı, yalancı safran yağı gibi doğal yağlardan geliştirilen polimerlerin, oldukça iyi mekanik ve ısıl özellikler gösterdiklerini ve bu tip yağların esnek yapıda malzeme üretimine zemin hazırladığını belirtmişlerdir. Epoksilenmiş mısır yağının ise kompozit malzeme üretiminde yapıya plastiklik özelliği kazandırabilmesine karşılık çok fazla nem çekme özelliği sebebiyle kullanımının sınırlı olduğunu belirtmişlerdir.

Cook ve arkadaşları [4], bitkisel yağların fonksiyonolize edilerek kurutulduğu zaman yapışkanlıklarının en üst seviyede olduğunu ispatlamışlardır. Bitkisel yağları bu şekilde kullanarak, dayanım açısından oldukça iyi özellikli kompozitler ürettiklerini belirtmişlerdir.

Larock ve arkadaşları [5], ESO ve EMO ile sert kompozitler geliştirmişlerdir. İçeriğinde yenilenebilir bitkisel yağ kullandıkları malzemelerin ısıl ve mekanik özelliklerinde, özellikle de ses ve titreşim absorpsiyonu konusunda oldukça iyi sonuçlar elde ettiklerini belirtmişlerdir.

Lan ve arkadaşları [6], fonksiyonolize edilmiş bitkisel yağların kompozit üretiminde kullanılması durumunda, elde edilen polimer yapıların, kimyasallara-suya direnç, yapışkanlık ve esneklik gibi özelliklerinin olumlu yönde düzeltilebileceğini belirtmişlerdir. Özellikle bitkisel yağların polimer malzeme üretiminde kullanılmasının, biouygulama ve bioazaltma çalışmalarında son derece önemli olduğunu vurgulamışlardır.

Gandini ve arkadaşları [7], sentezlenmiş bitkisel yağlarla üretilen biokompozitlerden oldukça iyi işlenebilirlik ve mekanik özellikler elde edilebileceğini açıklamışlardır. Mürekkep,

cila ve boya gibi çoğunlukla sentetik içerikli üretilen malzemelerde, sentetik malzemeler yerine bitkisel yağlı reçinelerin kullanılabilirliğinin kimyasal olarak mümkün olduğunu belirtmişlerdir.

Khot ve arkadaşları [8], kompozit yapımında fonksiyonolize edilmiş bitkisel yağların kullanılması durumunda, kompozitin mekanik özelliklerinin istenilen sınırlarda düzenlenebileceğini ifade etmişlerdir.

Derqouleu ve arkadaşları [9], çalışmalarında zeytinyağı ve zeytin çekirdekleriyle üretilen reçinelerin, polimerik malzeme yapımında kullanılmaya kimyasal bakımdan uygun olduğunu açıklamışlardır.

Boquillon ve arkadaşları [10], anhidritli ELO'nun polimer kompozit yapıya katılmasıyla üretilen kompozitlerden güçlü mekanik ve fiziksel özellikler elde edildiğini belirtmişlerdir. Yüksek sağlamlık gerektiren objelerin üretiminde sentetik reçinelere alternatif olarak bu yağın kullanılabileceğini açıklamışlardır.

Ashraf ve arkadaşları [11], polimetakrilikli ELO ile üretilmiş kompozitlerden esneklik, hafiflik, yapışkanlık gibi özelliklerin sağlanabildiğini, ancak katılık konusunda çok verimli sonuçlar alamadıklarını belirtmişlerdir.

Weber [12], hint yağının, suya direnci sebebiyle elektronik endüstrisindeki uygulamalarda ve kaplama malzemeleri yapımında kullanımının artmaya başladığını ancak mekanik özellikler açısından, birçok bitkisel yağdan daha zayıf özellikler sergilediğini ifade etmiştir. Hindistan cevizi yağı ve hint fasulyesi yağının, boya imalatında ve su geçirmez kaplama malzemesi üretiminde kullanılmaya uygun olduğunu açıklamıştır.

Gan ve arkadaşları [13], palm yağının epoksilenmiş esterlerinin, PVC için plastikleştirici olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Basiron ve Weng [14], EPO'nun, polimerik kaplamalarda, termoplastiklerde, yazıcı mürekkeplerinde, toksit olmayan sıvama çamurlarında ve yağlama yağlarında hammadde olarak kullanılmaya uygun olduğunu açıklamışlardır. Ayrıca endüstriyel çalışmalarda palm yağının tercih edilmesi durumunda oldukça ekonomik üretimlerin elde edilebileceğini vurgulamışlardır.

Rosli ve arkadaşları [15], yüzey kaplama işlemlerinde, EPO katkılı reçine kullanımıyla arzu edilen esneklik ve sertlik özelliklerinin daha ucuz elde edilebileceğini belirtmişlerdir.

Choi ve Park [16], ESO içerikli kompozitlerin üretiminde, yapıdaki ESO oranı artırıldığında, kompozitin çekme mukavemeti değerlerinin azaldığını ifade etmişlerdir.

Czub [17], ESO'lu reçinelerle elde edilen kompozitlerin, yüksek kimyasal direnç, düşük su absorpsiyonu ve iyi mekanik özellikler gösterdiğini belirtmiştir.

Ahamed ve arkadaşları [18], kompozit üretiminde aranan esnek yapıyı, içerikte %10 - %30 arasında EAS ve EMS kullanarak elde edebilmenin mümkün olduğunu belirtmişlerdir.

Dweib ve arkadaşları [19], düşük maliyetli inşaat yapımı için, inşaatların çatı, merdiven, duvar...vd bölümlerde SO reçinelerini ve doğal fiberleri (keten, selüloz..vd) temel alan plastik içerikli kompozitlerin kullanılabilirliğine yönelik çalışmalar yapmışlardır. Bu kompozitler yardımıyla yüksek mukavemet ve katılık, değişik hava şartlarına uygunluk, hafif ağırlık, esneklik ve dizayn estetiği gibi özelliklerin sağlanabileceğini belirtmişlerdir.

Dweib ve arkadaşları [20], bio-temelli kompozit çatı yapılarının üretimlerini içeren bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında AESO reçine, selüloz fiberler ve çeşitli kimyasal katkı maddeleri kullanmışlardır. Kompozit yapının kullanılabilirliğini ve su emme özelliklerini incelemişlerdir. Sonuçta AESO'nun çatılarda başarıyla uygulanabileceğini belirtmişlerdir.

Shabeer ve arkadaşları [21], içeriğine %10-%30 arasında EAS reçinesi ilave edilerek üretilen polimerik malzemelerin, ses, titreşim, nem...gibi özellikli malzeme gerektiren uygulamalarda kullanılabilir olduğundan bahsetmişlerdir.

Xu ve arkadaşları [22], içeriğine katılan ESO ile 150°C'de ürettikleri polimerik kompozitin, güçlü katılıkta elde edildiğini ve yüksek elastikiyet verdiğini ifade etmişlerdir.

Loza ve arkadaşları [23], polyester kompozitlerin üretimi esnasında yapıya %17'ye kadar eklenen ESO'nun mekanik özellikler üzerinde olumlu etkisinin olduğunu, %17'den daha fazla kullanılmasının yapının mekanik özelliklerini bozduğunu ifade etmişlerdir.

Thames ve arkadaşları [24], ESO ile üretilecek kompozit malzemelerden mükemmel yapışkanlık, yüksek mukavemet gibi özellikleri elde etmenin mümkün olduğunu belirtmişlerdir.

Miyagawa ve arkadaşları [25], %20 ELO ve %20 OEL'i ayrı ayrı kille birlikte kullanarak ürettikleri nanokompozitlerin her ikisinde de, saf epoksi ve kille sentezlenerek üretilmiş kompozitlere göre daha yüksek elastiklik modülü elde ettiklerini ifade etmişlerdir.

Lu ve arkadaşları [26], AESO, MAESO ve PMSO gibi üç çeşit FVO ile streni birleştirerek kille birlikte polimer malzeme yapımında kullanmışlardır. Yapıdaki kil içeriğinin %4'e kadar artmasıyla esneklik modülünün %30 oranında arttığını, ancak ısı özelliklerinde belirgin bir değişim olmadığını belirtmişlerdir.

Zhu ve arkadaşları [27], ESO ile birlikte kilin sentezlenmesiyle elastik nanokompozitler üretmişlerdir. Yapıya %10'a kadar eklenen kilin mekanik özellikleri önemli ölçüde iyileştirdiğini ifade etmişlerdir. Elde edilen malzemelerin çekme mukavemetlerini 0.08-0.58 MPa arasında tespit etmişlerdir.

Liu ve arkadaşları [28], ESO ve kil içerikli olarak ürettikleri nanokompozitlerde, çekme mukavemetlerinin, yapıdaki kil miktarı %8'e kadar arttırıldıkça arttığını (%8 kil ile maksimum çekme mukavemeti 4,54 MPa), %10'dan sonra azalmaya başladığını ifade etmişlerdir.

Song ve arkadaşları [29], ürettikleri ESO/kil nanokompozitlerinin basma mukavemetlerinin %0 killi malzemelerde 0.12-112.28 MPa , %5 nanokilli malzemelerde 0.15-119.02 MPa, %8 nanokilli malzemelerde 0.26-79.65 MPa arasında değiştiğini maksimum değerin %5 nanokil ilavesiyle elde edilen numuneden alındığını ifade etmişlerdir.

Ray ve arkadaşları [30], ESO/kil ile ürettikleri nanokompozitlerin yapısındaki kil içeriği arttıkça yapıların yoğunluğunun ve mukavemetinin arttığını açıklamışlardır. Bu şekilde ürettikleri malzemelerin çekme mukavemetlerini 78-101 MPa aralığında tespit etmişlerdir.

Yasmin ve arkadaşları [31], değişik kil çeşitlerini, ESO ile sentezleyerek yüksek mekanik özellikli ve çevreyle dost kompozit üretiminin mümkün olduğunu ifade etmişlerdir. Yapıdaki kil içeriği artırıldıkça, malzemenin yoğunluğunun ve elastiklik modülünün arttığını, çekme mukavemetinin azaldığını belirtmişlerdir. Elde edilen çekme mukavemeti değerlerinin (%3 kil ile) 25 MPa-(%10 kil ile) 40 MPa arasında tespit edildiğini açıklamışlardır.

Hiroshi ve arkadaşları [32], ESO ve ELO'nun kille üretilmiş nanokompozitlerinin mekanik özelliklerini karşılaştırmışlar ve ELO/kille üretilmiş nanokompozitlerle daha esnek ve yüksek sıcaklıklara daha iyi dayanım gösteren malzemelerin elde edilebildiğini belirtmişlerdir.

2.2. Uçucu Kül ve Kil Karışımli Malzemeler

Bugüne kadar uçucu küllerle ilgili çok fazla yerli ve yabancı araştırma yapılmıştır. Çalışmaların büyük bir kısmı uçucu küllerin çimento ve betona katkı maddesi olarak kullanılabilirliği üzerinedir [33], [34]. Uçucu kül terimi literatürde ilk defa 1937 yılında görülmüştür. Bilhassa uçucu külün yüksek incelikte toplanma imkanının artması sonucu daha büyük puzolanik özellik göstermesi ve beton içinde belirli oranlarda çimento yerine kullanılabilir olması, bu konudaki çalışmalara hız kazandırmıştır İyi kaliteli uçucu külün ekonomik olarak toplanması konusundaki araştırmalara ilk olarak Amerika ağırlık vermiştir [35]. Özellikle "Hungary Horse" barajında kullanılan uçucu külün performans verileri Bureau of Reclamation tarafından yayınlandıktan sonra külün hidrolik yapı ve beton yapılarda kullanımı bütün Amerika'da yaygınlaşmış ve 1954 yılında bunun için ilk ASTM standardı (ASTM C-350-65T) hazırlanmıştır [36].

Terrier ve arkadaşları [37], uçucu küllerin fiziki özellikleri konusunda çalışmalarda bulunmuş olan tane şekillerinin küre, yuvarlak, yassı ve uzun olmalarını göz önüne alarak gerekli incelemelerini mukayeseli olarak yapmışlardır. Brink ve arkadaşları [38], uçucu küllerin inceliği ile puzolanik aktivitesi arasındaki ilişki üzerine araştırmalar yapmışlardır. Watt ve Thorne [39], uçucu kül tanecik yüzeyi ile puzolanik aktivite arasında yakın bir ilgi olduğunu çalışmalarında göstermişlerdir .

Japonya’da uçucu kül ile ilgili çalışmalar 1950 yıllarına rastlamaktadır. Bu yıllarda Japonya’nın elektriğe ihtiyacı büyük olduğu için yapımına hız verilen hidro elektrik ve termik santrallerin inşaatı ile beraber uçucu kül ile ilgili çalışmalar artmış ve 1958 yılında uçucu kül standardı hazırlanmıştır (JIS A 6201 Fly Ash). Uçucu Külün Avrupa ülkelerinde araştırma ve kullanımı ile ilgili çalışmaların başlangıcı 1955 yılına rastlar. Rusya’da uçucu küllü çimento standartları 1963 yılında (GOST 6269-63), İngiltere’de ise uçucu kül standardı 1965 yılında (BS 3892) kabul edilmiştir [39].

Davis ve arkadaşları [35], uçucu külün beton özelliklerine olan etkisi konusunda çalışmışlardır ve çimentoya belirli oranlarda uçucu kül katılarak dökülen betonların işlenebilirlik kabiliyetinin arttığını göstermişlerdir. Yamazaki ve arkadaşları [41], uçucu külün, belli bir oranda, çimento yerine kullanıldığında yoğurma suyunda yaptığı azalma etkilerini inceleyerek özellikle uçucu külün cilalı yüzeylerinin betonda işlenebilirliğini arttıran en önemli faktör olduğunu göstermişlerdir.

Türkiye’de Etibank, DSİ, TÜBİTAK, TEK, EİE gibi kuruluşlar ve bazı üniversiteler araştırmacılar, uçucu külün değerlendirilmesi konusunda 1963 yılından itibaren çalışmalar yapmışlar, sonuçlarını yayınlamışlardır [42], [43]. Türk Standartları Enstitüsü ise Nisan 1975 de TS 639 (uçucu küller) ve TS640 (uçucu küllü çimento) standartlarını çıkartmıştır.

Biçer [44], (Afşin-Elbistan, Soma) termik santral uçucu küllerinin yapı malzemesi olarak kullanılabilirliğini, bağlayıcı olarak su ile birlikte çimento, kireç ve çimento+kireç kullanmak suretiyle araştırmıştır. Elde ettiği malzemelerin ısı iletkenlik katsayılarını 0.240–0.342 W/mK, su emme değerlerini %31.07-52.85, kuruma hızı değerlerini %7.6-11.48, porozitelerini %1.99-37.08, yoğunluklarını 0.953-1.624 g/cm³ değerleri arasında tespit etmiştir. Sonuçta, uçucu küllere %10-30 arasında katılacak çimento, kireç, çimento+kireç bağlayıcılarından biri ile harç haline getirilerek iç sıva yapımında kullanılabileceğini, elde edilen bu malzemenin ısı iletkenlik değerinin normal sıvalara göre yaklaşık %60 düşük olduğunu, bu malzemenin yapı malzemesi olarak kullanılması halinde önemli oranda enerji tasarrufu sağlanabileceğini belirtmiştir. Ayrıca elde edilen malzemelerin su emme değerlerinin, bu konudaki alt sınırların üstünde çıkması sebebiyle su ile temas halinde olan yerlerde ve dış sıva malzemesi olarak kullanılmasının uygun olmadığını ifade etmiştir.

Mannan ve Ganapathy [45], hafif ağırlıklı agrega malzeme üretimi için çimento, uçucu kül, kalsiyumklorid, kum, su ve palm kabuğu yağını değişik oranlarda kullanarak numuneler hazırlamışlardır. 28 gün sonra test ettikleri numunelerin (su/çimento=0,41) içindeki çimento yerine %10’a kadar uçucu külün kullanılmasının uygun olacağını ifade etmişlerdir. Ancak uçucu külün %15 ve daha yüksek oranlarda kullanılması durumunda malzemeler üzerinden belirlenen basma mukavemeti değerlerinin azaldığını belirtmişlerdir. Palm yağını hep sabit

oranda kullandıkları çalışmalarında, çevre şartlarında 28 gün süresince bekleterek elde ettikleri numunelerin yoğunluklarının $1.89\text{--}1.905\text{ g/cm}^3$, basma dayanımlarının $19.5\text{--}29.4\text{ N/mm}^2$ arasındaki değerlerde değiştiğini ifade etmişlerdir. Sadece çimento ve palm kabuğu yağı ile hazırladıkları numunelerin aynı bekletme süresi sonunda yoğunluklarının $1.68\text{--}1.91\text{ g/cm}^3$ basma mukavemetlerinin $7.3\text{--}20.25\text{ N/mm}^2$ arasında değiştiğini belirtmişlerdir.

Yıldız [46], uçucu kül ve polipropilen atıklarının değişik birleşimlerde kompozit üretiminde değerlendirilmesi konusunda çalışmıştır. Değişik oranlarda polipropilen atıklarını $165\text{--}170^\circ\text{C}$ 'de eriterek, değişik oranlarda ve değişik tane çaplarında termik santral külleriyle (Soma, Afşin-Elbistan) karıştırmış ve preslemiştir. Oda sıcaklığında donmasını sağlayarak elde ettiği numunelerin su emme miktarlarını $\%0.04\text{--}0.73$, kuruma hızlarını $\%0.1\text{--}1.9$, basma mukavemetlerini $112.5\text{--}46.2\text{ kp/cm}^2$, aşınma kayıplarını $\%0.350\text{--}1.832$, ısı iletkenlik katsayılarını $0.280\text{--}0.470\text{ W/mK}$, porozitelerini $\%4.5\text{--}28.6$, yoğunluklarını $0.95\text{--}1.487\text{ g/cm}^3$ arasındaki değerlerde tespit etmiştir. Sonuçta elde ettiği malzemelerin ısı, su ve sese karşı yalıtım malzemesi ve yer döşemesi olarak kullanılabileceğini ifade etmiştir.

Li ve arkadaşları [47], piyasadaki pet şişe atıkları ve uçucu kül ile kompozit malzeme yapımı üzerine çalışmışlardır (PET=polietilenterepilat). Yapıdaki uçucu kül içeriği $\%0$ 'dan $\%50$ 'ye kadar arttırıldığında basma mukavemeti ve yoğunluğun arttığını, su emme oranının azaldığını belirtmişlerdir. Söz konusu değerleri üretilen numunelerde sırasıyla $61.1\text{--}93.4\text{ MPa}$, $1.33\text{--}1.58\text{g/cm}^3$, $\%0.18\text{--}0.26$ aralığındaki değerlerde tespit ettiklerini açıklamışlardır.

Singh ve arkadaşları [48], kullanım ve işleme sonrası hurda halinde olan metal (Pb, Cu, Cr, Zu) ve galvanizlerin atıkları ile kil ve uçucu külün birlikte kullanılmasıyla yapı malzemesi üretimi üzerine çalışmışlardır. 850 , 900 ve 950°C 'de farklı oranlardaki atık malzemeleri eritip, kil ve uçucu külle karıştırarak ürettikleri yapı malzemelerini pişirerek kullanabilirliklerini ve x-ray ışınları ile yapılarını araştırmışlardır. Atık metal oranı sabit olarak alındığında, kil oranı arttıkça, basma mukavemetinin arttığını, nem tutmanın azaldığını, yoğunluğun arttığını belirtmişlerdir. Aynı kil oranı için sıcaklık arttıkça basma mukavemetinin arttığını, nem tutmanın azaldığını açıklamışlardır. Elde edilen numunelerin basma mukavemeti değerlerinin $105\text{--}220\text{ kg/cm}^2$, su emme miktarlarının $\%1.5\text{--}21.8$, yoğunluklarının $1.58\text{--}1.83\text{ g/cm}^3$ arasındaki değerlerde değiştiğini ifade etmişlerdir.

Asokan ve arkadaşları [49], çeşitli endüstriyel işlemlerden sonra tehlikeli çevresel atık olarak bilinen ve bir çeşit çinkolu atık metal olan Jarasit, su, kil ve uçucu külü kullanarak yapı malzemeleri üretmişlerdir. Ürettikleri bu malzemeleri 950°C sıcaklıkta fırınladıktan sonra özelliklerini araştırmışlardır. Malzeme bünyesindeki uçucu kül miktarı arttıkça, malzeme yoğunluğunun azaldığını, su emme oranının arttığını, basma mukavemetinin azaldığını

açıklamışlardır. Elde ettikleri numunelerin basma mukavemetlerinin 0.295-142.12 kg/cm² arasında değiştiğini ifade etmişlerdir

Freidin ve Haller [50], çimentosuz yapı malzemesi yapmak amacıyla kum, su, yağ taşı ve kömür uçucu külü karışımını kullanmışlardır. Üretilen numunelerin 28 günlük bekleme süreleri sonunda basma mukavemetlerini belirleyerek bu karışımla oldukça yüksek mukavemetli numuneler elde ettiklerini grafiklerle ifade etmişlerdir. 28 günde 20⁰C ve 23⁰C’de elde ettikleri numunelerin basma mukavemetlerini 4.1 MPa ve 6 MPa, 60⁰C’de ve 90⁰C’de 8 saat bekleterek kürledikleri numunelerin basma mukavemetlerini 4.9 MPa ve 7.5 MPa olarak tespit ettiklerini belirtmişlerdir.

Fredin [51], CaO içeren yağ taşı uçucu külünü, kömür uçucu külünü, kumu ve suyu sırasıyla %36 : %24 : %40 : %25 oranlarında karıştırarak elde ettiği yapı malzemesinin 7, 28 ve 90 gün sonunda basma mukavemetindeki değişimlerini incelemiştir. En iyi basma mukavemetini 90 günlük numuneden 8.5 MPa olarak elde etmiştir.

Freidin [52], çimentosuz yapı malzemesi üretimi için yağ taşı uçucu külü, kömür uçucu külü, kum ve suyun değişik kombinasyonlarını kullanarak oluşturdukları numunelerin mukavemet özelliklerini çevre şartlarında, nemli hava şartlarında ve su şartlarında araştırmıştır. Sadece yağ taşı uçucu külü ile elde edilen numunelerle, yağ taşı uçucu külüne, kömür uçucu külü de ilave ederek hazırlanan numuneleri karşılaştırmıştır ve numuneye kömür uçucu külünün ilave miktarı arttıkça elde edilen malzemelerin mukavemetlerinin iyileştiğini belirtmiştir. Bu numunelerin SEM ve x-ray ışınları ile yapılan karşılaştırmasını çalışmasında göstermiştir.

Gu ve arkadaşları [53], farklı hacimsel oranlarda uçucu kül ve epoksi ile hazırlanmış kompozitlerin nem tutma özelliklerini araştırmışlardır. Numunelerdeki uçucu kül yüzdesi arttıkça yoğunluklarının azaldığını, nem tutma oranlarının arttığını belirtmişlerdir.

Chaowasakoo ve Sambatsompop [54], uçucu kül ve epoksi reçineyi klasik kürleme metoduyla 70⁰C’de 80 dakika ve mikrodalgada kürleme metoduyla 200 W’da 18 dakika kürleyip sertleştirerek kompozitler üretmişlerdir. Birinci metodla üretilen kompozitlerin maksimum çekme mukavemetini 41 MPa, basma mukavemetini 8.5 MPa, ikinci metodla üretilen numunelerin maksimum çekme mukavemetini 45 MPa, basma mukavemetini 14.7 MPa olarak tespit ettiklerini belirtmişlerdir. Kompozit yapılarıdaki uçucu kül içeriği arttıkça basma mukavemetinin azaldığını, epoksi reçine miktarı arttıkça basma mukavemetinin arttığını gözlemlediklerini belirtmişlerdir.

Katz ve arkadaşları [55], su, çimento, uçucu kül, curuf ve kil ile yapı malzemeleri üretmişlerdir. 28 günlük bekleme süresi sonunda kil yüzdesini sabit tutarak diğer malzemelerin oranlarını değiştirmek suretiyle üretilmiş numuneleri test etmişlerdir. Elde ettikleri numunelerin

basma mukavemetlerini 1.6-12.2 MPa arasındaki değerlerde tespit ettiklerini ve uçucu kül miktarının artmasıyla, numunelerin basma dayanımının düştüğünü açıklamışlardır.

Pandey ve arkadaşları [56], klinker, kil, uçucu kül, çimento ve alçı içerikli numuneler hazırlamışlardır. Elde ettikleri numunelerin 3, 7, 28, 90, 180, 365 gün sonunda basma mukavemeti değerlerini sırasıyla 24-39.6 MPa, 36-54 MPa, 51.1-75.4 MPa, 64-79.8 MPa, 71-82.8 MPa, 75-84 MPa arasındaki değerlerde tespit ettiklerini açıklamışlardır. Yapıya %15'e kadar uçucu kül ilavesinin basma mukavemeti değerlerini arttırdığını, uçucu külün daha yüksek miktarlarda kullanılması durumunda ise numunelerin basma mukavemeti değerlerinin azaldığını belirtmişlerdir.

Singh ve arkadaşları [57], uçucu kül, kil, kireç ve bazı kimyasalların karıştırılmasıyla çimentosuz yapı malzemeleri üretmişlerdir. Malzeme bünyesindeki uçucu kül yüzdesi arttıkça basma mukavemeti değerlerinin azaldığını belirtmişlerdir. Elde ettikleri 1, 3, 7 ve 28 günlük numunelerin yoğunluk ve basma mukavemeti değerlerini sırasıyla, 1.26-1.73 g/cm³ ve 0.1-3.4 MPa, 1.31-1.7 g/cm³ ve 0.4-7.8 MPa, 1.33-1.76 g/cm³ ve 0.4-14.2 MPa, 0.34-1.76 g/cm³ ve 0.6-24.4 MPa olarak tespit ettiklerini belirtmişlerdir.

Gündüz [58], çimento, perlit, curuf, uçucu kül ile hazırlanan içi boş hafif blokların yüksüz duvarlarda kullanılabilirliği üzerine yaptıkları çalışmada yapıdaki uçucu kül miktarı arttıkça numunelerin su emme miktarlarının arttığını, yoğunluklarının, basma mukavemetlerinin ve kuruma hızlarının azaldığını belirtmiştir. Elde ettikleri numunelerin basma mukavemetlerini 0.86-3.74 N/mm², su emme miktarlarını %18.48-40.92 arasındaki değerlerde bulduğunu ifade etmiştir.

Lingling ve arkadaşları [59], yüksek oranda kil ve uçucu kül içeren ateş tuğlalarının imalatı ve elde edilen bu tuğlaların fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırılması konusunda çalışmışlardır. Bizim çalışmamıza benzer şekilde, ancak farklı çalışma sıcaklıklarında epoksilenmiş bitkisel yağ yerine su kullanarak ateş tuğlaları üretilmişlerdir. Ürettikleri numunelerin bünyesindeki kil miktarı azaldıkça (%50, %40, %30, %20), porozite, su emme değerlerinin arttığını, yoğunluk ve basma mukavemeti değerlerinin azaldığını, numunelere uygulanan işlem sıcaklığı (1000°C, 1050°C, 1100°C) arttıkça porozite, su emme değerlerinin azaldığını, yoğunluk ve basma mukavemeti değerlerinin arttığını belirtmişlerdir. Elde ettikleri numunelerin basma mukavemetlerini 14.7-98.5 MPa, su emme miktarlarını %0.61-31.26, porozitelerini %1.34-42.12, yoğunluklarını 1.35-2.2 g/cm³ arasındaki değerlerde bulduklarını ifade etmişlerdir.

Temini ve arkadaşları [60], iki değişik tipte kil, uçucu kül ve çimentonun oranlarını değiştirerek su ile hazırladıkları numunelerin yapı malzemesi olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Sonuçta elde ettikleri malzemelerin çekme ve basma mukavemetlerini

karşılaştırdıklarında minimum değerlerin %32 montmorillonite(kil), %48 kaolinit (kil), %20 çimento içeriği ile hazırlanmış numuneden, maksimum değerlerin %4 montmorillonite (kil), %6 kaolinit (kil), %20 çimento, %70 uçucu kül içeriği ile hazırlanmış numuneden elde edildiğini belirtmişlerdir. Elde edilen numunelerin çekme mukavemetlerini sırasıyla 2.7 N/mm² ve 5 N/mm², basma mukavemetlerini 5.7 N/mm² ve 16 N/mm² olarak tespit ettiklerini açıklamışlardır. Ayrıca numunelerde uçucu kül kullanımının üretim kalitesinin düzelmesine yardımcı olduğunu ifade etmişlerdir.

Göktepe ve arkadaşları [61], kil, değişik tipte uçucu küller ve su karışımıyla değişik oranlarda hazırlanmış numunelerin mekanik performanslarını 3 ay süreyle belli zaman aralıklarında (1, 7, 28, 90 gün) test ederek araştırmışlardır. Çalışmalarında mukavemet açısından olumlu buldukları uçucu kül+kil karışımlarının özellikle değişik kimyasallarla birlikte araştırıldığında çok daha mukavemetli yapı malzemelerinin elde edilebileceğini belirtmişlerdir. Elde ettikleri numunelerin basma mukavemetlerinin 211.9–1289.69 kN/m² arasındaki değerlerde değiştiğini ifade etmişlerdir.

Misra ve arkadaşları [62], uçucu kül, kil, çimento ve suyun değişik oranlarda karışımı ile numuneler hazırlamışlardır. 15°C’de, 27°C’de ve 38°C’de bu numunelerin fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimleri incelemişlerdir. Nem tutma miktarının, kille hazırlanan karışımlara eklenen uçucu kül miktarının artmasıyla fazlaştığını belirtmişlerdir. Numunelerdeki kil oranı arttıkça, nem tutmanın azaldığını, basma mukavemetinin arttığını, kabarmanın azaldığını ifade etmişlerdir. Elde edilen numunelerin yoğunluğu 1.44 g/cm³ olduğunda su emme miktarı %24.85, 1.5 g/cm³ olduğunda su emme miktarı %25.44 olarak gösterilmiştir.

Öztürk [63], tuğla üretiminde ana malzeme olan kille beraber uçucu küllerin değerlendirilmesi üzerine yaptığı çalışmada, yapıya eklenen uçucu kül oranı arttıkça malzemelerin, kuruma hızının azaldığını, su emme miktarının arttığını, yoğunluk miktarının düştüğünü, porozitenin arttığını, ısı iletim katsayısının düştüğünü, basma dayanımının azaldığını, eğilme dayanımının arttığını belirtmiştir. 850 °C ve 1000 °C gibi iki sıcaklıkta yaptığı fırınlama işlemi neticesinde yoğunluk değerlerinin çok değişmediğini, izlenen değişikliklerin çok ufak miktarlarda olduğunu belirtmiştir. Sonuçta elde edilen numunelerin yoğunluklarının 1.59 -1.93 g/cm³, ısı iletkenlik değerlerinin 0,7-0,9 W/mK arasındaki değerlerde tespit edildiğini açıklamıştır.

Misra ve arkadaşları [64], C sınıfı uçucu kül, kil, çimento ve su karışımlarının fiziko mekanik davranışlarını incelemişlerdir. Bu karışımların, inşaat yapılarında hem verimli hemde ekonomik olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Kil oranı %0, %2, %4, %6, uçucu kül miktarı %5, %10, %20 oranlarında değiştirilerek hazırlanmış numuneleri 3 ayrı sıcaklıkta

kürlemişlerdir. Elde ettikleri numunelerde uçucu kül miktarının belli oranlarda artırılmasının, yapının özelliklerini iyileştirdiğini, ancak belli değerlerin üstünde uçucu kül katkısının yapının özelliklerini kötü yönde etkilediğini ifade etmişlerdir.

Temimi [65], killi toprakların sağlamlaştırılmasında takviye elemanı olarak uçucu külün kullanılabilirliği üzerinde çalışmıştır. Kil ve uçucu külün değişik oranları %40 su ile karıştırarak silindirik numuneler hazırlamıştır. Deneye tabi tutulan numunelerden elde ettiği sonuçlarda, kil içinde uçucu kül kullanımının numunelerin yapısal özelliklerini düzelttiğini belirtmiştir.

Nalbantoğlu [66], kil mineralinin çok yüksek su emme kapasitesine sahip olduğunu bu yüzden mühendislik problemlerinde kili uçucu kül ile karıştırarak kullanmak suretiyle bu problemin çözümlenebileceğini belirtmiştir.

2.3. Gözenekli Katı Malzemelerde Isı İletkenlik Katsayısı

Çalışma konusunun önemli bir bölümü, bağlayıcı olarak epoksilenmiş bitkisel yağ kullanılmak suretiyle kil-termik santral uçucu küllerinin, değişik kombinasyonlarında üretilen, üç bileşenli ve heterojen yapıya sahip, yeni bir yapı malzemesinin ısı iletim katsayısını veren matematiksel ifadenin tespitidir. Bu tür heterojen yapıların ısı iletim katsayıları hakkında çok sayıda çalışmalar yapılmış ve çözümleri için değişik fiziksel modeller önerilmiştir. Konu ile yakından ilgili çalışmalar aşağıda özetle verilmiştir.

Gözenekli malzemelerin ısı iletim katsayısı konusunda ileri çalışmalar yapmış bulunan Luikov, Shashkov, Vasiliev, Fraiman [67] ve Zumbunen [68], içyapının boş küreciklerden oluştuğunu, bu küreciklerin birbirleri ile temas halinde ve tetrahedral şeklinde dizildiğini kabul ederek gözenekli toz malzemeler için ısı iletim katsayısı ifadesini,

$$k_{ef} = k_s \left\{ \frac{1}{1/(h/L)^2 + A} + (k_g / k_s)(1 - h/L)^2 + \frac{2}{1 + (h/L) + [1/(k_g / k_s).(h/L)]} \right\}$$

h/L = Poroziteye bağlı olarak değişen ‘boyut oranı’ sayısı

denklemleri ile vermişlerdir.

Burada A değeri, iki partikülün temas noktasındaki gaz boşluğu ve temas yoluyla transfer edilen ısı oranını belirtir. Yazarlar bu denklem sonuçlarını, 300-400 K sıcaklık aralığında, %35-98 gözeneklilik derecesinde, k_s/k_g oranının 10-300 arasında, gözenek çaplarının 4-5 mm civarında ve gözenek içindeki gazların da su buharı ve hava karışımı olduğunu kabul ederek belirlemişlerdir. Sonuçta, denklemle elde edilen sonuçların, metal olmayan gözenekli malzemeler için yapılan deneysel çalışma sonuçlarıyla uyum içinde olduğunu göstermişlerdir.

Fraiman [67], metal tozlu ve bitişik gözenekli malzemeler için ısı iletim katsayısını,

$$k_{ef} = k_g \left[\frac{L}{4.k_k.h_r} \right] (h/L)^2 + k_c + k_g \left[1 - (h/L)^2 \right] + k_g \cdot (h/L)$$

h_r = Partikül mikropürüzlülüğü yüksekliği

k_c = Taneli malzemelerin temas ısı iletkenliği (W/mK)

k_k = Partikül adhezyon katsayısı

k_g = Bir mikro aralıktaki moleküler ve ışıma yapan bileşiklerin toplam ısı iletkenliği (W/mK)

bağıntısı ile belirlemiştir. Yazar, denklem sonuçlarının, 100°C üzerindeki sıcaklıklarda, deneysel çalışma sonuçları ile uyum içinde olduğunu göstermiştir.

Zumbrunen [68], bitişik gözenekli iki bileşenli katı sistemler için ısı iletim katsayısını,

$$k_{ef} = k_s \left\{ (h/L)^2 + (k_g/k_s) \left[1 - (h/L)^2 \right] \right\} + \frac{2 \cdot (k_g/k_s) \cdot (h/L) \cdot \left[1 - (h/L) \right]}{\left[1 - (h/L) \right] \cdot \left[1 - (k_g/k_s) \right]}$$

bağıntısıyla vermiştir. Yazar, denklem sonuçlarının, geniş bir sıcaklık aralığında, gözeneklilik oranı %50'nin altında ve $2-5 \times 10^{-6}$ m gözenek çapındaki seramik malzemeler için elde edilen deneysel sonuçlarla uyum içinde olduğunu göstermiştir.

Biçer [44], uçucu kül ile çimento ve kireç bağlayıcıları kullanarak üretilen numuneler için 300 K sıcaklığında, k_s/k_g değerinin 1-100 aralığında, gözenek çaplarının $(60-80) \times 10^{-6}$ m. mertebelerinde ve birbiri ile temas etmeyen, rast gele dizilmiş gözenekler ihtiva eden katı malzemeler için ısı iletim katsayısını;

$$k_{ef} = k_s \left\{ (h/L) \left[2 - (h/L) \right] + \frac{\left[1 - (h/L) \right]^2}{(h/L) \left[1 - (k_s/k_g) \right] + (k_s/k_g)} \right\}$$

denkleminde vermiştir. Yazar, denklem sonuçları ile deneysel sonuçların uyum içerisinde olduğunu da göstermiştir.

Yıldız [46], Afşin-Elbistan ve Soma termik santral külleri ile bağlayıcı olarak polipropileni değişik kombinasyonlarda karıştırarak elde ettiği rast gele dizilmiş gözenekler ihtiva eden yeni yalıtım malzemesi için ısı iletim katsayısını,

$$k_{efs} = k_{\rho} k_f k_g \left[\frac{1}{k_f k_g} (1 - Z^{2/3}) + \frac{(Z^{2/3} - \phi^{2/3})}{k_f k_g (1 - Z^{1/3}) + k_{\rho} k_g Z^{1/3}} + \frac{\phi^{2/3}}{k_f k_g (1 - Z^{1/3}) + k_{\rho} k_g (Z^{1/3} - \phi^{1/3}) + k_g k_f \phi^{1/3}} \right]$$

k_f = Uçucu külün ısı iletim katsayısı (W/mK)

k_{ρ} = Polipropilenin ısı iletim katsayısı (W/mK)

denklemlerle ifade etmiştir. Çalışma sonuçlarında denklem sonuçlarıyla deneysel sonuçların uyumlu olduğu vurgulanmıştır.

Bu tezin hedefi ise, termik santrallerin uçucu külü ve kil ile epoksilenmiş bitkisel yağların değişik kombinasyonlarında karıştırılarak üretilen yeni bir malzemenin ısı iletim özelliklerinin analizi ve yalıtım malzemesi olarak değerlendirilmesidir. Bu amaçla petrol evsafı ürünleri kullanmadan, atık uçucu kül, doğal kil ve yenilenebilir malzeme olarak da bitkisel yağların oksijene doyurulmuş yani epoksilenmiş halini kullanarak yeni bir yapı malzemesinin üretimi gerçekleştirilmiştir.

Farklı oranlarda epoksilenmiş bitkisel yağ ve kil karışımları, uçucu külle farklı oranlarda bir araya getirilerek üretilen 180 değişik numunenin ısı ve mekanik özellikleri tespit edilerek kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Bu çalışma ile ayrıca yukarıdaki çalışmalara benzer bir matematiksel ifade geliştirmek için birbiri ile temas etmeyen, rastgele dizilmiş gözenekler ihtiva eden katı malzemeler için ısı iletim katsayısını veren denklem geliştirilmiştir. Deneysel sonuçlarla, denklem yardımıyla tespit edilen sonuçların birbirleriyle uyum halinde olup olmadığı araştırılmıştır.

3. DENEYLERDE KULLANILAN EPOKSİLENMİŞ BİTKİSEL YAĞLAR VE KATI MALZEMELER

3.1. Bitkisel Yağlar

Bitkisel yağlar, bitkilerin meyve, çekirdek, filiz ve tohum taneleri içinde biriken yağ asitlerinin gliserinle meydana getirdikleri esterlerdir ve oda sıcaklığında sıvı yağ şeklindedirler.

Tablo 3.1. Bazı bitkisel yağ tohumlarının genel bileşimi [69]

Yağ Tohumu	Protein (%)	Yağ (%)	Nişasta (%)	Fiber (%)	Atık (%)
Soya fasulyesi	51 - 70	18 - 26	-	6.5	3.7 - 7.4
Şalgam tohumu	36 - 44	38 - 50	-	12 - 18	7.4 - 8.8
Ayçiçeği	20.8	54.8	18.4	2.1	3.4
Fındık	30	50	14	2.9	3.1
Kanola	22	41	22	10	5
Hint yağı	12 - 16	45 - 50	3-7	23 - 27	2
Pamuk tohumu	22	19.5	35	19	4.5
Hindistancevizi	4.6 - 8	68 - 79	17.4 - 21	4.6 - 7.7	2.4 - 3.7
Yabani safran	21	41	14.5	19	4.5
Keten tohumu	22 - 26	41.5 - 45.5	27 - 31	5.5 - 9.7	4.3 - 2.7
Susam	20	52	23	-	5.6

Endüstriyel uygulamalarda kullanılan yenilenebilen kaynaklardan olan soya, ayçiçek, palm ve zeytin yağı...gibi doymamış trigliseridli yağlar, sürekli üretilebilir. Bu yağların temel bileşeni, doymuş ve doymamış yağ asitleridir. Bu yağ asitlerini direk kullanarak veya bu yağ asitlerinin bazı kimyasal modifikasyonlarından elde edilen yağ türevlerini kullanarak endüstrinin özellikle plastik üretimi, boya, cila ve kaplama...gibi uygulamalarında literatür kısmında belirtilen oldukça başarılı çalışmalar elde edilmiştir. Her bitkisel yağdaki, yağ asidi zinciri yapısı ve asit içerikleri farklıdır. Bu yüzden bitkisel yağların kompozisyonları değişiktir [2], [8], [70].

3.1.1. Bitkisel Yağların Fiziksel Özellikleri

Bitkisel yağlara ait yağ asitlerinin fiziksel özellikleri aşağıda verilmiştir.

•*Kinematik viskozite*: Genellikle yağların viskoziteleri, doymamışlık oranı arttıkça azalır. Bitkisel yağların zincir uzunluklarının artışı ile viskozitenin arttığı, çift bağ sayısının artışı ile

viskozitenin düştüğü belirlenmiştir [71].

•*Yoğunluk*: Bitkisel yağların bileşimini oluşturan yağ asitleri ve gliserin yoğunluğu, artan molekül ağırlığı ve artan doymamışlıkla artar. Örneğin; Soya yağının yoğunluğu 40°C’de 0.908 g/cm³, 100°C’de 0.869 g/cm³’dür [71].

•*Isıl Değer (Yanma ısısı)*: Doymuş yağ asitlerinin yanma ısılarının zincir uzunlukları arttıkça arttığı, çift bağ sayısı arttıkça azaldığı görülmüştür [70].

Tablo 3.2. Bazı bitkisel yağ asitlerinin kimyasal ve fiziksel özellikleri, kapalı formülleri [72], [73], [71]

Yağ Asitleri	Kapalı Formülü	Molekül Ağırlığı	Çift Bağ Sayısı	Kaynama Sıcaklığı (°C)	Ergime Noktası (°C)
Miristik	C ₁₃ H ₂₇ COOH	228.37	0	250	58
Palmitik	C ₁₆ H ₃₂ COOH	256.42	0	198	63
Stearik	C ₁₈ H ₃₆ COOH	284.47	0	383	70
Arasirik	C ₁₉ H ₃₉ COOH	312.52	0	177 - 328	41-47
Behenik	C ₂₂ H ₄₄ COOH	340.58	0	-	-
Oleik	C ₁₈ H ₃₄ COOH	282.48	1	286	13
Erusik	C ₂₂ H ₄₂ COOH	338.55	1	-	-
Linoleik	C ₁₈ H ₃₂ COOH	280.44	2	202	5
Linolenik	C ₁₈ H ₃₀ COOH	278.42	3	230	11

3.1.2. Bitkisel Yağların Kuruma Özellikleri

1.) *Sıvı bitkisel yağlar*: Üç grupta incelenebilir.

• *Tam kuruyan sıvı bitkisel yağlar*: İnce tabaka halinde havada kuruyarak film teşkil eden yağlardır. Tam kuruma özelliği, gliseridi teşkil eden yağ asitlerinin çoğunun iki veya daha fazla çift bağa sahip olması sayesinde elde edilir. Bu nedenle, bu çalışmada kullanılan yağlar, tam kuruyan sıvı bitkisel yağlar arasından seçilmiştir.

• *Yarı kuruyan sıvı bitkisel yağlar*: Daha yavaş kuruyarak film teşkil eden yağlardır. Bu tarz kuruma özelliğini veren gliseriddeki yağ asitlerinin büyük bir kısmı iki çifte bağlıdır.

• *Kurumayan sıvı bitkisel yağlar*: Bu yağlar ince tabaka halindeyken kurumazlar. Bu özellik gliseriddeki yağ asitlerinin çoğunun tek çifte bağlı olmasıyla sağlanır.

2.) *Katı bitkisel yağlar*: Normal şartlarda katıya yakın görünüşte olan yağlardır. Katı bitkisel yağlar arasında hindistan cevizi yağı, hurma yağı sayılabilir.

Kuruma mekanizmasının, bitkisel yağların oksidasyon ve polimerizasyonundan meydana geldiği ve metal oksitlerinin bu olaya katkıda bulunduğu bilinmektedir. Bu yüzden bitkisel yağlar çeşitli sanayi ürünlerinin ham maddesini teşkil etmeye uygun yapıdadır [74].

Tablo 3.3. Endüstride sık kullanılan yağların teknolojik özellikleri ve yağ asit profilleri [75],[76]

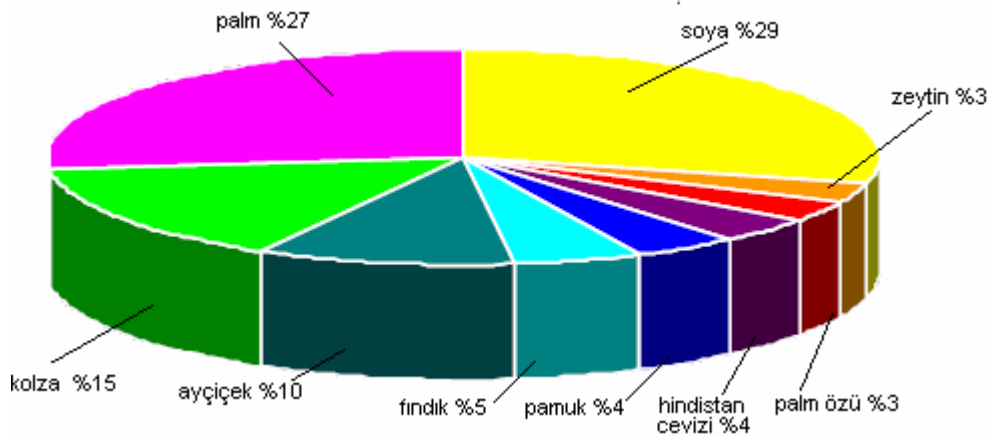
Özellik		Ayçiçeği yağı	Soya yağı	Palm yağı	Zeytin yağı
Yoğunluk 25°C'de (g/cm ³)		0.915-0.919	0.917-0.921	0.915-0.921	0.914-0.921
Kırılma indisi 25°C'de (%)		1.472-1.474	1.470-1.476	1.470-1.474	1.467-1.471
Erime noktası (°C)		-18,-16 arası	-23,-20 arası	-33,-40 arası	-20 ,-10 arası
Isıl değeri (kj/ kg)		39575	39623	3992	39601
Asit değeri (%)		0.12	0.12	0.28	0.69
İyot değeri (g)		125-136	120-141	103-128	79-85
Sabunlaşma değeri (KOH/g)		188-194	189-195	187-193	185-196
Fosfatidler (%)		1.5	1.1-3.2	1-2	-
Viskozite (MPa.s)	20.0 °C	60.80	58.89	-	77.03
	37.8 °C	33.31	28.49	30.92	46.08
	98.9 °C	7.68	7.60	-	9.09
Yağ asidi bileşimi ağırlık %'si					
Palmitik asit, C16:0		4-9	7-10	9-19	7-16
Stearik asit, C18:0		3-6	3-5	1-3	1-3
Araşidik asit, C20:0		<1	~ 0.5	~ 0.5	~ 0.5
Oleik asit, C18:1		14-35	22-31	26-40	64-86
Linoleik asit, C18:2		50-75	49-55	40-55	4-15
Linolenik asit, C18:3		<0.1	6-11	~ 1	0.5-1
Gadoleik asit, C20:1		<0.1	~ 0.5	~ 0.5	~ 0.5-1
Yağ asitleri için M		279.03	278.12	278.16	278.21
Yağ için M		874.37	871.64	870.82	868.53

Not: M:Ortalama molekül ağırlığı olup birimi kg/mol'dür.

3.1.3. Bitkisel Yağların Türkiye ve Dünya'daki Potansiyeli

Tablo 3.4. Bazı ülkelerin 2006 yılı yağlı tohum üretim değerlerinin dağılımı [77]

Ülkeler	Ürünler	Üretim miktarı (%)
Amerika	Soya fasulyesi	88
	Pamuk çiğidi	8
	Ayçiçeği	2
	Yer fıstığı	1.4
	Kolza / kanola	0.6
Fransa	Kolza / kanola	60
	Ayçiçeği	35
	Soya fasulyesi	5
İtalya	Soya fasulyesi	66
	Ayçiçeği	29
	Kolza / kanola	5
İspanya	Soya fasulyesi	84
	Pamuk çiğidi	11
	Kolza / kanola	5
Türkiye	Ayçiçeği	38
	Pamuk çiğidi	55
	Ye r fıstığı	4
	Soya fasulyesi	2
	Susam	1



Şekil 3.1. Dünya'da 2004 -2005 yılları arasında yağ bitkilerinin üretim yüzdeleri [78]

Tablo 3.5. Dünya’da bitkisel yağ üretim ve tüketim miktarları (x 10³ ton) [77]

Üretim	2002 / 03	2003 / 04	2004 / 05	2005 / 06	2006 / 07
Hindistan Cevizi	3.18 - 3.16	3.29 - 3.24	3.44 - 3.3	3.46 - 3.43	3.30 - 3.20
Pamuk	3.52 - 3.51	3.84 - .79	4.71 - 4.59	4.57 - 4.50	4.73 - 4.69
Palm	27.74 - 27.71	29.59 - 29.29	33.88 - 32.65	35.96 - 35.12	37.67 - 37.58
Palm Çekirdeği	3.36 - 3.35	3.67 - 3.61	4.13 - 3.78	4.36 - 4.13	4.57 - 4.29
Yer Fıstığı	4.85 - 4.8	5.04 - 4.99	5.09 - 5.07	5.21 - 5.17	5.05 - 4.98
Kolza	12.34 - 12.25	14.17 - 14.35	15.76 - 15.63	17.17 - 16.9	18.24 - 18.23
Soya	30.55 - 30.20	30.05 - 29.98	32.45 - 31.66	34.26 - 33.44	35.82 - 35.57
Ayçiçeği	8.14 - 7.87	9.17 - 8.53	9.04 - 8.53	10.39 - 9.75	10.73 - 10.31
Toplam	93.31 - 93	98.83 - 97.62	108.47 -105.23	115.33 -112.55	120.1 - 119.02

Not: İlk değerler üretim, ikinci değerler tüketim değerleri olarak verilmiştir.

Tablo 3.6. Türkiye’de yağlı tohumlu bitkilerinin yıllara göre üretim miktarları (ton) [79]

Yağlı Tohum	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Pamuk çiğidi	756.566	719.294	654.177	684.665	721.077	711.000
Ayçiçeği	586.000	595.000	542.000	510.000	550.000	470.000
Susam	69.000	51.000	50.900	50.000	48.000	50.000
Kolza	115	187	82	290	550	650
Soya	23.000	24.000	15.000	17.000	25.500	15.000
Yerfıstığı	35.000	28.000	28.300	27.000	33.000	30.000
Aspir	75	50	30	35	40	30

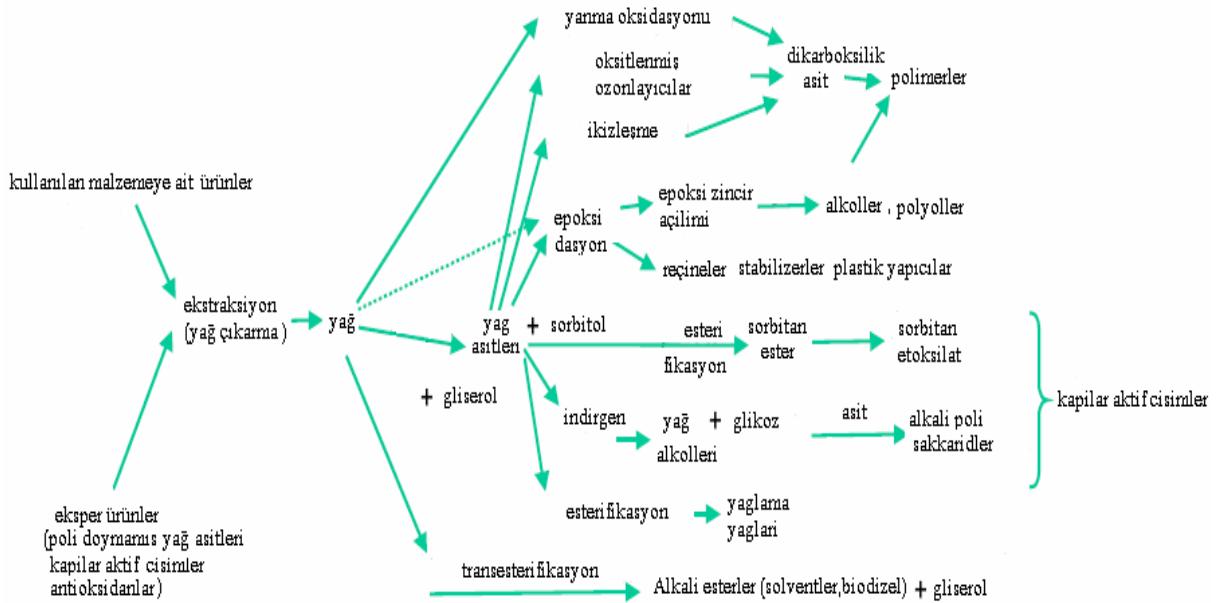
Tablo 3.7. Türkiye’nin bitkisel yağ ithalat ve ihracatı (miktar:ton, değer:1000\$) [79]

	2004		2005		2006	
	Miktar	Değer	Miktar	Değer	Miktar	Değer
Ayçiçeği	76108 - 33376	49198 - 30387	200919 - 63255	133327 - 60257	398503-233164	235500-206422
Mısır	90028 - 23272	67427 - 26973	112980 - 26681	89464 - 28095	122143 - 30252	86039 - 31244
Soya	64145 - 3694	40981 - 3201	131789 - 3311	72339 - 2727	144623 - 2994	82272 - 2420
Pamuk	0.31 - 2281	2.43 - 1750	4867 - 2823	2800 - 2315	10614 - 3473	4453 - 2980
Palm	440073 - 0	243367 - 0	557000 - 0	272604 - 0	634732 - 0	319282 - 0

Not:İlk değerler ithalat, ikinci değerler ihracat değerleridir.

2007 Mayıs ayında belirlenen verilerin ışığında, 2006/07 sezonunda dünya bitkisel yağ üretiminin 2005/06 sezonuna göre %4.33 artarak 123.03 milyon ton, tüketiminin ise yaklaşık %5.73 artarak 121.94 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Palm, soya, kolza ve ayçiçek yağları dünya bitkisel yağ üretimi ve tüketimindeki %83'lük payları ile en önemli yere sahip olan ürünlerdir. Bir önceki sezona göre, 2006/07 sezonunda pamuk yağı üretimi %3.5, ayçiçeği yağı üretimi %3.2, palm yağı üretimi %4.75, kolza yağı üretimi %6.23, soya yağı üretimi %4.55 artmıştır. Palm yağı, dünya bitkisel yağ üretiminde (%30'u aşan payı ile) ve ticaretinde ilk sırada yer almaktadır. Palm yağı daha çok Asya Pasifik Ülkelerinde üretilmekte ve üretim fazlası ihraç edildiğinden dünya ticaretine fazlaca konu olmaktadır. Soya yağı üretimi ise toplam bitkisel yağ üretiminde %29' luk pay ile ikinci sırada yer almaktadır. Soya yağı büyük ölçüde üretici ülkelerdeki yerel nüfus tarafından tüketilmektedir. 2006/07 sezonunda dünya bitkisel yağ ihracatı 46.92 milyon ton, ithalatı ise 45.18 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. dünya bitkisel yağ ticaretinin yaklaşık %80'ini soya ve palm yağları oluşturmaktadır. Ayçiçek yağının dünya ticaretindeki payı ise yaklaşık %8 civarındadır [79].

3.1.4. Bitkisel Yağların Endüstriyel Kullanım Alanları



Şekil 3.2. Genel olarak bitkisel yağların endüstriyel kullanım alanları [81], [82]

Son yıllarda doğal ve yenilenebilir kaynaklardan elde edilen ürünlerin, endüstriyel uygulamalarda kullanılabilirliği konusundaki çalışmalar hızla artmıştır. Özellikle bitkisel

yağların, kimyasal olarak bazı işlemlerden geçirildikten sonra üretime katılmasıyla, bazı malzemelerden istenen, elastiklik, esneklik, yüksek mukavemet...vb özelliklerin biyotemelli olarak sağlanabildiği ispatlanmıştır [80].

Tablo 3.8. Endüstriyel uygulamalarda bitkisel yağların kullanım alanlarının kıyaslanması [81]

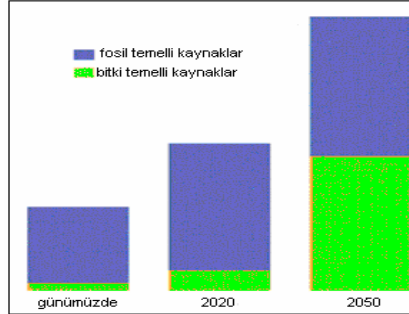
Yağ Adı	Yağlama Yağı	Solventler	Yazı Mürekkebi	Boya Cila Vaks	Polimer Reçine Plastikleştirici	Yapıştırıcı	Yüzey Kaplama	Yüzey Dolgusu
Soya	X	X	X	X	X	X	X	X
Ayçiçeği	X				X			
Y.Safran	X				X			X
Kolza	X				X			
Hint	X			X	X			X
Keten			X	X				X
Jojoba	X		X	X	X		X	X

Tablo 3.9. Karbonhidratlara karşı hidrokarbonlardan üretimler [81]

Üretim	Toplam Üretim (10 ⁶ Ton)	Bitkilerden Üretim (%)
Yapıştırıcı	5	40
Yağ asitleri-Asetik asit	2.5-2.3	40-17.5
Kaplama	3.5	35
Plastikleştirici- Plastikler	0.8-30	15-1.8
Aktivleştirilmiş karbon	1.5	12
Deterjanlar	12.6	11
Boya katkıları	15.5	6
Boya -Duvar boyaları	4.5-7.8	6-3.5
Mürekkepler	3.5	3.5

Yeni bir malzemenin üretim fikri söz konusu olduğunda fiyat, performans ve üretim sırasındaki emniyet kriterleri eşit derecede önemlidir ve gelişmiş üretimlere başlarken malzemenin kullanılacağı yerde tam ve yüksek performansı sağlayabilecek şekilde olmasına dikkat edilmelidir. Biyotemelli malzemelerin petrol temelli ürünlere göre daha düşük ağırlıkta aynı performansı verebilmesi belli kullanım alanlarında bu tip malzemelere olan ilgiyi arttırmıştır. Bu nedenlerle yağ kimyasının, hem müşteriye ve çevreye dost hem de yenilenebilir kaynaklarla ilgili üretim yarışındaki gelişmelere oldukça açık olduğu aşıkardır [80].

Yenilenebilir kaynakları temel alan biyotemelli kompozit malzemeler, yapı bileşenlerinin fiyatlarını düşürebilir, şimdiki ve gelecekteki yapı uygulamaları için geleneksel yapı malzemelerine alternatif olarak uygulanabilir [83].



Şekil 3.3. Dünyada bitki ve fosil temelli ürünlerin eşit seviyede kullanılabilmesine ait zamanlama projeksiyonu [84]

Genel olarak bitkisel yağ temelli üretimler, aşağıdaki malzemelerin üretilmesine yardımcı olur;

- İlaç endüstrisi, kozmetik
- Konstrüksiyon malzemeleri, kompozitler ve yapıştırıcılar
- Fiberler, kağıt ve paketlenme
- Yakıtlar, yakıt yan ürünleri ,yağlama yağları ve fonksiyonel akışkanlar
- Peyzaj (manzara) malzemeleri ve (kompozitleşmiş ürün atıklarıyla)
- Mürekkepler, boyalar ve kaplama malzemeleri,
- Plastikler (monomerler ve polimerler)
- Solventler ve temizleyiciler

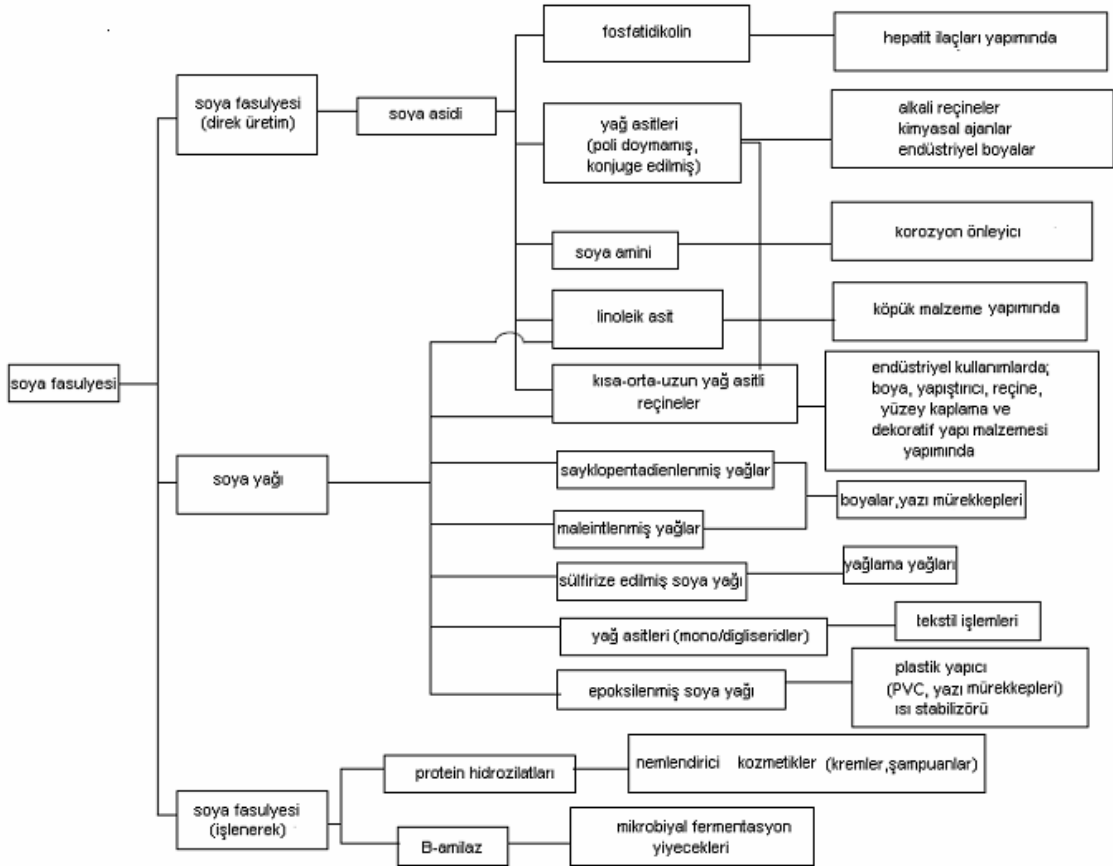
Gelecekte biyotemelli üretimlerden yapılabilmesi planlanan ürünlerden bazıları aşağıda özetlenmiştir.

- Yataklama bezi ve keten bezi üretiminde, iç kısım yağlayıcılarında
- Dizel yakıtı eklenen, dizel yakıt türevlerinde, mobil ekipmanlar için hidrolik sıvılarda
- Su tankı kaplamada

Örnek olarak, bu çalışmada kullanılan bitkisel yağlardan biri olan soya yağının kullanım alanları incelendiğinde; düşük fiyatı, çevresel olarak olumlu etkileri ile dikkat çeken bu yağın, %85 doymamış oleik, linoleik ve linolenik yağ asitleri içeren yapısı ile endüstriyel olarak kullanışlı malzemeler üretmek için oldukça uygun olduğu, yapılan literatür araştırmaları neticesinde belirlenmiştir. Araştırmalar esnasında soya yağının en olumsuz özelliğinin zayıf su

direnci sebebiyle önemli yapıştırıcılık gerektiren malzemelerin üretiminde kullanımının sınırlı tutulması gerektiği tespit edilmiştir [85], [86], [87], [21]. Mesela fonksiyonolize edilmiş soya yağlarından;

- Bezir yağı ve ESO: Boya yağları ve polimer katkı maddesi olarak
- Polimerize edilmiş soya yağı ve polimerize edilmiş hint yağı: Kurutma yağlarında
- Polimerize edilmiş soya ve keten yağı : Yağlama yağlarında
- ESO ve hint yağı asitleri: Polyamidlerde, polyesterlerde, alkali reçinelerde
- Ayçiçeği, keten ve soya yağının oleik asitlerinin esterleri: Polyollerde
- ESO: Yiyecek paketlenme malzemelerinin tüm çeşitlerinde, ilaç üretimlerinde, kozmetikte, filmlerin farklı çeşitlerinde, levha malzemelerinde, boru hatlarında, buzdolaplarının sızdırmazlık istenen yerlerdeki parçalarında, suni deri yapımında, plastik duvar kâğıtlarında, elektrik telleri ve kablolarında, kaplama plastiği yapımında, polimerlerde plastik yapıcı olarak ve diğer plastik ürünlerinin yapım aşamalarında kullanım alanları mevcuttur. Ayrıca, sıvı kompozit dengeleyici ve özel yazı mürekkebi hammaddesi olarak da kullanılmaya uygundur [88].



Şekil 3.4. Çalışmada kullanılan bitkisel yağlardan soya yağının endüstriyel kullanım alanları [89]

Tablo 3.10. Soya yağı ile elde edilen ürünlere ait bazı örnekler [90]

Soya Yağı Temelli Endüstriyel Uygulamalara Ait Bazı Örnekler		
Suni kıllar: fırçalar için	İç ve dış cephe boyları	Böcek öldürücü spreylerde
Suni yün	Şişe mantarı: yapıştırıcı, conta	Deri düzgünleştirici
Yapıştırıcı: etiket ve sigara için	Metal kaplara mantar	Yağ: arıtıcı olarak
Çimento: düzgünleştirici ajan	Kozmetik: kremler	Yağ emisyonu: dengeleyici
Seramik: bağlayıcı olarak	Gözlük: tabakalı yapı için	Tekstil: bağlayıcı
Kağıt kaplama: kitap,magazin	Mürekkep: bağlama-koyulaştırma	Muşamba: bağlayıcı ve dolgu
Duvar kağıdı, yemek kutusu	Mukavemet veren ajan	Baharat olarak
Su bazlı boyalar:	Konstrüksiyon tutkalları:	Plastik: tabaka,çubuk,boru
Yapıştırma ve kurutma için	plywood,mobilya,kabin	Kauçuk: latex bileşikler,

3.1.5 Bitkisel Yağların Üretim Hedefleri

Yağlı tohumlu bitkilerin 2015 yılına kadar ki üretim hedefleri hesaplanırken birçok faktörün yanında en başta geleni DPT'nin öngördüğü yıllık nüfus artış oranıdır. Bunun yanında nadas alanlarının yıllara göre azaltılarak tarıma kazandırılması ile sağlanacak ekili alanların belli oranda ekim nöbeti içerisinde yağlı tohumlara tahsisi, sulamaya açılacak olan tarım arazilerinin yıllık artış oranı önemli etkenlerdir.

Tablo 3.11. Dünyada 2000-2020 yılları arasında üretim, tüketim ve ihracat değerleri projeksiyonu [91]

Yıl	Toplam Tüketim (10 ⁶ t)	Üretim (10 ⁶ t)	İhracat (10 ⁶ t)
2000	110.5	111.2	36.7
2005	121.4	127.7	42.1
2010*	138.9	139.4	46.0
2015*	156.4	156.7	51.7
2020*	175.3	175.7	58.0

* tahmini

Tablo 3.12. Dünyada endüstriyel olarak önemli bitkisel yağların 2000-2020 yılları arasında üretim projeksiyonu (x10⁴ ton) [91]

Yıl	Palm	Palm Çekirdeği	Soya	Ayçiçek	Kolza	Toplam
2000	20.5	2.5	24.6	9.5	13.9	111.2
2005	25.7	3.2	26.5	10.8	15.2	123.7
2010*	29.2	3.6	30.4	12.5	17.5	139.4
2015*	36.1	4.3	33.2	14.6	19.7	156.7
2020*	40.6	4.9	37.1	16.6	22.2	175.7

• tahmini

Tablo 3.13. Türkiye 2015 yılı bitkisel yağ tüketim projeksiyonu [77]

Yıllar	Türkiye Nüfusu (1000 Kişi)	Kişi Başına Yağ Tüketimi (kg)	Gerekli Yağ Miktarı (Ton)	Gerekli Çiğit (10 ³ ton)	Gerekli Ayçiçeği (10 ³ ton)	Gerekli Yerfıstığı (10 ³ ton)	Gerekli Soya (10 ³ ton)	Gerekli Yağ Bitkileri (10 ³ ton)
2000	67.804	23	1.559.490	1.472	1.318	36	431	3.375
2001	69.024	23	1.587.561	1.498	1.339	41	441	3.437
2002	70.267	23	1.616.137	1.524	1.363	42	449	3.499
2003	71.532	23	1.645.228	1.552	1.388	43	458	3.562
2004	72.819	23	1.674.842	1.580	1.413	44	466	3.626
2005	74.130	23	1.704.989	1.609	1.438	44	474	3.692
2006	75.464	23	1.735.679	1.637	1.464	45	483	3.758
2007	76.822	23	1.766.921	1.667	1.490	46	492	3.826
2008	78.205	23	1.798.726	1.697	1.517	47	500	3.895
2009	79.613	23	1.831.103	1.728	1.544	48	510	3.965
2010	81.046	23	1.864.062	1.759	1.572	49	519	4.036
2011	82.505	23	1.897.616	1.790	1.600	49	528	4.109
2012	83.990	23	1.931.773	1.823	1.629	50	538	4.183
2013	85.302	23	1.966.545	1.851	1.655	51	546	4.248
2014	87.041	23	2.001.942	1.889	1.689	52	557	4.335
2015	88.608	23	2.037.977	1.923	1.708	53	567	4.413

* Gerekli olan ürün miktarları hesap edilirken 2000 yılındaki (üretim+ithalat) — (ihracat+tohumluk) / nüfus formülünden elde edilen kişi başına düşen ürün miktarları belirlenerek, çiğit için 2.5 kg/da, ayçiçeği için 0.75 kg/da, yerfıstığı ilgili yıldaki nüfus sayısı ile çarpılarak belirlenmiştir. Tohumluk miktarları Çin 5 kg/da, soya için 4 kg/da olarak alınmıştır.

3.2. Epoksilenmiş Yağlar

Bu çalışmada, sentezlenerek plastik yapı verebilen dört çeşit epoksilenmiş bitkisel yağın, endüstriyel alandaki kullanımlarını geliştirmek amacıyla, yapı malzemesi uygulamalarında kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çalışmanın bu bölümünde deneylerde kullanılan epoksilenmiş bitkisel yağların özellikleri açıklanmıştır.

Epoksidasyon reaksiyonu, yüksek gerilimli uzun yağ asidi zincirlerinin şeklini esneterek değişik üretimlere dönüştürme konusunda önemli bir ara reaksiyondur ve bitkisel yağların kullanılabilme alanlarını genişletir [20].

Epoksilenmiş bitkisel yağlar, çoğunlukla PVC tipi plastiklerin üretiminde plastikleştirici olarak kullanılır. Isı, ışık ve mikroorganizmalar tarafından plastiğin yıpranma oranını azaltırken plastiğin işlenebilirliğini artırır. Epoksid içeriği sayesinde direk petrol türevli hammaddelerle üretilmiş plastiklere göre yapıdaki plastiklik mukavemetini daha da fazlalaştırır. Epoksilenmiş bitkisel yağlar, değişik katkı maddeleri yardımıyla kısa ve faydalı kimyasal yapılara dönüştürülmeye ve dolayısıyla değişik polyoller ve polyüretanların imalatında kullanılmaya müsaittir. Epoksilenmiş bitkisel yağların genel özellikleri aşağıdaki gibi verilebilir [92].

- Hidrokarbon içinde çözünürlük: Etanol içindeki keton, esterler ve yüksek değerlikli alkollerle hafif çözünürlük gösterir.
- Polivinil klorid ve plastik yapıcı epoksid olarak çok geniş çaplı kullanımı mevcuttur.
- PVC reçine ile iyi uygunluk gösterir.
- Düşük uçuculuk ve az hareketlilik gösterir.
- Isı ve ışıkla reaktif olmaz.
- Su ve yağ geçirmez.
- İyi mekanik mukavemete, elementlere karşı dirence ve elektriksel dirence sahip üretimler yapılabilir.
- Zehirsizdir ve gıda paketlenme malzemeleri yapımında yardımcı maddedir.
- Uygun yumuşak üretimlerin gerçekleştirilmesi amacıyla kullanılabilir, yoğun ısı ve ışıpta yumuşak ürünlerin stabilitesini düzeltebilir.
- Metal ısı dengeleyiciler ile birlikte kullanılabilir.
- Diğer plastik yapıcı, dengeleyici ve yağların kullanım seviyelerini azaltabilir.

Epoksi gruplar içeren bitkisel yağların kaynakları aşağıdaki şekilde sıralanabilir [93].

- Doymamış yağların epoksidasyonu ile (örnek: Epoksilenmiş soya yağı)
- Epoksi gruplar içeren doğal yağlar ile (örnek: Veronika yani tavşan otu)

- Genetik mühendisliği vasıtasıyla (örnek: Vernolik kolza). [94]

Epoksilenmiş bitkisel yağlar içinde kullanım alanı en geniş olan epoksilenmiş soya yağıdır. Epoksilenmiş soya yağının ticari anlamda en önemli avantajı, çevresel tehlikesi olmayan non-toksik bir plastikleştirici olmasıdır. Sıcaklığa, UV faktörlerine, plastik yüzeyinde bozulmaya ve buharlaşmaya karşı dayanıklılık gibi özellikleri sağlamasının yanı sıra, petrol temelli yapılara göre daha az koku verme ve dayanıklılık artırma özellikleri ESO'nun yüksek ürün kalitesi sunabilmesi açısından petrol temelli hammaddelere göre tercih edilebilecek önemli özelliklerinden sadece birkaçıdır. Herhangi bir katkı malzemesi kullanmaksızın yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklıdır. Aynı zamanda birçok farklı plastifiyen ile birlikte kullanılmaya da uygundur. Boya, yapıştırıcı...vb imalatında katkı malzemesi olarak kullanıldığında ıslatıcıdır ve tutuculuk verme özelliğine sahiptir [95].

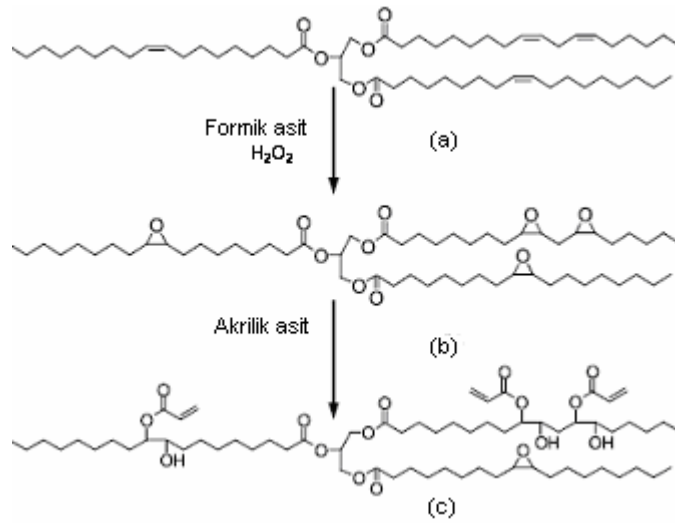
Alternatif ucuz soya reçineleri, ürünlerin mekanik özelliklerini kısıtlamadan, kompozit malzeme fiyatlarını düşürmeye de yardımcı olur. Soya yağının yağlılık derecesi, çekme dayanımı değerini önemli ölçüde düşürür. Bu yüzden yapısında ancak %30'a kadar soya yağı reçinesi ihtiva eden malzemeler, epoksi reçine formülasyonlarına benzer veya ileri derecede mekanik özellikler gösterir. Bunun dışında epoksidedilmiş soya yağı reçinelerinin ilavesiyle genleşme ve çekme-uzama özelliklerinde sağlanan faydalar nedeniyle kompozit direnci artar.

ESO'nun en önemli avantajlarından biri, bazı epoksi reçinelerin gevreklik ve düşük sağlamlık gibi özelliklerine karşılık, ESO'nun uzun zincirli yağ asidi içeriği sebebiyle daha sağlam ve daha esnek bir malzeme yapısına zemin hazırlamasıdır. Herhangi bir epoksi reçine içerisine ESO katarak, karışımı oldukça genleşebilir ve esnek reçine haline getirmek mümkündür. Ancak bazen, farklı katılaştırma ajanları kullanıldığında mekanik özelliklerde biraz azalma ortaya çıkabilmektedir [96].

Bu nedenlerle geri dönüşümlü kaynaklardan, modifiye edilmiş soya yağı reçinelerinin endüstriyel malzemelerin üretiminde kullanımı düşünüldüğünde, özellikle polimer ve kompozit endüstrisinde geniş uygulama alanlarında kullanılabilecek birçok malzemenin üretimine imkan sağlayacağı bellidir.

Amerika'da son yıllarda, uçucu organik kimyasalların havadaki miktarı konusundaki endişeler nedeni ile bazı üretimlerde petrol ürünlerinin kullanımına sınırlamalar getirmiştir. Potansiyel toksikliği nedeniyle bazı organik kimyasalların direk gıda ve ilaç kutuları veya ambalajlarında kullanımı kaygı yaratmaktadır. Bu noktada üretimde kullanılan epoksilenmiş soya yağının uçucu olmaması veya toprağa ve yeraltı sularına bulaşma sorunu yaratmaması ve toksik olmaması sayesinde kullanımda ve kullanımdan sonra petrol evsafı ürünlerle nazaran dezavantajları azaltması ESO kullanımını cazip hale getirmektedir [95].

Soya yağının en genel kimyasal modifikasyonu, yağ esterleri içine bazı çift bağları yerleştiren epoksi gruplarının girişi işlemidir. Bu epoxidasyon işlemi son zamanlarda ticaretleştirilmiştir. Mesela; modifiye edilmiş soya yağı, ısıl özellikleri, esnekliği ve işlenebilirliği düzeltmek için kullanılır. Ancak gerilme kuvveti ve katılık gibi başlıca mekanik özellikler modifiye edilmiş yağlar kullanıldığında biraz azalır. Bunun için ticari epoksilenmiş soya yağı, esnek, yarı esnek ve rijid çapraz örgülü polyesterlerin üretimine daha uygundur. Maleik anhidritli soya yağı reaksiyonu ise, kozmetik uygulamaları, banyo jelleri, kalıp sabunlar, güneş kremleri, deri tedavi ürünleri.. gibi kimyasalların üretiminde kullanılır [97].



Şekil 3.5. Soya yağının sentezlenmesiyle akrilatlanmış epoksilenmiş soya yağının üretimi [98]

a.Trigliserid molekülü **b.** Epoksilenmiş soya yağı **c.** Akrilatlanmış epoksilenmiş soya yağı

Tablo 3.14. Deneylerde kullanılan epoksilenmiş bitkisel yağların fiziksel özellikleri [88],[99]

	EPOKSİLENMİŞ BİTKİSEL YAĞ ÇEŞİDİ			
ÖZELLİK	ESO	ESFO	EPO	EZO
Normal sıcaklıkta görünüşü	açık sarı renkli sıvı	koyu sarı renkli sıvı	koyu turuncu renkli sıvı	koyu yeşilimsi renkli sıvı
Parlaklık	< (Pt-Co): 400	< (Pt-Co) : 385	< (Pt-Co) : 391	< (Pt-Co) : 412
Asit İndisi	(KOH/g):max.2 mg	(KOH/g) :max. 1.5 mg	(KOH/g) :1.14 mg	(KOH/g) : 1.21mg
İyot sayısı	< max. % 3	< % 1.5 - % 1.7	< % 0.44	< % 0.85
Oxiran İndisi	% 6.0 – % 6.8	% 4.5 - % 5.2	% 3.15	% 4.14
Isı iletim katsayısı	0,156 W/mK	0,135 W/mK	0,144 W/mK	0,14 W/mK
Yoğunluğu (25 °C de)	0.985 - 0.995 g/cm ³	0.925 - 0.973 g/cm ³	0.897 - 0.941 g/cm ³	0.9 g/cm ³ - 0.926 g/cm ³
Sabunlaşma sayısı	183 – 185 (KOH/g)	162 – 169 (KOH/g)	173 – 77 (KOH/g)	188 - 196 (KOH/g)
Akma noktası	-1°C	1 °C	4°C	12 °C
Kaynama noktası	150 °C	138 °C	145 °C	167 °C
Ateşleme noktası	310 °C	297 °C	304 °C	359 °C
Vizkozite	325 MPa.s (25°C)	143 MPa.s (25°C)	39 centipoise (40°C’ de)	276 MPa.s (25°C’de)
Kırılma indisi (25°C’de)	%1.472	%1.356	%1.398	%1.865
Suda erime (25°C’de)	< %0.01	< %0.01	< % 0.011	< %0.035
Isıtma kaybı	< % 0.5	< % 0.46	< % 0.51	< % 0.65

3.3. Kil ve Analizi

Kilin yaklaşık 9 bin yıldan beri inşaat malzemesi olarak kullanıldığı tahmin edilmektedir. Günümüzde bile dünya üzerinde 2 milyar insan kilden yapılmış evlerde oturmaktadır. Kilin gündüz serin, gece sıcak tutma özelliği özellikle Afrika’da konut yapımında tercih edilen bir malzeme olmasını sağlamaktadır. Bölgede hüküm süren çöl iklimi nedeniyle Afrika’nın büyük bir kısmında geceleri havanın oldukça serin olmasına karşılık gündüzde sıcaklıktan kavrulmaktadır. Kilin ısı depolama özelliği sayesinde konutların geceleri daha sıcak ve gündüzde daha serin olması sağlanır [100].

Kil doğada bol miktarda bulunan minerallerdendir. Genellikle 0,002 mm 'den daha küçük taneli malzemeye kil adı verilmektedir. Kilin yapısı itibarıyla su çekme özelliği vardır. Bu nedenle kil daima nemlidir.

Kilin başlıca dört özelliği vardır. Bunlar; *Plastisite*, *Kohezyon*, *Renk* ve *Rötre*’dir.

•*Plastisite*: Ezilmiş kile uygun miktarda su karıştırıldığı zaman işlenebilme ve şekillendirme özelliği kolaylaşır. Örneğin; un, su ile karıştırıldığı zaman işlenebilir ve şekillendirilebilir. Buna karşılık kum, su ile karıştırıldığı zaman herhangi bir plastik özellik kazanamaz. Kilin plastisite özelliği kazanabilmesi için muhakkak surette su ile karıştırılması gereklidir. Su dışında hiçbir madde kile plastisite özelliği kazandırmaz. Bu konuda yapılmış deneylerde birçok sıvı (alkol, gaz, terebentin, amonyak, aseton vb.) kullanılmışsa da hiç birisi ile bu özellik elde edilmemiştir [101].

•*Kohezyon*: Bu özellik kil hamuruna kuruduğu zaman kendisine verilmiş olan şekli muhafaza etme kabiliyeti sağlar. Kilin kohezyona sahip olabilmesi için mutlaka su ile yoğrulması gereklidir. Su dışında kalan diğer sıvılarla kil kohezyon kazanmaz.

•*Renk*: Kilin metal oksitlerle karışık bir şekilde bulunduklarından doğal olarak renklenmiş durumdadırlar. Ayrıca organik maddeler de ihtiva ederler.

•*Rötre (Büzüşme)*: Kil, su ile yoğrulup şekillendikten sonra kurumaya terk edilirse şekillendirme sırasında verilmiş olan ölçüleri küçülür. Yani kil hamurunun kuruma sırasında hacmi küçülür. Bu olaya kilin *rötre yapması* denir. Rötre, kilin kuruması sırasında olduğu gibi pişmesi sırasında da devam eder. Kilin kurumasından meydana gelen rötre, kilin plastisite özelliğine bağlıdır. Rötre, plastisiteden sonra en önemli özelliktir. Rutubetli bir kil hamuru kurumaya terk edildiği zaman hacmi küçülür. Belli bir zaman süresi sonucunda kil hamuru katılaşır ve mutlak kuruma haline kadar su kaybı ve hacim küçülmesi devam eder. Bu şekilde kurutulmuş kil hamuru gittikçe yükselen ısıda pişirildiği takdirde, kurutmada olduğu gibi yine hacmini küçültür. Kilin gerek kuruma ve gerekse pişme sırasında yapılmış olduğu rötre, toplam

rötre dir. Kil, düşük ısı derecesinde bir etüve konulursa sertleşir; önce serbest haldeki suyunu, daha sonra da emdiği suyun önemli bir kısmını kaybederek gittikçe artan bir rötre yapmaya başlar. Etüvün ısı derecesi 200°C'yi geçmezse bu olay geriye dönüşebilir. Bu durumda kil soğuduğu zaman öğütülerek pudra haline getirilerek su ile yoğrulursa plastisite gösterebilir [101].

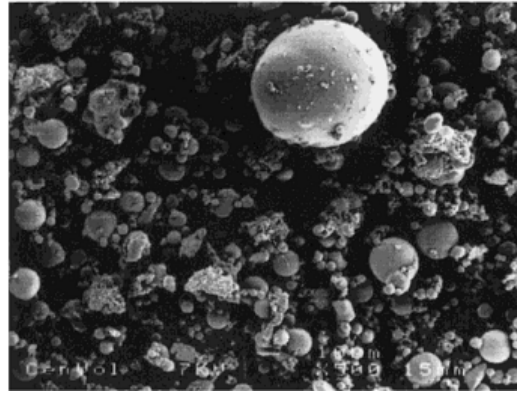
Bu çalışmada, üretilen yeni yalıtım malzemelerinde kile sıvı katkısı olarak, su yerine epoksilenmiş bitkisel yağlar katılarak fiziksel özellikler daha da iyileştirilmeye çalışılmıştır.

Tablo 3.15. Deneylerde kullanılan kilin analizi

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Kızdırma Kaybı	TE (Bilinmeyen)
Ortalama	43.645	20.259	12.954	10.150	1.534	9.650	1.83

Not: Kilin analizi Elazığ çimento fabrikası laboratuvarında yapılmıştır.

Deneylerde kullanılan kilin yoğunluğu 1.5 g/cm³, ısı iletim katsayısı 1.5 W/mK olarak tespit edilmiştir. Kilin SEM görüntüsü Malatya İnönü Üniversitesi'nde alınmıştır.



Şekil 3.6. Kilin SEM görüntüsü

3.4. Uçucu Kül ve Analizi

Düşük kalorili kömürler, termik güç santrallerinde, 0.09 mm inceliğe kadar öğütülüp, toz halinde ve su ile fırın içerisine püskürtülerek pülverize halde, termik santralin tipine göre, 1100-1600°C sıcaklıkta yakılırlar. Yanma sonucu oluşan küllerin bir kısmı fırın atmosferinde boşluklu kürecikler halinde şekillenip, baca gazları ile birlikte taşınarak santralin siklon veya elektro filtrelerinde toplanırlar. Taşınım sırasında hava ile temas ederek, ani soğuma sonucu

puzolanik özellik kazanan bu küllere hafif olmaları nedeniyle uçucu kül (fly-ash) adı verilir. Bu işlem esnasında daha iri taneli olan ve baca gazları ile birlikte atmosfere sürüklenemeyerek kazan tabanına düşen küllere de taban külü denilmektedir [102].

Türkiye' de kömür yakan 15 enerji santrali bulunmaktadır. Ülkemizde yıllık uçucu kül üretimi yaklaşık 15 milyon ton civarındadır. Bu atık malzemenin büyük bir kısmı termik santraller civarındaki boş arazilere dökülmekte ve hemen hemen hiç değerlendirilmemektedir. Uçucu küllerin ekonomik olarak değerlendirilmesi, kullanılabilir miktara, gerekli nakliye miktarına ve istenilen tasarıma bağlıdır. Dünyadaki uçucu kül üretimi yılda yaklaşık 450 milyon tondur. Dünyada toplam uçucu kül miktarının sadece %6 sı çimento ve beton karışımlarında katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Betonda uçucu kül kullanımının iki ana nedeni vardır; birincisi beton maliyetlerini düşürmek, ikincisi taze ve sertleşmiş betonun özelliklerini iyileştirmektir. Uçucu kül betonun hidratasyon ısını düşürür ve tanelerin küreselliği sayesinde taze betonun kararlılığını, kolay yerleşmesini ve kolay sıkıştırılmasını sağlar [103].

Bugün gelişmiş ülkelerde her geçen gün yeni bir kullanım alanı bulan uçucu külün ülkemizde bu şekilde atılması, hem kaynak israfına yol açmakta hem de gerek atacak yer bulmak gerekse çevre kirlenmesine neden olması açısından termik santral işletmeleri için sorun halinde bulunmaktadır. Uçucu küllerin neden olduğu çevre problemleri arasında, tozlanma, tarım ürünlerine zarar verme, yağmur ve rüzgar erozyonu, toprakta süzülme dolayısıyla toksik madde taşınması ve radyasyon sayılabilir. Bu çevre sorunları nedeniyle tarım ürünleri, su ve havanın kalitesi, doğal hayat, bölgenin ekonomik durumu ve çevre güzelliği açısından istenmeyen sonuçlar ortaya çıkmaktadır [104].

3.4.1. Uçucu Küllerin Fiziksel Özellikleri

Uçucu küllerin fiziksel özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Görünüş:** Uçucu kül, çimento inceliğinde, çimentodan daha koyu gri renkte, çok küçük taneli, elle dokunulduğunda, yumuşak bir malzemedir. Mikroskopla bakıldığında çeşitli şekil ve büyüklükte yaklaşık 1-200 μm (10^{-6} m) çapında, genellikle kürevi, şeffaf, bazan açık renkli, bir kısmı siyah, çok az esmer kırmızı renkte taneciklerden meydana gelen bir yapı gösterir [46].
- İncelik:** Uçucu külün inceliği özellikle santrale verilen kömürün öğütülme derecesine bağlıdır. İnceliğe etkili olan ikinci faktör de ince küllerin mümkün olduğunca bacadan kaçmasına mani olunarak tutulmasıdır. Uçucu küllerin inceliği fabrikanın verimli çalışması oranında yükselir. Bacadan kaçan kısım azaldıkça incelik artar. Ayrıca incelik, külün elde edildiği kömüre de bağlıdır. Genellikle taşkömürü uçucu külü, linyit uçucu külünden, elektro filtrelerde toplanan uçucu küller ise siklonlarda toplananlardan daha incedir [46].

- Yoğunluk:** Uçucu küllerin yoğunluğu, inceliğine ve mineralojik yapısına bağlı olup genellikle 2.2-2.7 g/cm³ arasındadır. İçi dolu küresel tanelerden meydana gelen uçucu küllerin özgül ağırlıkları daha fazla, süngerimsi taneciklerin ise daha azdır. Uçucu küller içerisinde farklı yoğunlukta kül vardır. Bunların miktarları da birbirinden farklıdır [46].
- Magnetik Özellik:** Uçucu kül içerisine bir mıknatıs daldırıldığında, mıknatısa bir kısım uçucu külün yapıştığı görülür. Mıknatıs bir hava akımına tutularak yapışan taneciklerin uzaklaştırılmasına çalışılırsa bunda tam başarılı olunmadığı, uçucu külün %25 'inin yani Fe₂O₃ içeren kısmının mıknatıs da kaldığı görülür [46].
- Elektrik İletkenliği:** İki iletken arasına konulmuş bir kuru uçucu kül numunesi iki farklı potansiyeldeki plaka arasına yerleştirilirse, bir elektrik akımının geçtiği saptanmıştır. Sıcaklık 600⁰C'ye çıktığında çok düşük voltajda akımın geçtiği görülmüştür [46].
- Suda Çözünürlük:** Uçucu kül bol miktarda saf su içerisine konup karıştırıldığında birkaç saat sonunda SO₃' ün hemen hemen tamamı ve toprak alkali metal bileşikler kısmen suda çözünür. Aynı süre içerisinde SiO₂, Al₂O₃, K₂O, Na₂O, Fe₂O₃ ise suda çok az çözünür [46].
- Puzolanik Özellik:** Puzolanlar tek başına bağlayıcı özelliği bulunmayan veya çok az bulunan, ancak öğütüldüklerinde oda sıcaklığında ve sulu ortamda kalsiyum hidroksit ile reaksiyona girerek, bağlayıcı özelliği bulunan bileşikler verebilen maddelerdir. Yüksek fırın curufu ve uçucu kül puzolanik özellik gösteren atıklardır. Örneğin; Belirli oranlarda birleşen kireç+uçucu kül+su bir süre sonra dayanım kazanır. Oda sıcaklığında uçucu kül+kireç+kum karışımı 2-3 gün de belirli bir mekanik dayanıma erişir. Fakat aynı şartlar altında bekleyen kireç+kum karışımı sıfır dayanım gösterir. Puzolanlar çimento gibi hidrolik özellik göstererek dayanım kazandıklarından, çimento ve harca katılarak beton yapımında kullanılabilirler [33], [43].
- Asitlerin Etkisi:** Uçucu küle asitlerin etkisi çok azdır. Seyreltik asitle muamele edilen uçucu küllerde çözünürlüğün maksimum %15 olduğu saptanmıştır. Ancak bu değer uçucu külün mineralojik ve kimyasal yapısına bağlı olarak daha da düşük olabilir [46].

3.4.2.Uçucu Küllerin Kullanım Alanları ve Değerlendirilmesi

Düşük maliyetli yapı malzemesi üretiminde uçucu kül kullanımının hem üreticiye hem de tüketiciye büyük oranda tasarruf sağlayacağı bellidir [104]. Ancak Türkiye'de bu potansiyelin değerlendirilmediği görülmektedir. Yani Türkiye'de inşaat sektöründe uçucu kül kullanımı olması gerekenden çok düşük düzeydedir. Bunun nedenleri; sektörün nispeten tutucu karakterinden kaynaklanan yeni yöntem ve malzemelere karşı duyulan şüpheden, Türkiye' de uçucu küllerin yapı malzemesi olarak kullanılabilirlikleri hakkında yeterli bilgi birikimi bulunmamasından ve uçucu küllerin sabit özelliklere sahip olmamasından kaynaklanmaktadır.

Tablo 3.16. Uçucu küllerinin genel kullanım alanları [105]

Çevre	İnşaat			Tarım	Diğer
	Çimento	Beton	Yapı		
Atık suların arıtılmasında absorban	Çimentoya ilave	Enjeksiyon betonu	İmal ve temel ıslahı	Yapay gübre üretimi	Buzlanmanın önlenmesi
	Klinkere ilave	Gaz betonu	Zemin stabilizasyonu	Toprak ıslahı	Döküm ve metal sanayi
	Hammadde	Normal beton	Kireç-kül tuğlası		Seramik sanayi
		Hafif beton	Kil-kül tuğlası		Sondaj sanayi
			Hafif agrega		

Tablo 3.17. Uçucu küllerin inşaat sektöründe kullanıldığı alanlar [104]

Malzeme	Kullanım Amacı / Yeri
Çimento	Hammadde, katkı ve ikame malzemesi olarak
Agrega	İnce agrega, iri agrega ve hafif agrega olarak
Beton	Katkı ve ikame malzemesi olarak
Tuğla, ateş tuğlası	Katkı malzemesi olarak
Kerpiç	Bağlayıcı malzeme olarak
Yapı malzemeleri	Panel, blok, duvar, gaz beton, beton boru, cam, boya, seramik, plastik, harç
Çeşitli yapılar/uygulamalar	Baraj, otoyol, nükleer santral, geo teknik uygulamalar

Düşük kalorili kömürün yanması sonucu oluşan büyük miktardaki atık malzeme olan uçucu külün Dünya ülkelerinde olduğu gibi Türkiye’de de değerlendirilmesi, hem ülke ekonomisine katkı hem de çevre temizliği yönünden büyük yararlar sağlayacak ve üretimini yapan fabrikaların önemli bir problemine çözüm getirecektir. Uçucu külün özellikle gaz beton veya yalıtım malzemesi olarak değerlendirilmesi halinde aynı zamanda enerji tasarrufu da sağlayarak ülkemize ayrı bir yarar daha sağlayacaktır.

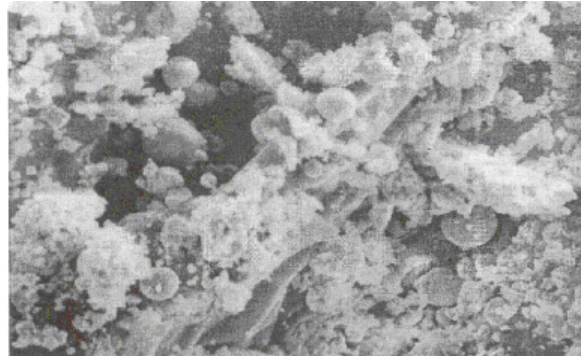
Bu çalışmada kullanılan Afşin-Elbistan uçucu külünün S+A+F (silis, alüminyum, demir) miktarı beton için Tablo 3.18’de belirtilen sınırlamaları sağlamamaktadır. Bu nedenle direk beton içinde kullanılamayan bu malzemenin yapı içerisinde yalıtım veya sıva malzemesi olarak kullanılabilirliğini değerlendirilmek amacıyla, yoğun şekilde çevreye atılan Afşin-Elbistan uçucu külü deney malzemesi olarak tercih edilmiştir.

Tablo 3.18. Türkiye’deki bazı uçucu küllerin kompozisyonlarının beton üretiminde kullanımı için uygunluğunun standart sınırlarıyla karşılaştırılması [105]

Oksit Bileşimi (%)	Termik santral adı				EN 450 Sınırları	TS639 sınırları	ASTM C618	
	Afşin Elbistan	Çatalağzı	Tunçbilek	Çayırhan			sınırları	
							F	C
SiO ₂	27.4	56.8	58.59	49.13		--	--	--
Al ₂ O ₃	12.8	24.1	21.89	15.04		--	--	--
Fe ₂ O ₃	5.5	6.8	9.31	8.25		--	--	--
S+A+F	45.7	87.7	89.79	72.42		>70	>70	>50
CaO	47	1.4	4.43	13.2	<1	--	--	--
MgO	2.5	2.4	1.41	4.76		<5	<5	<5
Na ₂ O	(N+K)0.3	(N+K)0.3	0.24	2.2	< 3	--	<1.5	<1.5
K ₂ O	--	--	1.81	1.76		--	--	--
SO ₃	6.2	2.9	0.41	3.84		<5	<5	<5
KK	2.4	0.6	1.39	0.72	< 5	<10	<12	<6

3.4.3. Afşin-Elbistan Termik Santrali Uçucu Külünün Analizi

Afşin-Elbistan termik santrali uçucu külünün SEM görüntüsü Şekil 3.7’de, analizi Tablo 3.19’da verilmiştir.



Şekil 3.7. Afşin-Elbistan termik santrali uçucu külünün SEM görüntüsü (x 2000 büyütme), [105]

Tablo 3.19. Deneylerde kullanılan uçucu külün analizi

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Kızdırma kaybı	SO ₂
Ortalama	21.33	4.025	2.606	36.480	1.032	29.798	12.71

Not:Afşin-Elbistan termik santrali uçucu külünün analizi Elazığ çimento fabrikası laboratuvarında yapılmıştır.

4. GÖZENEKLİ KATI MALZEMELERDE ISI İLETKENLİK KATSAYISININ KURAMSAL OLARAK İNCELENMESİ

4.1. Gözenekli Katı Malzemelerin Isı İletim Katsayısının Tayininde Kuramsal Bir Model

Gözenekli malzemeler, gözenekli katı malzemeler, taneli malzemeler ve lifli malzemeler olarak sınıflandırılabilir. Bu çalışmada, gözenekli katı malzemeler esas alınarak inceleme yapılmıştır.

Gözenekli malzemeler, karmaşık şekil ve boyuttaki katı partiküller ve boşluklardan oluşur. Özellikleri, yapılarında bulunan maddelerin özelliklerine ve hacimsel oranlarına bağlıdır.

Gözeneksiz yapı malzemelerine uygulanabilen temel hidrodinamik ve termodinamik bağıntıları, gözenekli yapı malzemelerine uygulayarak, analitik olarak incelemek zordur. Ancak bazı kabuller yapılarak malzemenin herhangi bir elemanter hücre yapısı incelenip, yapının tümü hakkında fikir edinilebilir.

Gözenekli katı malzemelerde de ısı geçişi bilindiği gibi konveksiyon (ısı iletimi), konveksiyon (ısı taşınımı) ve radyasyonla (ışınım) olur. Bu ısı transferi yöntemleri dikkate alınarak gözenekli katı malzemelerin ısı iletim katsayısının tayininde kuramsal bir model oluşturmak için aşağıdaki kabuller yapılmıştır.

- Bu çalışmada, uçucu küllerin gözenek çapları 1 mm den küçüktür. Bu sebeple;

$$Ra = Gr.Pr < 10^{-3}$$

olacağından, doğal ısı taşınımının olmayacağı kabul edilmiştir.

- Işınım ısı geçişi Stefan –Boltzman kanununa göre;

$$Q_{ış} = \varepsilon \sigma (T_1^4 - T_2^4)$$

bağıntısı ile verilmektedir. Gözeneklerin cidar sıcaklıkları birbirine çok yakın olacağından

$(T_1 \cong T_2)$, ışınlama ısı geçişi ihmal edilebilir.

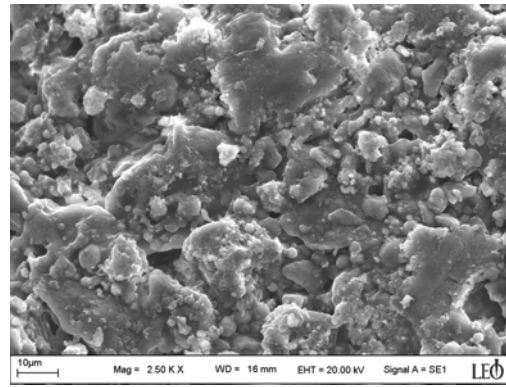
- Gözenek şekilleri düzensiz bir halde ve kompleks geometrik şekle sahip olup küresel yakındır. Isı akışı yönündeki kesiti sabit alabilmek için, gözenek kesitleri kare şeklinde kabul edilmiştir.

- Malzeme yapısında, rutubet olmadığı kabul edilmiştir.

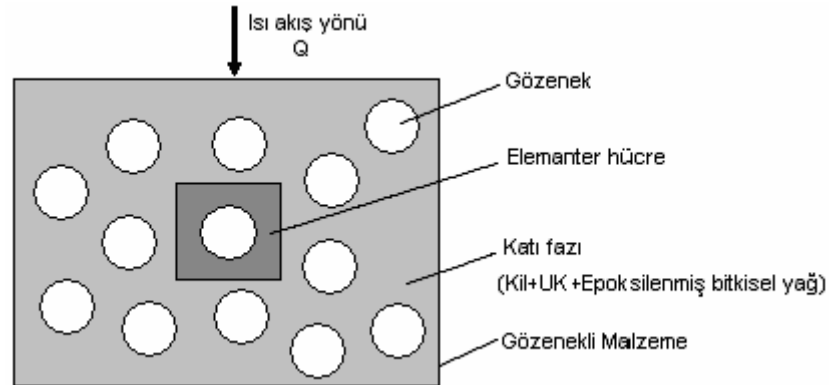
Farklı ısı iletim katsayılarına sahip malzemelerden oluşan, heterojen bir yapının, ortalama ısı iletim katsayısına efektif ısı iletim katsayısı (k_{ef}) denir. Gözenekli katı malzemelerin efektif ısı iletim katsayısı, gözenek içi gazın ısı iletim katsayısı gibi birçok parametrenin bir fonksiyonudur [51].

$$k_{ef} = f(\phi, k_s, k_g, \rho)$$

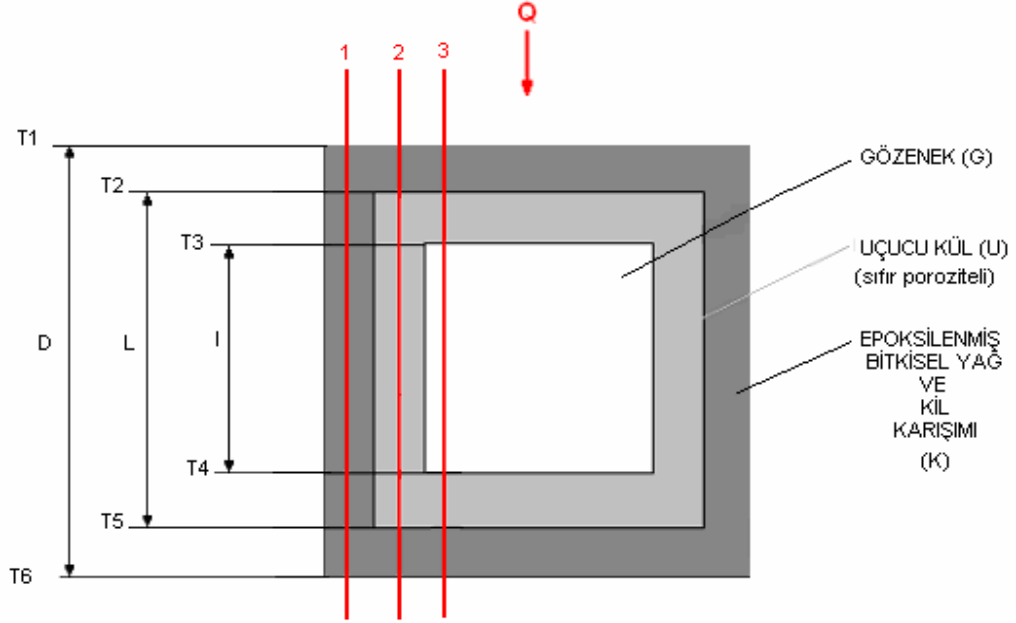
Gözenekli malzemelerde genel olarak gözenek şekilleri, ne kadar bilinen geometrik şekillere uymuyorsa, malzemenin porozitesi de o kadar yüksek olur. Şekil 4.1’de A27 kodlu numunedan alınan SEM görüntüsü verilmiştir. Şekilde görüleceği gibi gözenekler, yapıda gelişigüzel dağılmış olup küresel bir şekle sahiptir. Gözeneklerin dışında ise kil, kül ve epoksilenmiş bitkisel yağdan oluşan katı kısım mevcuttur. Bu yapı için, şekil 4.2’deki gibi fiziksel model ve modeldeki bir tek elemanter hücre ele alınmıştır.



Şekil 4.1. A27 kodlu numuneye ait SEM görüntüsü



Şekil 4.2. Gözenekli malzemenin fiziksel modeli



Şekil 4.3. Elemanter hücre kesiti

Isı akış yönü elemanter hücrenin düşey hatlarına paralel kabul edilmiştir. Fourier ısı iletimi kanununa göre tek boyutlu ısı iletim ifadesi;

$$Q = -kA(dT/dx) \quad (4.1)$$

şeklinde verilmektedir. Bu ifadenin integrali alınarak,

$$Q = \frac{T_{su} - T_{soğ}}{(1/kA)L} \quad (4.2)$$

yazılabilir. Burada L / kA ifadesi ısıl direnç olup R ile gösterilirse,

$$Q R = T_{su} - T_{soğ}$$

denklemleri elde edilir. Bu denklem elemanter hücre kesitine uygulanırsa;

(1) nolu kesit için;

$$T_1 - T_6 = Q_1 R_{1K} = Q_1 R_{1eş} \quad (4.3)$$

(2) nolu kesit için;

$$T_1 - T_2 = Q_2 R_{2K}$$

$$T_2 - T_5 = Q_2 R_{2u}$$

$$T_5 - T_6 = Q_2 R_{2K}$$

İfadeleri taraf tarafa toplanırsa;

$$T_1 - T_6 = Q_2 (R_{2K} + R_{2u} + R_{2K})$$

$$T_1 - T_6 = Q_2 (2R_{2K} + R_{2u})$$

$$T_1 - T_6 = Q_2 (R_{2eş}) \quad (4.4)$$

(3) nolu kesit için;

$$T_1 - T_2 = Q_3 R_{3K}$$

$$T_2 - T_3 = Q_3 R_{3U}$$

$$T_3 - T_4 = Q_3 R_{3G}$$

$$T_4 - T_5 = Q_3 R_{3U}$$

$$T_5 - T_6 = Q_3 R_{3K}$$

İfadeleri taraf tarafa toplanırsa;

$$T_1 - T_6 = Q_3 (R_{3K} + R_{3U} + R_{3G} + R_{3U} + R_{3K})$$

$$T_1 - T_6 = Q_3 (2R_{3K} + 2R_{3U} + R_{3G})$$

$$T_1 - T_6 = Q_3 R_{3eş} \quad (4.5)$$

eşitliği elde edilir. Diğer taraftan elemanter hücrenin tümü için;

$$Q = k_{efs} A \frac{T_1 - T_6}{D} = \frac{T_1 - T_6}{D/k_{efs} A} = \frac{T_1 - T_6}{R_{eş}} \quad (4.6)$$

ifadesi yazılabilir. Şekil 4.3'de kesit görünümü verilen elemanter hücreden geçen ısı miktarı, bileşenlerinin paralel bağlı olmaları nedeniyle

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (4.7)$$

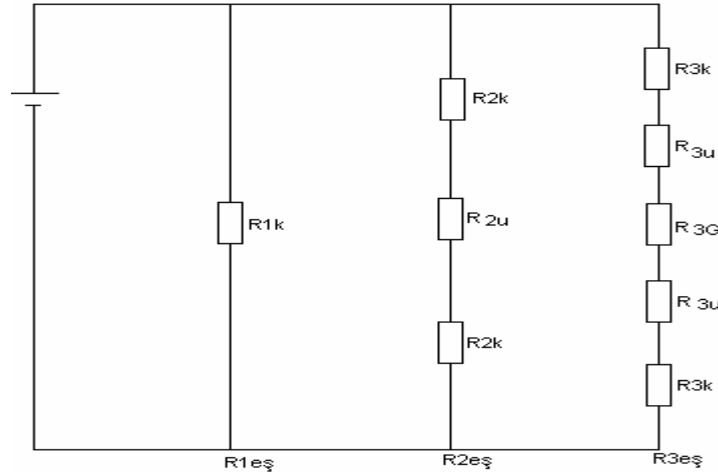
şeklinde yazılır. (4.3), (4.4), (4.5), (4.6) numaralı denklemlerden Q_1 , Q_2 , Q_3 ve Q değerleri çekilip (4.7) numaralı denklemde yerine konulursa,

$$\frac{T_1 - T_6}{R_{eş}} = \frac{T_1 - T_6}{R_{1eş}} + \frac{T_1 - T_6}{R_{2eş}} + \frac{T_1 - T_6}{R_{3eş}} \quad (4.8)$$

İfadesi elde edilir. Bu ifadenin iki tarafındaki $(T_1 - T_6)$ değerleri yok edilirse,

$$\frac{1}{R_{eş}} = \frac{1}{R_{1eş}} + \frac{1}{R_{2eş}} + \frac{1}{R_{3eş}} \quad (4.9)$$

ifadesi bulunur. Bu eşitlik şekil 4.4’de gösterilen ve şekil 4.3’e ait elemanter hücre kesitinin elektriksel benzeşim devre şemasından dirençlerin, paralel bağlı ifadesidir. Bu elemanter hücre için bileşenlerin ısıl dirençleri aşağıdaki gibi yazılabilir.



Şekil 4.4. Elemanter hücre bileşenleri ısıl dirençlerinin elektriksel benzeşim devre şeması

Tablo 4.1. Elemanter hücre bileşenlerine ait ısıl dirençlerinin matematiksel ifadeleri

$R_{1K} = \frac{D}{k_K(D^2 - L^2)}$	$2R_{2K} = \frac{(D - L)}{k_K(L^2 - I^2)}$	$2R_{3K} = \frac{(D - L)}{k_K I^2}$
	$R_{2U} = \frac{L}{k_U(L^2 - I^2)}$	$2R_{3U} = \frac{(L - I)}{k_U I^2}$
		$R_{3G} = \frac{I}{k_G I^2}$

Bu dirençler sırasıyla (1) nolu bileşenin katı fazı (kil+EVO), (2) nolu bileşenin katı fazı (uçucu kül) ve (3) nolu bileşene (gözenek) ait direnç ifadeleridir.

Elektriksel benzeşim devresinin seri bağlı dirençleri toplanarak eşdeğer dirençleri aşağıdaki şekilde yazılır.

$$\begin{aligned} R_{1eş} &= R_{1K} \\ R_{2eş} &= R_{2K} + R_{2U} \\ R_{3eş} &= 2R_{3K} + R_{3U} + R_{3G} \end{aligned}$$

Bu eşdeğer dirençler (4.9) eşitliğinde yerine konur ve ara işlemler yapılırsa (4.10) ve (4.11) eşitliği elde edilir.

$$\frac{1}{R_{eş}} = \frac{1}{\frac{D}{k_K(D^2 - L^2)}} + \frac{1}{\frac{(D-L)}{k_K(L^2 - I^2)} + \frac{L}{k_U(L^2 - I^2)}} + \frac{1}{\frac{(D-L)}{k_K I^2} + \frac{(L-I)}{k_U I^2} + \frac{I}{k_G I^2}} \quad (4.10)$$

$$\frac{1}{R_{eş}} = \frac{k_K(D^2 - L^2)}{D} + \frac{k_K k_U(L^2 - I^2)}{k_U(D-L) + k_K L} + \frac{k_K k_U k_G I^2}{k_U k_G(D-L) + k_K k_U(L-I) + k_K k_U I} \quad (4.11)$$

Diğer taraftan (4.6) denkleminde $R_{eş}$ ifadesi (4.12) şeklinde yazılıp,

$$R_{eş} = \frac{D}{k_{efs} A} = \frac{D}{k_{efs} D^2} = \frac{1}{k_{efs} D} \quad (4.12)$$

(4.11) eşitliğinde yazılıp yerine konulur ve ara işlemler yapılırsa,

$$k_{efs} D = \frac{1}{R_{eş}} = \frac{k_K(D^2 - L^2)}{D} + \frac{k_K k_U(L^2 - I^2)}{k_U(D-L) + k_K L} + \frac{k_K k_U k_G I^2}{k_U k_G(D-L) + k_K k_U(L-I) + k_K k_U I} \quad (4.13)$$

$$k_{efs} = \frac{k_K(D^2 - L^2)}{D^2} + \frac{k_K k_U(L^2 - I^2)}{k_U D(D-L) + k_K D L} + \frac{k_K k_U k_G I^2}{k_U k_G D(D-L) + k_K k_G D(L-I) + k_K k_U D I} \quad (4.14)$$

$$k_{efs} = k_K \left[1 - (L/D)^2 \right] + \frac{k_K k_U (L^2 - I^2)}{k_U D^2 \left[1 - (L/D) \right] + k_K D^2 (L/D)} \quad (4.15)$$

$$+ \frac{k_K k_U k_G I^2}{k_U k_G D^2 \left[1 - (L/D) \right] + k_K k_G D^2 \left[(L/I)/D \right] + k_K k_U D^2 (I/D)}$$

$$k_{efs} = k_K \left[1 - (L/D)^2 \right] + \frac{k_K k_U \left[(L/D)^2 - (I/D)^2 \right]}{k_U \left[1 - (L/D) \right] + k_K (L/D)} \quad (4.16)$$

$$+ \frac{k_K k_U k_G (I/D)^2}{k_U k_G \left[1 - (L/D) \right] + k_K k_G \left[(L/D) - (I/D) \right] + k_K k_U (L/D)}$$

bağıntıları elde edilir.

$$L^3 / D^3 = Z \quad (\text{Karışım oranı= Kül Hacmi/Toplam Hacim})$$

$$I^3 / D^3 = \phi \quad (\text{Porozite=Gözenek Hacmi/Toplam Hacim})$$

Değerleri (4.16) eşitliği yerine konular ve matematiksel işlemler yapılırsa gözenekli katı malzemenin ısı iletim katsayısını veren bağıntı aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$k_{efs} = k_K k_U k_G \left[\frac{1}{k_U k_G} (1 - Z^{2/3}) + \frac{(Z^{2/3} - \phi^{2/3})}{k_U k_G (1 - Z^{1/3}) + k_K k_G Z^{1/3}} \right. \\ \left. + \frac{\phi^{2/3}}{k_U k_G (1 - Z^{1/3}) + k_K k_G (Z^{1/3} - \phi^{1/3}) + k_K k_U \phi^{1/3}} \right] \quad (4.17)$$

(4.17) nolu denklem gözenekli katı malzemeler için bulunmuştur. Dolayısıyla EVO+kil ile uçucu kül karışımlı malzemelerde karışım oranlarına göre katı yapı oluşturulamayan numuneler için bu denklem kullanılamaz.

4.2.Modeldeki Parametrelerin Deneysel veya Kuramsal Yöntemlerle Tespiti

4.2.1. Porozite Tayini

Gözenekli malzemeler, gözenek içindeki durgun havanın ısı iletimine karşı direnç göstermeleri nedeniyle yalıtım özelliğine sahiptirler. Gözeneklilik oranı arttıkça malzemenin ısı iletim katsayısı küçülmektedir. Bu nedenle malzemelerdeki gözeneklilik oranı (porozite) oldukça önem taşımaktadır.

Literatürde gözenekli bir maddenin porozitesi (ϕ), gözenek hacminin toplam hacme oranı olup boyutsuz bir büyüklüktür [70].

$$\phi = \text{Gözeneklerin hacmi} / \text{Toplam hacim}$$

Gözenek hacmi V_G , katı kısmının hacmi V_K ve toplam hacim V ile gösterilirse,

$$V_G + V_K = V \quad (4.18)$$

yazılabilir. (4.18) eşitliğinin iki tarafı toplam hacme bölünürse;

$$\frac{V_G}{V} + \frac{V_K}{V} = 1 \quad (4.19)$$

denklemini elde edilir.

V_K / V yalnız bırakılıp, tanım gereği $V_G / V = \phi$ gözeneklilik oranı ifadesi kullanılırsa;

$$V_K / V = 1 - (V_G / V) = 1 - \phi \quad (\rho / \rho_K = V_K / V = 1 - \phi) \quad (4.20)$$

yazılır. Numunenin kütlesi;

$$\rho.V = \rho_K.V_K \quad \rho V = \rho_{uçucukül} V_{uçucukül} + \rho_{bağ} V_{bağ}$$

$$\rho = (\rho_{uçucukül} V_{uçucukül} + \rho_{bağ} V_{bağ}) / V \quad (4.21)$$

şeklinde yazılabilir.

V = Numune hacmi

V_K = Sıfır gözenekli numunenin yani katı kısmın hacmi

olduğuna göre;

$$V = V_{uçucukül} + V_{bağ}$$

$$V_{uçucukül} = V - V_{bağ} \quad (4.22)$$

$$V_{bağ} = V_K - V_{uçucukülmatrisi} \quad (4.23)$$

(4.23) denklemi, (4.22) denkleminde yerine koyulursa;

$$V_{uçucukül} = V - (V_K - V_{uçucukülmatrisi}) \quad (4.24)$$

denklemi elde edilir.

Gözenekli numunenin yoğunluğunu tespit etmek için (4.21) denkleminde (4.23) ve (4.24) denklemleri yerine yazılırsa;

$$\rho = \rho_{uçucukül} (V - V_K + V_{uçucukülmatrisi}) / V + \rho_{bağ} (V_K - V_{uçucukülmatrisi}) / V$$

ara işlemler yapılırsa;

$$\rho = \rho_{uçucukül} + (\rho_{bağ} - \rho_{uçucukül}) \frac{V_K}{V} \left(1 - \frac{V_{uçucukülmatrisi}}{V}\right)$$

$$Z = \frac{V_{uçucukülmatrisi}}{V} \text{ olduğuna göre;}$$

$$\rho = \rho_{uçucukül} + (\rho_{bağ} - \rho_{uçucukül})(1 - \phi)(1 - Z) \quad (4.25)$$

denklemi elde edilir.

$\phi = 1 - \frac{\rho}{\rho_K}$ ifadesinde (4.25) denklemi yerine konursa porozite değeri (4.26) denklemindeki gibi bulunmuş olur.

$$\phi = \{\rho_K - [\rho_{uçucukül} + (\rho_{bağ} - \rho_{uçucukül})(1 - \phi)(1 - Z)]\} / \rho_K$$

$$\phi = \frac{\rho_K - \rho_{uçucukül} - (\rho_{bağ} - \rho_{uçucukül})(1 - Z)}{\rho_K - (\rho_{bağ} - \rho_{uçucukül})(1 - Z)} \quad (4.26)$$

Bu denklemde; $\rho_{bağ} = \rho_{kil+EVO}$ dur.

Bu çalışmada Afşin–Elbistan Termik Santralinden elde edilerek kullanılan baca altı uçucu kül oranı %70, kil oranı %30, epoksilenmiş yağ oranı %50 olan A45 kodlu numunede düşük yoğunluk, en düşük ısı iletim katsayısı dolayısıyla en yüksek porozite tespit edilmiştir.

Tablo 4.2. Afşin Elbistan Termik Santrali uçucu külü ve kil matrislerine ait yoğunluk değerleri [2]

Bileşen	Bileşen Yoğunluğu (g/cm ³)	Afşin Elbistan Uçucu Külü		Kil	
		BileşenYüzdesi (%)	Yoğ*(%) (g/cm ³)	BileşenYüzdesi (%)	Yoğ*(%) (g/cm ³)
SiO ₂	2.56	33.9	0.8678	43.645	1.117
Fe ₂ O ₃	5.2	5.9	0.3068	12.954	0.673
Al ₂ O ₃	4.0	12.5	0.5	20.259	0.81
CaO	3.3	35.5	1.1715	10.150	0.334
MgO	3.6	1.9	0.0684	1.534	0.0551
SO ₃	4.82	7.2	0.345	-----	-----
K ₂ O	1.9	0.7	0.0133	-----	-----
Na ₂ O	2.3	0.3	0.0069	-----	-----
Ti ₂ O	4.26	0.7	0.0298	-----	-----
LiO ₂	0.85	----	-----	-----	-----
K.Kaybı	----	1.6	-----	9.750	-----
Toplam		100.2	3.311	100.1	2.9891

Tablo 4.3. Deneylerde kullanılan malzemelere ait yoğunluk değerleri [88], [99]

Malzeme	Yoğunluk (g /cm ³)
Afşin Elbistan baca altı uçucu külü	2.24
Kil	1.5
ESO	0,94
ESFO	0.925 - 0.973
EPO	0.897 - 0.941
EZO	0.9



Şekil 4.5. Numunelerde aşınma sonrası izlenen gözenekli yapı

4.2.2. Kül-Bağlayıcı Karışımlarında Hacimsel ve Ağırlık Oranları İlişkisi

Ağırlık= yoğunluk x hacim x yerçekimi ivmesi şeklindedir. Kül ve bağlayıcı ağırlıklarını bulmak için,

$$W_{k\ddot{u}l} = \rho_{k\ddot{u}l} V_{k\ddot{u}l} g$$

$$W_{bağ} = \rho_{bağ} V_{bağ} g$$

eşitlikleri yazılabilir. Bu iki eşitlik taraf tarafa bölünürse;

$$\frac{W_{k\ddot{u}l}}{W_{bağ}} = \frac{\rho_{k\ddot{u}l}}{\rho_{bağ}} \cdot \frac{V_{k\ddot{u}l}}{V_{bağ}} \quad (4.27)$$

ifadesi elde edilir. Eşitliğin sol tarafının pay ve paydası W numune ağırlığına, sağ tarafının pay ve paydasını V numune hacmine bölerek,

$$\frac{W_{k\ddot{u}l}}{W} = F = \text{Ağırlıkça kül oranı}$$

$$\frac{W_{bağ}}{W} = 1 - F = \text{Ağırlıkça bağlayıcı oranı}$$

$$\frac{V_{k\ddot{u}l}}{V} = Z = \text{Hacimce kül oranı}$$

$$\frac{V_{bağ}}{V} = 1 - Z = \text{Hacimce bağlayıcı oranı}$$

dönüşümleri yapılabilir. Bu ifadeler (4.27) nolu eşitlikte yerlerine konulur ve Z yalnız bırakılırsa

$$Z = \frac{\rho_{(bağ)}}{\rho_{(k\ddot{u}l)}} = \frac{F/(1-F)}{1 + (\rho_{(bağ)}/\rho_{(k\ddot{u}l)})(F/(1-F))} \quad (4.28)$$

ifadesi elde edilir.

4.2.3.Gözeneksiz Kül, Kil ve Bağlayıcılara Ait Isı İletim Katsayıları

400 meshlik (35.10^{-6} m) elekte elenen Afşin Elbistan uçucu külüne ait yoğunluk 3.28 g/cm^3 olarak bulunduğundan sonra Tablo 4.2'deki teorik olarak hesaplanan 3.311 g/cm^3 yoğunluk değerine çok yakın olduğu görülmüştür ve bu kül sıfır poroziteli olarak kabul edilmiştir. Bu uçucu kül su ile karıştırıldıktan sonra kalıba dökülüp basınç altında sıkıştırılarak 28 gün süreyle 20°C oda sıcaklığında kurutulduktan sonra ısı iletkenlik değeri ölçülerek Tablo 4.4'de verilmiştir. Aynı şekilde kil de 400 meshlik (35.10^{-6} m) elekte elendikten sonra yoğunluk değeri 2.67 g/cm^3 bulunmuş bu değer Tablo 4.2'deki teorik olarak hesaplanan 2.98 g/cm^3 yoğunluk değerine çok yakın olduğu görülmüştür. Uçucu kül için yapılan işlem aşamaları kil içinde gerçekleştirilerek kile ait ısı iletkenlik değeri ölçülmüş ve Tablo 4.4'e aktarılmıştır. Epoksilenmiş bitkisel yağlara ait ısı iletim katsayıları, yağların temin edildiği firmalardan gelen bilgi kataloglarında tespit edilmiş değerler alınmak suretiyle Tablo 4.4'de belirtilmiştir.

Tablo 4.4. Deneylerde kullanılan malzemelere ait ısı iletim katsayıları [88], [99]

	Malzeme Adı					
	Uçucu Kül	Kil	ESO	ESFO	EPO	EZO
Isı iletim katsayısı(W/mK)	0.511	0,93	0.156	0,135	0,144	0,140

4.2.3.1. Gözenek İçindeki Gazların Isı İletim Katsayıları

Tablo 4.5.'de Afşin Elbistan Termik Santraline ait baca gazlarının analiz sonuçları verilmektedir. Uçucu kül yapısındaki gözenekler, fırın atmosferinde, 1200°C civarında oluşmaktadır. Burada azot ve karbondioksit gazlarının oranının diğer bileşenlere göre fazla olduğu görülmektedir. Bu sebeple gözenekler içindeki gazın sadece azot ve karbondioksit gazı karışımı olduğu kabul edilmiştir.

Bu gaz karışımının ısı iletim katsayısı azot ve karbondioksit gazlarının ısı iletim katsayılarının ortalaması olarak alınmıştır. Tablo 4.6'da oda sıcaklığında (300°K) muhtelif gazlara ait ısı iletim katsayıları verilmiştir [3].

$$k_G = (k_{\text{CO}_2} + k_{\text{N}_2}) / 2 = (0,01666 + 0,0262) / 2 = 0,0214 \quad (\text{W/mK}) \quad (4.29)$$

Tablo 4.5. Afşin Elbistan Termik Santrali baca gazı analiz sonuçları [44]

Afşin Elbistan Termik Santrali	Gazlar				
	CO ₂ (%)	CO ₃ (mg/m ³)	O ₂ (%)	SO ₂ (mg/m ³)	NO ₂ (mg/m ³)
1. ünite	12.7	0	7.3	7442	1083
2. ünite	14.2	216	5.3	3468	534

Çalışmamızda kullanılan malzemelerin ısı iletim katsayıları $k_{bag} = k_{kil+EVO}$, formüllerde kullanılan kil ve epoksilenmiş bitkisel yağ belirlenmiş oranlarda kullanılarak harçlar üretilmiştir. Bu harçlar kalıplara dökülüp numunelere uygulanan tüm fırınlama işlemlerinden geçtikten sonra yoğunlukları belirlenmiş, daha sonra İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi laboratuvarlarında ısı iletim katsayıları tespit edilerek hesaplamalara dahil edilmiştir.

Tablo 4.6. 300 K sıcaklığında muhtelif gazların yoğunlukları ve ısı iletim katsayıları [44]

Gaz	Yoğunluk (g/cm ³)	Isı iletim katsayısı (W/mK)
CO	1,139	0,0253
CO ₂	1,797	0,01666
N ₂	1,142	0,0262
O ₂	1,301	0,0267
H ₂	0,0819	0,182
SO ₂	----	0,072

5.3.4. Bir Numunenin Isı İletim Katsayısının Sayısal Olarak Bulunması

Sayısal çözüm için S27 numunesi örnek olarak alınmıştır. Bu numune Afşin-Elbistan baca altı uçucu külü, kil ve epoksilenmiş soya yağının 1:1:1 oranlarında karıştırılarak önce 100°C’de 12 saat, sonra 200°C’de 10 saat fırınlanmasıyla elde edilmiştir. Numunenin uçucu kül ve bağlayıcı oranları aşağıdaki gibidir.

Karışımın ağırlık yüzdeleri : % 33 uçucu kül / %66 kil +ESO

Karışımın hacimsel yüzdeleri : % 21.4 uçucu kül / % 78.6 kil + ESO

Karışımın hacimsel yüzdesi (4.28) eşitliği kullanılarak;

$$Z = \frac{\rho_{bağ}}{\rho_{(kül)}} \frac{F/(1-F)}{1 + (\rho_{bağ} / \rho_{(kül)}) (F/1-F)}$$

Z= 0. 214 olarak bulunur. Porozite değeri ise 4.26 eşitliği kullanılarak;

$$\phi = \frac{\rho_K - \rho_{uçucukül} + (\rho_{bağ} - \rho_{uçucukül})(1-Z)}{\rho_K - (\rho_{bağ} - \rho_{uçucukül})(1-Z)}$$

ρ_K değeri açık şekilde yazılarak ve gerekli değerler Tablo 4.2 ile Tablo 4.3'den alınarak ϕ denkleminde yerine yazılırsa; $\phi = 0.263$ olarak elde edilir.

Bu şekilde hesaplanan Z ve ϕ değerleri, aşağıdaki verilerle birlikte Tablo 4.7'de belirtilen değerler, geliştirilen 4.17 cebirsel denkleminde yerine koyulursa;

$$k_U = 0.511W / mK$$

$$k_G = 0.0214W / mK$$

$$\rho_U = 2.24g / cm^3$$

$$\rho_{Umatris} = 3.31g / cm^3$$

$$k_{efs} = k_K k_U k_G \left[\frac{1}{k_U k_G} (1 - Z^{2/3}) + \frac{(Z^{2/3} - \phi^{2/3})}{k_U k_G (1 - Z^{1/3}) + k_K k_G Z^{1/3}} + \frac{\phi^{2/3}}{k_U k_G (1 - Z^{1/3}) + k_K k_G (Z^{1/3} - \phi^{1/3}) + k_K k_U \phi^{1/3}} \right]$$

$$k_{efs} = 0.297W / mK \text{ olarak bulunur.}$$

S27 kodlu numuneye ait deneysel ısı iletim katsayısı 0.312 W/mK olarak tespit edilmiştir. Aynı numuneye ait kuramsal ısı iletim katsayısı yukarıdaki işlem aşamalarından sonra 0,297W/mK olarak belirlenmiştir. Sonuçta deneysel olarak elde edilen değerle, matematiksel hesaplama ile bulunan değerlerin birbiriyle uyum içinde olduğu görülmüştür. Deneysel sonuçla, matematiksel sonuç arasındaki sapma %4.8 olarak belirlenmiştir. Hesaplama kullanılan $k_{bağ}$ değeri %50 kil-%50 ESO karışımıyla hazırlanmış numunenin ilgili tüm ısı işlemlerden geçtikten sonra ölçülen ısı iletim katsayısı değeridir.

Dört çeşit epoksilenmiş bitkisel yağla üretilmiş dört çeşit numune için deneysel ve kuramsal olarak elde edilen sonuçlar Tablo 4.7’de verilmiştir.

Tablo 4.7. Deneysel ve kuramsal olarak belirlenen bir kısım numunelerin ısı iletim katsayıları

KOD NO	DENEYSEL VE KURAMSAL SONUÇLAR						
	$\rho_{kil+EVO}$	$k_{kil+EVO}$	Z	ϕ	$k_{kuramsal}$	$k_{deneysel}$	Sapma
	g/cm ³	W/mK	%	%	W/mK	W/mK	%
S27	1.22	0.62	0.214	0.263	0.297	0.312	4.8
A27	1.05	0.24	0.217	0.298	0.234	0.257	8.94
P27	1.09	0.29	0.195	0.274	0.256	0.275	6.9
Z27	1.14	0.32	0.2	0.279	0.272	0.302	9.93

5. DENEYSEL ÇALIŞMA

5.1. Ön Çalışmalar

Deneylerde kullanılmak üzere belirli karışım oranlarında epoksilenmiş bitkisel yağ, uçucu kül ve kil kullanılarak numuneler hazırlanmıştır. Bu numunelerde uçucu kül; Afşin Elbistan Termik Santrali'nden, kil; Elazığ Aslan döküm sanayinden, epoksilenmiş soya yağı; Adana Konsan Tic.A.Ş.'den; epoksilenmiş ayçiçek yağı, epoksilenmiş palm yağı ve epoksilenmiş zeytinyağı Elazığ Karadeniz Birlik A.Ş.'den temin edilmiştir. Numuneler, üç ayrı sıcaklıkta (160°C, 180°C, 200°C) etüvde belli zaman aralıklarında bekletilerek deneylere hazırlanmıştır. Elde edilen numunelerin, ısı iletkenlik katsayısı, kütlesi, yoğunluğu, basma mukavemeti, çekme mukavemeti, aşınma kaybı, su emme miktarı, kuruma hızı değerleri tespit edilerek malzemenin kullanılabilirliği açısından TS ve ASTM standartlarına uygun olup olmadığı araştırılmıştır.

Uçucu kül %30, %40, %50, %60, %70 ağırlık oranlarında bağlayıcılarla karıştırılmıştır. Kille beraber bağlayıcı olarak kullanılan ESO, ESFO, EPO, EZO, %40, %45, %50 ağırlık oranlarında katılarak numuneler hazırlanmıştır.

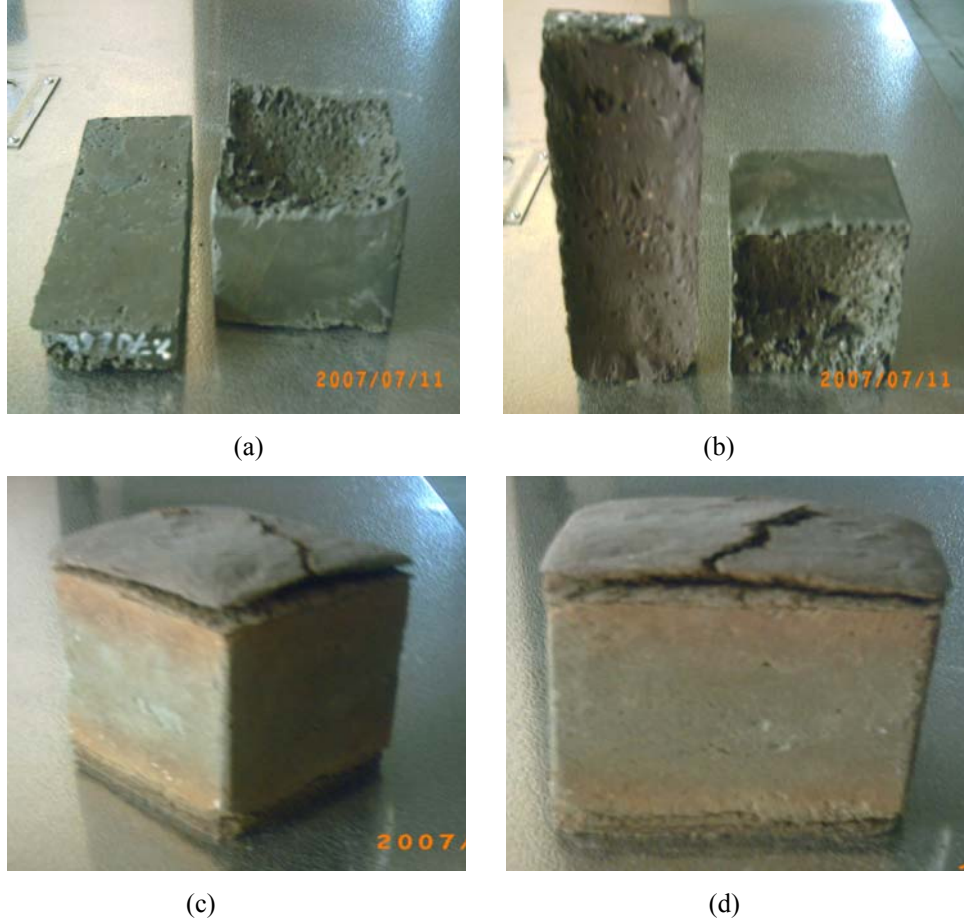
Çalışmada kullanılan malzemelere ait ağırlık oranları yapılan ön çalışmalar neticesinde belirlenmiştir. İlk denemeler ham bitkisel yağlarla yapılmış olup, denemeler sonucu elde edilen malzemelerde yeterli dayanım sağlanamamıştır. Numuneler kalıptan ayrılırken kırılmalar gözlenmiştir. Şekil 5.1'de ham bitkisel yağla elde edilen numunelerden birine ait görüntü gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Ham soya yağı ile elde edilen numunenin görüntüsü

Bağlayıcı olarak kullanılan epoksilenmiş bitkisel yağ+kilin içindeki EVO oranının ancak %40 olması halinde uçucu kül ile harç hazırlayabilecek kadar ıslatabildiği tespit edilmiştir. Epoksilenmiş bitkisel yağ oranı %50'ye kadar çıkarıldığında, harçların hazırlanması, fırınlanması ve kalıptan sorunsuz çıkarılması konusunda bir problem olmamıştır. Epoksilenmiş

bitkisel yağ oranı %55 olarak kullanıldığı zaman elde edilen harcın, kalıplara aktarıldıktan bir süre sonra kalıpların altından sızarak aktığı gözlenmiştir. Etüvde işleme alındığı zaman ise kalıptan dışarıya doğru aşırı kabarma ve taşmaların olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.2.c ve d).



Şekil 5.2. a. %50 kil, %50 UK ve %60 ESO ile hazırlanmış numune
b. %50 kil, %50 UK ve %60 ESFO ile hazırlanmış numune
c. %50 kil, %50 UK ve %55 ESO ile hazırlanmış numune
d. %50kil, %50 UK ve %55 ESO ile hazırlanmış numunenin yandan görünüşü

Bununla birlikte EVO oranı %60'a çıkarıldığı zaman kalıplara aktarılma esnasında kalıptan dışarıya doğru olan sızıntıların daha fazla olduğu gözlenmiştir. Fırınlama işlemi bittikten sonra kalıp dışına, hem kalıbın üstünden hem de kalıbın altından aşırı taşıp kabarmış bölümler oluşmuştur. Bu kabarmış bölümler sert bir cisim yardımıyla hafif darbelerle kırıldığında, aşırı gaz toplanmış bir boşluğun ortaya çıktığı ve bu boşluğun kalıbın yaklaşık olarak yarısına kadar gelen geniş bir hacim kapladığı tespit edilmiştir. %50 kil, %50 kül, %60 ESO ile hazırlanarak ilk 12 saatlik 100°C'de çift taraflı kurutmadan sonra 5+5=10 saat süreyle

160°C deki etüvde kurutularak hazırlanan bir numunenin üst kısmındaki ince tabaka kırıldıktan sonra ortaya çıkan yapı ve gözlenen gaz boşluğunun alt kısmı Şekil 5.2.a ve b’de gösterilmiştir.

Literatürlerde kil ile yapılmış çalışmalardaki kil miktarı %70’in üzerine çıkarılması halinde yapıların seramik yapısına daha yakın bir görüntü sergileyeceği belirtilmektedir. Bu nedenle hazırlanan numunelerde kil oranı azami %70 olarak alınmıştır [64].

Sadece kil+EVO ile hazırlanmış numunelerden birkaçına ait görüntüler Şekil 5.3’de gösterilmiştir. Numunelerin kuramsal teorik ısı iletim katsayılarının belirlenmesi amacıyla geliştirilen denklemi kullanmak için, deneysel çalışmada kullanılan numunelerin haricinde %50 kil+%50 EVO kombinasyonlu numuneler hazırlanmıştır. Bu numunelerin ısı iletim katsayıları İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları ile numunelerin teorik ısı iletim katsayılarının bulunması amacıyla geliştirilen denklem sonuçlarının karşılaştırılması yapılmıştır.



(a)



(b)



(c)

Şekil 5.3. a. ESO ve EPO ile hazırlanmış numuneler

b. ESFO ile hazırlanmış numuneler

c. EZO ile hazırlanmış numune

5.2. Deney Numunelerinin Hazırlanışı

Bu çalışmada öncelikle bağlayıcı olarak kullanılmak üzere %70, %60, %50, %40 ve %30 oranlarında hazırlanan kil ve %40, %45 ve %50 oranlarında hazırlanan ESO, ESFO, EPO

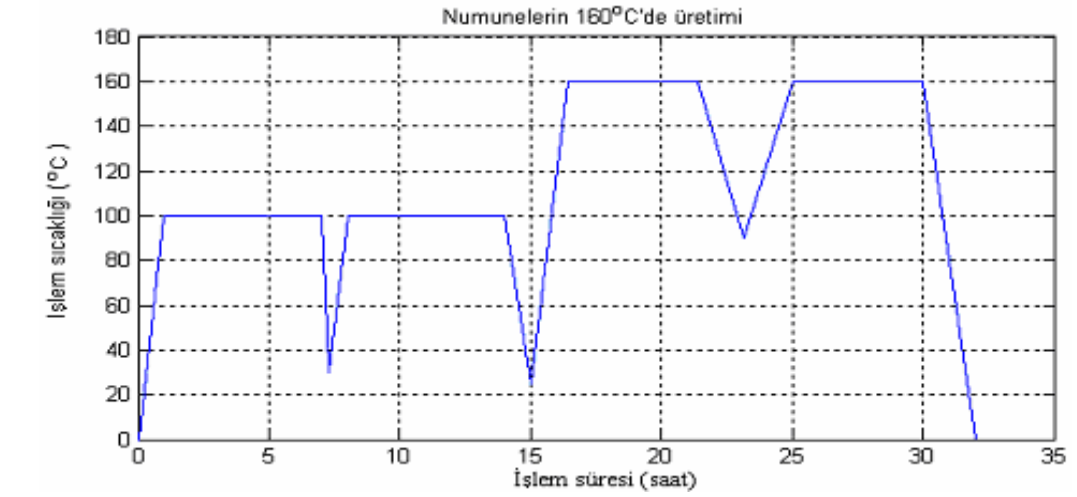
ve EZO, deney sonuç tablolarında belirtilen oranlarda birbirine karıştırılarak harç haline getirilmiştir. Daha sonra bu harç, ağırlıklı olarak %70, %60, %50, %40 ve %30 oranlarında hazırlanan uçucu külle karıştırılmıştır. Elde edilen yeni karışımlar ölçme aletlerinde ölçüm yapılabilmesi için 81mm*81mm*81mm'lik bir adet küp şeklinde ve 150mm*60mm*20mm'lik dikdörtgen prizması şeklinde kalıplara dökülerek numuneler hazırlanmıştır. Küp numuneler ile basma mukavemeti deneyi ve aşınma kaybı testi, dikdörtgen prizması şeklindeki numunelerle ise ısı iletim katsayısının tespiti, su emme ve kuruma hızı testleri yapılmıştır.

Hazırlanan harçlar kalıplara dökülürken malzemelerin kalıptan düzgün yüzeyle çıkabilmesi için kalıpların harçla temas edecek iç yüzeyleri ve kalıpların üzerine konulacağı tepsi Polivx adlı sıcak işlemler için kullanılan su bazlı kalıp ayırıcı ile bir fırça yardımıyla tamamen kaplanmıştır. Kalıp ayırıcı sürülen kelepçeler 40°C'deki etüvde 20 dakika bekletilerek yüzeylerindeki kalıp ayırıcının tamamen kurutulması sağlanmıştır. Etüvden çıkarılan kelepçeler soğuduktan sonra hazırlanan karışımlar tepsiler üzerine dizilen kelepçelere dökülmüştür. Kelepçeler titreşime tabi tutulup yüzeyleri bir sac plaka yardımıyla sıvanmıştır. Kelepçelere her yeni karışım dökülmeden önce kelepçelerin iç yüzeyleri ve kelepçelerin üzerine konulduğu tepsi bir spatül yardımıyla iyice temizlenmiş ve kalıp ayırıcı usulüne uygun şekilde tüm kelepçelerin iç yüzeylerine ve tepsiler üzerine tatbik edilmiştir.

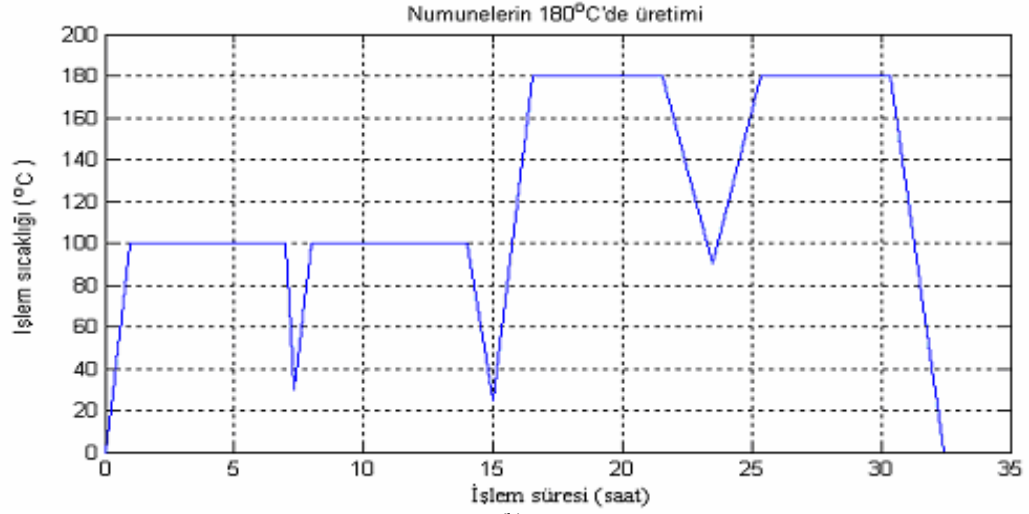
İşlem sıcaklıkları, yapılan ön çalışmalar neticesinde belirlenmiştir. 160°C'nin altında numunede 10 saat sonunda tam kuruma sağlanamamıştır. Özellikle 71mm*71mm*71mm'lik boyutlara getirilmiş numuneler basma testine tabi tutulduğunda malzemenin kırılmadan ezilmesi dikkat çekmiştir. Ezilen numune incelendiğinde küp şeklindeki numunelerin iç kısımlarında ıslak bölgeler gözlenmiştir. 200°C'nin üzerinde ise malzemelerde renk değişimleri ve yanma belirtileri belirlenmiştir. 220°C'de fırınlanmış malzemelerin yüzeylerinde oluşan renk farklılıkları Şekil 5.4'de gösterilmiştir.



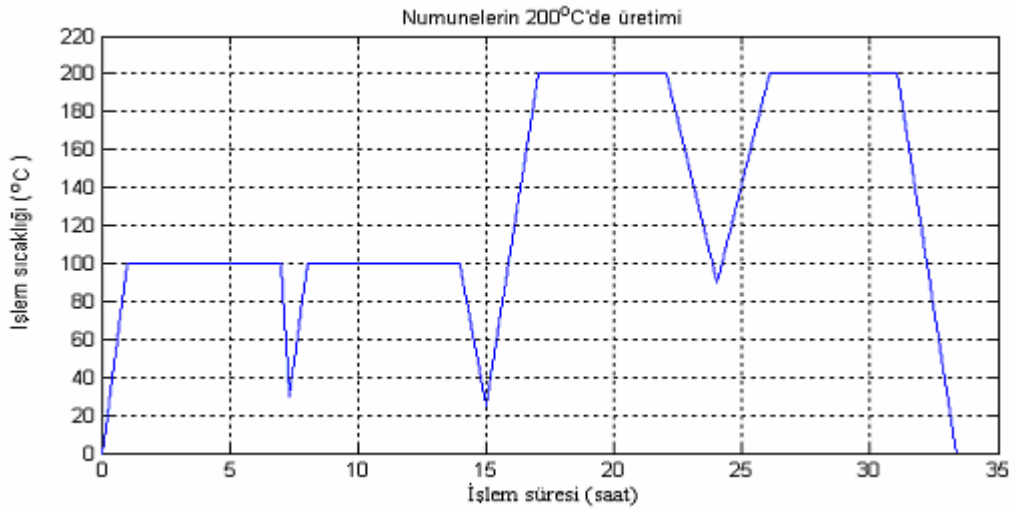
Şekil 5.4. %50 kil, %50 UK ve %50 ESO ile hazırlanmış numunenlerin etüvde 200 °C ve 220°C'de 10 saat bekletilmesi ile elde edilen malzemelerin görüntüsü



(a)



(b)



(c)

Şekil 5.5. Numunelerin işlem sıcaklıklarının işlem süresine göre değişimi
a. 160°C'de işleme tabi tutulmuş numunelere uygulanan sıcaklıkların zamanla değişimi
b. 180°C'de işleme tabi tutulmuş numunelere uygulanan sıcaklıkların zamanla değişimi
c. 200°C'de işleme tabi tutulmuş numunelere uygulanan sıcaklıkların zamanla değişimi

Bu nedenle çalışmadaki işlem sıcaklıkları olarak 160°C, 180°C ve 200°C gibi üç ayrı sıcaklık seçilmiştir. Toplam işlem süresi 100°C’de 6+6=12’şer saat, 160°C, 180°C veya 200°C’de 5+5=10’ar saat olarak ayarlanmıştır. Numunelerin işlem sıcaklarında bekletme süresi ikiye bölünerek kullanılmıştır. Yani numuneler 100°C’de 12 saatlik bir işleme alınıyorsa, bu işlem sıcaklığının ilk 6 saatinde numunelerin bir yüzü, ikinci 6 saatinde ise diğer yüzü çevrilerek numunelerin daha homojen olarak etüvde işlem görmesi sağlanmıştır. Etüv içine numuneler koyulmadan önce etüv, ön ısıtma ile gerekli ısı derecesine kadar ısıtılarak zaman kaybı önlenmiştir. Fırın istenilen sıcaklığa eriştikten sonra belirtilen süre zarfında belirlenen sıcaklıkta tutulup daha sonra ısıtma işlemi sona erdirilmiş ve numuneler fırın içinde kendiliğinden soğumaya bırakılmıştır. Numunelerin işleme tabi tutulduğu işlem sıcaklıklarının işlem süresine göre değişimi Şekil 5.5’de gösterilmiştir.

Yukarıdaki işlem aşamalarında dört çeşit epoksilenmiş bitkisel yağ için; üç çeşit, kil ve uçucu kül için ise; beş çeşit malzeme oranı kullanılarak 180 adet yeni kompozit malzeme hazırlanmıştır. Deneylerde kullanılan kil ve uçucu kül işleme alınmadan önce boşlukları 1mm’lik mesh numarası 18 olan eleklerden elenerek bünyelerinde bulunabilecek diğer yabancı cisimlerden arındırılmıştır. Kil ve uçucu küle ait analizler Elazığ Çimento fabrikasında yaptırılmıştır. Analiz sonuçları deney malzemeleri tanıtılırken verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre piyasadan kuru kil olarak temin edilmesine rağmen, deneylerde kullanılacak kilin bünyesinde bulunan çok az miktardaki nemin giderilmesi amacıyla 100°C’de iki saat süreyle etüvde tutularak kurutulmuştur. Daha sonra 2 saat kadar soğuması için beklenip numune hazırlama işleminde kullanılmıştır. Kullanılan epoksilenmiş bitkisel yağlar; epoksilenmiş soya yağı, epoksilenmiş ayçiçek yağı, epoksilenmiş palm yağı, epoksilenmiş zeytin yağı olup sırasıyla ESO, ESFO, EPO ve EZO harfleriyle kodlanmıştır. Numunelerin içeriğindeki kil, uçucu kül ve epoksilenmiş bitkisel yağ miktarına göre belirlenen numune kodları Tablo 5.1 ve 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.6. Dört çeşit epoksilenmiş bitkisel yağla üretilmiş numunelerdeki renk farklılıkları
(soldan sağa; EZO, EPO, ESFO, ESO)

Hazırlanan deney numunelerinin bir kısmının fotoğrafları, Şekil 5.7 'de gösterilmiştir.



(a)



(b)



(c)



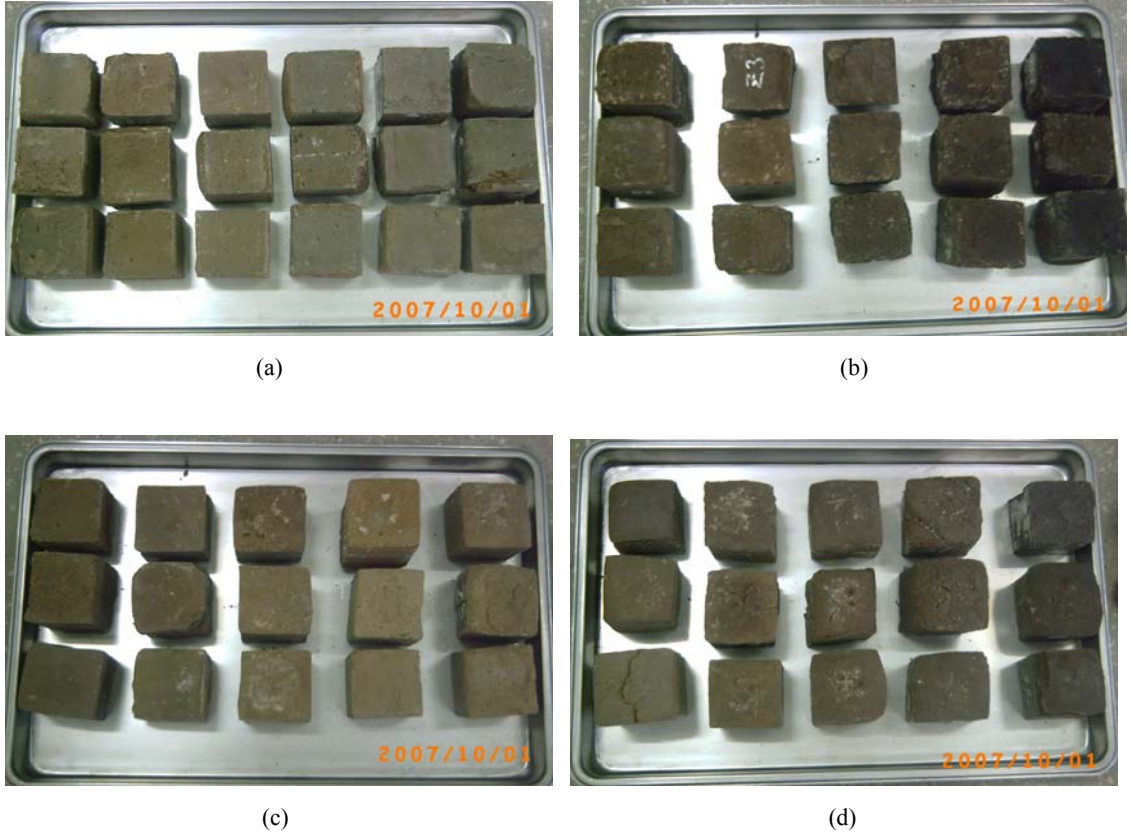
(d)



(e)

Şekil 5.7. Hazırlanan deney numunelerinin bir kısmının topluca gösterimi

Deneylerde kullanılan dört çeşit epoksilenmiş bitkisel yağ ile hazırlanmış numuneler, deney sonuçlarının verildiği tablolarda, 160°C’de belirtilen sıralamaya göre düzenlenerek Şekil 5.8’de gösterilmiştir.



Şekil 5.8. 160°C’de tüm epoksilenmiş bitkisel yağ, kil ve uçucu kül oranlarında elde edilen numunelere ait görüntüler **a.** ESFO **b.** EZO **c.** EPO **d.** ESO

%50 epoksilenmiş bitkisel yağ (sırasıyla ESO, ESFO, EPO ve EZO), %70 uçucu kül, %30 kil katılarak hazırlanmış numunelerin, 160°C, 180°C ve 200°C’ de işleme tabi tutulması sonucu yağ cinsine göre aynı ve farklı sıcaklıklarda numuneler üzerinde gözlenen renk farklılıkları Şekil 5.9.’da gösterilmiştir.



Şekil 5.9. %50 Epoksilenmiş bitkisel yağ (ESO, ESFO, EPO ve EZO), %70 uçucu kül, %30 kil ile hazırlanarak 160°C, 180°C ve 200°C’de işlem görmüş numunelere ait görüntüler

Deneylerin yapıldığı etüvde sonlanmış bir deney sonrası numunelerin kalıptan çıkmadan önceki görüntüsü Şekil 5.10’ da gösterilmiştir.



Şekil 5.10. Numunelerden bir kısmının etüvden çıkmadan önceki görüntüsü

Tablo 5.1. Deneylerde kullanılan numune kodları -1

	Epoksilenmiş Soya yağı									Epoksilenmiş Ayçiçeği yağı								
	160°C			180°C			200°C			160°C			180°C			200°C		
	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50
%70 Kil %30Uçucu kül	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
%60 Kil %40Uçucu kül	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18
%50 Kil %50 Uçucu kül	S19	S20	S21	S22	S23	S24	S25	S26	S27	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27
%40 Kil %60 Uçucu kül	S28	S29	S30	S31	S32	S33	S34	S35	S36	A28	A29	A30	A31	A32	A33	A34	A35	A36
% 30 Kil %70 Uçucu kül	S37	S38	S39	S40	S41	S42	S43	S44	S45	A37	A38	A39	A40	A41	A42	A43	A44	A45

Tablo 5.2. Deneylerde kullanılan numune kodları -2

	Epoksilenmiş Palm yağı									Epoksilenmiş Zeytin yağı								
	160°C			180°C			200°C			160°C			180°C			200°C		
	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50
%70 Kil %30Uçucu kül	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8	Z9
%60 Kil %40Uçucu kül	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	Z10	Z11	Z12	Z13	Z14	Z15	Z16	Z17	Z18
%50 Kil %50 Uçucu kül	P19	P20	P21	P22	P23	P24	P25	P26	P27	Z19	Z20	Z21	Z22	Z23	Z24	Z25	Z26	Z27
%40 Kil %60 Uçucu kül	P28	P29	P30	P31	P32	P33	P34	P35	P36	Z28	Z29	Z30	Z31	Z32	Z33	Z34	Z35	Z36
% 30 Kil %70 Uçucu kül	P37	P38	P39	P40	P41	P42	P43	P44	P45	Z37	Z38	Z39	Z40	Z41	Z42	Z43	Z44	Z45

5.3.Deneysel Yöntem ve Yapılan Deneyler

5.3.1. Numunelerin Isı İletim Katsayılarının Tespiti

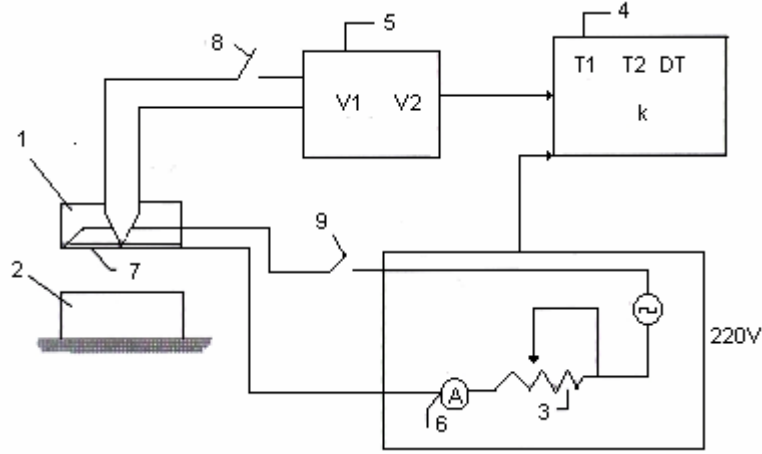
Bu çalışmada, ısı iletim katsayılarının ölçümünde İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü ısı laboratuvarlarında bulunan DIN51046'ya göre geliştirilmiş geçici rejimde ısı iletim katsayısının ölçümünde kullanılan ve Hot-Wire yöntemi ile çalışan Shotherm QMT-D2 aleti kullanılmıştır (Şekil 5.11). Bu yöntemin en büyük avantajı, malzemenin içerisindeki nem derecesinde bir değişiklik meydana getirmeden gerçek ısı iletim katsayısının ölçülebilmesidir. Bu yöntemin levha tipi ısı iletim katsayısı ölçme yönteminden farkı ısı iletim katsayısı ölçülen ortamın heterojen yapılı olması durumunda bile ölçümün yapılabilmesidir [106]. Bu metodla ölçme duyarlılığı ($\pm 5\% + 1$ digit), ölçme aralığı ise 0.02-10 W/mK olarak verilmektedir.



Şekil 5.11. Isı iletim katsayısı ölçme aleti

Bu yöntemde ısıtıcı tel (krom-nikel) ve bu tele orta noktasından dokunacak şekilde lehimlenmiş termoeleman (krom nikel - nikel) iki örnek arasına yerleştirilir.

Üstteki örnek yalıtılmış ve ısı iletim katsayısı bilinen bir plaka (prob) alttaki örnek ise ısı iletim katsayısı ölçülecek olan numunedir. Hot-wire ölçme yöntemine göre cihazın devre şeması Şekil 5.12'de verilmiştir.



Şekil 5.12. Isı iletim katsayısı ölçme cihazı devre şeması

[1:ölçme probu 2: ısı iletim katsayısı bilinmeyen malzeme 3:ayarlı direnç (potansiyometre)
4:mikro bilgisayar 5:milivoltmetre 6:ampermetre 7:sıcak tel 8,9:anahtar]

Cihazda ölçüme başlamadan önce cihazın kalibrasyon işlemi yapılır. Bundan sonra 8 numaralı anahtar kapatılarak, termoeleman devresindeki 5 numaralı milivoltmetre ile V_1 gerilimi tespit edilir. Bu gerilime tekabül eden T_1 sıcaklığı, dijital ekranda okunur. Bu işlemin ardından 9 numaralı anahtar kapatılıp ısıtıcı tele, 60 saniye süre ile elektrik akımı verilerek, tel sıcaklığındaki yükselme V_2 gerilimine kadar ekrandan T_2 sıcaklığı olarak tespit edilir. Bu arada $T_2 - T_1$ sıcaklık farkı da ΔT şeklinde ekrandan görülerek aynı anda ısı iletim katsayısı dijital olarak W/mK biriminde okunur. Bu işlemler her ölçüm için yeniden tekrarlanarak sürdürülür.

Bu yöntemde ısı iletim katsayısı 5.2 eşitliği ile hesaplanmaktadır.

$$k = \frac{q \ln(T_1/T_2)}{4\pi\Delta T} \quad (5.2)$$

$$q = \frac{RI^2}{L} \quad (5.3)$$

5.3 denklemi yardımıyla yapılan elektrik-ısı enerjisi dönüşümü ile (L ısıtıcı tel uzunluğu),

$$V_2 - V_1 = \xi \cdot (T_2 - T_1) = \xi \Delta T \quad (5.4)$$

Termoelemanın gerilim-sıcaklık ilişkisi kullanılırsa;

$$k = \frac{(RI^2/L)\ln(T_1/T_2)}{(4\pi/\xi)(V_2 - V_1)} \quad (5.5)$$

elde edilir. Bu denklemde;

$$K = R\xi/4\pi L \quad (5.6)$$

değeri sabit olup, kullanılan prob üzerinde (K) değeri verilmiştir.

Bu durumda;

$$k = \frac{K l^2 \ln(T_1/T_2)}{(V_2 - V_1)} \quad (5.7)$$

şeklini alır. Ölçme probu ısı iletim katsayısı bilinen bir malzeme olup, çok iyi izole edilmesine rağmen çalışma sırasında bazı ısı kayıplar H ile gösterilirse;

$$k = \frac{K l^2 \ln(T_1/T_2)}{(V_2 - V_1)} - H \quad (5.8)$$

şeklini alır.

Deney numunelerinin ölçümlerinde OTM-PD-2 tipi ve 10190 seri numaralı prob kullanıldı. Bu proba ait sabit katsayılar cihaz kataloğundan alınmış olup aşağıda verilmiştir.

$$K=252.10^{-4}$$

$$H=33.10^{-3}$$

Ölçülecek numunenin toz veya blok halinde olması ve yüzey pürüzlülüğüne göre farklı prob kullanılır. Her standart OTM probunun cihaz ince ayarı ölçümlerden önce farklı K ve H sabitlerine göre ayarlanarak, ısı iletim katsayısı değeri (5.8) eşitliğinden cihaz içindeki mikrobilgisayar ile hesaplanır.

Ölçüm esnasında, probun ve malzemenin yüzeyi temiz olmalı ve malzeme oda sıcaklığında tutulmalıdır. Cihazın doğru ölçüm yaptığını kontrol etmek için ilk ölçüm referans plakalarından biri ile yapılabilir. Referans plakasının verilen ısı iletim katsayısı ile bu plakanın

ölçüm sonucu elde edilen ısı iletim katsayısı $\pm$ %5 arasında farklılık gösteriyorsa ölçüm doğrudur.

Deney numunelerinin her birinin ısı iletim katsayısı, 28-30 °C oda sıcaklığında, üç ayrı noktadan üçer defa yukarıda bahsedilen yöntemle ölçülmüş, sonuçların aritmetik ortalamaları alınarak elde edilen ısı iletim katsayıları Tablo 5.3 ve Tablo 5.4 'de gösterilmiştir.

Shoterm QTM ölçme cihazı ile değişik malzemelerin ısı iletkenlik değerlerinin tespiti EK-2'de verilmiştir [44].

5.3.1.1. Epoksilenmiş Bitkisel Yağ Miktarının, Numunelerin Isı İletim Katsayılarına Etkisi

160°C, 180°C ve 200°C'de işlem görmüş numunelerin bünyesindeki epoksilenmiş bitkisel yağ miktarına göre, numunelerin ısı iletim katsayısı değerlerinin değişimi Şekil 5.13'de, bu değişimlerin detaylı gösterimi EK-3'de, Ek 3.1, Ek 3.2, Ek 3.3'de verilmiştir.

Numunelerin yapısındaki epoksilenmiş bitkisel yağ miktarı arttıkça ısı iletim katsayısı değerlerinde düşme olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun sebebi epoksilenmiş bitkisel yağların yapıya kazandırdığı porozite olarak açıklanabilir. Çünkü en düşük ısı iletim katsayısı değerleri, en yüksek epoksilenmiş bitkisel yağ içeriğinde (%50), en yüksek ısı iletim katsayısı değerleri, en düşük epoksilenmiş bitkisel yağ içeriğinde (%40) tespit edilmiştir.

5.3.1.2. Uçucu Kül Miktarının, Numunelerin Isı İletim Katsayılarına Etkisi

Şekil 5.14'de içeriğinde %40, %45 ve %50 oranlarında epoksilenmiş bitkisel yağ içeren numunelerin, bünyelerindeki uçucu kül miktarının %30, %40, %50, %60 ve %70 oranlarında değişmesiyle elde edilen ısı iletim katsayısı değerleri grafiklere aktarılmıştır.

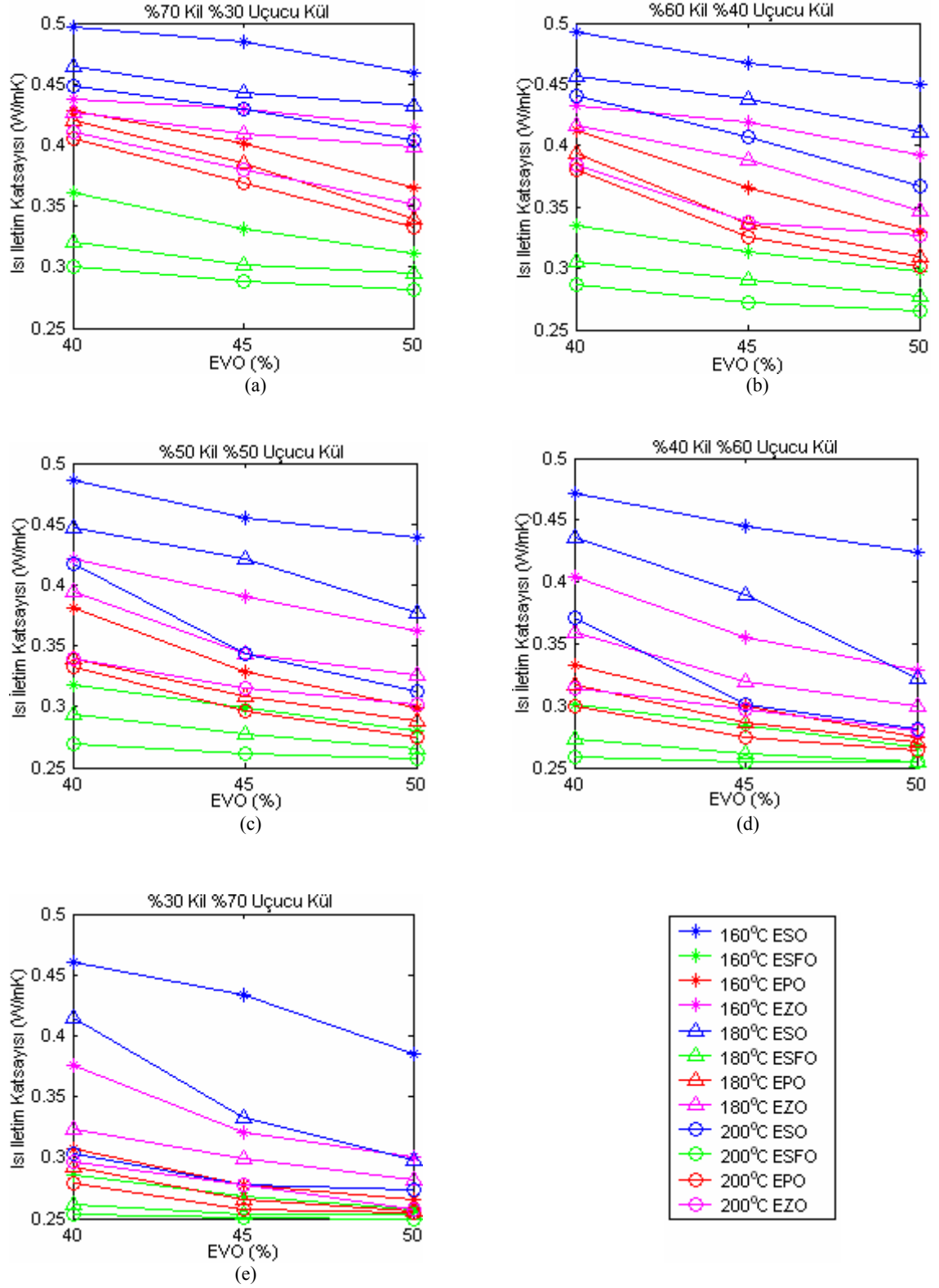
Numunelerin bünyesindeki uçucu kül miktarı arttıkça, numunelerden elde edilen ısı iletim katsayısı değerlerinin düştüğü tespit edilmiştir. Numunelerden elde edilen en yüksek ısı iletim katsayıları %30 uçucu kül içeriğinde, en düşük ısı iletim katsayıları %70 uçucu kül içeriğinde belirlenmiştir. Bu durum, numunenin içeriğine daha fazla oranda ilave edilen uçucu külün doğal yapısındaki porozitenin, numunenin yapısına tesiriyle açıklanabilir. Dolayısıyla uçucu kül miktarı arttıkça yapıda artan porozite, ısı iletim katsayısı değerlerinin düşmesini sağlamaktadır.

Tablo 5.3. Numunelere ait ısı iletim katsayısı değerleri (W/mK) - 1

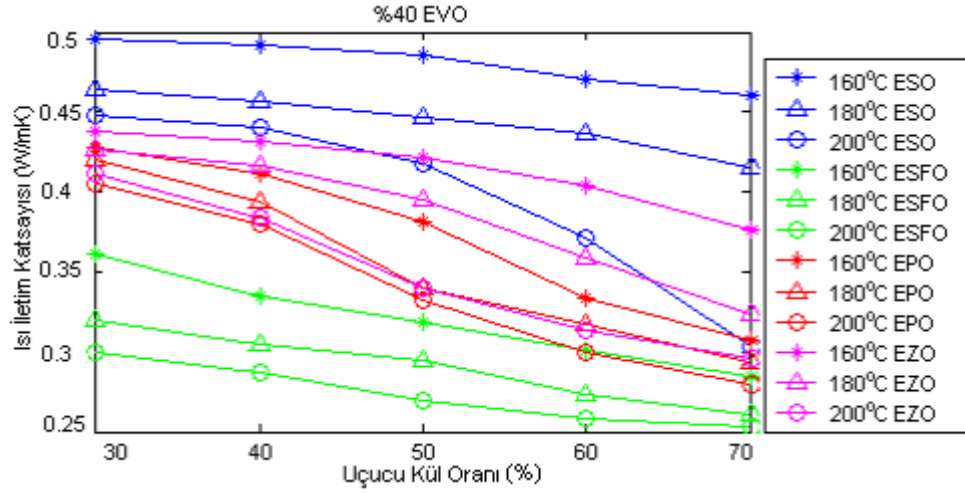
	Epoksilenmiş Soya yağı									Epoksilenmiş Ayçiçeği yağı								
	160°C			180°C			200°C			160°C			180°C			200°C		
	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50
%70 Kil %30Uçucu kül	0.496	0.484	0.459	0.464	0.443	0.432	0.448	0.429	0.404	0.361	0.331	0.311	0.32	0.302	0.295	0.3	0.288	0.281
%60 Kil %40Uçucu kül	0.492	0.467	0.45	0.457	0.438	0.411	0.440	0.407	0.367	0.335	0.314	0.297	0.305	0.291	0.278	0.287	0.272	0.265
%50 Kil %50 Uçucu kül	0.486	0.455	0.439	0.447	0.421	0.377	0.418	0.343	0.312	0.318	0.299	0.280	0.294	0.277	0.265	0.27	0.262	0.257
%40 Kil %60 Uçucu kül	0.471	0.445	0.424	0.436	0.39	0.322	0.371	0.301	0.281	0.301	0.284	0.266	0.273	0.261	0.255	0.258	0.255	0.254
% 30 Kil %70 Uçucu kül	0.460	0.433	0.385	0.415	0.332	0.298	0.303	0.278	0.273	0.285	0.268	0.258	0.261	0.254	0.253	0.253	0.251	0.25

Tablo 5.4. Numunelere ait ısı iletim katsayısı değerleri (W/mK) - 2

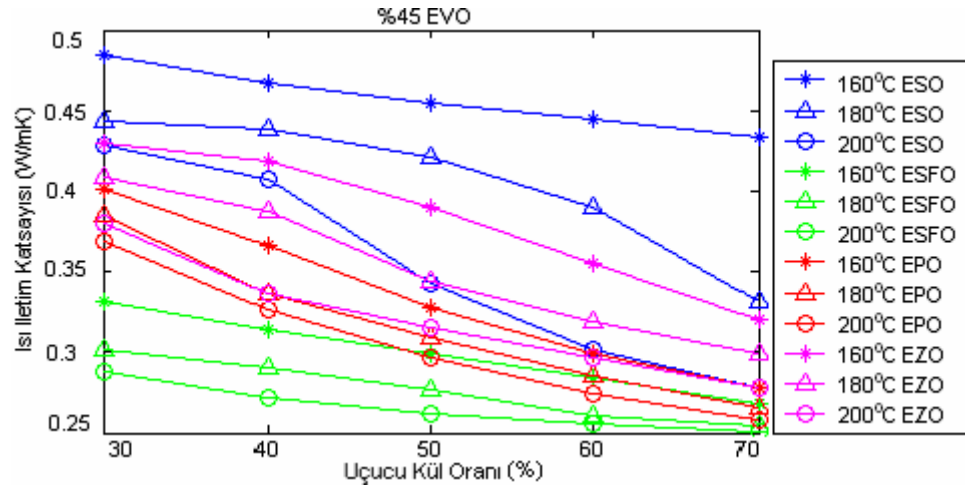
	Epoksilenmiş Palm yağı									Epoksilenmiş Zeytin yağı								
	160°C			180°C			200°C			160°C			180°C			200°C		
	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50
%70 Kil %30Uçucu kül	0.428	0.401	0.365	0.42	0.385	0.339	0.405	0.369	0.332	0.438	0.43	0.414	0.427	0.409	0.399	0.411	0.38	0.351
%60 Kil %40Uçucu kül	0.412	0.366	0.33	0.394	0.336	0.31	0.38	0.326	0.302	0.432	0.419	0.392	0.416	0.388	0.347	0.384	0.337	0.327
%50 Kil %50 Uçucu kül	0.381	0.328	0.299	0.34	0.309	0.288	0.332	0.297	0.275	0.422	0.39	0.362	0.395	0.344	0.326	0.34	0.315	0.302
%40 Kil %60 Uçucu kül	0.333	0.299	0.275	0.317	0.286	0.27	0.3	0.274	0.264	0.404	0.355	0.329	0.359	0.319	0.3	0.314	0.297	0.28
% 30 Kil %70 Uçucu kül	0.307	0.278	0.266	0.293	0.265	0.256	0.279	0.258	0.255	0.376	0.32	0.301	0.323	0.299	0.281	0.296	0.278	0.258



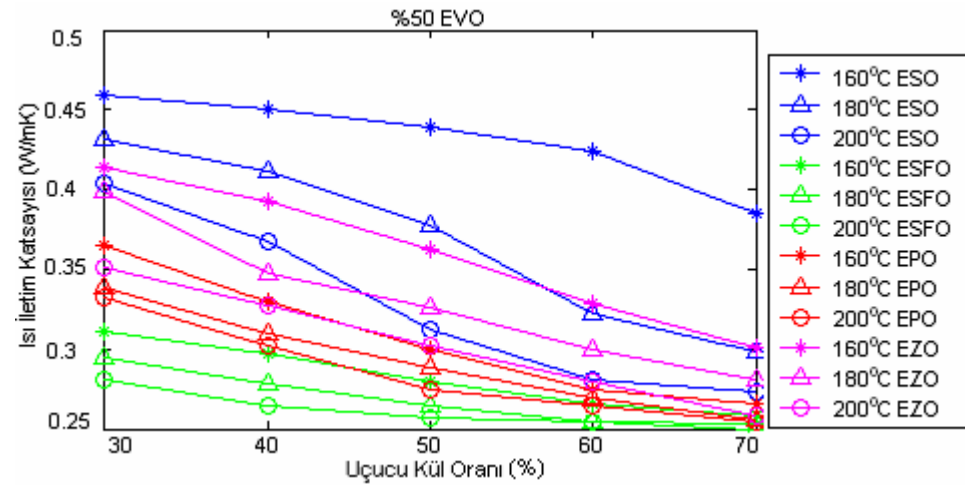
Şekil 5.13. Epoksilenmiş bitkisel yağ miktarına göre, numunelerin ısı iletim katsayısı değerlerinin değişimi **a.**%70kil %30UK **b.**%60kil %40UK **c.**%50kil %50UK **d.**%40kil %60UK **e.**%30kil %70UK



(a)



(b)



(c)

Şekil 5.14. Uçucu kül oranına göre, numunelerin ısı iletim katsayısı değerlerinin değişimi

a. %40 EVO oranında

b. %45 EVO oranında

c. %50 EVO oranında

5.3.1.3. İşlem Sıcaklığının, Numunelerin Isı İletim Katsayılarına Etkisi

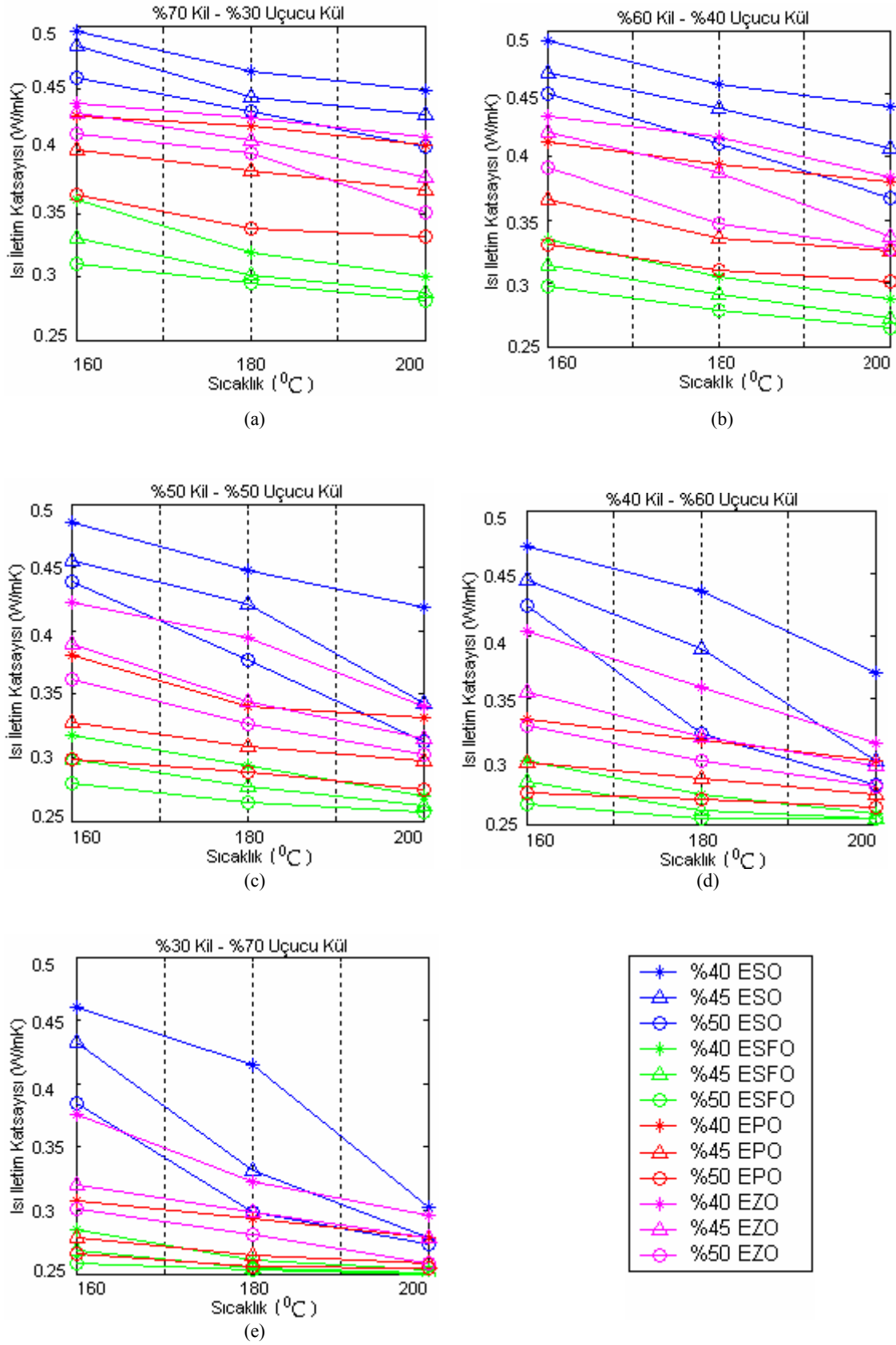
Şekil 5.15’de numunelerin içeriğindeki kil ve uçucu kül miktarının %30, %40, %50, %60 ve %70 oranlarında, işlem sıcaklıklarının ise 160⁰C, 180⁰C ve 200⁰C’de değişmesiyle numuneler üzerinden elde edilen ısı iletim katsayısı değerleri grafiklere aktarılmıştır.

Numunelerin tabi tutulduğu işlem sıcaklığı arttıkça, numunelerden elde edilen ısı iletim katsayısı değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. En yüksek ısı iletim katsayısı değerlerinin 160⁰C’de, en düşük ısı iletim katsayısı değerlerinin 200⁰C’de üretilmiş numunelerden elde edildiği belirlenmiştir. Bu durum, numunelerin üretilmesi sırasındaki sıcaklık artışının, yapının gözeneklilik oranındaki artışa katkıda bulunduğunu göstermektedir.

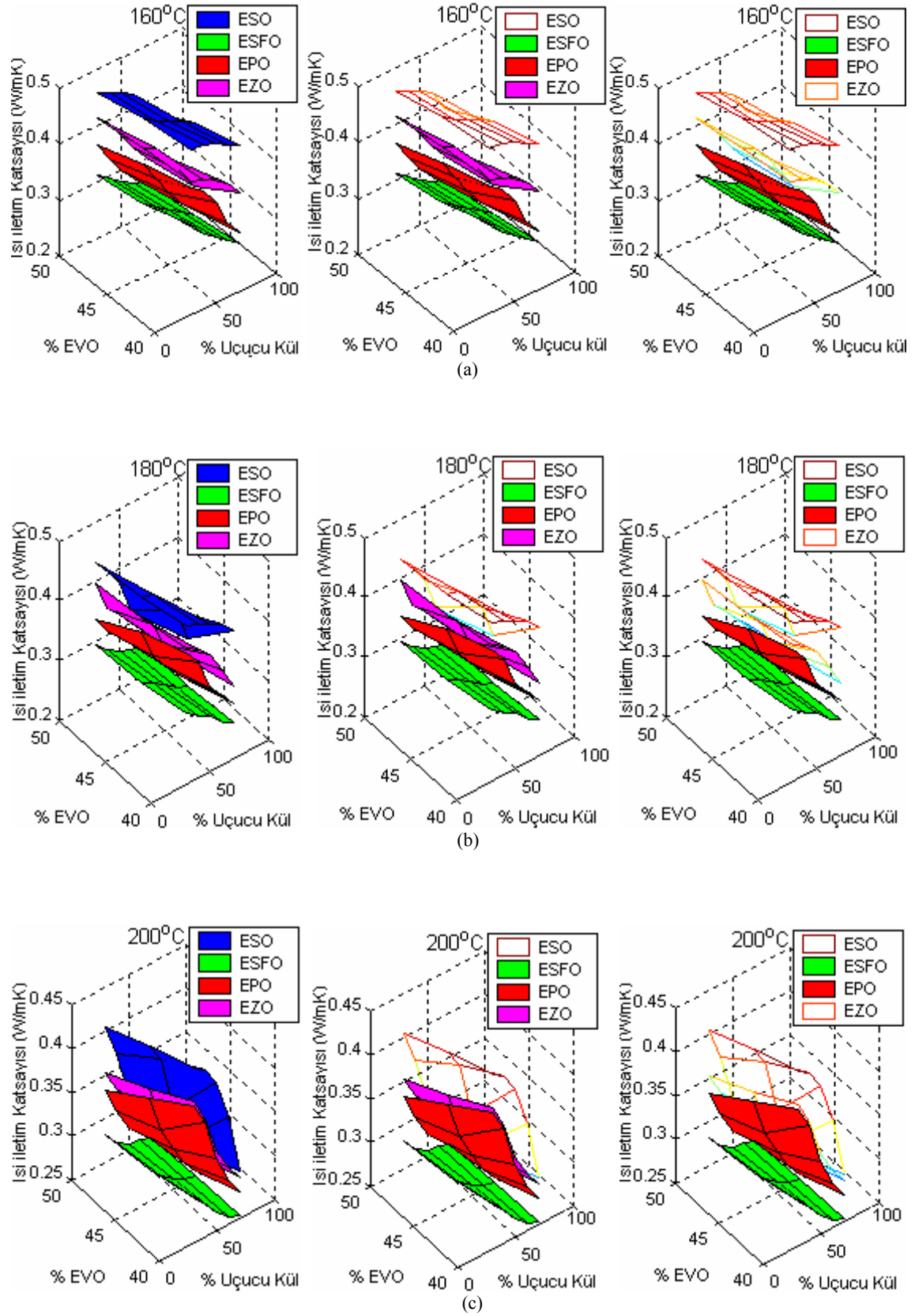
5.3.1.4. Yağ Cinsinin, Numunelerin Isı İletim Katsayılarına Etkisi

Şekil 5.16’da, 160⁰C, 180⁰C ve 200⁰C’de, değişik uçucu kül ve değişik epoksilenmiş bitkisel yağ oranlarında elde edilen numunelerin, içeriğinde kullanılan epoksilenmiş bitkisel yağ cinsine göre tespit edilmiş ısı iletim katsayısı değerlerinin kıyaslaması yapılmıştır.

Numune içeriğinde kullanılan değişik epoksilenmiş bitkisel yağların, numuneler üzerinden tespit edilen ısı iletim katsayısı değerlerini farklı oranlarda düşürdüğü belirlenmiştir. Bu durum, üretilen numunelerdeki yağ cinsinin yapıya belirli özellikler kattığını ve bu özelliklerin numuneler üzerinden tespit edilen ısı iletim katsayısı değerleri üzerinde direk etkili olduğunu ıspatlamaktadır. Bu çalışmada ısı iletim katsayısı değerleri açısından kullanıma en uygun yağ cinsi ESFO olarak belirlenmiştir. Bunun yanında ESO ile üretilen numunelerden elde edilen ısı iletim katsayısı değerleri de, şu an kullanımda olan birçok yapı malzemesiyle kıyaslanabilir ve kullanılabilir seviyededir.



Şekil 5.15. İşlem sıcaklıklarına göre, numunelerin ısı iletim katsayısı değerlerinin değişimi
a.%70kil %30UK **b.**%60kil %40UK **c.**%50kil %50UK **d.**%40kil %60UK **e.**%30kil %70UK



Şekil 5.16. Yağ cinsine göre, numunelerin ısı iletim katsayısı değerlerinin değişimi

a. 160 °C işlem sıcaklığı b. 180 °C işlem sıcaklığı c. 200 °C işlem sıcaklığı

5.3.2. Numunelerin Kütle ve Yoğunluklarının Tespiti

Üretilen numunelerin üzerinden belirlenen kütle değerleri Tablo 5.5 ve Tablo 5.6’da, yoğunluk değerleri Tablo 5.7 ve Tablo 5.8’de verilmiştir.

5.3.2.1. Epoksilenmiş Bitkisel Yağ Miktarının, Numunelerin Kütle ve Yoğunluklarına Etkisi

160⁰C, 180⁰C ve 200⁰C’de işlem görmüş numunelerin bünyesindeki epoksilenmiş bitkisel yağ miktarına göre, numunelerin kütle ve yoğunluk değerlerinin değişimi Şekil 5.17 ve Şekil 5.18’de, bu değişimlerin detaylı gösterimi EK-3’de, Ek 3.4, Ek 3.5, Ek 3.6, Ek 3.7, Ek 3.8 ve Ek 3.9’da verilmiştir.

Yapılarındaki epoksilenmiş bitkisel yağ miktarı artırılarak etüvde işleme alınan numuneler, sabit hacimde irdelendiğinde kütle ve yoğunluk değerlerinde belirgin bir azalma tespit edilmiştir. Numunelerden elde edilen minimum kütle ve yoğunluk değerleri, en yüksek epoksilenmiş bitkisel yağ oranında (%50), maksimum kütle ve yoğunluk değerleri, en düşük epoksilenmiş bitkisel yağ oranında (%40) belirlenmiştir. Bu durumun sebebi, ısı iletim katsayıları tespit edilirken de dikkat çeken, yapıdaki epoksilenmiş bitkisel yağ miktarının artırılmasıyla numunelere kazandırılan porozite olarak açıklanabilir.

5.3.2.2. Uçucu Kül Miktarının, Numunelerin Kütle ve Yoğunluklarına Etkisi

Şekil 5.19 ve 5.20’de içeriğinde %40, %45 ve %50 oranlarında epoksilenmiş bitkisel yağ içeren numunelerin, bünyelerindeki uçucu kül miktarının %30, %40, %50, %60 ve %70 oranlarında değişmesiyle elde edilen kütle ve yoğunluk değerleri grafiklere aktarılmıştır.

Numunelerin bünyesindeki uçucu kül miktarı arttıkça, numunelerin kütle ve yoğunluk değerlerinin düştüğü tespit edilmiştir. Numunelerden elde edilen maksimum kütle ve yoğunluk değerleri %30 uçucu kül içeriğinde, minimum kütle ve yoğunluk değerleri %70 uçucu kül içeriğinde belirlenmiştir. Bu durum numunenin içeriğindeki uçucu kül miktarının artışına paralel olarak yapıdaki gözeneklilik oranının arttığını göstermektedir.

Tablo 5.5. Numunelere ait kütle (g) değerleri-1

	Epoksilenmiş Soya yağı									Epoksilenmiş Ayçiçeği yağı								
	160°C			180°C			200°C			160°C			180°C			200°C		
	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50
%70 Kil %30Uçucu kül	315.7	297.3	282.9	289.0	271.2	259.2	273.7	257.2	247.1	235.4	228.6	223.3	226.2	220.5	216.0	218.3	213.4	209.9
%60 Kil %40Uçucu kül	309.9	290.3	274.6	281.7	262.8	248.5	264.7	247.3	235.9	230.9	223.5	217.0	221.0	214.3	209.3	212.5	207.0	202.3
%50 Kil %50 Uçucu kül	302.9	281.5	264.6	272.5	253.0	238.1	252.0	234.1	222.1	225.5	217.0	209.8	215.2	208.0	201.9	206.4	199.9	194.0
%40 Kil %60 Uçucu kül	295.2	271.6	253.2	261.7	242.1	226.4	237.2	219.0	206.8	218.8	210.0	202.3	207.7	199.6	192.7	198.7	191.8	184.8
% 30 Kil %70 Uçucu kül	286.3	259.5	240.3	249.6	229.5	212.7	220.5	201.7	189.1	211.6	202.5	194.0	199.8	190.8	183.4	190.0	181.9	174.4

Tablo 5.6. Numunelere ait kütle (g) değerleri-2

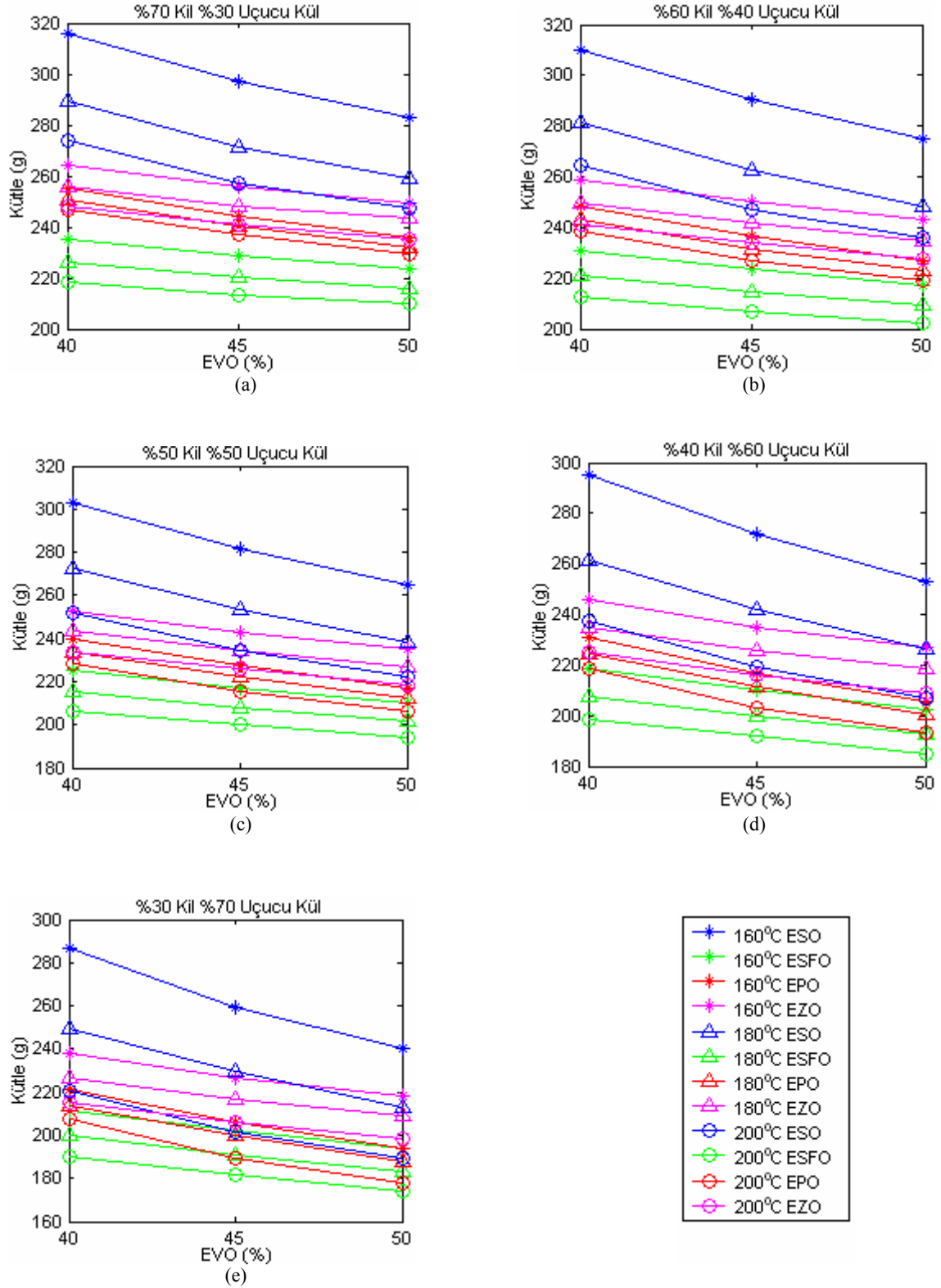
	Epoksilenmiş Palm yağı									Epoksilenmiş Zeytin yağı								
	160°C			180°C			200°C			160°C			180°C			200°C		
	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50
%70 Kil %30Uçucu kül	255.2	244.2	235.6	250.5	240.1	232.	246.6	236.8	229.5	263.8	255.7	249.1	255.6	247.8	243.3	248.0	240.6	234.9
%60 Kil %40Uçucu kül	248.0	236.3	227.1	242.8	231.6	223.0	238.3	227.1	219.2	258.6	250.0	242.8	249.8	241.7	234.7	241.3	233.8	227.3
%50 Kil %50 Uçucu kül	239.9	227.3	217.0	234.0	221.9	212.0	228.6	215.6	206.4	252.5	242.6	235.2	243.1	234.1	226.9	234	225.7	218.7
%40 Kil %60 Uçucu kül	230.7	216.9	205.9	224.2	211.1	200.5	218.3	203.2	193.3	245.5	234.9	227.1	235.0	225.9	218.3	224.8	216.1	208.9
% 30 Kil %70 Uçucu kül	221.2	206.2	194.0	214.0	199.8	187.9	207.5	189.3	178.2	237.9	226.2	218.3	226.6	216.9	209.1	215.4	206.1	198.7

Tablo 5.7. Numunelere ait yoğunluk (g/cm³) değerleri-1

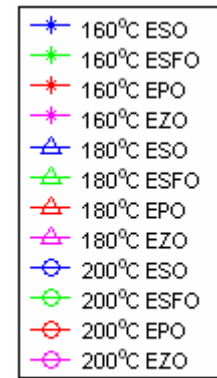
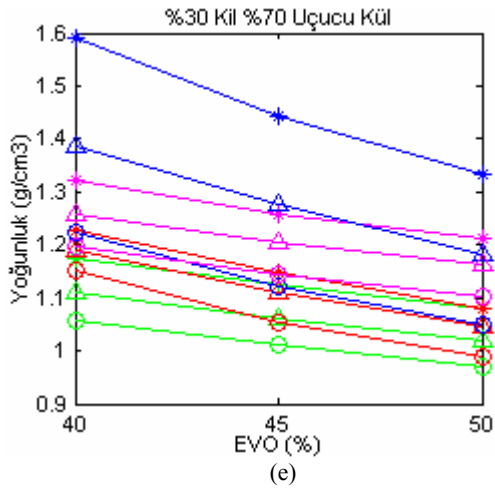
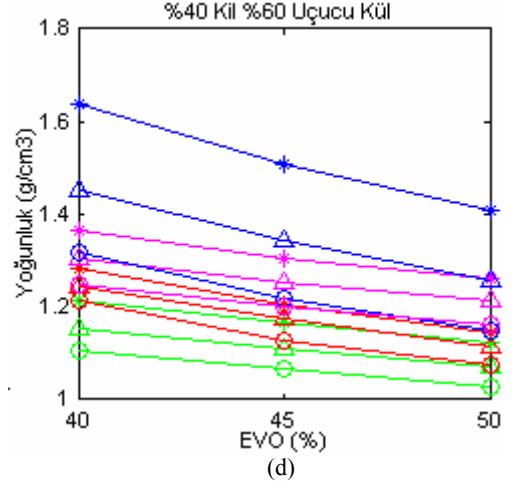
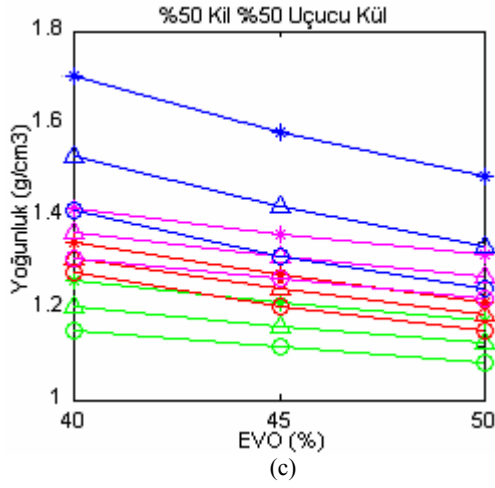
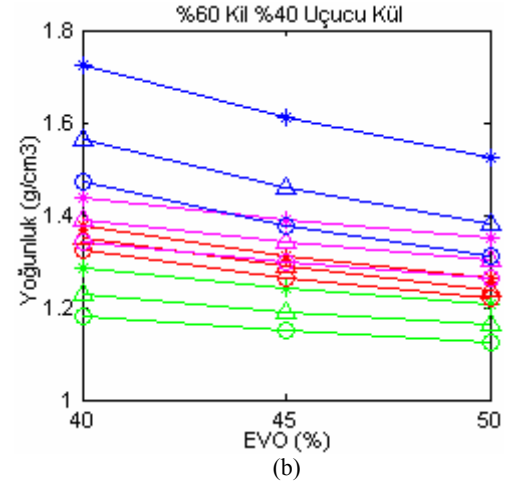
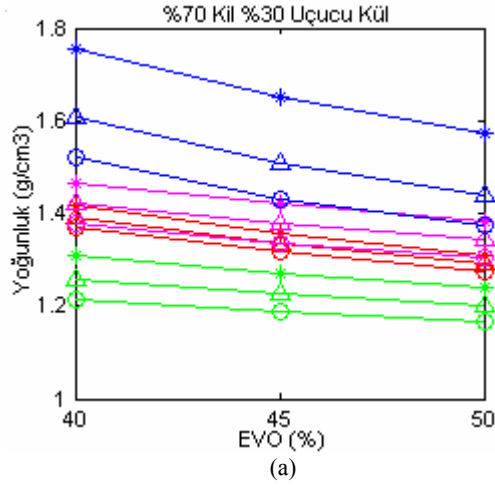
	Epoksilenmiş Soya yağı									Epoksilenmiş Ayçiçeği yağı								
	160°C			180°C			200°C			160°C			180°C			200°C		
	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50
%70 Kil %30Uçucu kül	1.754	1.652	1.572	1.606	1.507	1.44	1.521	1.429	1.373	1.308	1.27	1.241	1.257	1.225	1.200	1.213	1.186	1.165
%60 Kil %40Uçucu kül	1.722	1.613	1.526	1.565	1.46	1.381	1.471	1.374	1.311	1.283	1.242	1.206	1.228	1.191	1.163	1.181	1.15	1.124
%50 Kil %50 Uçucu kül	1.683	1.564	1.47	1.514	1.406	1.323	1.4	1.301	1.234	1.253	1.206	1.166	1.196	1.156	1.122	1.147	1.111	1.078
%40 Kil %60 Uçucu kül	1.64	1.509	1.407	1.454	1.345	1.258	1.318	1.217	1.149	1.216	1.167	1.124	1.154	1.109	1.071	1.104	1.066	1.027
% 30 Kil %70 Uçucu kül	1.591	1.442	1.335	1.387	1.275	1.182	1.225	1.121	1.051	1.176	1.125	1.078	1.11	1.06	1.019	1.056	1.011	0.969

Tablo 5.8. Numunelere ait yoğunluk (g/cm³) değerleri-1

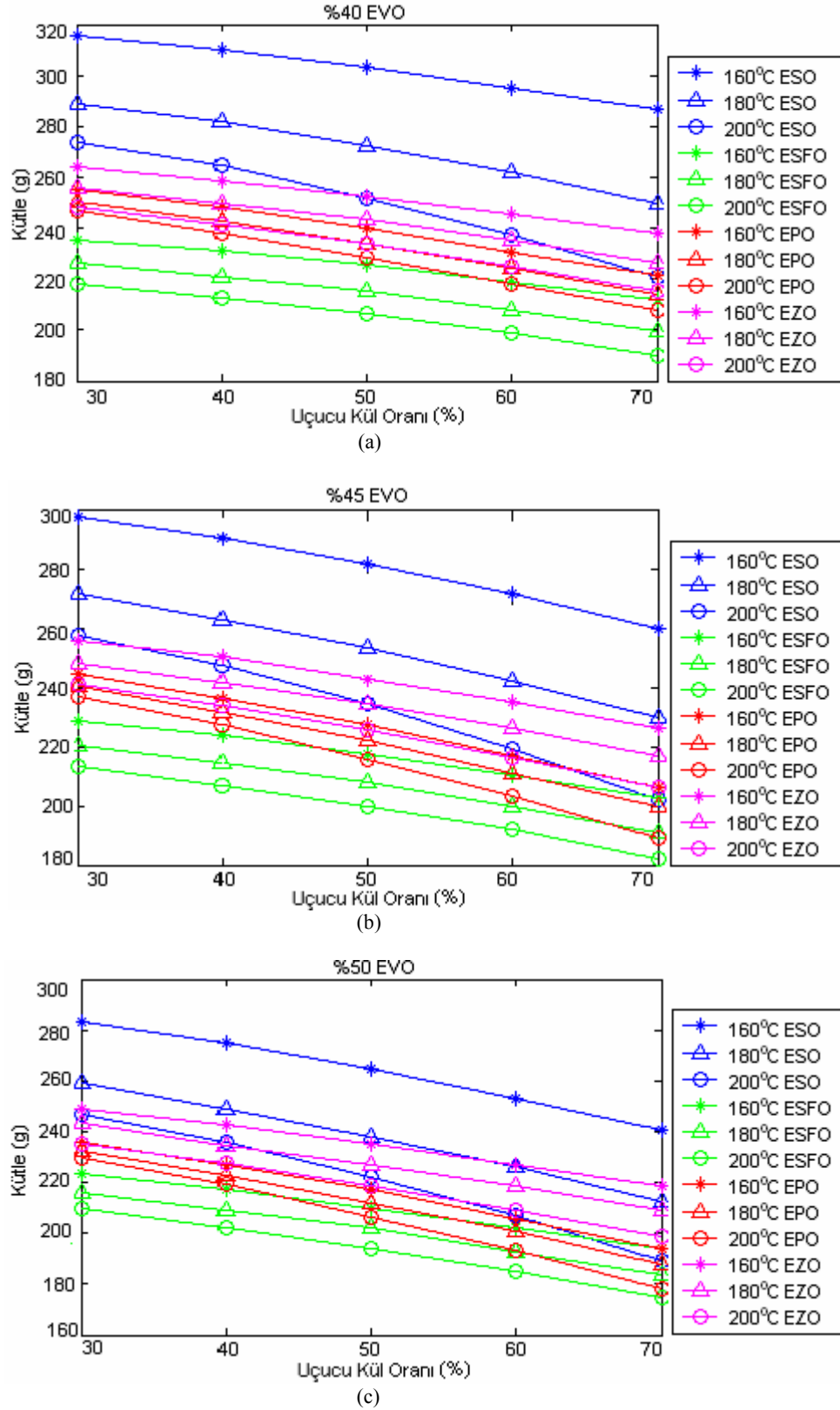
	Epoksilenmiş Palm yağı									Epoksilenmiş Zeytin yağı								
	160°C			180°C			200°C			160°C			180°C			200°C		
	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50
%70 Kil %30Uçucu kül	1.418	1.357	1.309	1.392	1.334	1.290	1.370	1.316	1.275	1.466	1.421	1.384	1.42	1.377	1.342	1.378	1.337	1.305
%60 Kil %40Uçucu kül	1.378	1.313	1.262	1.349	1.287	1.239	1.324	1.262	1.218	1.437	1.389	1.349	1.388	1.343	1.304	1.341	1.299	1.263
%50 Kil %50 Uçucu kül	1.333	1.263	1.206	1.3	1.233	1.178	1.270	1.198	1.147	1.403	1.348	1.307	1.351	1.301	1.261	1.300	1.254	1.215
%40 Kil %60 Uçucu kül	1.282	1.205	1.144	1.246	1.173	1.114	1.213	1.129	1.074	1.364	1.305	1.262	1.306	1.255	1.213	1.249	1.201	1.161
% 30 Kil %70 Uçucu kül	1.229	1.146	1.078	1.189	1.11	1.044	1.153	1.052	0.99	1.322	1.257	1.213	1.259	1.205	1.162	1.197	1.145	1.104



Şekil 5.17. Epoksilenmiş bitkisel yağ miktarına göre, numunelerin kütle değerlerinin değişimi
a.%70kil %30UK **b.**%60kil %40UK **c.**%50kil %50UK **d.**%40kil %60UK **e.**%30kil %70UK

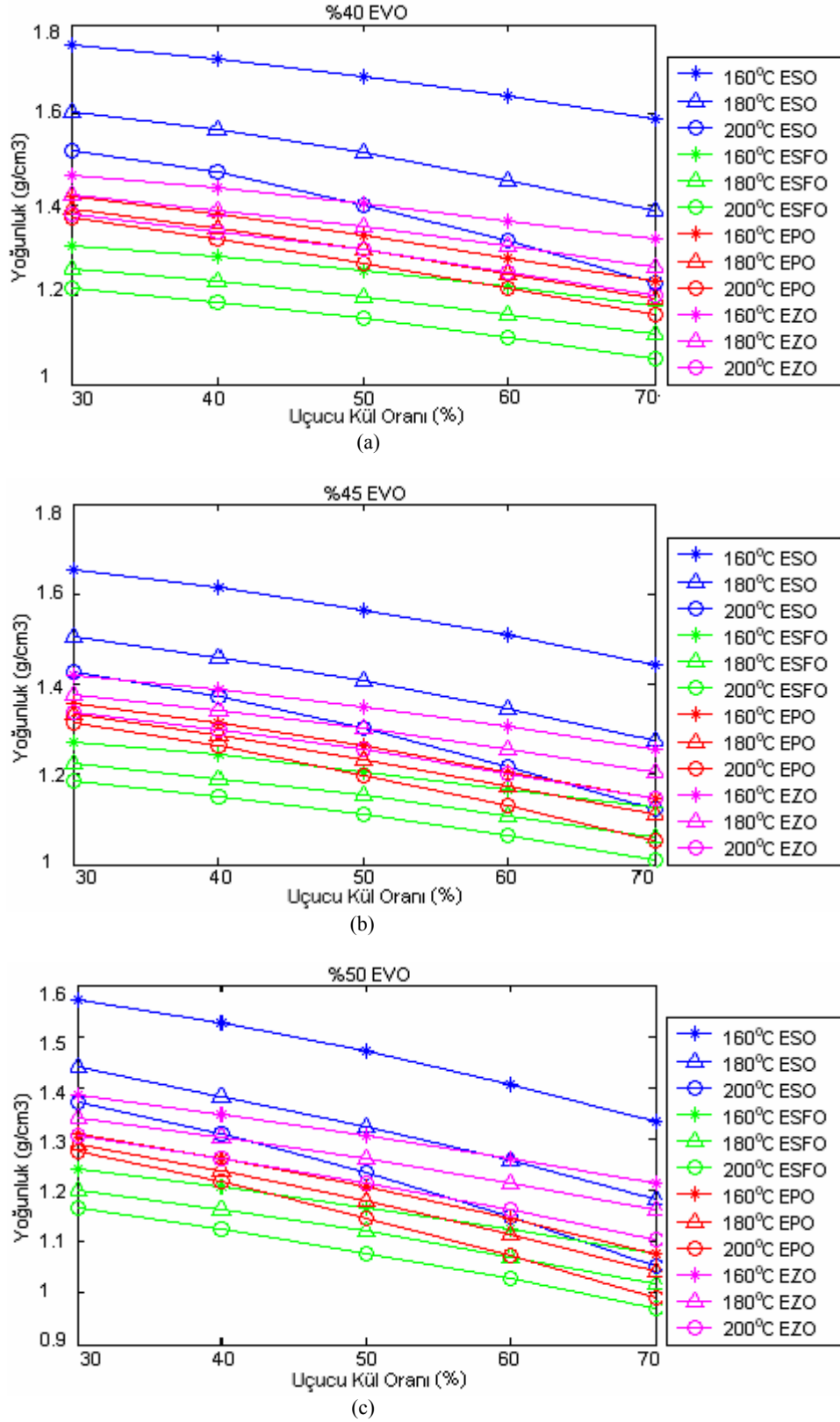


Şekil 5.18. Epoksilenmiş bitkisel yağ miktarına göre, numunelerin yoğunluk değerlerinin değişimi
a.%70kil %30UK **b.**%60kil %40UK **c.**%50kil %50UK **d.**%40kil %60UK **e.**%30kil %70UK



Şekil 5.19. Uçucu kül oranına göre, numunelerin kütle değerlerinin değişimi

a. %40 EVO oranında **b.** %45 EVO oranında **c.** %50 EVO oranında



Şekil 5.20. Uçucu kül oranına göre, numunelerin yoğunluk değerlerinin değişimi

a. %40 EVO oranında **b.** %45 EVO oranında **c.** %50 EVO oranında

5.3.2.3. İşlem Sıcaklığının, Numunelerin Kütle ve Yoğunluklarına Etkisi

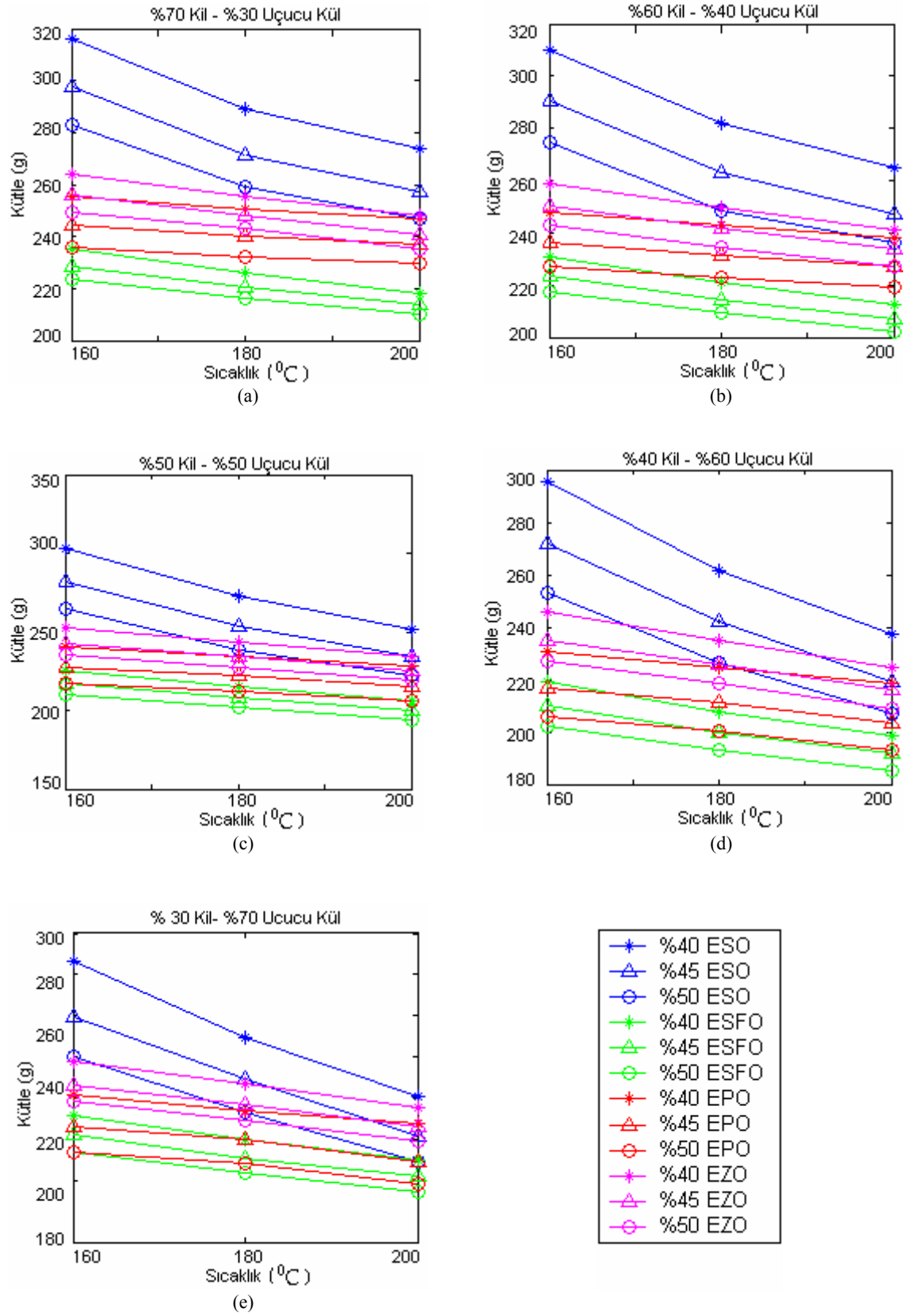
Şekil 5.21 ve Şekil 5.22’de numunelerin içeriğindeki kil ve uçucu kül miktarının %30, %40, %50, %60 ve %70 oranlarında, işlem sıcaklıklarının ise 160⁰C, 180⁰C ve 200⁰C’de değişmesiyle numuneler üzerinden elde edilen kütle ve yoğunluk değerleri grafiklere aktarılmıştır.

Numunelerin işlem sıcaklığı arttıkça, numunelerden elde edilen kütle ve yoğunluk değerlerinde azalma olduğu belirlenmiştir. Maksimum kütle ve yoğunluk değerleri 160⁰C’de, minimum kütle ve yoğunluk değerleri 200⁰C’de üretilmiş numunelerden elde edilmiştir. Sıcaklık artışıyla numunelerin kütle ve yoğunluk değerlerinde daha fazla oranda tespit edilen düşüşler, sıcaklık artışının poroziteli yapı oluşumuna katkıda bulunduğunu göstermektedir.

5.3.2.4. Yağ Cinsinin, Numunelerin Kütle ve Yoğunluklarına Etkisi

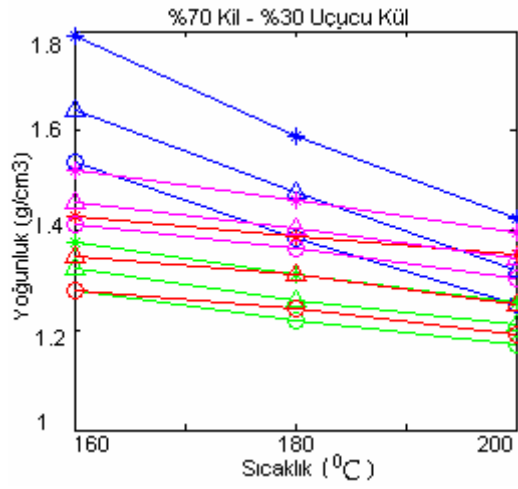
Şekil 5.23 ve Şekil 5.24’de 160⁰C, 180⁰C ve 200⁰C’de, değişik uçucu kül ve epoksilenmiş bitkisel yağ oranlarında elde edilen numunelerin, içeriğinde kullanılan epoksilenmiş yağ cinsine göre tespit edilmiş kütle ve yoğunluk değerlerinin kıyaslaması yapılmıştır.

Numunelerin içeriğinde kullanılan farklı cinsteki epoksilenmiş bitkisel yağların, numunelerden değişik kütle ve yoğunluk değerleri elde etme açısından etkili olduğu tespit edilmiştir. En düşük kütle ve yoğunluk değerleri ESFO’lu, en yüksek kütle ve yoğunluk değerleri ESO’lu numuneler üzerinden belirlenmiştir.

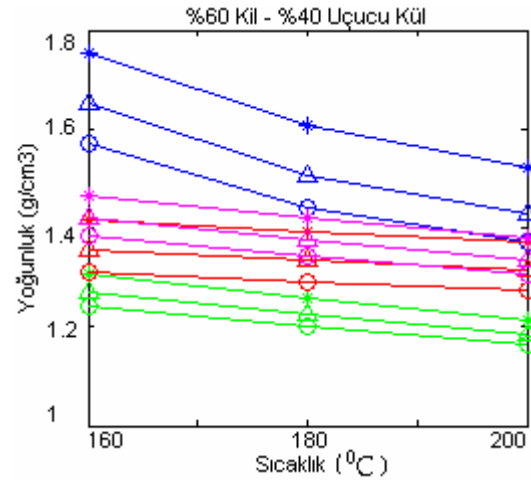


Şekil 5.21. İşlem sıcaklıklarına göre, numunelerin kütle değerlerinin değişimi

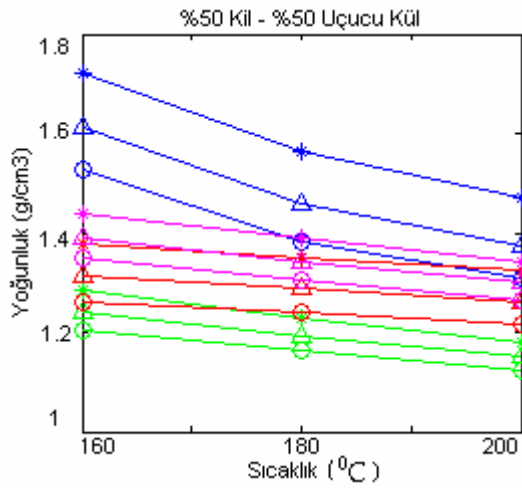
a.%70kil %30UK **b.**%60kil %40UK **c.**%50kil %50UK **d.**%40kil %60UK **e.**%30kil %70UK



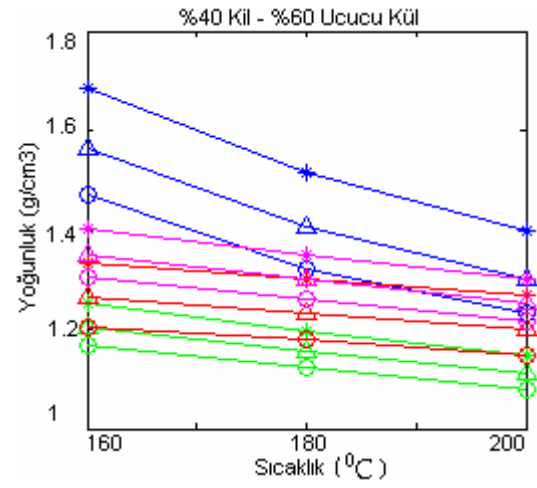
(a)



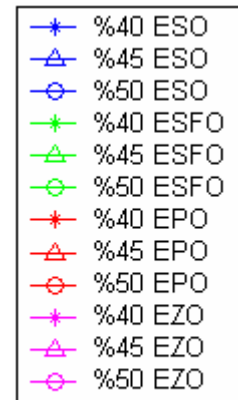
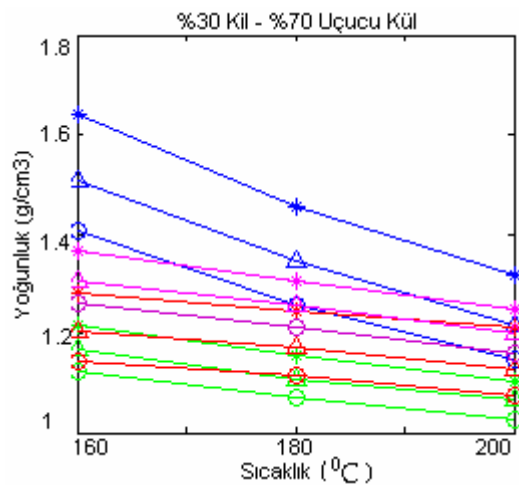
(c)



(d)

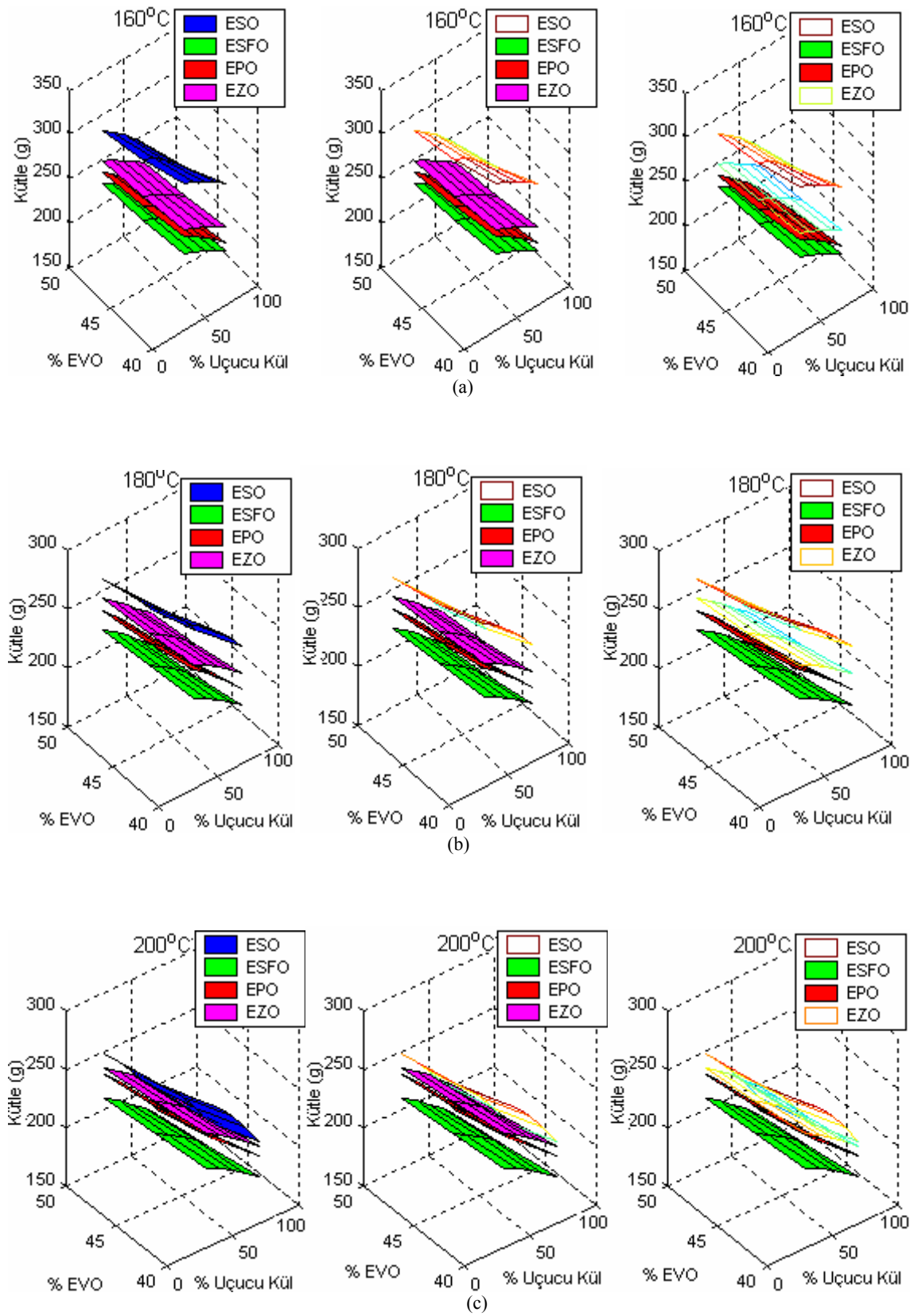


(e)



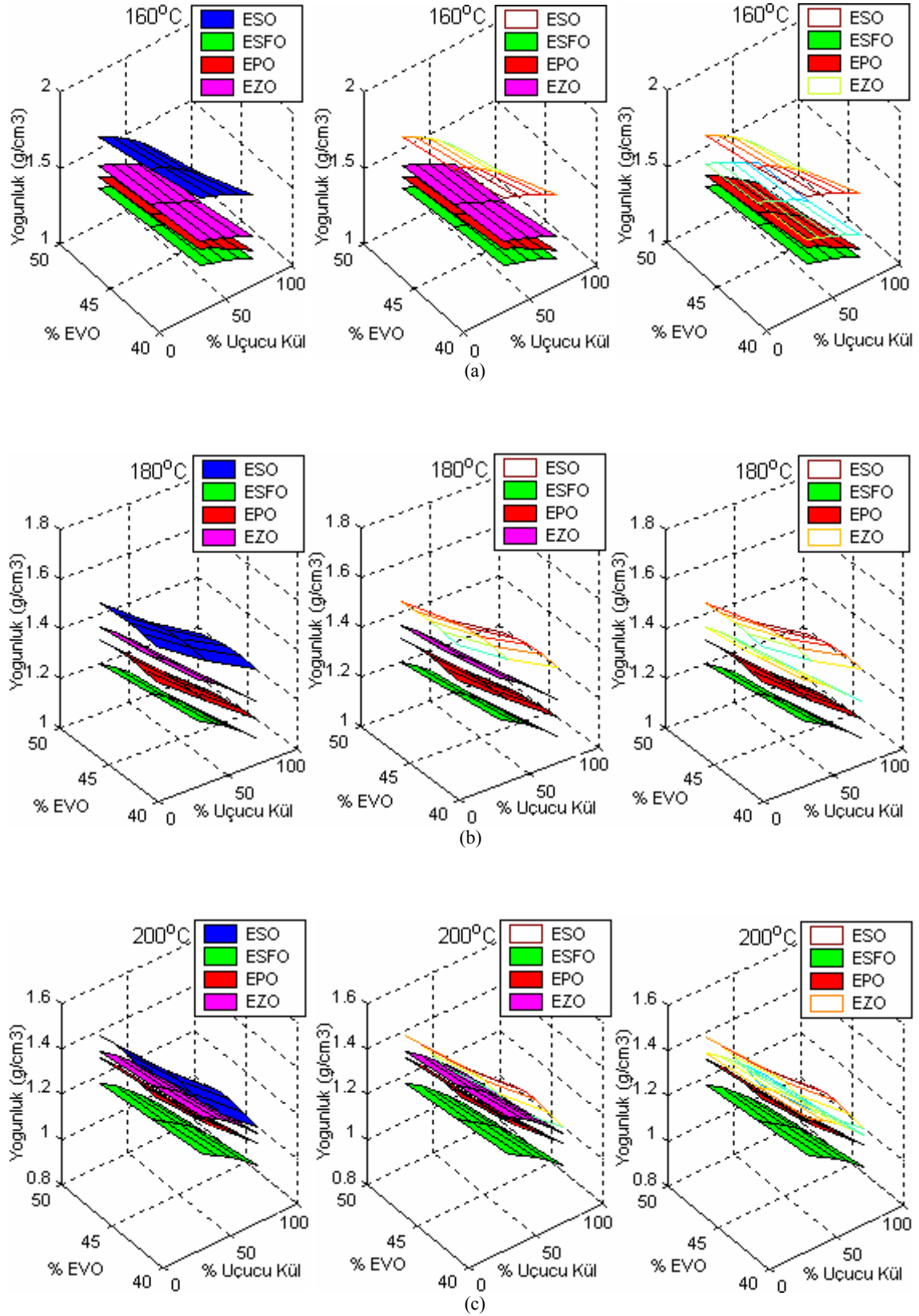
Şekil 5.22. İşlem sıcaklıklarına göre, numunelerin yoğunluk değerlerinin değişimi

a.%70kil %30UK **b.**%60kil %40UK **c.**%50kil %50UK **d.**%40kil %60UK **e.**%30kil %70UK



Şekil 5.23. Yağ cinsine göre, numunelerin kütle değerlerinin değişimi

a. 160 °C işlem sıcaklığı **b.** 180 °C işlem sıcaklığı **c.** 200 °C işlem sıcaklığı



Şekil 5.24. Yağ cinsine göre, numunelerin yoğunluk değerlerinin değişimi

a. 160 °C işlem sıcaklığı **b.** 180 °C işlem sıcaklığı **c.** 200 °C işlem sıcaklığı

5.3.3. Numunelerin Basma Mukavemetlerinin Tespiti

Basma mukavemeti deneyi için testereyle fazlalıkları kesilmiş aşınmada yüzeyleri düzgünleştirilmiş kenarları yaklaşık 70 mm olan küp deney numuneleri kullanılmıştır. Numunelerin basma mukavemeti değerleri Beskom marka, 60 tona kadar basma kuvveti uygulayabilen dijital basma cihazı yardımıyla bilgisayar ortamında ölçülmüştür. Malzeme basma cihazının iki silindiri arasına yerleştirilirken özellikle birbirine paralel olan ve düzgün yapıdaki aşınma kaybı testinden geçmiş yüzeylerin kullanılmasına dikkat edilmiştir. Yük ve basınç gerilmesi 10 N/mm² artacak şekilde çarpmasız olarak deney numunesi kırılıncaya kadar uygulanmıştır [107]. Cihaza bağlı bilgisayardan basma mukavemeti değeri MPa cinsinden tespit edilmiştir. Ayrıntılı tüm basma mukavemeti değerleri Tablo 5.9 ve Tablo 5.10’da belirtilmiştir.



Şekil 5.25. Basma mukavemeti deneylerinin yapıldığı cihaz

5.3.3.1. Epoksilenmiş Bitkisel Yağ Miktarının, Numunelerin Basma Mukavemetlerine Etkisi

160°C, 180°C ve 200°C’de işlem görmüş numunelerin bünyesindeki epoksilenmiş bitkisel yağ miktarına göre, numunelerin basma mukavemeti değerlerinin değişimi Şekil 5.26’da, bu değişimlerin detaylı gösterimi EK-3’de, Ek 3.10, Ek 3.11, Ek 3.12’de verilmiştir.

Numunelerin içeriğindeki epoksilenmiş bitkisel yağ miktarı arttıkça, basma mukavemeti değerlerinin düştüğü tespit edilmiştir. Bunun sebebi, numunelerin içeriğindeki epoksilenmiş bitkisel yağ miktarı arttığında artan poroziteli yapının numunenin basma kuvvetlerine karşı direncinin düşmesine zemin hazırlamış olmasıdır. Dolayısıyla numunelerden elde edilen minimum basma mukavemeti değerleri, en yüksek epoksilenmiş bitkisel yağ oranı olan %50 EVO oranında tespit edilmiştir. Ancak ısı iletim katsayısı, kütle ve yoğunluk değerlerinde yapılan tespitler esnasında, minimum sonuçların çoğunlukla ESFO’lu numunelerden elde

edilmesine rağmen, basma mukavemeti deneylerinin sonuçlarına göre minimum değerlerin EPO ve EZO'lu numunelerden tespit edilmiş olması ilginçtir. Bu sonucun sebebi, EPO ve EZO'nun yapıya kattığı özelliklerden kaynaklanmaktadır. Yani EPO ve EZO'nun diğer epoksilenmiş bitkisel yağlara göre numunelerin yapısında daha az sağlamlaştırıcı etkiye sahip olduğu, bir başka deyişle bağlayıcılık kabiliyetinin daha az olduğu gözlemlenmiştir.

5.3.3.2. Uçucu Kül Miktarının, Numunelerin Basma Mukavemetlerine Etkisi

Şekil 5.27'de içeriğinde %40, %45 ve %50 oranlarında EVO içeren numunelerin, bünyelerindeki uçucu kül miktarının %30, %40, %50, %60 ve %70 oranlarında değişmesiyle elde edilen basma mukavemeti değerleri grafiklere aktarılmıştır.

Yapıdaki uçucu kül miktarı arttıkça, numunelerin basma mukavemeti değerlerinin düştüğü tespit edilmiştir. En yüksek basma mukavemeti değerleri %30 uçucu kül içeriğinde, en düşük basma mukavemeti değerleri %70 uçucu kül içeriğinde belirlenmiştir. Bu durum, numunelerin içeriğindeki uçucu kül miktarının artmasına paralel olarak numunelerin porozitesinin artması ve buna bağlı olarak numunelerin basma kuvvetlerine karşı dirençlerinin azalmasıyla açıklanabilir.

5.3.3.3. İşlem Sıcaklığının, Numunelerin Basma Mukavemetlerine Etkisi

Şekil 5.28'de üretilen tüm numunelerden, 160⁰C, 180⁰C ve 200⁰C'deki işlem sıcaklıklarında elde edilen basma mukavemeti değerleri karşılaştırılmıştır.

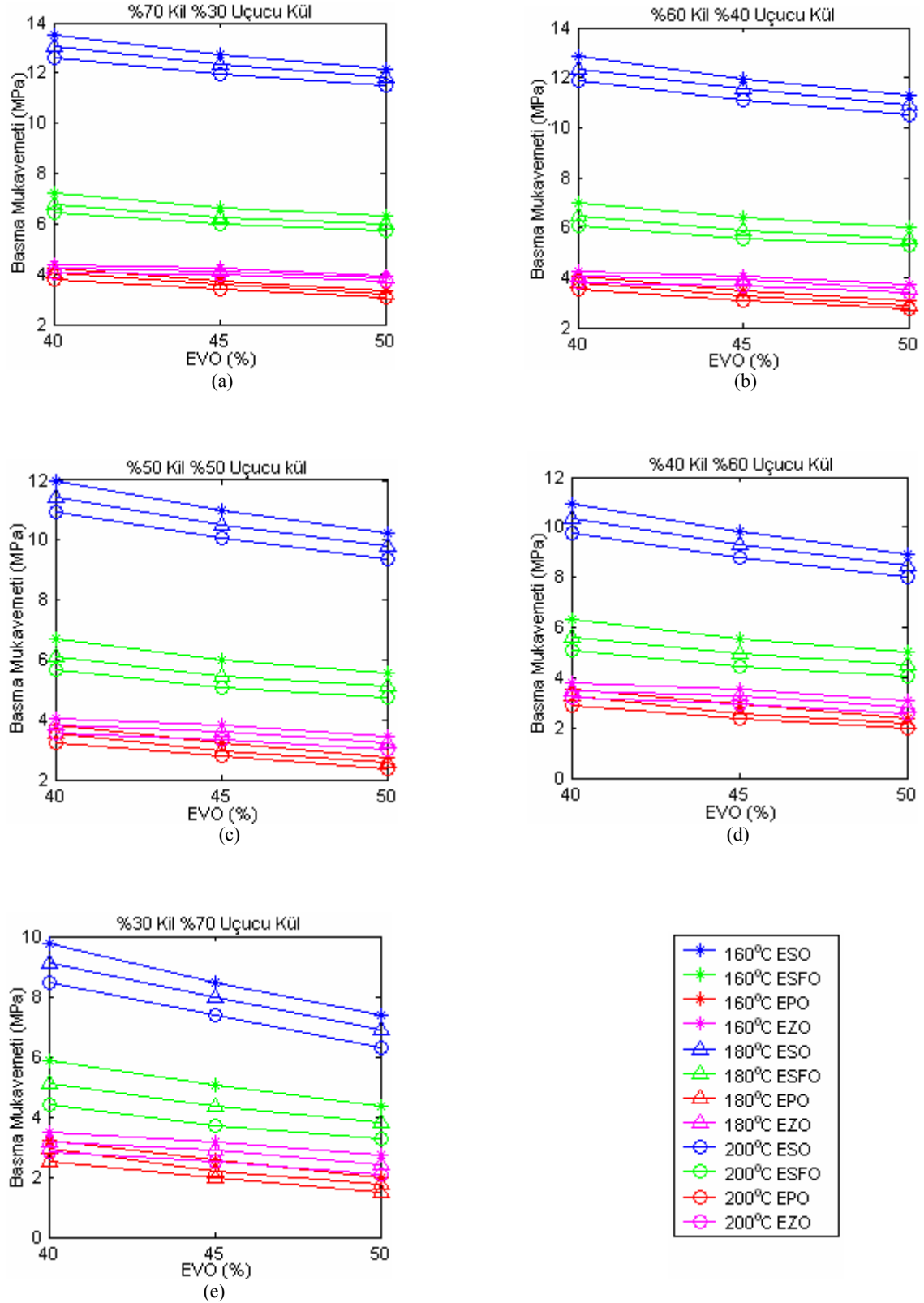
Numunelerin işleme tabi tutulduğu sıcaklık arttıkça, numunelerden elde edilen basma mukavemeti değerlerinde azalma olduğu tespit edilmiştir. En yüksek basma mukavemeti değerlerinin 160⁰C'de, en düşük basma mukavemeti değerlerinin 200⁰C'de üretilmiş numunelerden elde edildiği gözlenmiştir. Sıcaklık artışından en çok ESO'lu, en az EZO ve EPO'lu numunelerin etkilendiği belirlenmiştir. EPO ve EZO'lu numunelerin, ESFO'lu numunelerin basma mukavemeti değerlerinden daha düşük değerler vermesi bu yağların gevrekleştirici ve tam anlamıyla sıkı bağ kuramamış kimyasal yapılarından kaynaklanmaktadır.

Tablo 5.9. Numunelere ait basma mukavemeti (MPa) değerleri-1

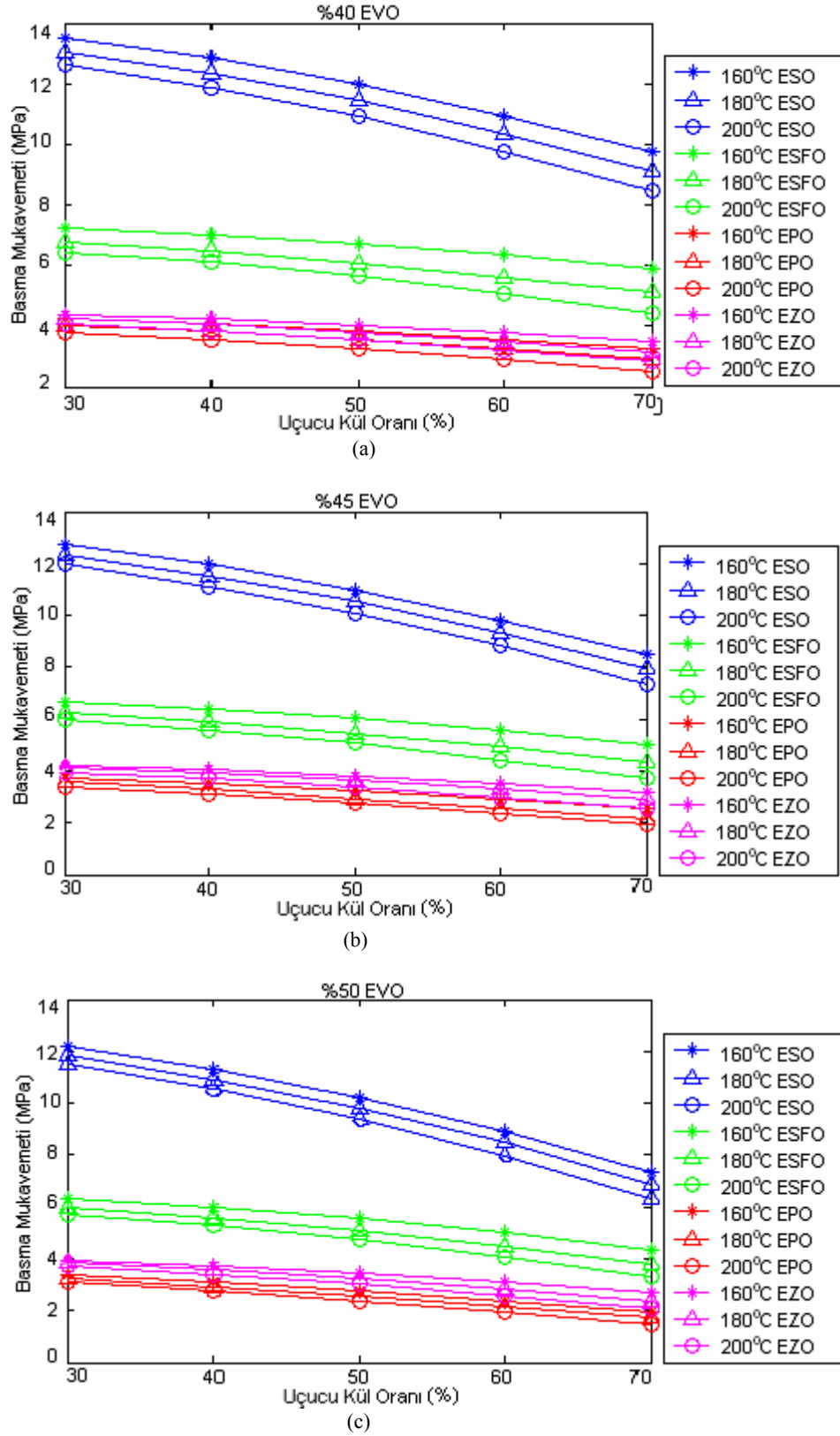
	Epoksilenmiş Soya yağı									Epoksilenmiş Ayçiçeği yağı								
	160°C			180°C			200°C			160°C			180°C			200°C		
	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50
%70 Kil %30Uçucu kül	13.53	12.74	12.18	13.05	12.33	11.83	12.63	11.97	11.5	7.21	6.63	6.31	6.76	6.26	5.99	6.42	5.96	5.73
%60 Kil %40Uçucu kül	12.83	11.96	11.28	12.31	11.53	10.91	11.86	11.11	10.54	7	6.37	5.98	6.47	5.89	5.58	6.1	5.56	5.27
%50 Kil %50 Uçucu kül	11.98	10.99	10.21	11.44	10.53	9.81	10.95	10.06	9.39	6.72	6.02	5.56	6.09	5.46	5.11	5.65	5.08	4.76
%40 Kil %60 Uçucu kül	10.94	9.8	8.9	10.35	9.33	8.47	9.78	8.82	7.99	6.35	5.57	5.02	5.61	4.96	4.5	5.09	4.43	4.08
% 30 Kil %70 Uçucu kül	9.76	8.47	7.36	9.1	7.95	6.87	8.46	7.37	6.31	5.87	5.05	4.34	5.11	4.33	3.8	4.42	3.7	3.28

Tablo 5.10. Numunelere ait basma mukavemeti (MPa) değerleri-2

	Epoksilenmiş Palm yağı									Epoksilenmiş Zeytin yağı								
	160°C			180°C			200°C			160°C			180°C			200°C		
	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50
%70 Kil %30Uçucu kül	4.26	3.73	3.35	4.04	3.56	3.21	3.79	3.38	3.08	4.37	4.22	3.91	4.25	4.13	3.84	4.05	3.96	3.71
%60 Kil %40Uçucu kül	4.07	3.49	3.08	3.82	3.29	2.9	3.53	3.09	2.74	4.23	4.04	3.7	4.06	3.9	3.56	3.82	3.69	3.39
%50 Kil %50 Uçucu kül	3.84	3.23	2.76	3.57	2.93	2.56	3.23	2.77	2.38	4.04	3.8	3.43	3.8	3.63	3.23	3.53	3.35	3.02
%40 Kil %60 Uçucu kül	3.56	2.92	2.39	3.28	2.57	2.17	2.89	2.39	1.97	3.78	3.51	3.11	3.48	3.3	2.83	3.2	2.96	2.58
% 30 Kil %70 Uçucu kül	3.24	2.55	1.98	2.93	2.17	1.74	2.51	1.96	1.5	3.48	3.17	2.72	3.14	2.91	2.38	2.83	2.54	2.1



Şekil 5.26. Epoksilenmiş bitkisel yağ miktarına göre, numunelerin basma mukavemeti değerlerinin değişimi **a.**%70kil %30UK **b.**%60kil %40UK **c.**%50kil %50UK **d.**%40kil %60UK **e.**%30kil %70UK

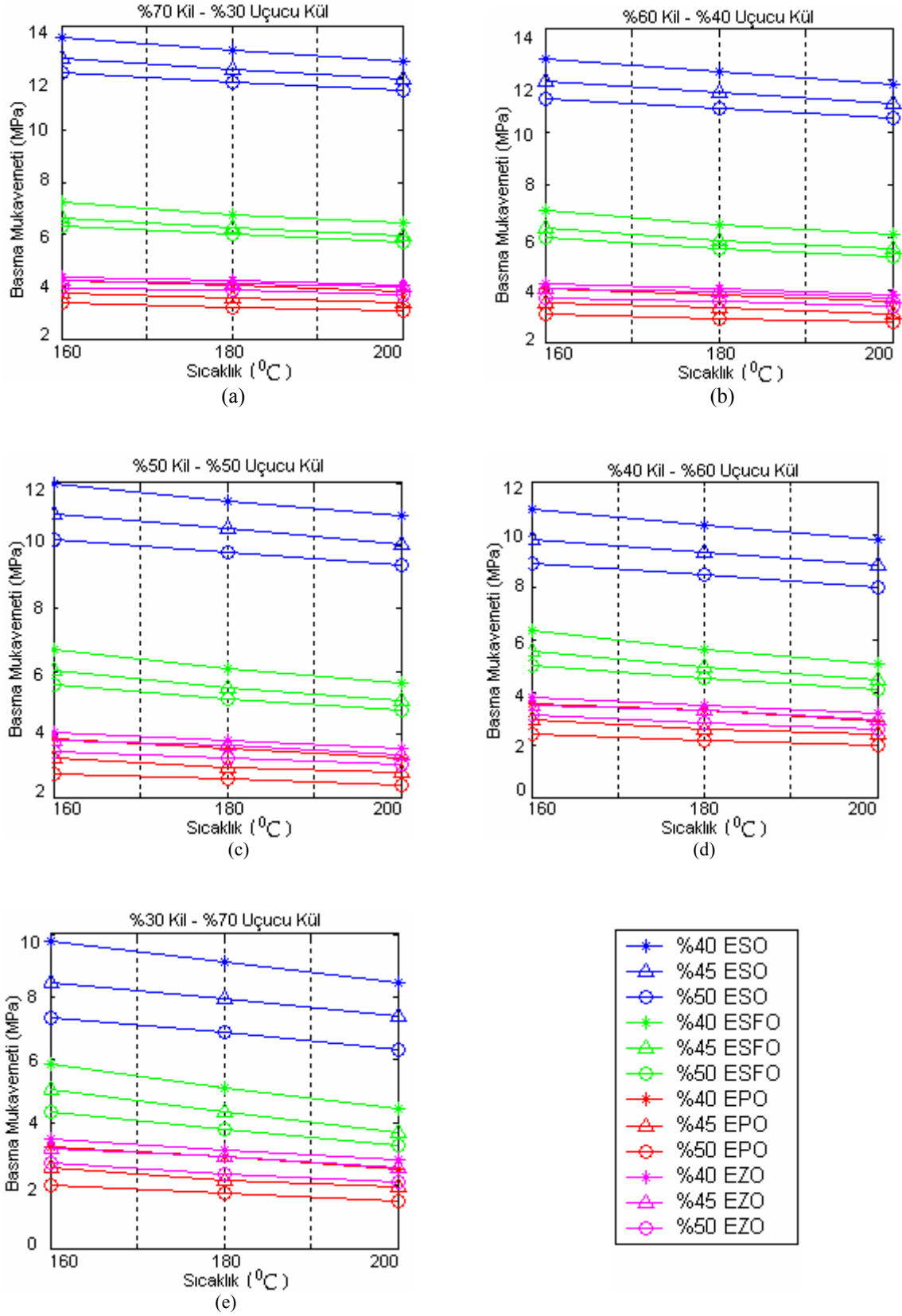


Şekil 5.27. Uçucu kül oranına göre, numunelerin basma mukavemeti değerlerinin değişimi

a. %40 EVO oranında

b. %45 EVO oranında

c. %50 EVO oranında



Şekil 5.28. İşlem sıcaklıklarına göre, numunelerin basma mukavemeti değerlerinin değişimi
a.%70kil %30UK **b.**%60kil %40UK **c.**%50kil %50UK **d.**%40kil %60UK **e.**%30kil %70UK

5.3.3.4. Yağ Cinsinin, Numunelerin Basma Mukavemetlerine Etkisi

Şekil 5.29’da 160°C, 180°C ve 200°C’de, değişik uçucu kül ve değişik epoksilenmiş bitkisel yağ oranlarında elde edilen numunelerin, içeriğinde kullanılan epoksilenmiş yağ cinsine göre tespit edilmiş basma mukavemeti değerlerinin kıyaslaması yapılmıştır.

Yağ cinsinin, değişik poroziteli yapılar verebilme etkisinin dışında, numunelerin içeriğindeki malzemelerle oluşturduğu kimyasal bağlarla ilişkili olarak basma dayanımı değerleri üzerinde de direk etkili olduğu tespit edilmiştir. En yüksek basma mukavemeti değerlerinin ESO ile, en düşük basma mukavemeti değerlerinin EPO ile üretilmiş numunelerden elde edildiği dikkat çekmektedir. Bu nedenle tüm numuneler içinde, zorlamalara karşı daha fazla dayanıksız olduğu belirlenen numunelerin yapılarındaki yağ cinslerinin EPO ve EZO olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca ESFO’nun sıcaklık artışından en çok etkilenen dolayısıyla sıcaklık arttıkça daha düşük basma dayanımı değerleri vererek kompozitin dayanımına olumsuz yönde etki edebilen bir yağ cinsi olduğu da belirlenmiştir. Bu çalışmada işleme alınan tüm yağ cinsleriyle elde edilen basma mukavemeti değerleri, kullanılabilir seviyede yüksek değerlerdir.

5.3.4. Numunelerin Çekme Mukavemetlerinin Tespiti

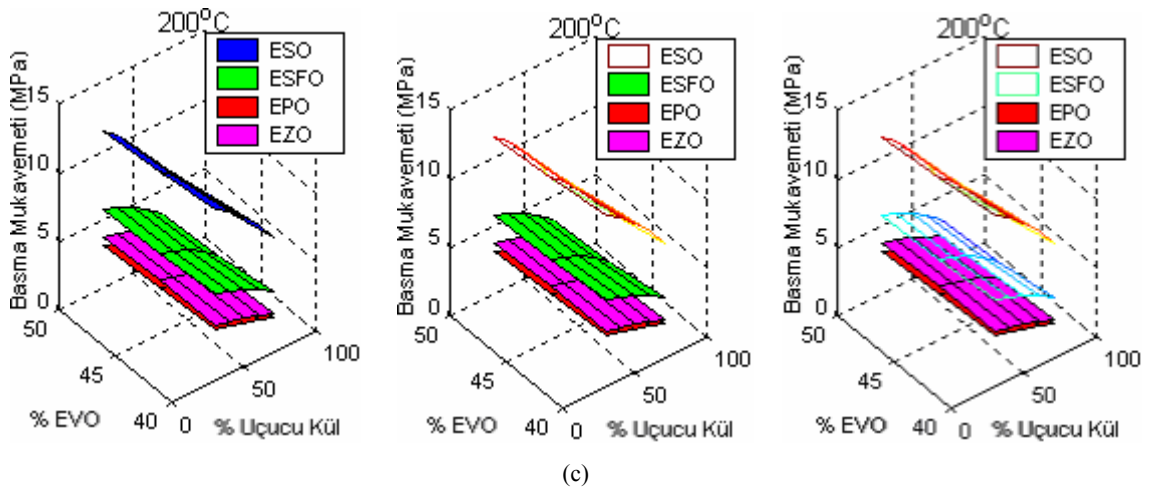
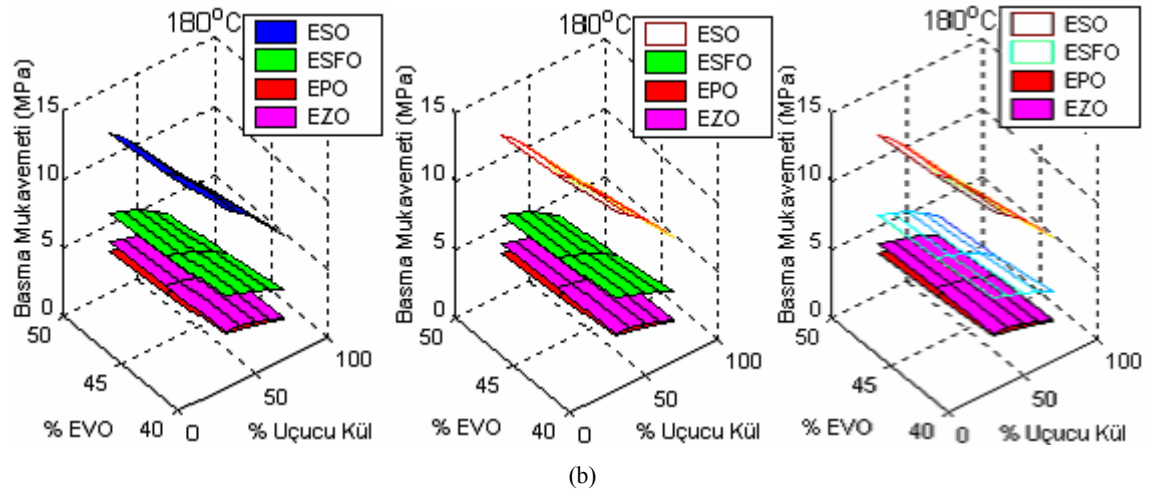
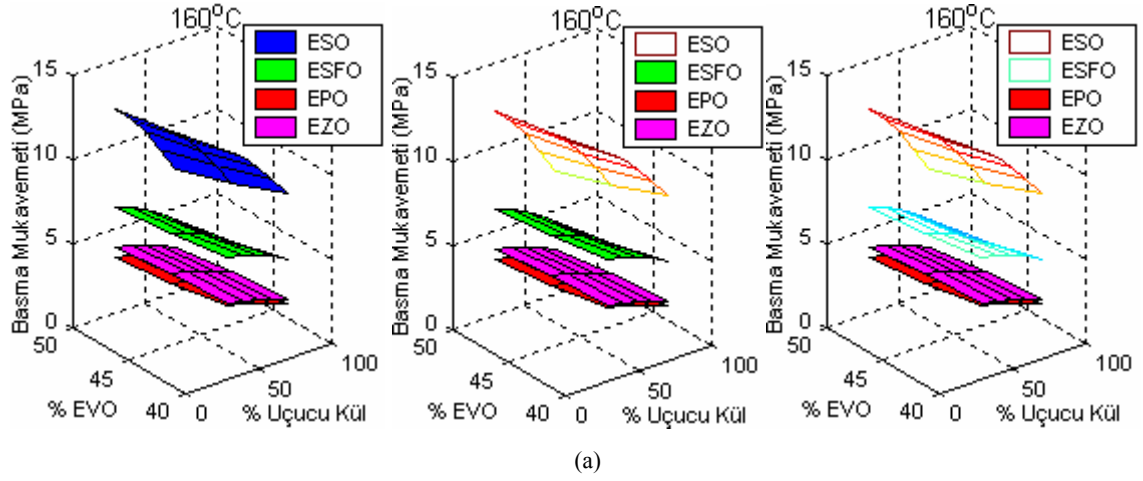
TS 500’e göre karakteristik çekme dayanımı ile karakteristik basma dayanımı arasında ilişki denklem 5.9 ile belirlenir [108].

$$F_{\text{çekme}}=0,35\sqrt{(F_{\text{basma}})} \quad (5.9)$$

$F_{\text{çekme}}$ =Numunenin karakteristik çekme dayanımı (MPa)

F_{basma} = Numunenin karakteristik basma dayanımı (MPa)

Ayrıntılı tüm çekme mukavemeti değerleri Tablo 5.11 ve Tablo 5.12’de belirtilmiştir.



Şekil 5.29. Yağ cinsine göre, numunelerin basma mukavemeti değerlerinin değişimi

a. 160 °C işlem sıcaklığı **b.** 180 °C işlem sıcaklığı **c.** 200 °C işlem sıcaklığı

5.3.4.1. Epoksilenmiş Bitkisel Yağ Miktarının, Numunelerin Çekme Mukavemetlerine Etkisi

160⁰C, 180⁰C ve 200⁰C’de işlem görmüş numunelerin bünyesindeki epoksilenmiş bitkisel yağ miktarına göre, numunelerin çekme mukavemeti değerlerinin değişimi Şekil 5.30’da, bu değişimlerin detaylı gösterimi EK-3’de, Ek 3.13, Ek 3.14, Ek 3.15’de verilmiştir.

5.3.4.2. Uçucu Kül Miktarının, Numunelerin Çekme Mukavemetlerine Etkisi

Şekil 5.31’de içeriğinde %40, %45 ve %50 oranlarında epoksilenmiş bitkisel yağ içeren numunelerin, bünyelerindeki uçucu kül miktarının %30, %40, %50, %60 ve %70 oranlarında değişmesiyle elde edilen çekme mukavemeti değerleri grafiklere aktarılmıştır.

5.3.4.3. İşlem Sıcaklığının, Numunelerin Çekme Mukavemetlerine Etkisi

Şekil 5.32’de tüm kil ve uçucu kül içeriklerinde üretilen numunelerden, yapılarındaki epoksilenmiş bitkisel yağ miktarına göre, 160⁰C, 180⁰C, 200⁰C sıcaklıklarda elde edilen çekme mukavemeti değerleri karşılaştırılmıştır.

5.3.4.4. Yağ Cinsinin, Numunelerin Çekme Mukavemetlerine Etkisi

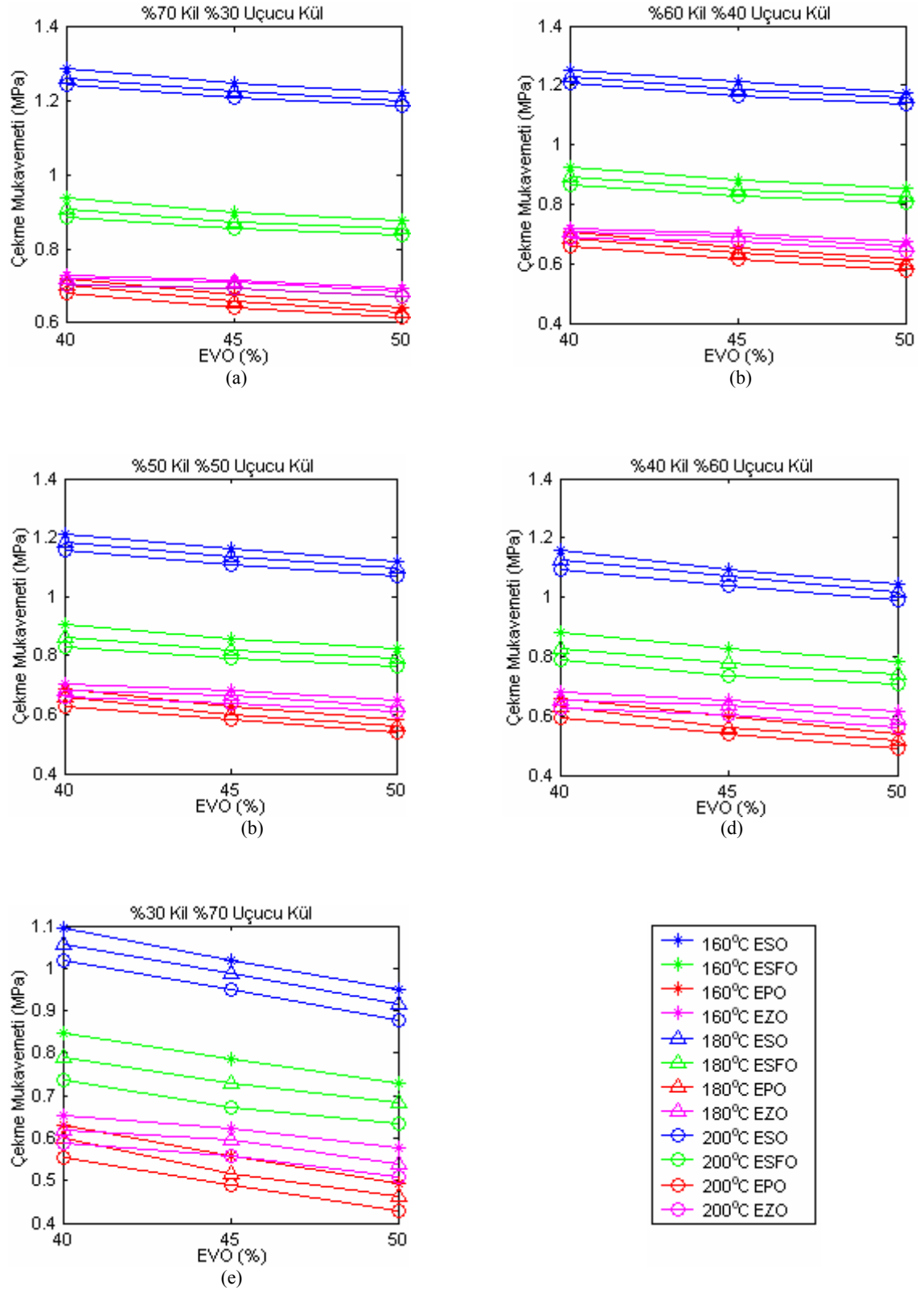
Şekil 5.33’de 160⁰C, 180⁰C ve 200⁰C’de, değişik uçucu kül ve değişik epoksilenmiş bitkisel yağ oranlarında elde edilen numunelerin, içeriğinde kullanılan epoksilenmiş yağ cinsine göre tespit edilmiş çekme mukavemeti değerlerinin kıyaslaması yapılmıştır.

Tablo 5.11. Numunelere ait çekme mukavemeti (MPa) değerleri-1

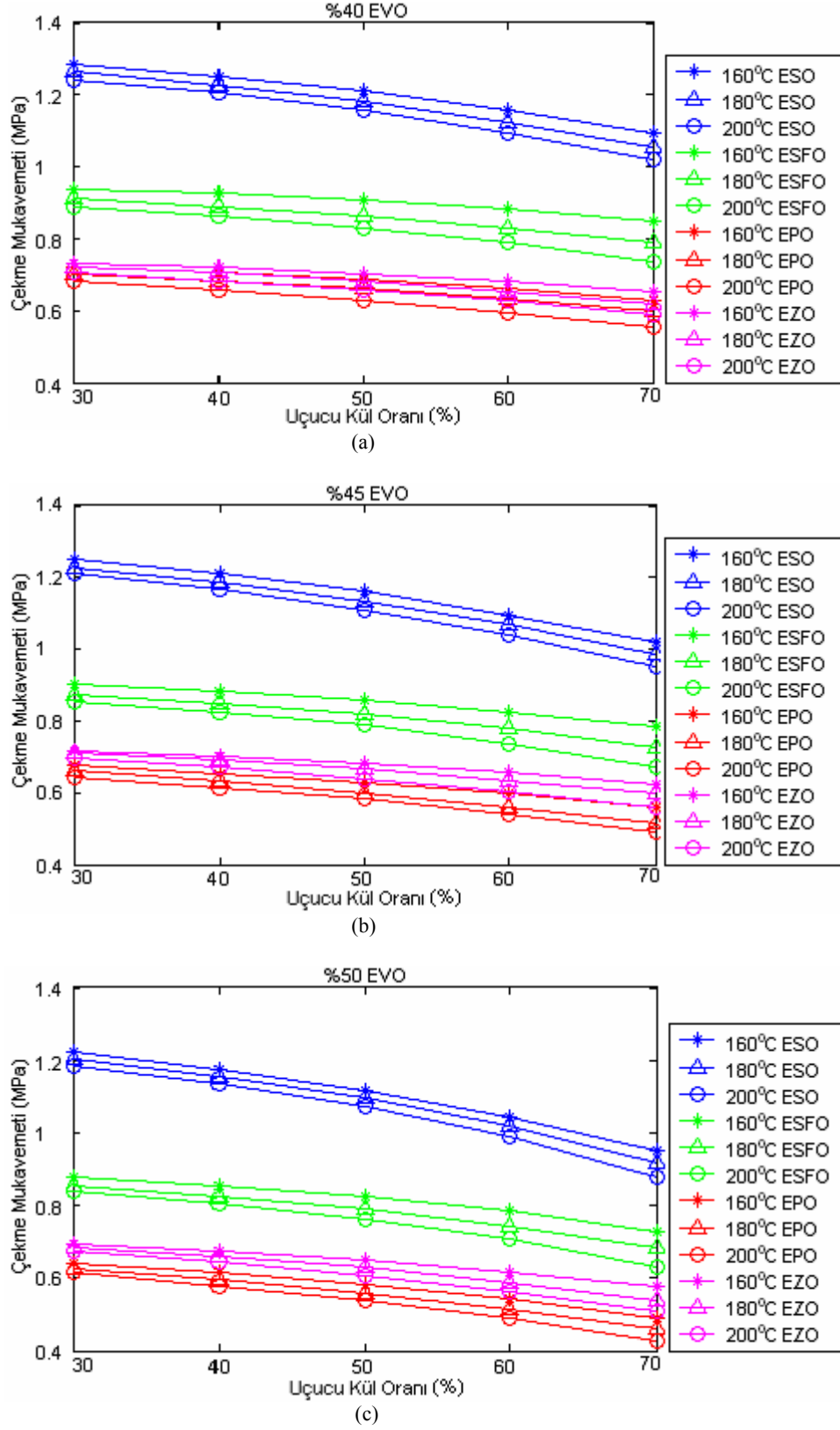
	Epoksilenmiş Soya yağı									Epoksilenmiş Ayçiçeği yağı								
	160°C			180°C			200°C			160°C			180°C			200°C		
	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50
%70 Kil %30Uçucu kül	1.287	1.249	1.221	1.264	1.228	1.203	1.243	1.21	1.186	0.939	0.901	0.879	0.91	0.875	0.856	0.886	0.854	0.837
%60 Kil %40ucu kül	1.25	1.21	1.175	1.227	1.188	1.156	1.205	1.166	1.136	0.926	0.883	0.855	0.89	0.849	0.826	0.864	0.825	0.803
%50 Kil %50 Uçucu kül	1.211	1.16	1.118	1.183	1.135	1.096	1.158	1.11	1.072	0.907	0.858	0.825	0.863	0.817	0.791	0.831	0.788	0.763
%40 Kil %60 Uçucu kül	1.157	1.095	1.044	1.125	1.069	1.018	1.094	1.039	0.989	0.881	0.826	0.784	0.828	0.779	0.742	0.789	0.736	0.706
% 30 Kil %70 Uçucu kül	1.093	1.018	0.949	1.055	0.986	0.917	1.018	0.95	0.879	0.847	0.786	0.729	0.791	0.728	0.682	0.735	0.673	0.633

Tablo 5.12. Numunelere ait çekme mukavemeti (MPa) değerleri-2

	Epoksilenmiş Palm yağı									Epoksilenmiş Zeytin yağı								
	160°C			180°C			200°C			160°C			180°C			200°C		
	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50
%70 Kil %30Uçucu kül	0.722	0.675	0.64	0.703	0.66	0.627	0.681	0.643	0.614	0.731	0.718	0.692	0.721	0.711	0.685	0.704	0.696	0.674
%60 Kil %40ucu kül	0.706	0.653	0.614	0.684	0.634	0.596	0.657	0.615	0.579	0.719	0.703	0.673	0.705	0.691	0.66	0.684	0.672	0.644
%50 Kil %50 Uçucu kül	0.685	0.629	0.581	0.661	0.599	0.56	0.629	0.582	0.539	0.703	0.682	0.648	0.682	0.667	0.629	0.657	0.64	0.608
%40 Kil %60 Uçucu kül	0.66	0.598	0.541	0.633	0.561	0.515	0.595	0.541	0.491	0.68	0.655	0.617	0.652	0.635	0.588	0.626	0.602	0.562
% 30 Kil %70 Uçucu kül	0.63	0.558	0.492	0.599	0.515	0.461	0.554	0.49	0.428	0.652	0.623	0.577	0.62	0.597	0.539	0.588	0.557	0.507



Şekil 5.30. Epoksilenmiş bitkisel yağ miktarına göre, numunelerin çekme mukavemeti değerlerinin değişimi **a.**%70kil %30UK **b.**%60kil %40UK **c.**%50kil %50UK **d.**%40kil %60UK **e.**%30kil %70UK

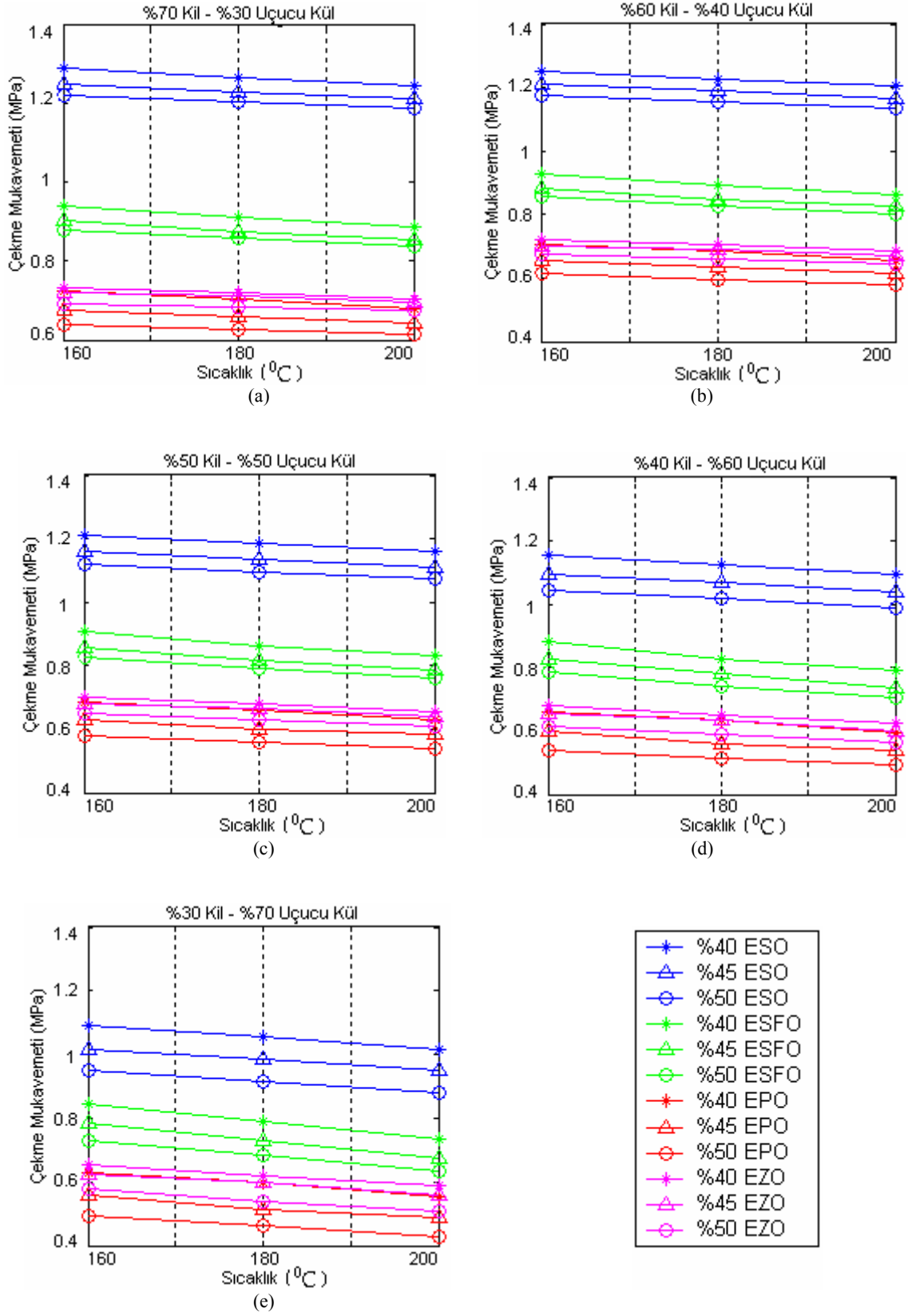


Şekil 5.31. Uçucu kül oranına göre, numunelerin çekme mukavemeti değerlerinin değişimi

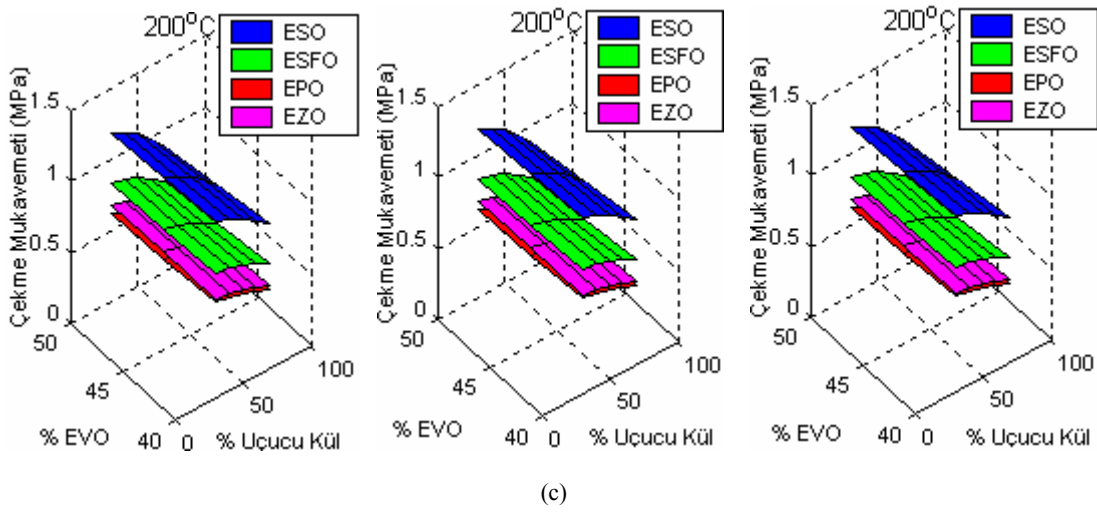
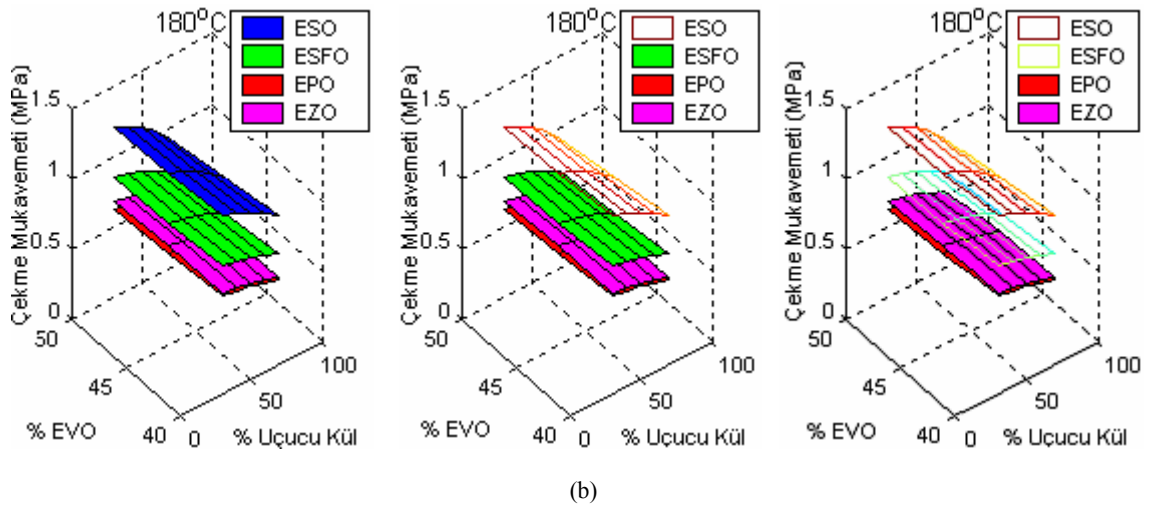
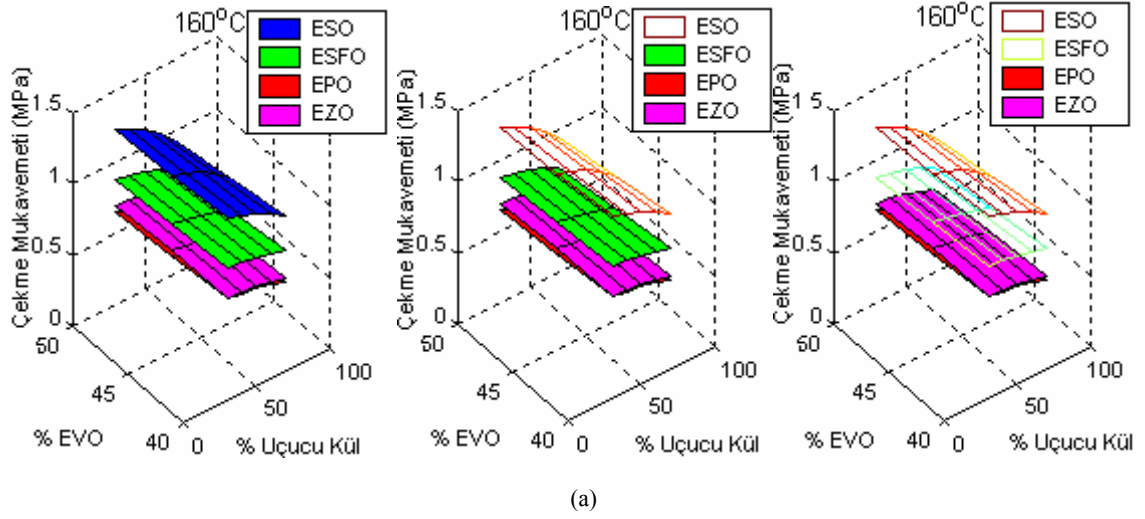
a. %40 EVO oranında

b. %45 EVO oranında

c. %50 EVO oranında



Şekil 5.32. İşlem sıcaklıklarına göre, numunelerin çekme mukavemeti değerlerinin değişimi
a.%70kil %30UK b.%60kil %40UK c.%50kil %50UK d.%40kil %60UK e.%30kil %70UK

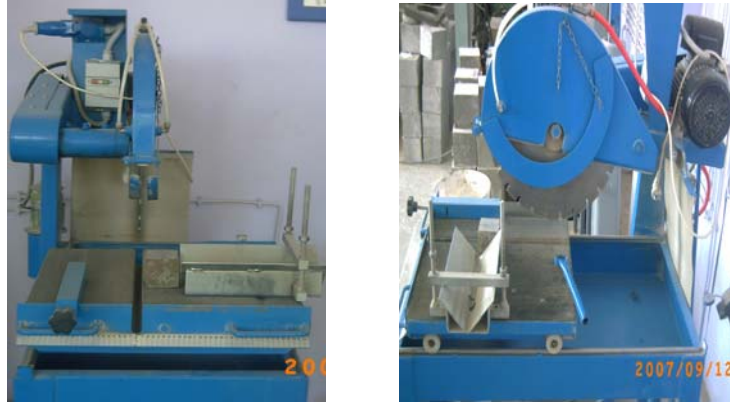


Şekil 5.33. Yağ cinsine göre, numunelerin çekme mukavemeti değerlerinin değişimi

a. 160 °C işlem sıcaklığı **b.** 180 °C işlem sıcaklığı **c.** 200 °C işlem sıcaklığı

5.3.5. Numunelerin Sürtünme ile Aşınma Kaybı Değerlerinin Tespiti

Sürtünme ile aşınma kaybı deneylerini gerçekleştirmek için Bohtne metodu kullanılmıştır . Bohtne yüzey aşındırma cihazı, döner bir aşındırma diski ile deney numunesinin yerleştirildiği ve numuneyi dönen disk üzerine belirli bir basınç ile bastıran donanımdan oluşur. Cihaz bünyesindeki 750 mm’lik disk çalıştırıldığında 30 devir/dk $\pm$ 1 devir/dk hızla döner.



Şekil 5.34. Taş kesme testeresinin önden ve yandan görüntüsü



Şekil 5.35. Aşınma deneyi cihazı



Şekil 5.36. Numunelerden bir kısmının aşınma işleminden önce ve sonraki durumu

Tablo 5.15. Deneyde kullanılan zımpara tozunun kimyasal bileşimi [107]

Kimyasal Malzeme	Miktarı
Korund (Kristalire Al_2O_3)	%70 - %80
SiO_2	$\leq$ %5
$Na_2O+K_2O+CaO+MgO$	$\leq$ %2
Fe_2O_3	eser miktarda

Deney numuneleri Bohtne yüzey aşındırma deneyi için kenar uzunlukları $71 \text{ mm} \pm 1.5$ (yüzey alanı $50 \text{ cm}^2 \pm 2 \text{ cm}^2$) olacak şekilde taş kesme testeresiyle kesilmiştir.

Numune, Bohtne yüzey aşındırma cihazının deney numunesi tutucu çerçevesi içine yerleştirilir. Disk üzerine $20 \text{ g} \pm 0.5 \text{ g}$ zımpara tozu serpilir. Deney numunesine çelik manivela aracılığı ile $30 \text{ kgf} \pm 0.3 \text{ kgf}$ yük uygulayarak deney numunesinin sürtünme şeridine 0.6 kgf/cm^2 lik bir basınç ile bastırılması sağlandıktan sonra cihaz çalıştırılıp disk harekete geçirilir. Her 22 devir sonunda otomatik olarak duran disk üzerindeki zımpara tozları ve aşınma ile deney numunesinden ayrılan kısımlar sert bir kıl fırça ile temizlenir ve sürtünme şeridi üzerine yeniden $20 \text{ g} \pm 0.5 \text{ g}$ zımpara tozu serpilir ve deney numunesi ile düşey eksen etrafında 90° çevrilmek suretiyle 22 şer devirlik 20 periyod yani toplam olarak 440 devir uygulanır. 440 devir sonunda deney numunesi sert bir kıl fırça ile temizlendikten sonra hassas terazide tartılarak son ağırlığı belirlenir. Numunelerin aşınma kaybı 5.10 formülü yardımıyla tespit edilmiştir. Ayrıntılı tüm aşınma kaybı değerleri Tablo 5.13 ve Tablo 5.14’de belirtilmiştir.

$$\% \text{ Aşınma kaybı} = [(\text{İlk Ağırlık} - \text{Son Ağırlık}) / \text{İlk Ağırlık}] \cdot 100 \quad (5.10)$$

5.3.5.1. Epoksilenmiş Bitkisel Yağ Oranının, Numunelerin Aşınma Miktarlarına Etkisi

160°C , 180°C ve 200°C ’de işlem görmüş numunelerin bünyesindeki epoksilenmiş bitkisel yağ miktarına göre, numunelerin aşınma miktarı değerlerinin değişimi Şekil 5.37’de, bu değişimlerin detaylı gösterimi EK-3’deki Ek 3.16, Ek 3.17, Ek 3.18’de verilmiştir. Numunelerin içeriğindeki epoksilenmiş bitkisel yağ miktarı arttıkça aşınma kaybı değerlerinde artış olduğu tespit edilmiştir. En yüksek aşınma kaybı değerleri, en yüksek epoksilenmiş bitkisel yağ içeriğinde (%50), en düşük aşınma kaybı değerleri, en düşük epoksilenmiş bitkisel yağ içeriğinde (%40) belirlenmiştir. Ancak tüm yüksek aşınma kaybı değerleri daha önceki bölümlerde en gözenekli olarak belirlediğimiz numuneler üzerinden elde edilememiştir. Tablo ve şekillerden de anlaşılacağı gibi en yüksek aşınma değerlerinin oldukça fazla bir bölümü EPO

ve EZO'lu numuneler üzerinden belirlenmiştir. Bunun durum, yağ cinslerine göre bağlayıcılık özelliklerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

5.3.5.2. Uçucu Kül Oranının, Numunelerin Aşınma Miktarlarına Etkisi

Şekil 5.38'de içeriğinde %40, %45 ve %50 oranlarında EVO içeren numunelerin, bünyesindeki uçucu kül miktarının %30, %40, %50, %60 ve %70 oranlarında değişmesiyle elde edilen aşınma kaybı değerleri gösterilmiştir.

Numunelerin bünyesindeki uçucu kül miktarı arttıkça, numunelerden elde edilen aşınma kaybı değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Numunelerden elde edilen en yüksek aşınma kaybı değerleri %70 uçucu kül içeriğinde, en düşük aşınma kaybı değerleri %30 uçucu kül içeriğinde tespit edilmiştir. Bu durum, numunenin içeriğine daha fazla oranda ilave edilen uçucu külün yapıya kattığı porozite ve yapıdaki epoksilenmiş bitkisel yağ cinsiyle bağlantılı olarak yapının daha kolay aşınabilmesine zemin hazırlanmasıyla açıklanabilir. En yüksek ve en düşük aşınma kaybı değerinin ESO içerikli numunelerden elde edildiği dikkat çekmektedir. Bu durum aşınma testleri sırasında numunelerin aşınma işlemlerinden sonra ele alındığında bariz olarak hissedilen ısıdan kaynaklanmaktadır. Sürtünme ve ısınmanın aşınma işlemini arttıran unsurlar olduğu hesaba katıldığında, ESO ile hazırlanan numunelerden bu tip sonuçların elde edilmesinin doğal olduğu açıktır.

5.3.5.3. İşlem Sıcaklığının, Numunelerin Aşınma Miktarlarına Etkisi

Şekil 5.39'da tüm kil ve uçucu kül içeriklerinde üretilen numunelerden, yapılarındaki epoksilenmiş bitkisel yağ miktarına göre, 160°C, 180°C, 200°C sıcaklıklarda elde edilen aşınma kaybı değerleri karşılaştırılmıştır.

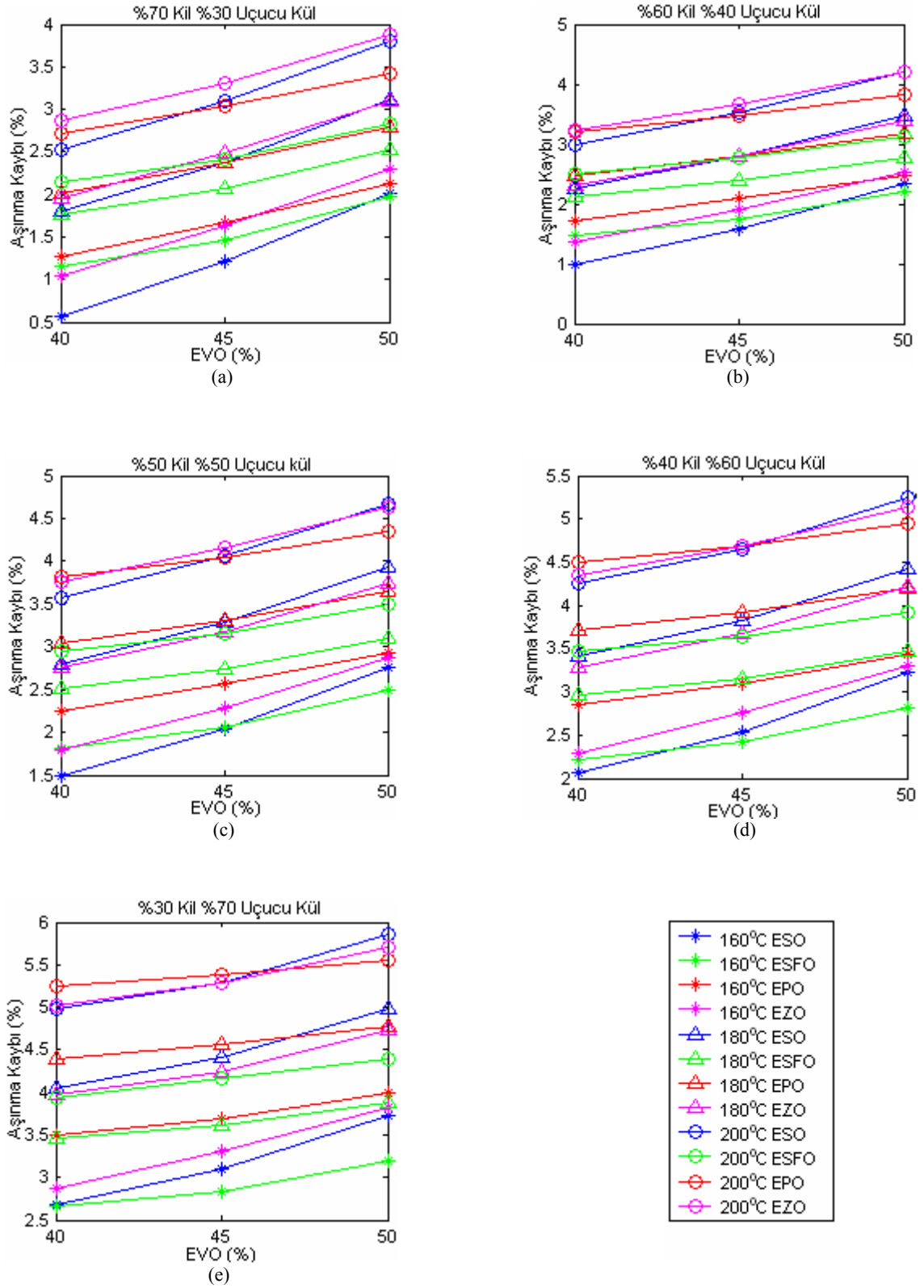
İşlem sıcaklıklarındaki farklılıklara göre aşınma miktarındaki değişimler incelendiğinde, en yüksek aşınma miktarının 200°C'de, en düşük aşınma miktarının 160°C'de üretilmiş numunelerden elde edildiği gözlenmiştir. Numunelerin işleme tabi tutulduğu sıcaklık arttıkça, numunelerin aşınma miktarında artma olduğu tespit edilmiştir. Bu artış, işlem sıcaklıkları arttığında kompozit yapının bünyesindeki yağ cinslerinin yapıya kattığı özelliklerden ve artan poroziteden kaynaklanmaktadır.

Tablo 5.13. Numunelere ait aşınma miktarı (%) değerleri-1

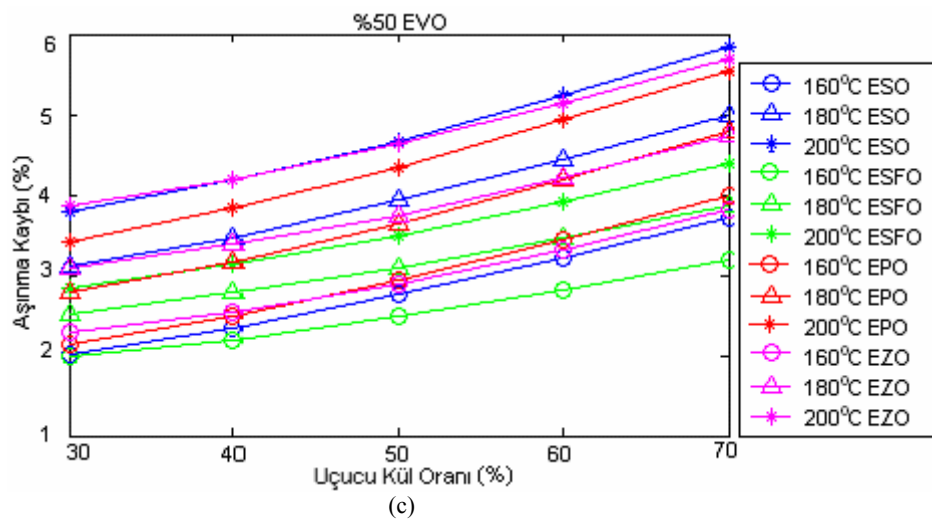
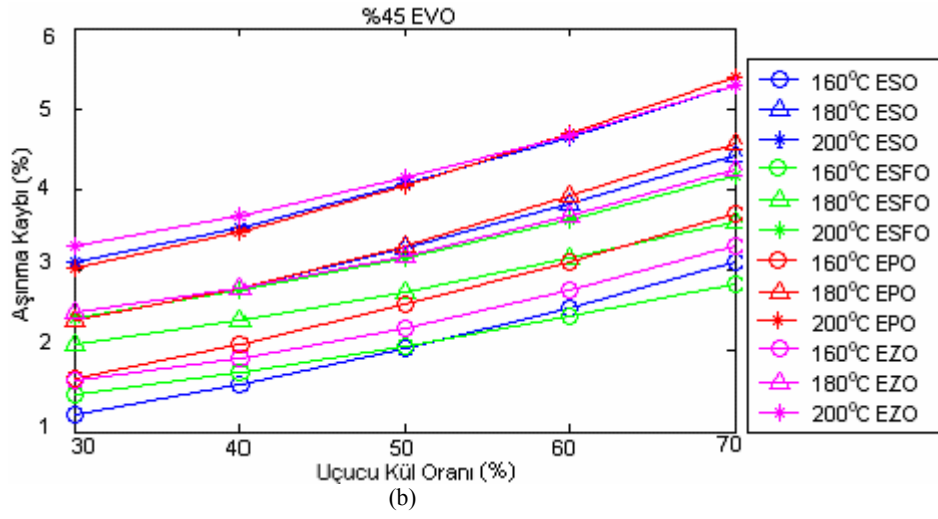
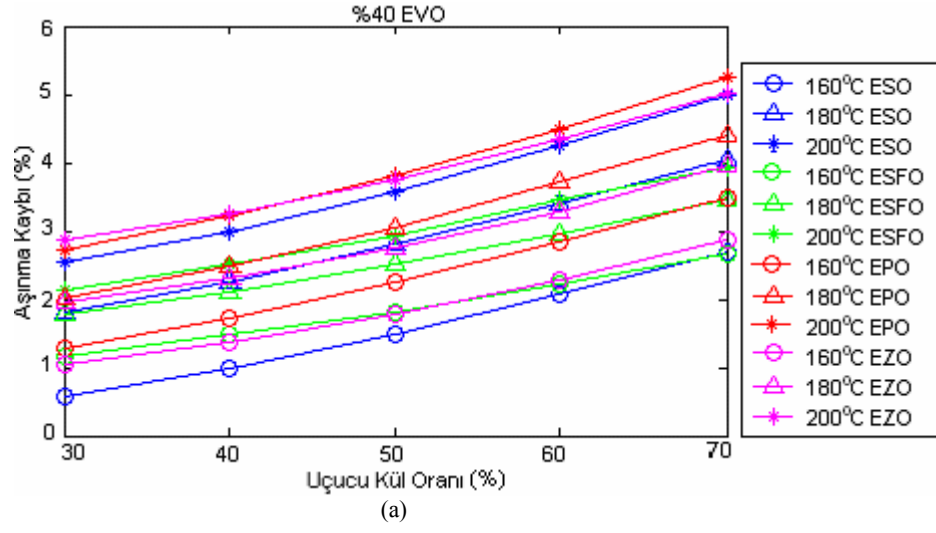
	Epoksilenmiş Soya yağı									Epoksilenmiş Ayçiçeği yağı								
	160°C			180°C			200°C			160°C			180°C			200°C		
	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50
%70 Kil %30Uçucu	0.56	1.21	2.02	1.81	2.38	3.12	2.53	3.1	3.8	1.15	1.47	1.98	1.77	2.07	2.52	2.14	2.41	2.83
%60 Kil %40ucu kül	0.98	1.58	2.35	2.25	2.79	3.47	3.00	3.52	4.19	1.48	1.74	2.2	2.11	2.38	2.78	2.51	2.76	3.13
%50 Kil %50 Uçucu	1.5	2.03	2.76	2.8	3.28	3.93	3.58	4.06	4.67	1.82	2.05	2.49	2.51	2.73	3.09	2.94	3.16	3.49
%40 Kil %60 Uçucu	2.07	2.54	3.22	3.41	3.82	4.43	4.26	4.65	5.24	2.21	2.42	2.82	2.97	3.15	3.46	3.46	3.63	3.91
% 30 Kil %70 Uçucu	2.69	3.09	3.72	4.05	4.41	4.99	4.99	5.29	5.85	2.66	2.84	3.2	3.46	3.61	3.87	3.93	4.16	4.39

Tablo 5.14. Numunelere ait aşınma miktarı (%) değerleri-2

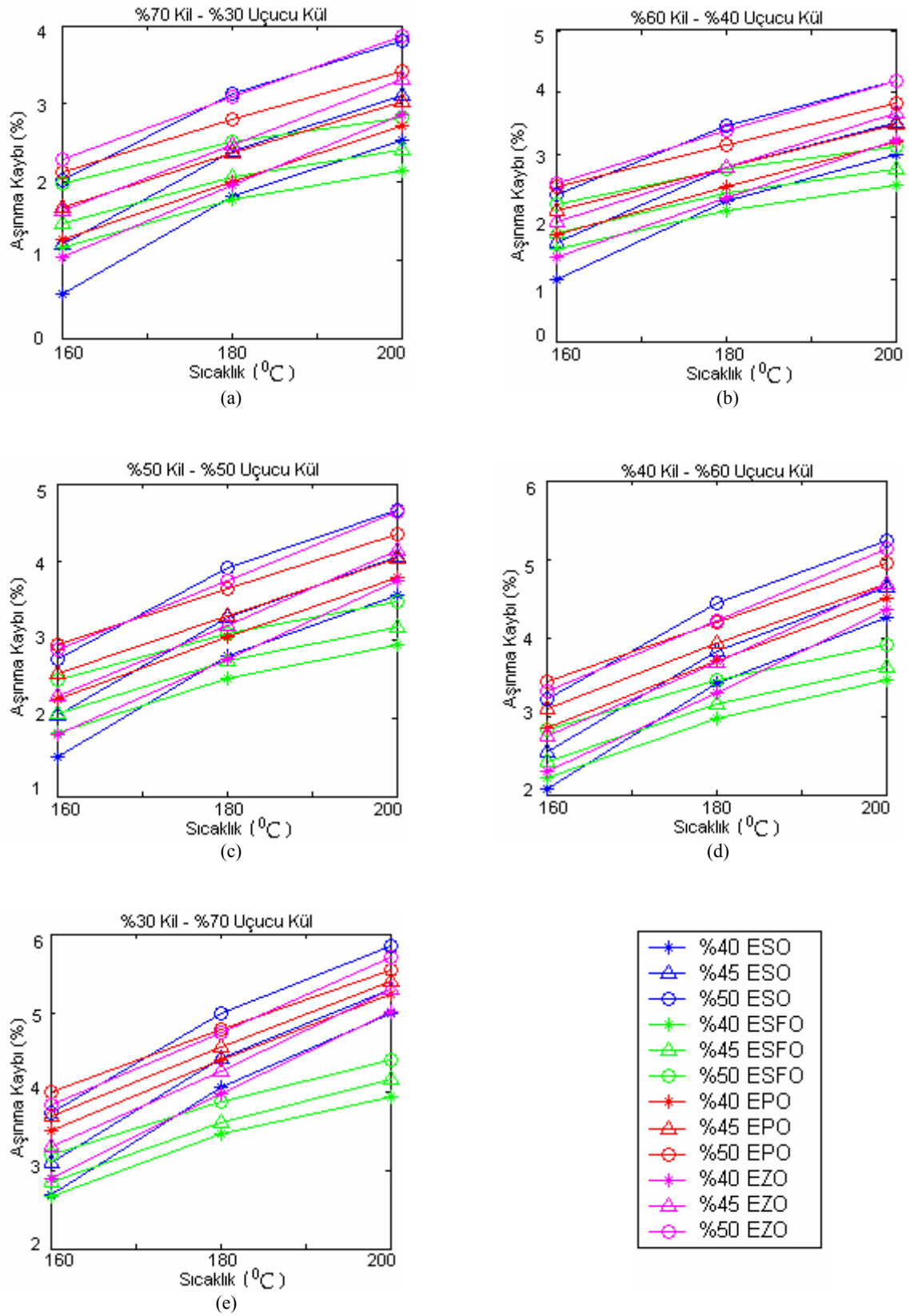
	Epoksilenmiş Palm yağı									Epoksilenmiş Zeytin yağı								
	160°C			180°C			200°C			160°C			180°C			200°C		
	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50
%70 Kil %30Uçucu kül	1.27	1.67	2.13	2.01	2.37	2.79	2.72	3.03	3.42	1.04	1.64	2.29	1.96	2.48	3.09	2.86	3.31	3.87
%60 Kil %40ucu kül	1.71	2.09	2.48	2.48	2.79	3.17	3.21	3.48	3.83	1.36	1.91	2.54	2.31	2.79	3.38	3.24	3.67	4.2
%50 Kil %50 Uçucu kül	2.24	2.57	2.93	3.05	3.3	3.65	3.81	4.04	4.35	1.79	2.29	2.88	2.75	3.18	3.75	3.76	4.15	4.64
%40 Kil %60 Uçucu kül	2.85	3.09	3.44	3.71	3.92	4.19	4.49	4.69	4.94	2.29	2.75	3.31	3.29	3.68	4.21	4.35	4.68	5.13
% 30 Kil %70 Uçucu kül	3.49	3.69	4	4.39	4.57	4.78	5.24	5.39	5.55	2.88	3.3	3.82	3.97	4.25	4.74	5.02	5.29	5.7



Şekil 5.37. Epoksilenmiş bitkisel yağ miktarına göre, numunelerin aşınma kaybı değerlerinin değişimi
a.%70kil %30UK b.%60kil %40UK c.%50kil %50UK d.%40kil %60UK e.%30kil %70UK

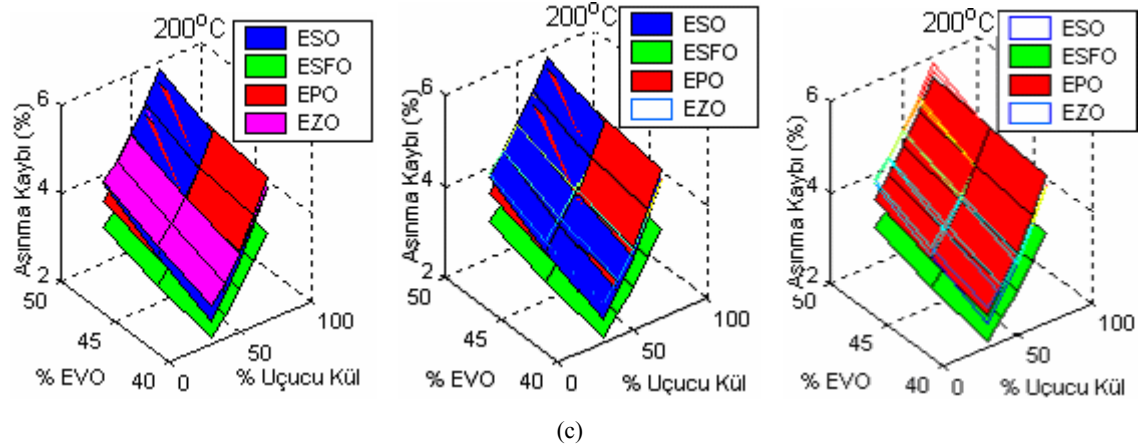
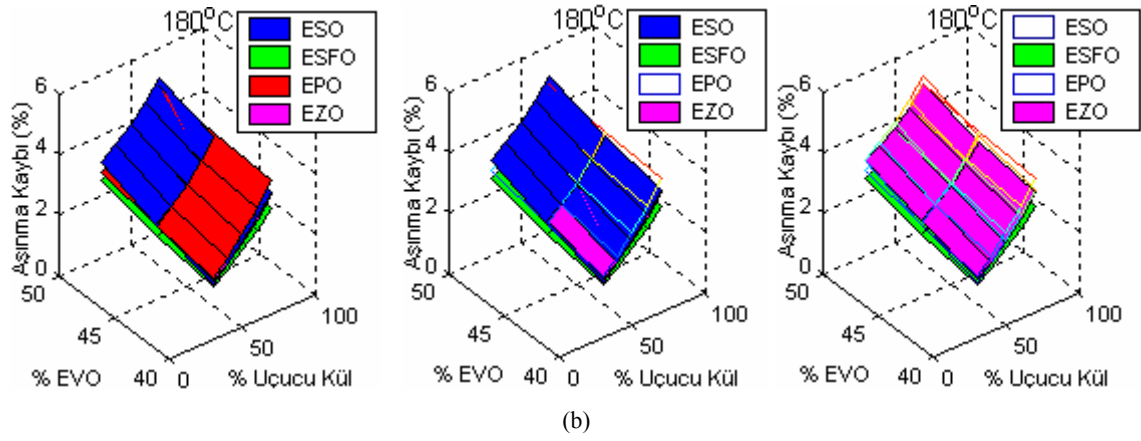
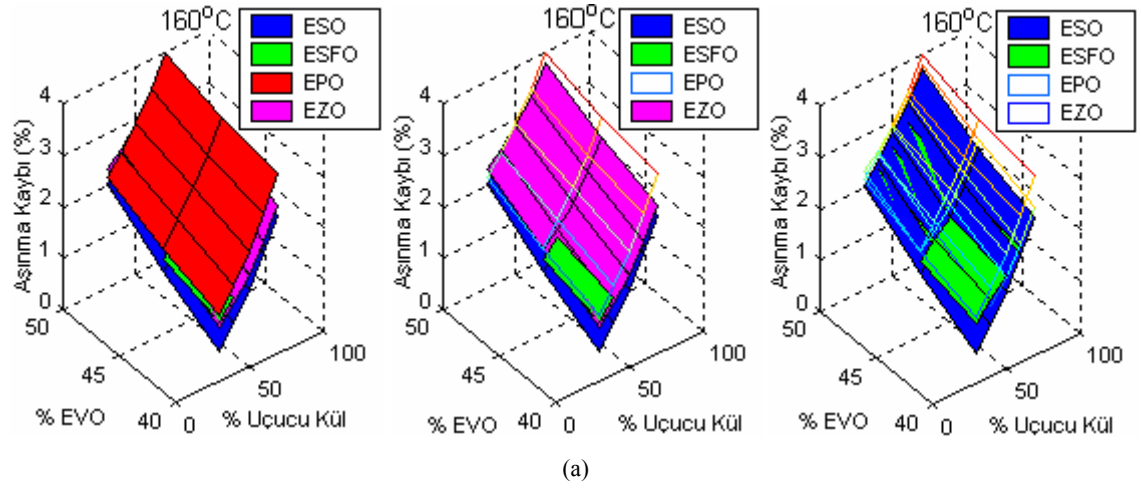


Şekil 5.38. Uçucu kül oranına göre, numunelerin aşınma kaybı değerlerinin değişimi
a. %40 EVO oranında **b.** %45 EVO oranında **c.** %50 EVO oranında



Şekil 5.39. İşlem sıcaklıklarına göre, numunelerin aşınma kaybı değerlerinin değişimi

a.%70kil %30UK b.%60kil %40UK c.%50kil %50UK d.%40kil %60UK e.%30kil %70UK



Şekil 5. 40. Yağ cinsine göre, numunelerin aşınma kaybı değerlerinin değişimi

a. 160 °C işlem sıcaklığı **b.** 180 °C işlem sıcaklığı **c.** 200 °C işlem sıcaklığı

5.3.5.4. Yağ Cinsinin, Numunelerin Aşınma Miktarlarına Etkisi

Şekil 5.40’da 160°C, 180°C ve 200°C’de, değişik uçucu kül ve değişik epoksilenmiş bitkisel yağ oranlarında elde edilen numunelerin, içeriğinde kullanılan epoksilenmiş yağ cinsine göre tespit edilmiş aşınma kaybı değerlerinin kıyaslaması yapılmıştır.

Numunelerin içeriğinde kullanılan yağ cinsi değişikçe, aşınma miktarları farklı değer aralıklarında elde edilmiştir. ESFO’lu numunelerin, tüm işlem sıcaklıklarında düşük aşınma değerleri vererek kararlı bir yapı sergilediği tespit edilmiştir. Hem arzu edilen poroziteli yapı hem de düşük aşınma kaybı değerleri ESFO içerikli numuneler ile elde edilebilmiştir. Basma dayanımı açısından yüksek dayanım değerleri veren ESO içerikli numunelerden, ESFO içerikli numunelere göre daha yüksek aşınma kaybı değerleri elde edilmesi dikkat çekmiştir. Bunun sebebi aşınma testleri sonrasında diğer yağ cinsleri ile elde edilmiş numunelere nazaran, ESO içerikli numunelerde çok daha yüksek oranda hissedilen ısıtının, sürtünme sonucu yüzeyde daha fazla deformasyona sebebiyet vermesidir.

5.3.6. Numunelerin İşlenebilme Özelliklerinin Tespiti



Şekil 5.41. Testereyle kesilip, aşınma kaybı testinden geçmiş numunelerin bir kısmı

Deney örnekleri üzerinde yapılan uygulamada epoksilenmiş bitkisel yağlı numunelerin testere ile düzgün yüzey verecek şekilde kesilebildiği, üzerine çivi, vida...vd bağlama elemanlarının uygulanabildiği, matkap ile delinebilir olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca numuneler üzerine kod numaraları yağlı boya ile yazılmış ve malzemenin boya tutuculuk özelliğinin de oldukça iyi olduğu gözlenmiştir. Testere ile kesilip aşınma testinden geçmiş numunelerin görüntüsü Şekil 5.41’de, matkapla delinmiş iki numunenin görüntüsü Şekil 5.42’de, üzerine çivi çakılmış numunenin görüntüsü Şekil 5.43’de gösterilmiştir. Yine deney harçlarının hazırlanması

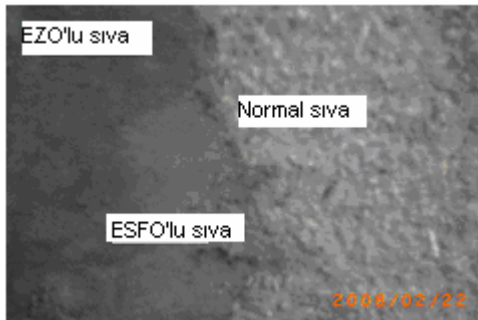
esnasında bir duvar üzerine sıva şeklinde sürülen harcın yaklaşık 14 ay sonra kış şartlarını geçirmesine rağmen duvar yüzeyinde verdiği görüntü Şekil 5.44’de gösterilmiştir.



Şekil 5.42. Matkapla delinmiş iki numunenin görüntüsü



Şekil 5.43. Üzerine çivi çakılmış numunenin görüntüsü



Şekil 5.44. Duvar yüzeyine sıvanmış harcların 14 ay sonraki görüntüleri

5.3.7. Numunelerin Su Emme Miktarının Tespiti

Bu deneyin amacı, su ile direk temasta olacak yapı malzemelerinde donma sonucu, bünyelerinde buz kristallerinin genleşme imkanı bulabileceği bir kuru hacim mevcudiyetinin araştırılmasıdır. Bu özellik malzemeye, donmaya karşı güvence sağlamaktadır [107]. Numuneler üzerine yapılan su emme deneylerinde birbirinden farklı su emme oranları elde edilmiştir.

Kritik rutubet miktarı, hacmin yaklaşık olarak %30'udur. Bundan daha az oranda rutubet bulunduran malzeme dursa da hasara uğramamaktadır. Rutubet miktarının %30'un üstünde olması halinde ise malzemede don hasarı olacaktır. Bu hasarlar malzeme yüzeyinde tozlanma ve kabuk halinde dökülme, çatlama veya toplam kütlenin dağılması şeklinde görülür [126]. Bu bakımdan bu çalışmada göz önüne alınan yeni kompozit malzemelerin su emme oranlarını tespit etmek önem taşımaktadır.



Şekil 5. 45. Kütle ve yoğunluk değerlerinin belirlendiği yoğunluk deney seti

Su emme deneyi yapılırken önce deney numuneleri $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ sıcaklığa ayarlanmış etüve konularak, ağırlığın sabit olduğu görülünceye kadar kurutulmuştur. Bu şekilde değişmez ağırlığa getirilmiş numuneler üzerindeki tozlar, bir fırça ile temizlendikten sonra 0,1 g duyarlıkta tartılarak, kuru numune ağırlıkları (W_k) tespit edilmiştir. Bu şekilde kurutulmuş numuneler, içinde oda sıcaklığında ve numune uzunluğunun $\frac{1}{4}$ 'ü kadar derinlikte su bulunan kaba yerleştirilmiştir. Bir saat sonra numuneler yarıya kadar ikinci saatin sonunda da $\frac{3}{4}$ 'ü su içinde kalacak şekilde kaba su ilave edilmiştir. Deneylerin başlangıcından 24 saat sonra numuneler tamamen su içinde kalacak şekilde kaba su ilave edilmiştir. Bu durumda 24 saat bekletildikten sonra sudan çıkarılan numuneler, ıslatılarak sıkılmış bir bez parçası ile silinip

bekletilmeden 0.1 gr duyarlıdaki terazide tartılmıştır ve su emdirilmiş ağırlıklar bulunmuştur (W_d). Bu iki ağırlığın oranı alınarak su emme yüzdesi aşağıdaki ifade ile % olarak 5.11 formülü ile hesaplanmıştır [109].

$$S.E. = [(W_D - W_K) / W_K] \cdot 100 \quad (5.11)$$

Su emme deneylerinin sonucunda görüldüğü gibi numunelerin su emme miktarı TS EN 1097-6'da belirtilen %30 standart kritik değerin çok altında kalmaktadır. Ayrıntılı tüm su emme miktarı değerleri Tablo 5.16 ve Tablo 5.17'de belirtilmiştir.

5.3.7.1. Epoksilenmiş Bitkisel Yağ Oranının, Numunelerin Su Emme Miktarlarına Etkisi

160°C, 180°C ve 200°C'de işlem görmüş numunelerin bünyesindeki epoksilenmiş bitkisel yağ miktarına göre, numunelerin su emme miktarı değerlerinin değişimi Şekil 5.46'da, bu değişimlerin detaylı gösterimi EK-3'de, Ek 3.19, Ek 3.20, Ek 3.21'de verilmiştir.

Numunelerin içeriğindeki epoksilenmiş bitkisel yağ miktarı arttıkça, su emme miktarı değerlerinin artmasının sebebi, numunelerin içeriğindeki epoksilenmiş bitkisel yağ miktarının artışına paralel olarak artan porozite ile yapıya emilen su miktarının daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Çünkü en yüksek su emme miktarı değerleri %50 EVO içeren, en düşük su emme miktarı değerleri %40 EVO içeren numunelerden alınmıştır.

5.3.7.2. Uçucu Kül Oranının, Numunelerin Su Emme Miktarlarına Etkisi

Şekil 5.47'de içeriğinde %40, %45 ve %50 oranlarında epoksilenmiş bitkisel yağ içeren numunelerin, bünyelerindeki uçucu kül miktarının %30, %40, %50, %60 ve %70 oranlarında değişmesiyle elde edilen su emme miktarı değerleri grafiklere aktarılmıştır.

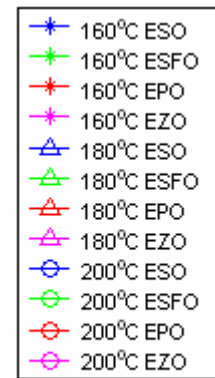
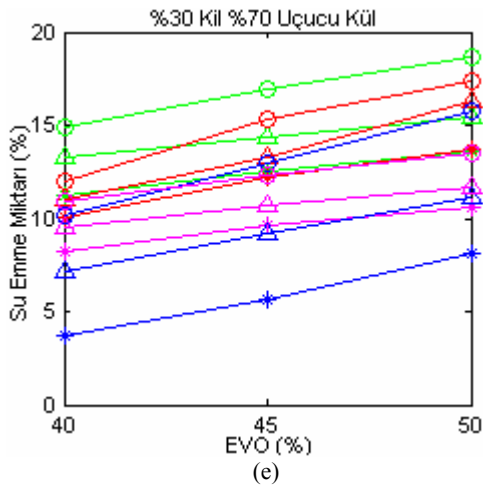
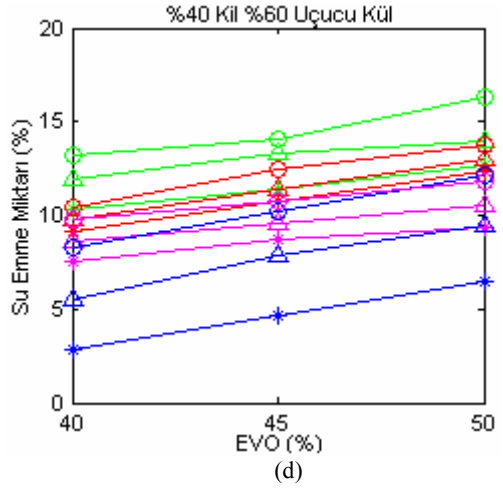
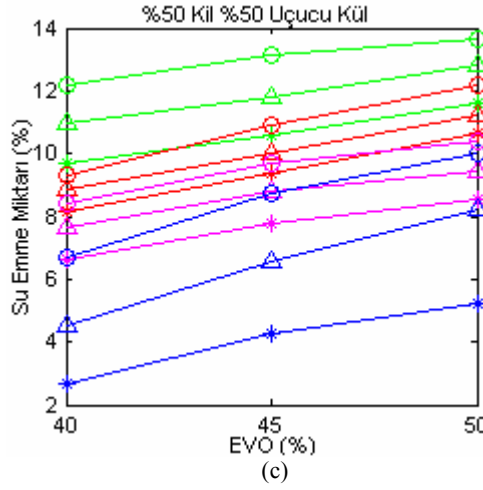
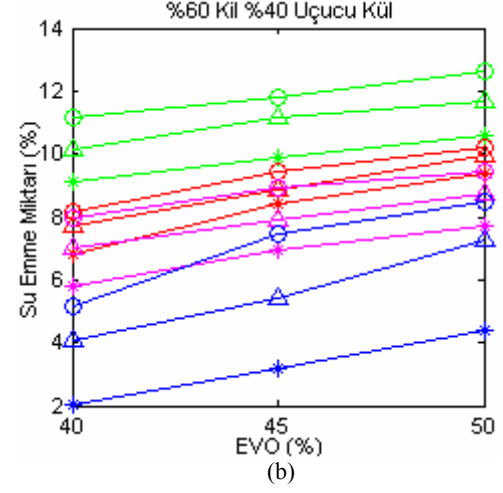
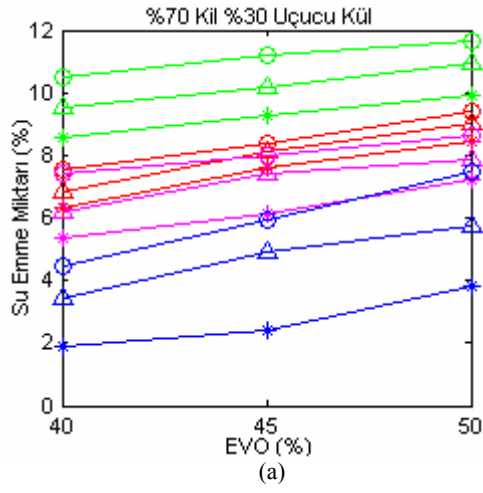
Numunelerin içeriğindeki uçucu kül miktarı arttıkça, numunelerden elde edilen su emme miktarı değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Numunelerden elde edilen en yüksek su emme miktarı değerleri, %70 uçucu kül içeriğinde, en düşük su emme miktarı değerleri, %30 uçucu kül içeriğinde tespit edilmiştir. Bu durum, numunenin içeriğine daha fazla oranda ilave edilen uçucu külün yapıda oluşturduğu porozite sebebiyle meydana gelmektedir. Çünkü yapının porozitesi arttıkça, yapıya emilebilen su miktarının yapıdaki açık gözenek miktarıyla doğru orantılı olarak artacağı aşıkardır. Yüksek su emme miktarlarının en çok ESFO'lu, en az ESO'lu numunelerde gerçekleştiği dikkat çekmektedir.

Tablo 5.16. Numunelere ait su emme miktarı (%) değerleri-1

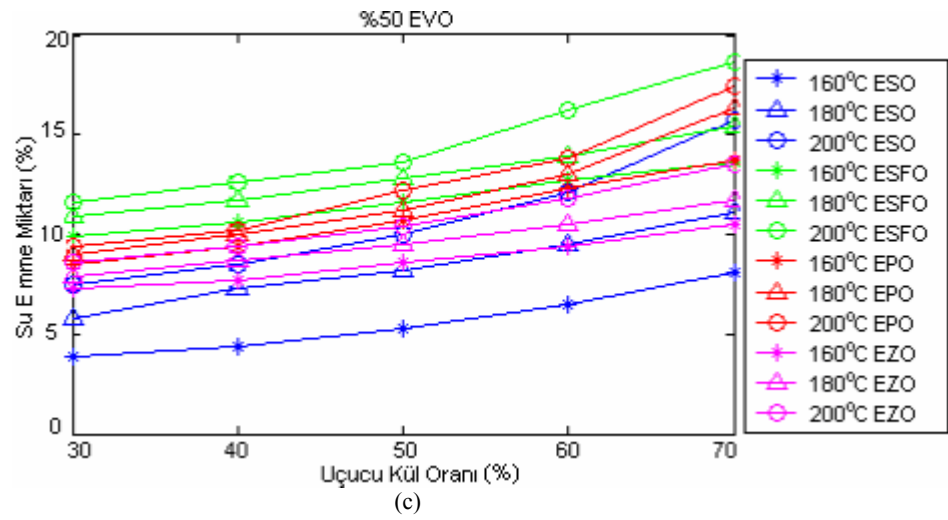
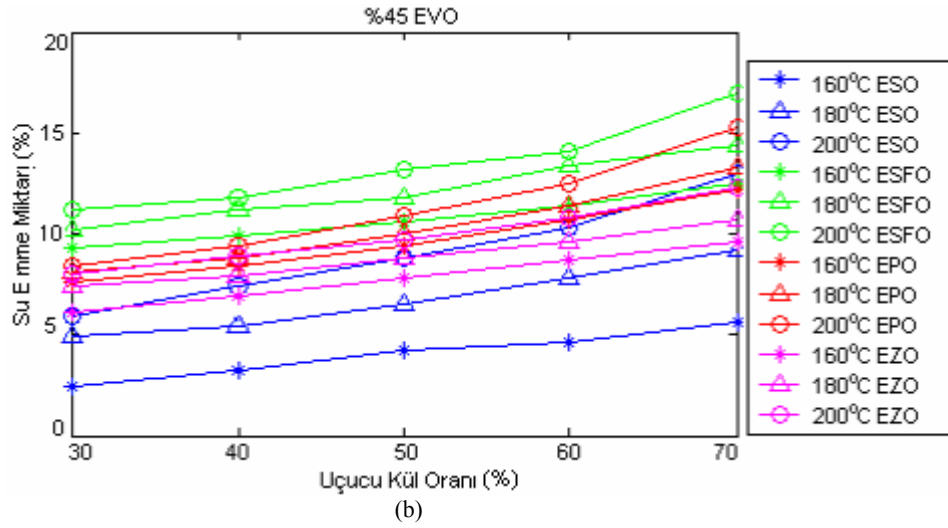
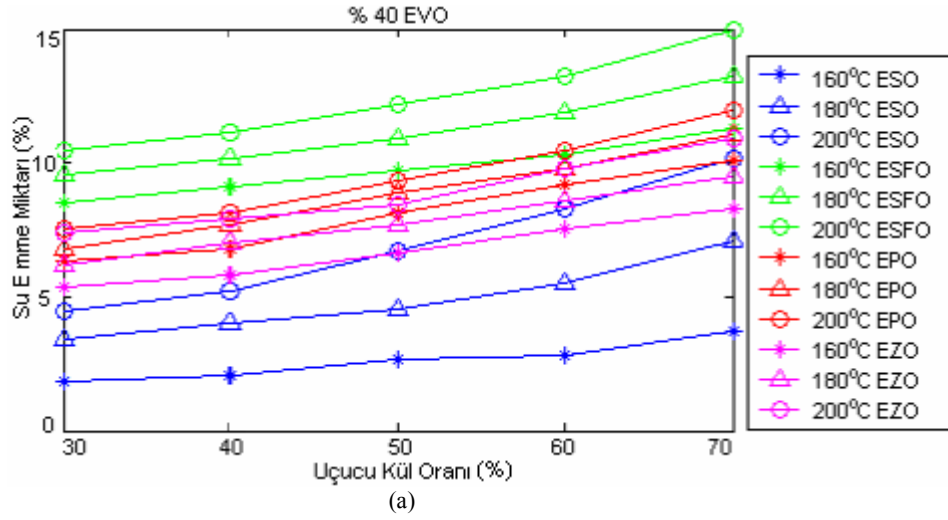
	Epoksilenmiş Soya yağı									Epoksilenmiş Ayçiçeği yağı								
	160°C			180°C			200°C			160°C			180°C			200°C		
	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50
%70 Kil %30Uçucu kül	1.87	2.4	3.85	3.44	4.89	5.73	4.48	5.92	7.48	8.54	9.27	9.92	9.54	10.18	10.95	10.49	11.21	11.64
%60 Kil %40ucu kül	2.05	3.21	4.37	4.05	5.43	7.29	5.19	7.44	8.51	9.13	9.87	10.58	10.13	11.19	11.69	11.16	11.78	12.64
%50 Kil %50 Uçucu kül	2.66	4.26	5.24	4.52	6.56	8.21	6.71	8.76	9.99	9.71	10.61	11.61	10.94	11.81	12.85	12.16	13.14	13.63
%40 Kil %60 Uçucu kül	2.81	4.67	6.49	5.51	7.82	9.51	8.31	10.26	12.1	10.31	11.42	12.72	11.88	13.35	13.91	13.21	14.07	16.28
% 30 Kil %70 Uçucu kül	3.68	5.64	8.07	7.12	9.2	11.11	10.2	12.97	15.74	11.28	12.51	13.65	13.27	14.4	15.39	14.93	16.92	18.67

Tablo 5.17. Numunelere ait su emme miktarı (%) değerleri-2

	Epoksilenmiş Palm yağı									Epoksilenmiş Zeytin yağı								
	160°C			180°C			200°C			160°C			180°C			200°C		
	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50
%70 Kil %30Uçucu kül	6.32	7.59	8.47	6.82	8.11	9	7.51	8.38	9.42	5.36	6.1	7.25	6.21	7.41	7.86	7.38	8.02	8.64
%60 Kil %40ucu kül	6.81	8.42	9.35	7.7	8.83	9.96	8.17	9.43	10.23	5.82	6.93	7.72	7.04	7.89	8.71	7.94	8.92	9.41
%50 Kil %50 Uçucu kül	8.15	9.39	10.67	8.86	10.02	11.21	9.31	10.88	12.19	6.64	7.78	8.57	7.67	8.79	9.45	8.42	9.67	10.38
%40 Kil %60 Uçucu kül	9.16	10.71	12.32	9.81	11.36	13.02	10.47	12.48	13.77	7.56	8.67	9.37	8.61	9.62	10.5	9.76	10.78	11.78
% 30 Kil %70 Uçucu kül	10.07	12.23	13.68	11.03	13.28	16.31	11.97	15.27	17.39	8.27	9.57	10.54	9.48	10.74	11.69	10.92	12.27	13.51

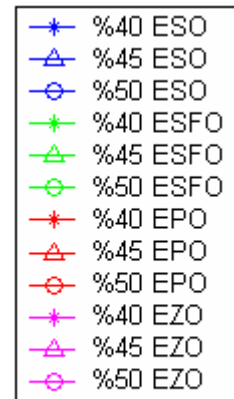
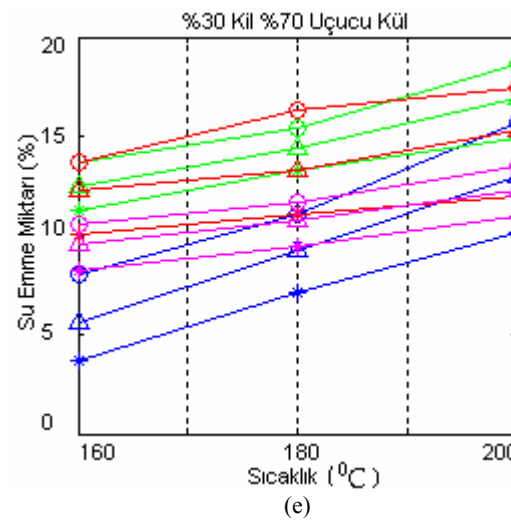
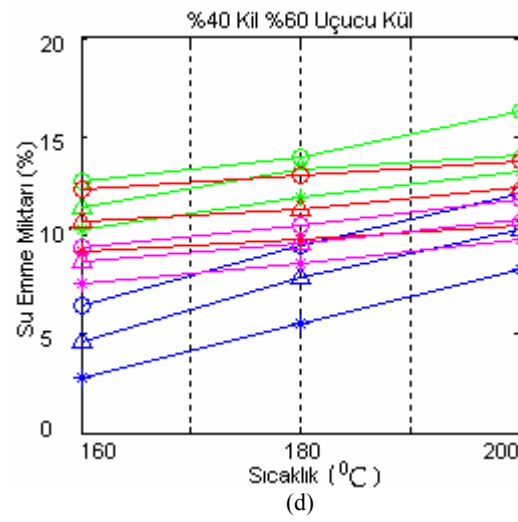
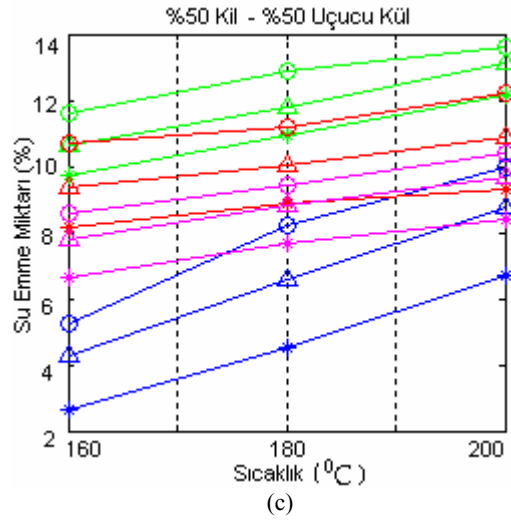
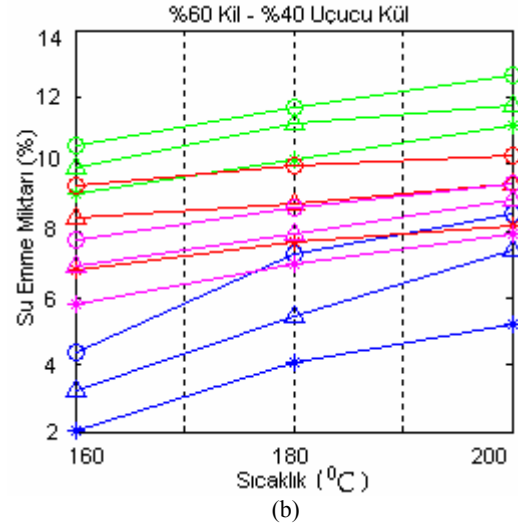
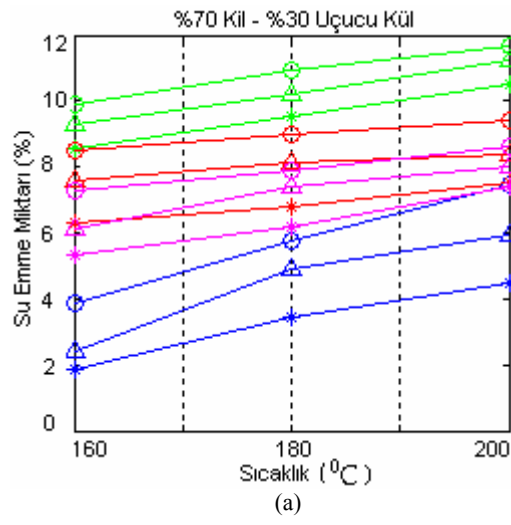


Şekil 5.46. Epoksilenmiş bitkisel yağ oranına göre, numunelerin su emme miktarı değerlerinin değişimi
a.%70kil %30UK **b.**%60kil %40UK **c.**%50kil %50UK **d.**%40kil %60UK **e.**%30kil %70UK



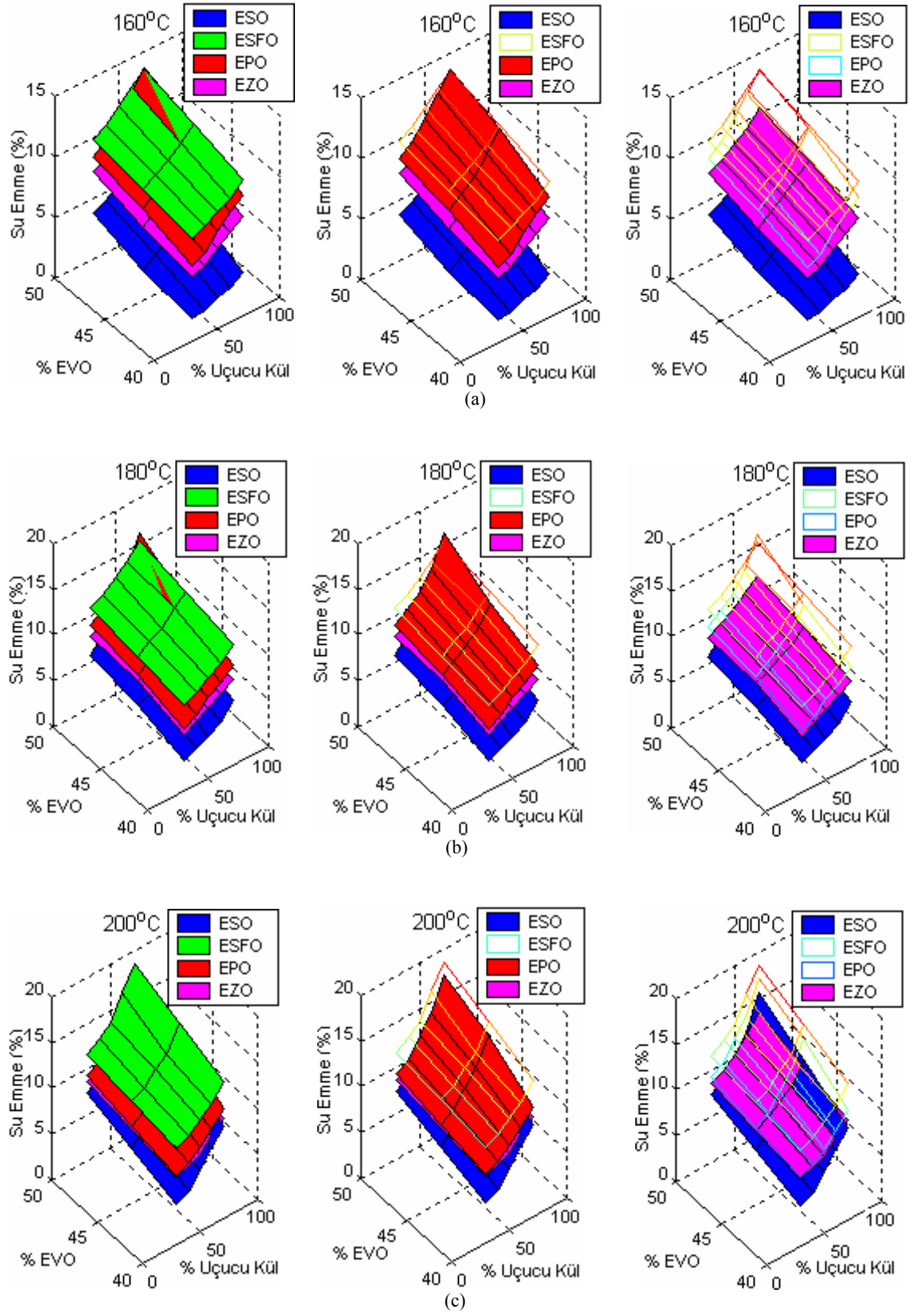
Şekil 5. 47. Uçucu kül oranına göre, numunelerin su emme miktarı değerlerinin değişimi

a. %40 EVO oranında **b.** %45 EVO oranında **c.** %50 EVO oranında



Şekil 5.48. İşlem sıcaklıklarına göre, numunelerin su emme miktarı değerlerinin değişimi

a.%70kil %30UK b.%60kil %40UK c.%50kil %50UK d.%40kil %60UK e.%30kil %70UK



Şekil 5. 49. Yağ cinsine göre, numunelerin su emme miktarı değerlerinin değişimi

a. 160 °C işlem sıcaklığı b. 180 °C işlem sıcaklığı c. 200 °C işlem sıcaklığı

5.3.7.3. İşlem Sıcaklığının, Numunelerin Su Emme Miktarlarına Etkisi

Şekil 5.48’de tüm kil ve uçucu kül içeriklerinde üretilen numunelerden, yapılarındaki epoksilenmiş bitkisel yağ miktarına göre, 160°C, 180°C, 200°C sıcaklıklarda elde edilen su emme değerleri karşılaştırılmıştır.

İşlem sıcaklıklarına göre su emme miktarı değerlerindeki değişimler incelendiğinde, en yüksek su emme miktarı değerlerinin 200°C’de, en düşük su emme miktarı değerlerinin 160°C’de üretilmiş numunelerden elde edildiği gözlenmiştir. Numunelerin işleme tabi tutulduğu sıcaklık arttıkça, artan poroziteyle bağlantılı olarak numunelerden elde edilen su emme miktarı değerlerinde artma olduğu tespit edilmiştir.

5.3.7.4. Yağ Cinsinin, Numunelerin Su Emme Miktarlarına Etkisi

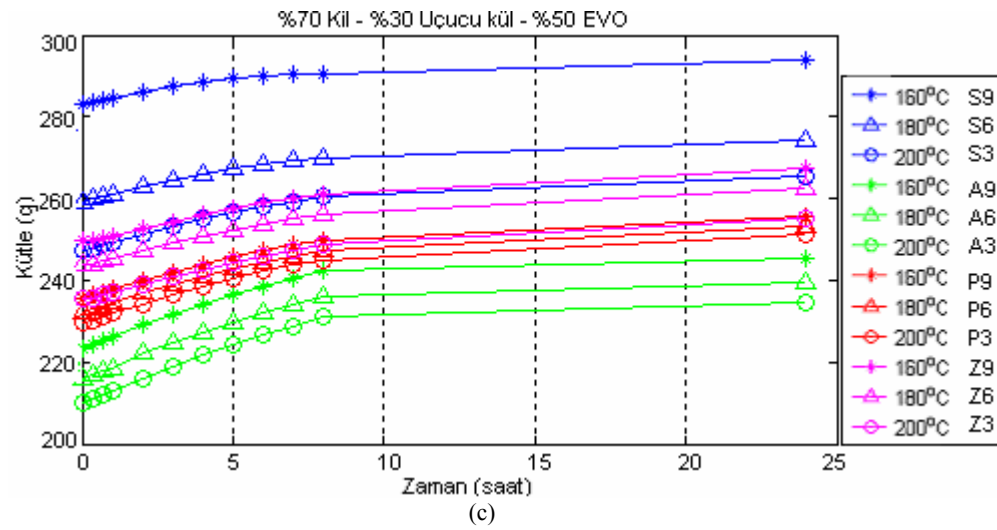
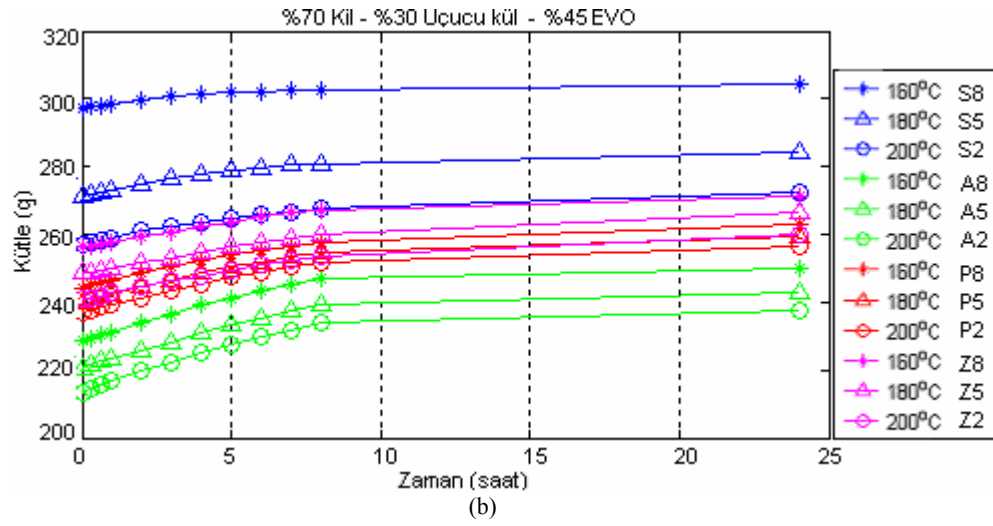
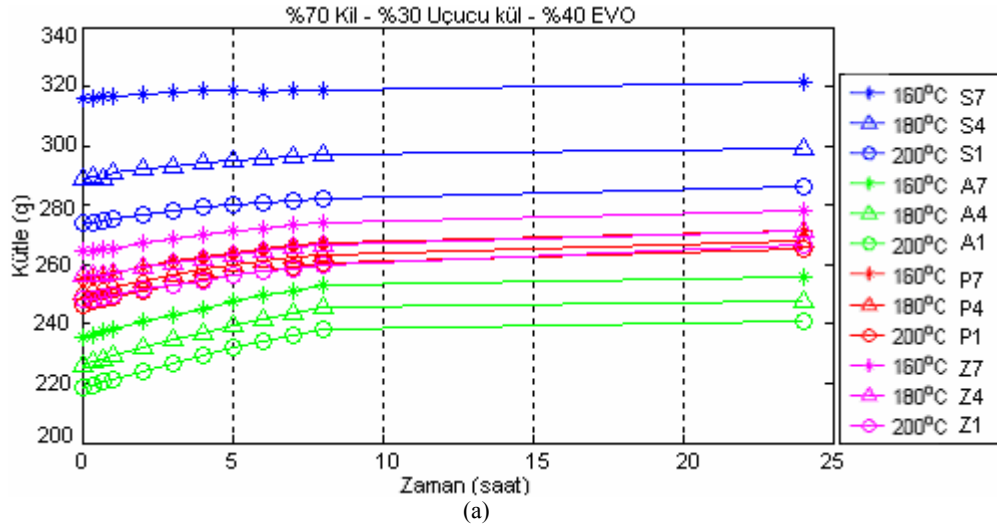
Şekil 5.49’da 160°C, 180°C ve 200°C’de, değişik uçucu kül ve değişik epoksilenmiş bitkisel yağ oranlarında elde edilen numunelerin, içeriğinde kullanılan epoksilenmiş yağ cinsine göre tespit edilmiş su emme miktarı değerlerinin kıyaslaması yapılmıştır.

Yapıdaki yağ cinsi ne olursa olsun, içeriğe eklenen epoksilenmiş bitkisel yağ miktarı arttıkça, numuneler üzerinden belirlenen su emme miktarı değerlerinin değişik oranlarda arttığı belirlenmiştir. Bu artış miktarlarının, mevcut gözeneklerin açık veya kapalı oluşuyla ve yağ cinsinin, numune içeriğindeki diğer malzemelerle kurduğu kimyasal yapıyla alakalı olduğu tespit edilmiştir.

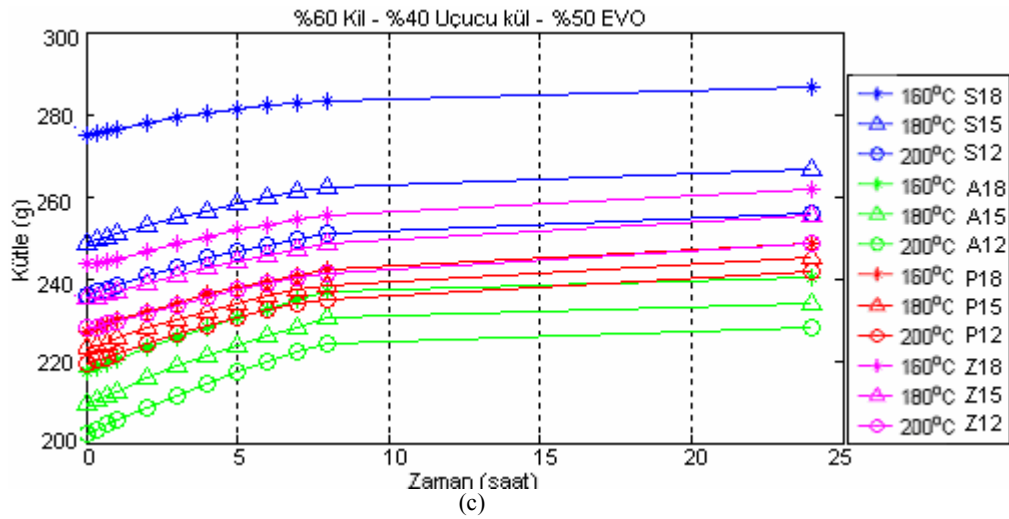
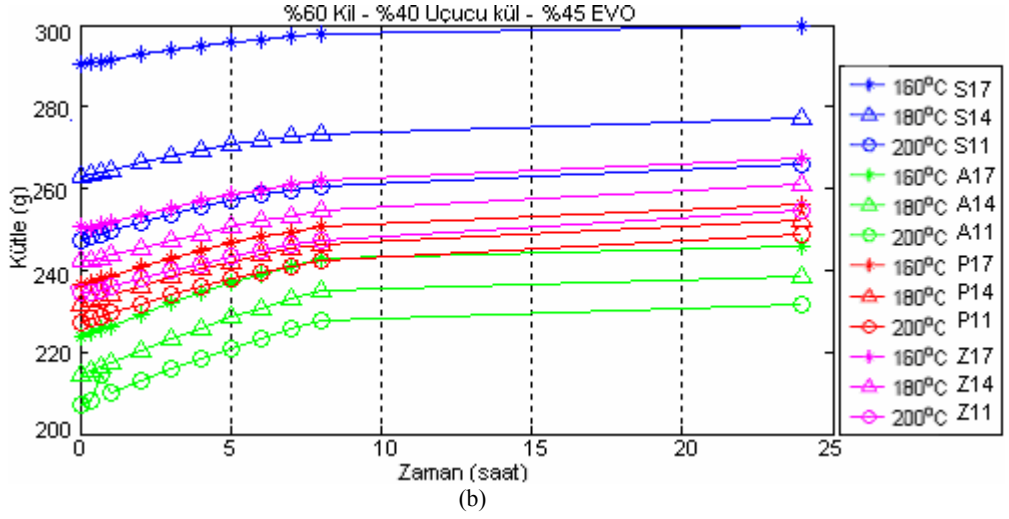
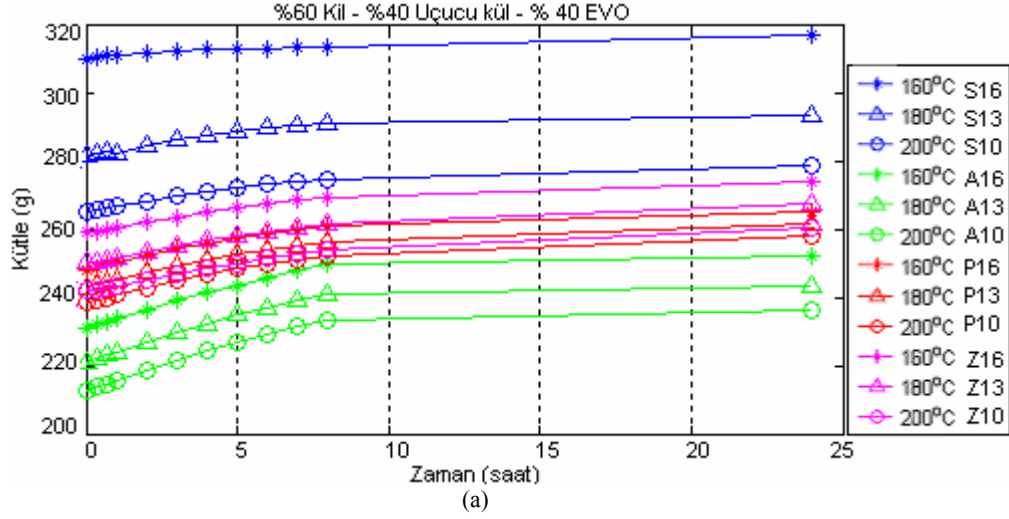
5.3.7.5. Numunelerin Su Emme Deneyleri

Şekil 5.50, Şekil 5.51, Şekil 5.52, Şekil 5.53 ve Şekil 5.54’de sırasıyla %70 kil-%30 uçucu kül, %60 kil-%40 uçucu kül, %50 kil-%50 uçucu kül, %40 kil-%60 uçucu kül, %30 kil-%70 uçucu kül oranında ve %40, %45, %50 epoksilenmiş bitkisel yağ içeriğinde üretilen numunelerin su emme işlemi süresince zamana bağlı olarak kütle değerlerinin değişimi verilmiştir.

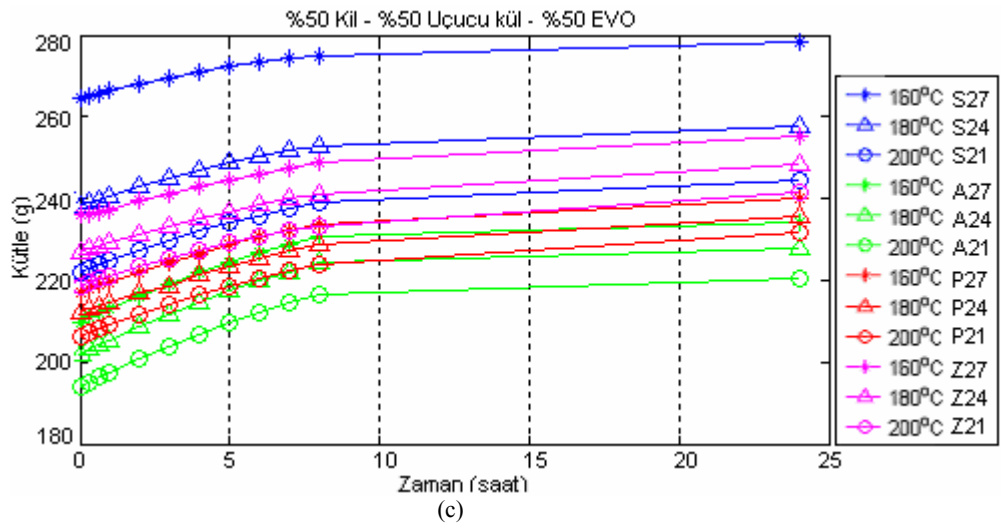
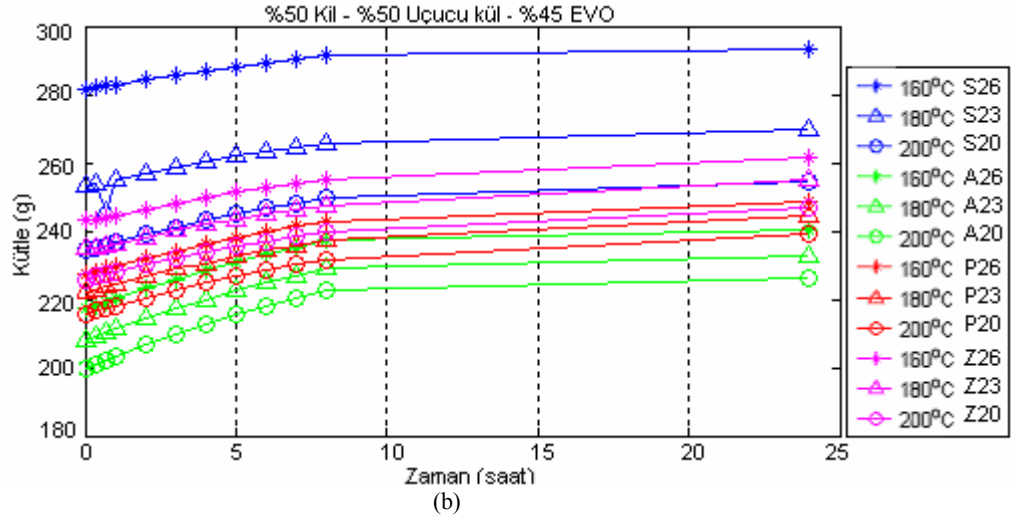
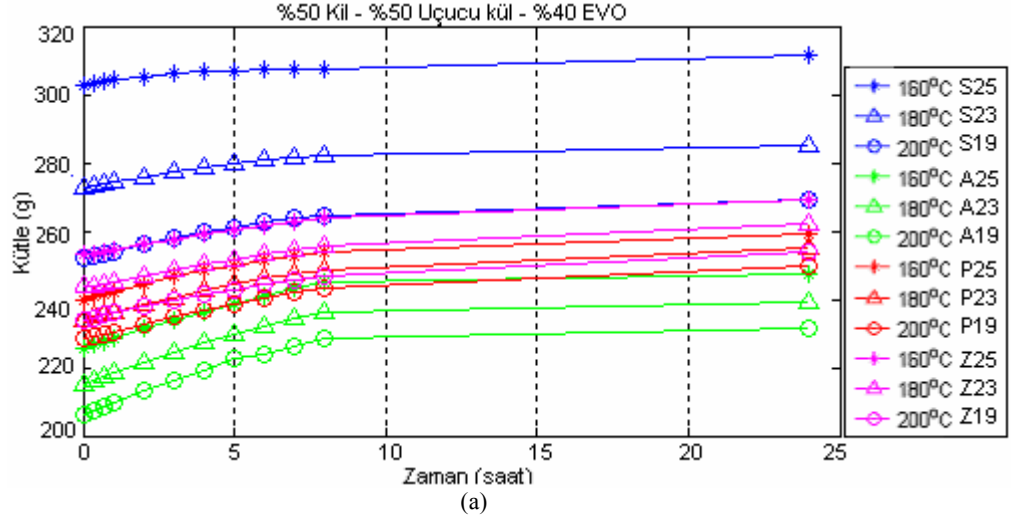
Numunelerin su içinde bekleme süresinin artışına paralel olarak, numunelerin bünyesine daha çok su emildiği ve numunelerin kütleleri yardımıyla tespit edilen doygunluğun ilerleyen zamanla birlikte arttığı gözlenmiştir. Numunelerin bünyesindeki yağ cinsine göre numunelere emilen su miktarlarının değişik oranlarda olduğu ve bu oranların değişimine paralel olarak numunelerin su içinde bekleme süresinin artışıyla numunelerin ağırlıklarının değişik sayısal aralıklarda arttığı tespit edilmiştir.



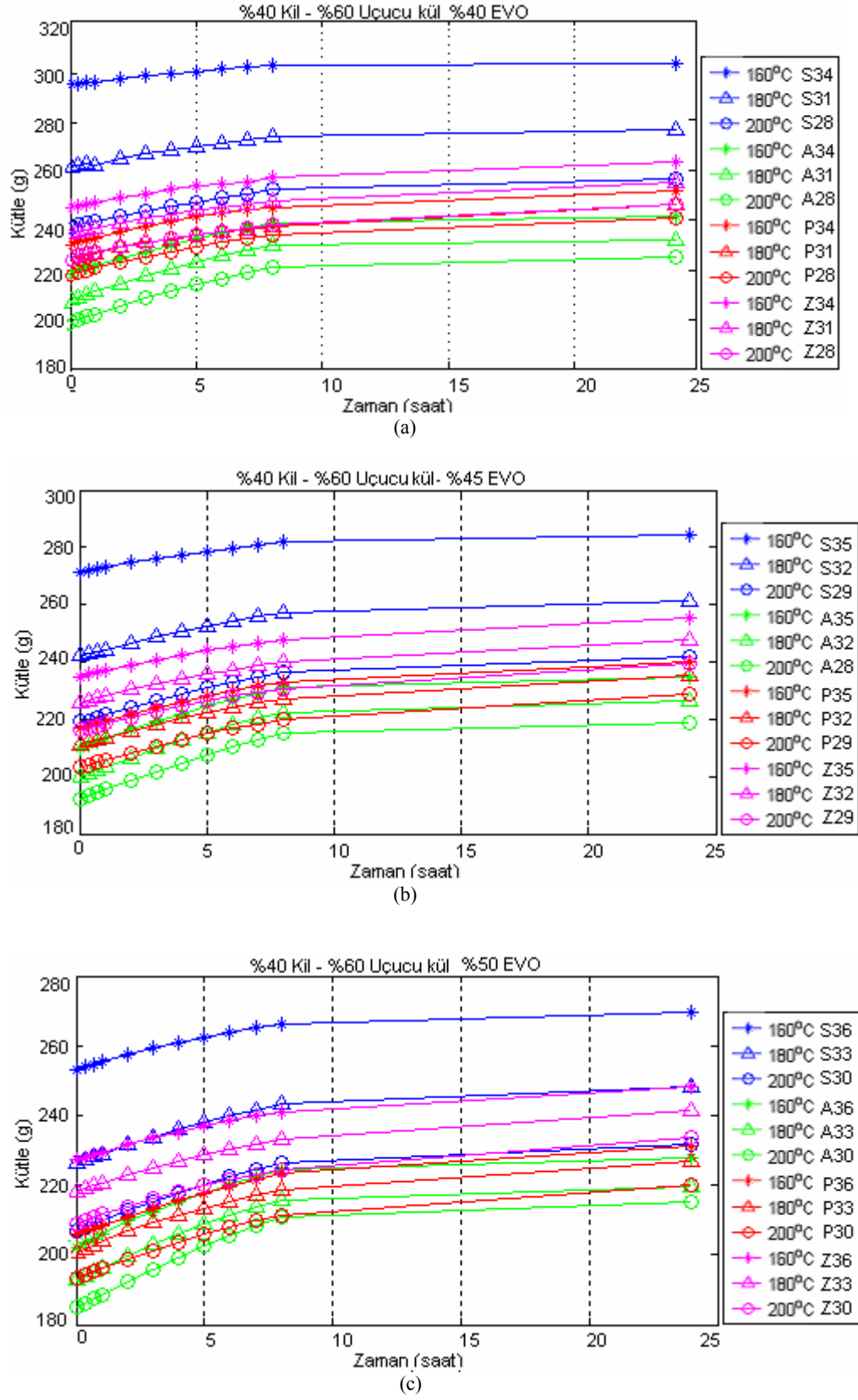
Şekil 5.50. %70 kil-% 30 uçucu kül oranında üretilen numunelerin su emme işlemi süresince zamana bağlı kütle değerlerinin değişimi **a.** %40 EVO **b.** %45 EVO **c.** %50 EVO



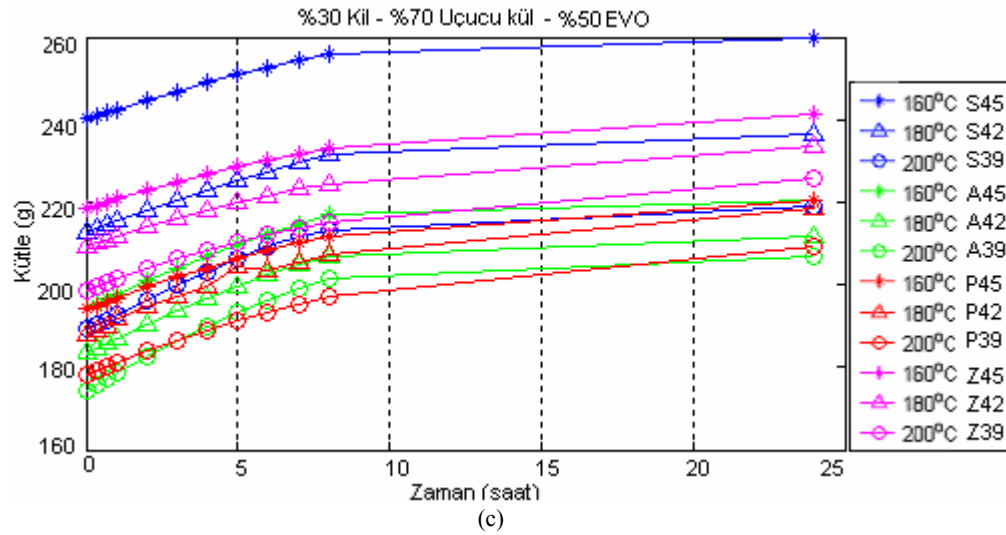
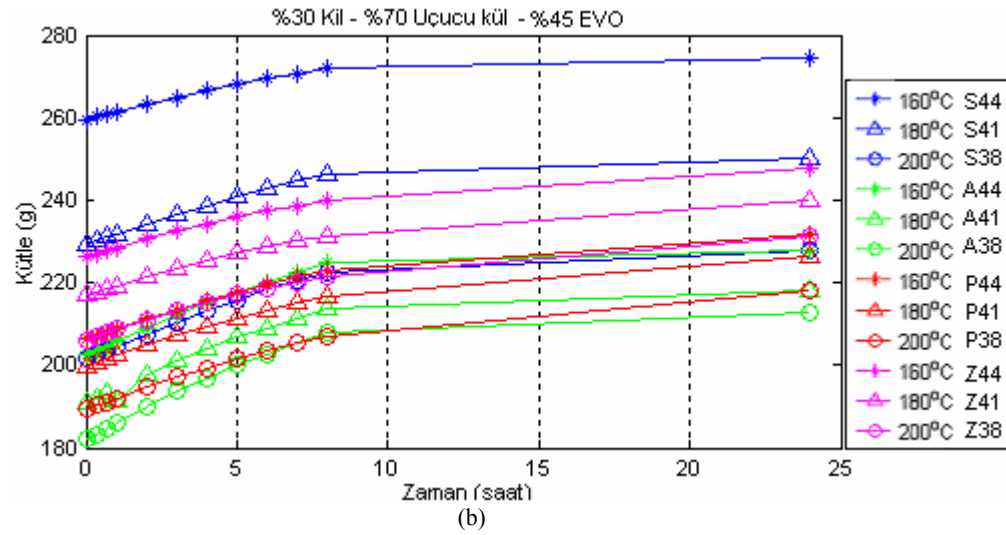
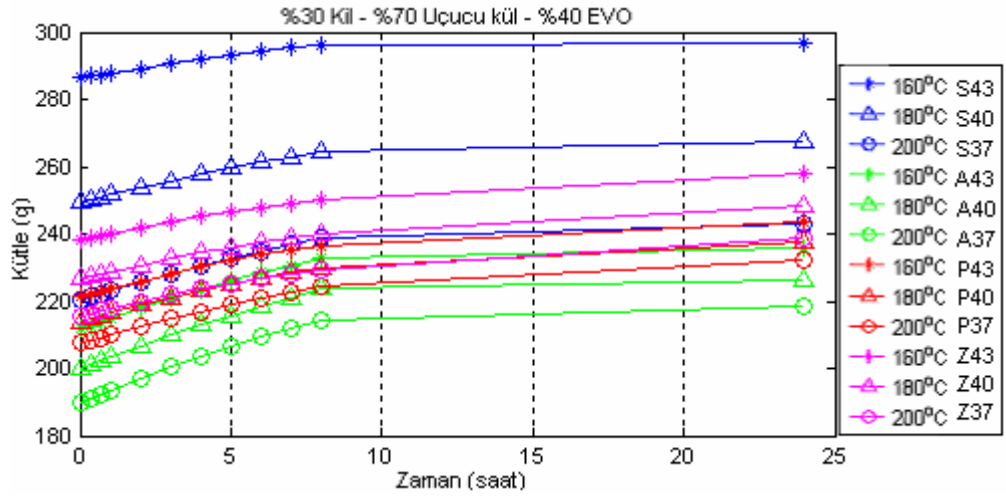
Şekil 5.51. %60 kil-%40 uçucu kül oranında üretilen numunelerin su emme işlemi süresince zamana bağlı kütle değerlerinin değişimi **a.** %40 EVO **b.** %45 EVO **c.** %45 EVO



Şekil 5.52. %50 kil-%50 uçucu kül oranında üretilen numunelerin su emme işlemi süresince zamana bağlı kütle değerlerinin değişimi **a.** %40 EVO **b.** %45 EVO **c.** %50 EVO



Şekil 5.53. %40 kıl-%60 uçucu kül oranında üretilen numunelerin su emme işlemi süresince zamana bağlı kütle değerlerinin değişimi **a.** %40 EVO **b.** %45 EVO **c.** %50 EVO



Şekil 5.54. %30 kil - %70 uçucu kül oranında üretilen numunelerin su emme işlemi süresince zamana bağlı kütle değerlerinin değişimi **a.** %40 EVO **b.** %45 EVO **c.** %45 EVO

Numunelerin tümünde su emme miktarı değerlerinin yüksek veya düşük oluşuna paralel olarak, en yüksek oranda zamana bağlı kütleel değişimlerinin ilk iki saat içinde gerçekleştiği belirlenmiştir. 3. saatten sonra 8. saate kadar kütleel değerlerdeki artışların ilk iki saatteki artışlara oranla giderek daha yavaş gerçekleştiği tespit edilmiştir. 8. saatten itibaren 24. saati tamamlayana kadar su içinde bekletilen numunelerden elde edilen kütleel ağırlaşma değerlerindeki artışların ilk 8 saate oranla çok düşük olduğu tespit edilmiştir.

5.3.8. Numunelerin Kuruma Hızlarının Tespiti

Kuruma hızı deneyinde amaç, numunelerin teneffüs kabiliyetinin araştırılmasıdır. Kuruma işlemi, malzeme yüzeyinden buharlaşma yolu ile olduğundan burada malzeme derinliğinden yüzeye kılcak kanallar vasıtasıyla suyun hareketi söz konusudur. Yani buhar geçirgenlik direnci vasıtasıyla rutubet bünyeden atılarak kurumaktadır. 24 saat su kabı içerisinde bekletilen numuneler sudan çıkarılıp bir bezle silindikten sonra 20°C lık oda sıcaklığında doğal kuruma bırakılmıştır. Kuruma hızı ölçümleri oda sıcaklığında doğal kuruma sonucu elde edilmiştir [107]. Kuruma hızı değerleri elde edilen veriler yardımıyla 5.12 formülü ile hesaplanmıştır ve belirlenen sonuçlar Tablo 5.18 ve Tablo 5.19’da gösterilmiştir.

$$K.H. = [(W_D - W_K) / W_D] \cdot 100 \quad (5.12)$$

5.3.8.1. Epoksilenmiş Bitkisel Yağ Miktarının, Numunelerin Kuruma Hızlarına Etkisi

160°C, 180°C ve 200°C’de işlem görmüş numunelerin bünyesindeki epoksilenmiş bitkisel yağ miktarına göre, numunelerin kuruma hızı değerlerinin değişimi Şekil 5.55’de, bu değişimlerin detaylı gösterimi EK-3’de, Ek 3.22, Ek 3.23, Ek 3.24’de verilmiştir.

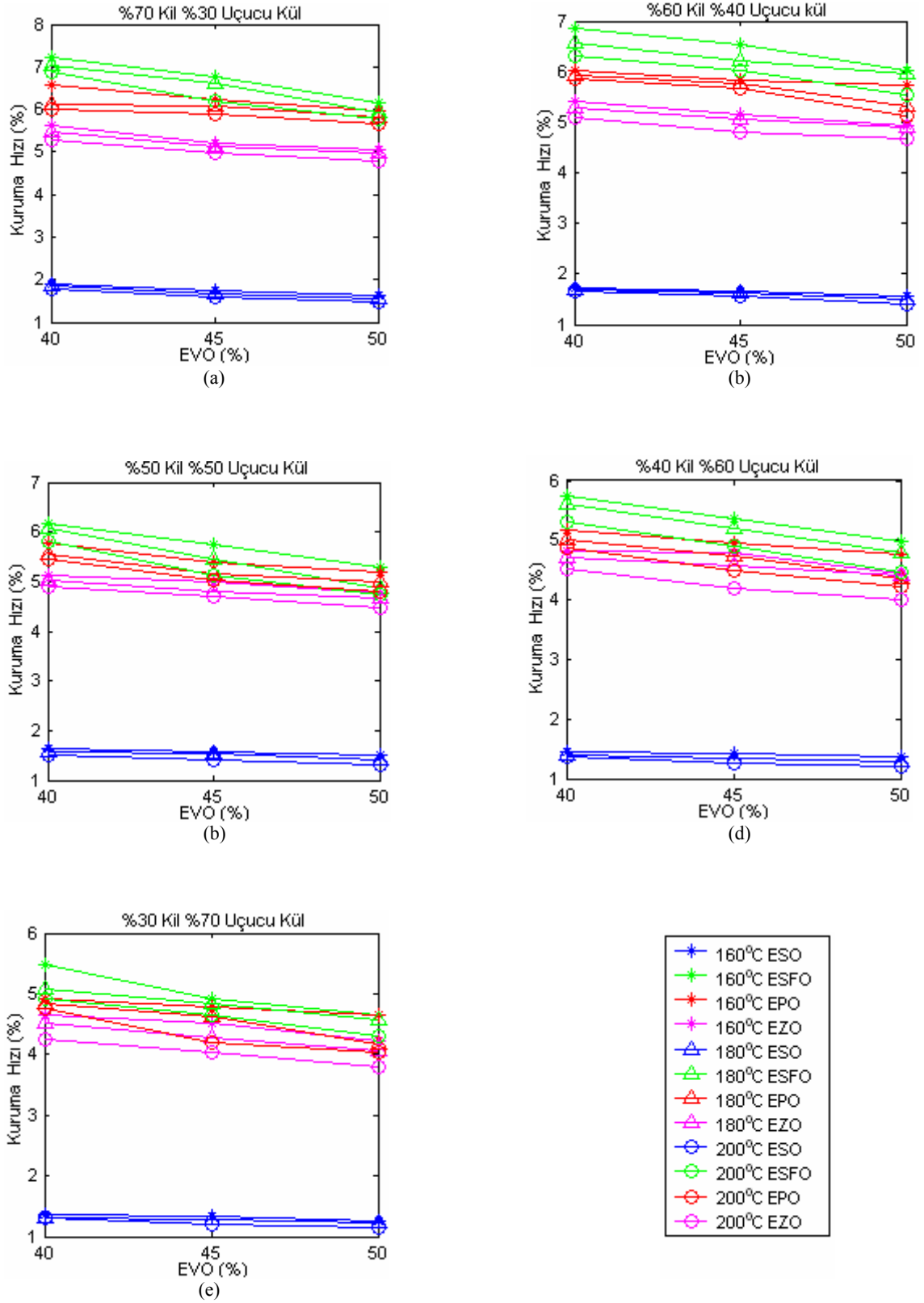
Malzemelerin yapısındaki epoksilenmiş bitkisel yağ miktarı arttıkça, kuruma hızı değerlerinde düşme olduğu tespit edilmiştir. Yapıdaki açık ve büyük çaplı gözenek ne kadar çoksa yapıya alınan su miktarıda o kadar çok olmaktadır. Aynı şekilde yapıya daha fazla oranda alınan suyun yapıdan atılmasında daha fazla zaman almaktadır. En düşük kuruma hızı değerleri, en yüksek EVO içeriğinde (%50), en yüksek kuruma hızı değerleri, en düşük EVO içeriğinde (%40) belirlenmiştir.

Tablo 5.18. Numunelere ait kuruma hızı (%) değerleri-1

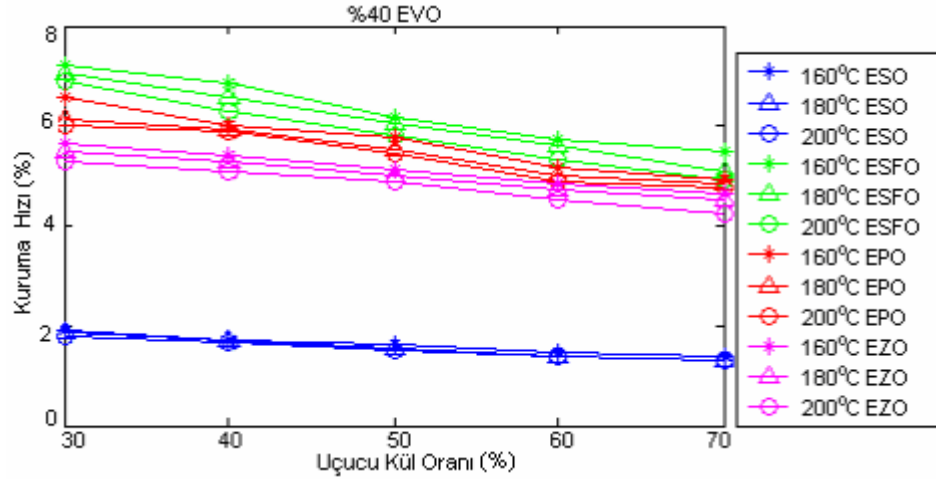
	Epoksilenmiş Soya yağı									Epoksilenmiş Ayçiçeği yağı								
	160°C			180°C			200°C			160°C			180°C			200°C		
	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50
%70 Kil %30Uçucu kül	1.9	1.76	1.61	1.85	1.68	1.54	1.79	1.6	1.48	7.21	6.78	6.15	7.04	6.61	5.93	6.88	6.19	5.79
%60 Kil %40ucu kül	1.72	1.66	1.57	1.69	1.62	1.49	1.65	1.56	1.39	6.84	6.52	6.01	6.58	6.2	5.97	6.31	6.02	5.55
%50 Kil %50 Uçucu kül	1.62	1.57	1.5	1.56	1.54	1.41	1.49	1.42	1.3	6.16	5.76	5.28	6.07	5.45	4.86	5.82	5.11	4.72
%40 Kil %60 Uçucu kül	1.46	1.43	1.38	1.4	1.33	1.28	1.38	1.27	1.21	5.74	5.36	4.97	5.61	5.19	4.79	5.32	4.89	4.47
% 30 Kil %70 Uçucu kül	1.37	1.33	1.26	1.32	1.29	1.23	1.32	1.2	1.16	5.48	4.91	4.66	5.09	4.85	4.58	4.92	4.65	4.31

Tablo 5.19. Numunelere ait kuruma hızı (%) değerleri-2

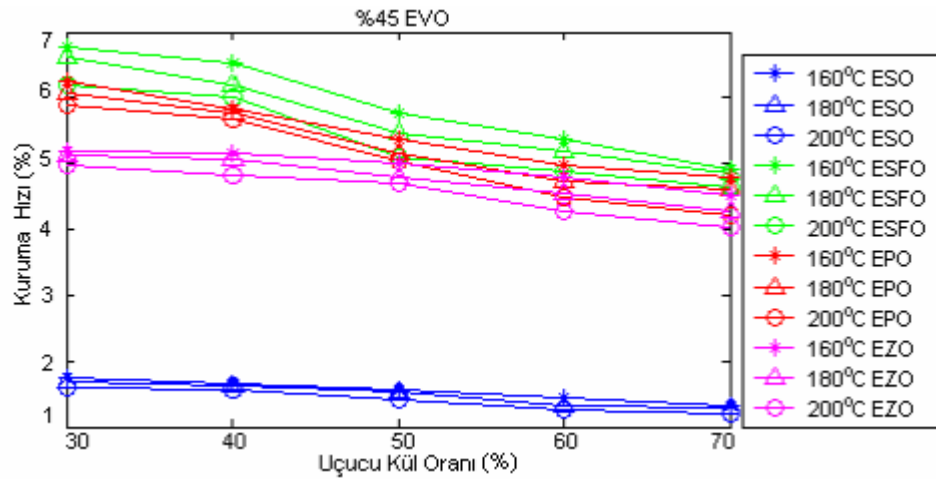
	Epoksilenmiş Palm yağı									Epoksilenmiş Zeytin yağı								
	160°C			180°C			200°C			160°C			180°C			200°C		
	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50	%40	%45	%50
%70 Kil %30Uçucu kül	6.58	6.25	5.98	6.13	6.07	5.8	6.02	5.9	5.67	5.63	5.2	5.05	5.48	5.14	4.99	5.27	4.96	4.78
%60 Kil %40Uçucu kül	6.02	5.82	5.74	5.93	5.77	5.31	5.87	5.67	5.12	5.4	5.16	4.93	5.27	5.06	4.9	5.1	4.81	4.67
%50 Kil %50 Uçucu kül	5.78	5.38	5.2	5.54	5.17	4.99	5.46	5.03	4.8	5.13	5	4.77	5.02	4.8	4.67	4.89	4.7	4.46
%40 Kil %60 Uçucu kül	5.17	4.96	4.77	5	4.74	4.36	4.88	4.5	4.23	4.83	4.78	4.45	4.72	4.56	4.4	4.51	4.28	3.99
% 30 Kil %70 Uçucu kül	4.92	4.79	4.65	4.83	4.62	4.18	4.77	4.2	4.03	4.64	4.51	4.23	4.51	4.27	4.05	4.26	4.03	3.8



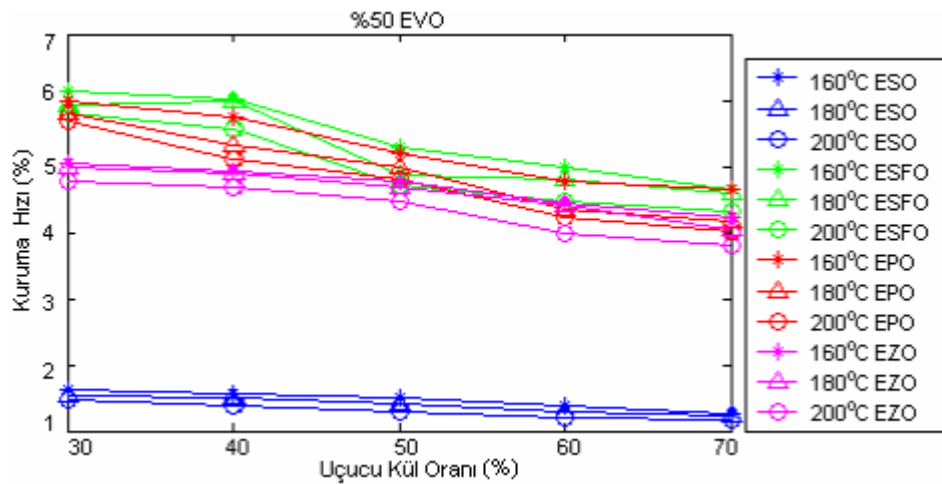
Şekil 5.55. Epoksilenmiş bitkisel yağ oranına göre, numunelerin kuruma hızı değerlerinin değişimi
a.%70kil %30UK b.%60kil %40UK c.%50kil %50UK d.%40kil %60UK e.%30kil %70UK



(a)



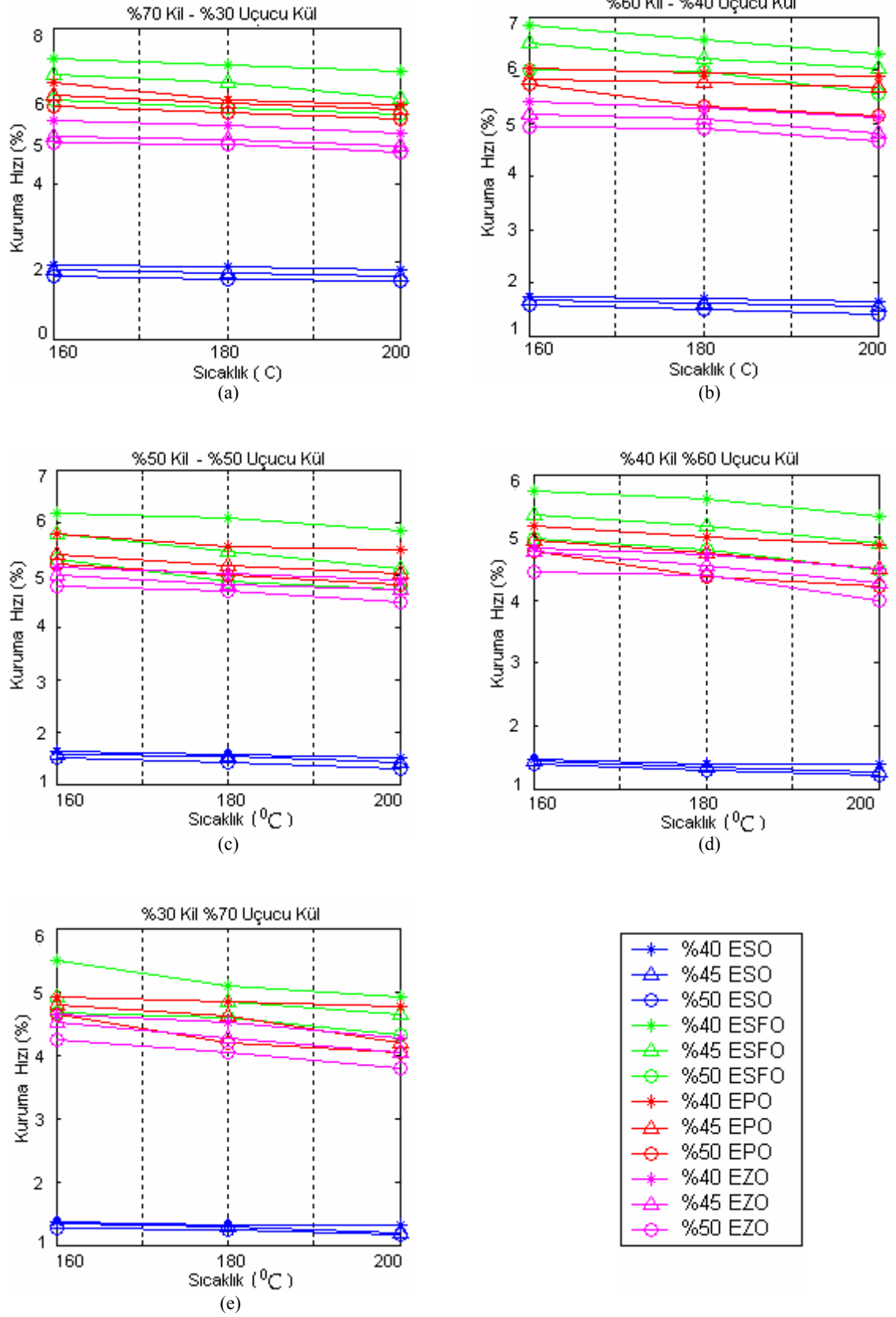
(b)



(c)

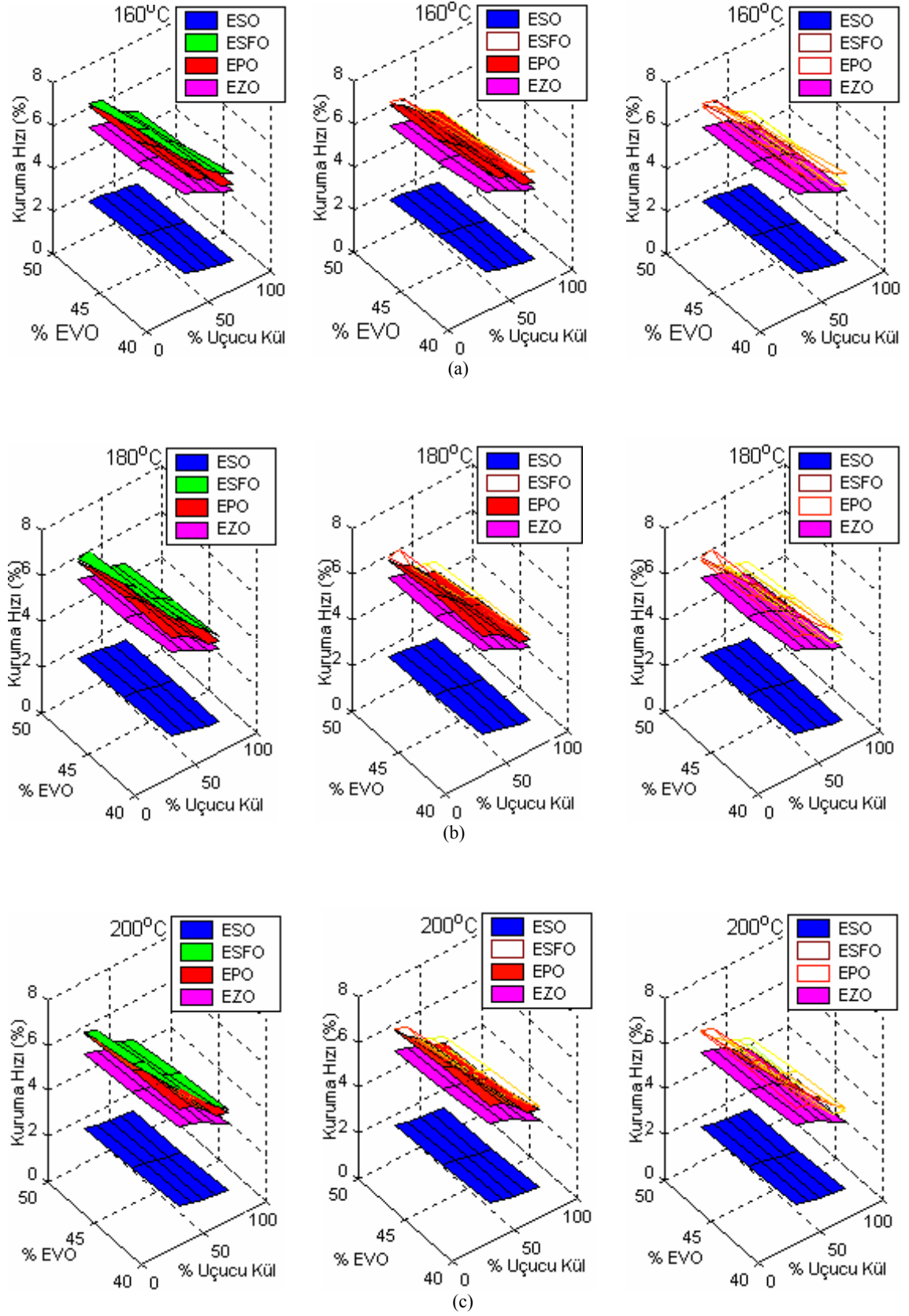
Şekil 5.56. Uçucu kül oranına göre, numunelerin kuruma hızı değerlerinin değişimi

a. %40 EVO oranında **b.** %45 EVO oranında **c.** %50 EVO oranında



Şekil 5.57. İşlem sıcaklıklarına göre, numunelerin kuruma hızı değerlerinin değişimi

a.%70kil %30UK b.%60kil %40UK c.%50kil %50UK d.%40kil %60UK e.%30kil %70UK



Şekil 5.58. Yağ cinsine göre, numunelerin kuruma hızı değerlerinin değişimi

a. 160 °C işlem sıcaklığı **b.** 180 °C işlem sıcaklığı **c.** 200 °C işlem sıcaklığı

5.3.8.2. Uçucu Kül Miktarının, Numunelerin Kuruma Hızlarına Etkisi

Şekil 5.56’da içeriğinde %40, %45 ve %50 oranlarında EVO içeren numunelerin, bünyelerindeki uçucu kül miktarının %30, %40, %50, %60 ve %70 oranlarında değişmesiyle elde edilen kuruma hızı değerleri grafiklere aktarılmıştır.

Numunelerin bünyesindeki uçucu kül miktarı arttıkça, numunelerden elde edilen kuruma hızı değerlerinin düştüğü tespit edilmiştir. Numunelerden elde edilen en yüksek kuruma hızı değerleri %30 uçucu kül içeriğinde, en düşük kuruma hızı değerleri %70 uçucu kül içeriğinde tespit edilmiştir. Bu durum, numunelerin içeriğindeki uçucu kül yüzdesinin artmasıyla bağlantılı olarak yapıda fazlalaşan poroziteyle açıklanabilir. Numunelerin kuruma hızı değerlerinin, gözeneklilik oranındaki artışa bağlı olarak düştüğü belirlenmiştir.

5.3.8.3. İşlem Sıcaklığının, Numunelerin Kuruma Hızlarına Etkisi

Şekil 5.57’de tüm kil ve uçucu kül içeriklerinde üretilen numunelerden, yapılarındaki EVO miktarına göre, 160⁰C, 180⁰C, 200⁰C sıcaklıklarda elde edilen kuruma hızı değerleri karşılaştırılmıştır.

Numunelerin işleme tabi tutulduğu sıcaklık değeri arttıkça, numunelerden elde edilen kuruma hızı değerlerinde azalma olduğu tespit edilmiştir. Bu azalmanın sebebi, sıcaklık değerlerindeki artışın yapının porozitesini arttırmasıyla bağlantılı olarak, porozite miktarı yoğun bölgelere emilen suyun bünyeden kolay atılamamasıdır.

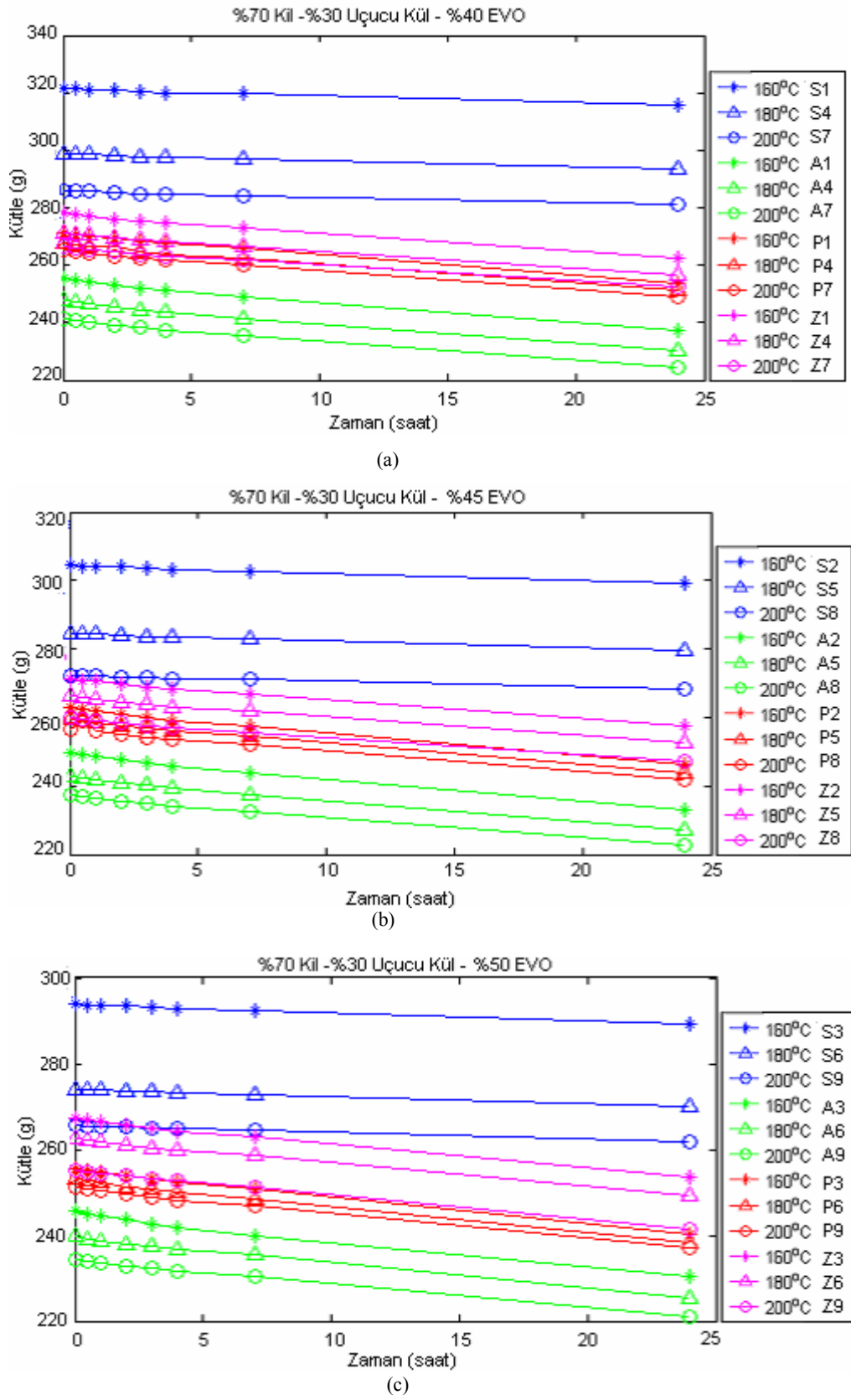
5.3.8.4. Yağ Cinsinin, Numunelerin Kuruma Hızlarına Etkisi

Şekil 5.58’de 160⁰C, 180⁰C ve 200⁰C’de, değişik uçucu kül ve epoksilenmiş bitkisel yağ oranlarında elde edilen numunelerin, içeriğinde kullanılan epoksilenmiş yağ cinsine göre tespit edilmiş kuruma hızı değerlerinin kıyaslaması yapılmıştır.

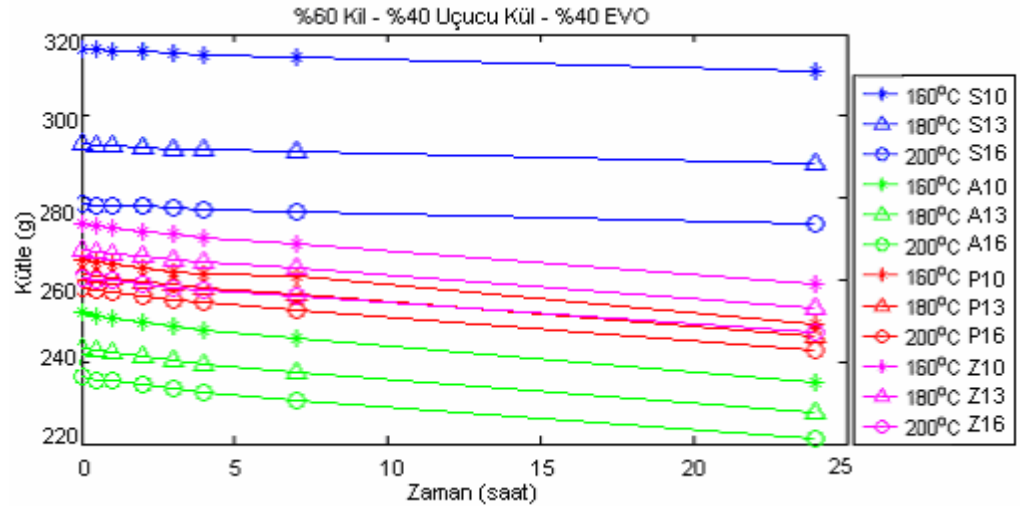
Numunelerin içeriğinde kullanılan farklı yağ cinslerinin, kuruma hızı değerlerini farklı oranlarda düşürdüğü tespit edilmiştir. Numunelerin içeriğindeki diğer malzemelerin ve kullanılan yağ cinsinin etkisiyle yapıda oluşan porozitenin şekline ve boyutuna göre kuruma hızı değerlerinin değişik oranlarda düştüğü gözlenmiştir.

5.3.8.5. Numunelerin Kuruma Hızı Deneyleri

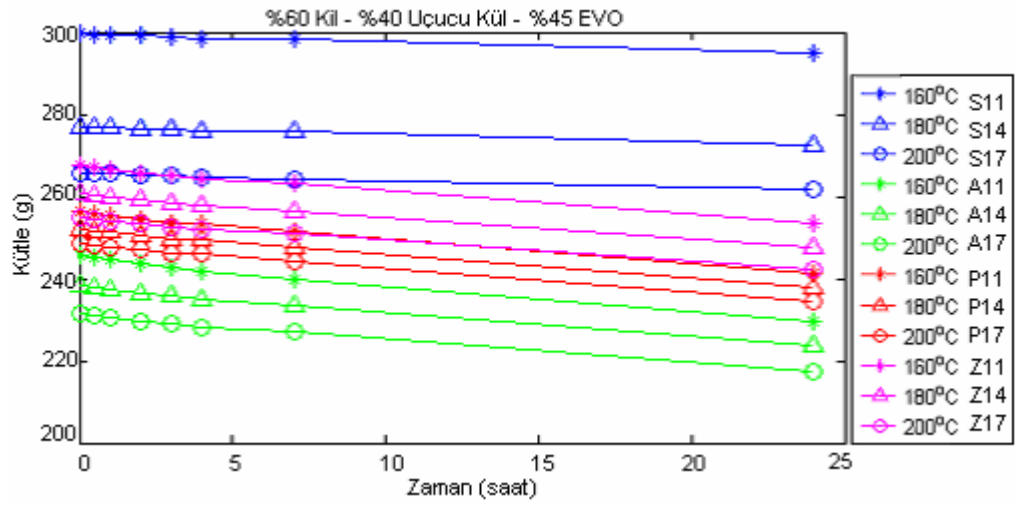
Şekil 5.59, Şekil 5.60, Şekil 5.61, Şekil 5.62 ve Şekil 5.63’de sırasıyla %70-%30, %60-%40, %50-%50, %40-%60, %30-%70 kil-uçucu kül oranlarında ve %40, %45, %50 epoksilenmiş bitkisel yağ içeriğinde üretilen numunelerin kuruma hızı işlemi süresince zamana bağlı olarak kütle değerlerinin değişimi verilmiştir.



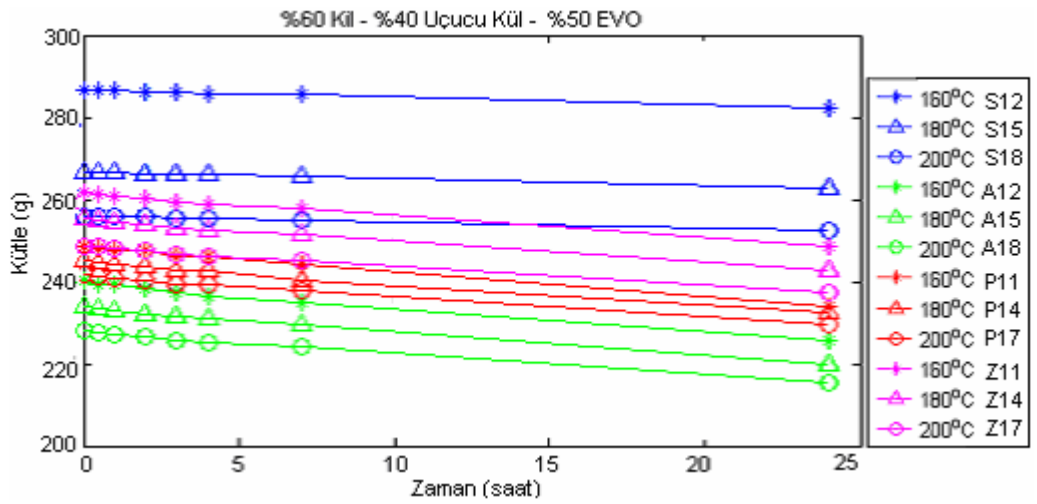
Şekil 5. 59. %70 kil-%30 uçucu kül oranında üretilen numunelerin kuruma işlemi süresince zamana bağlı kütle değerlerinin değişimi **a.** %40 EVO **b.** %45 EVO **c.** %50 EVO



(a)

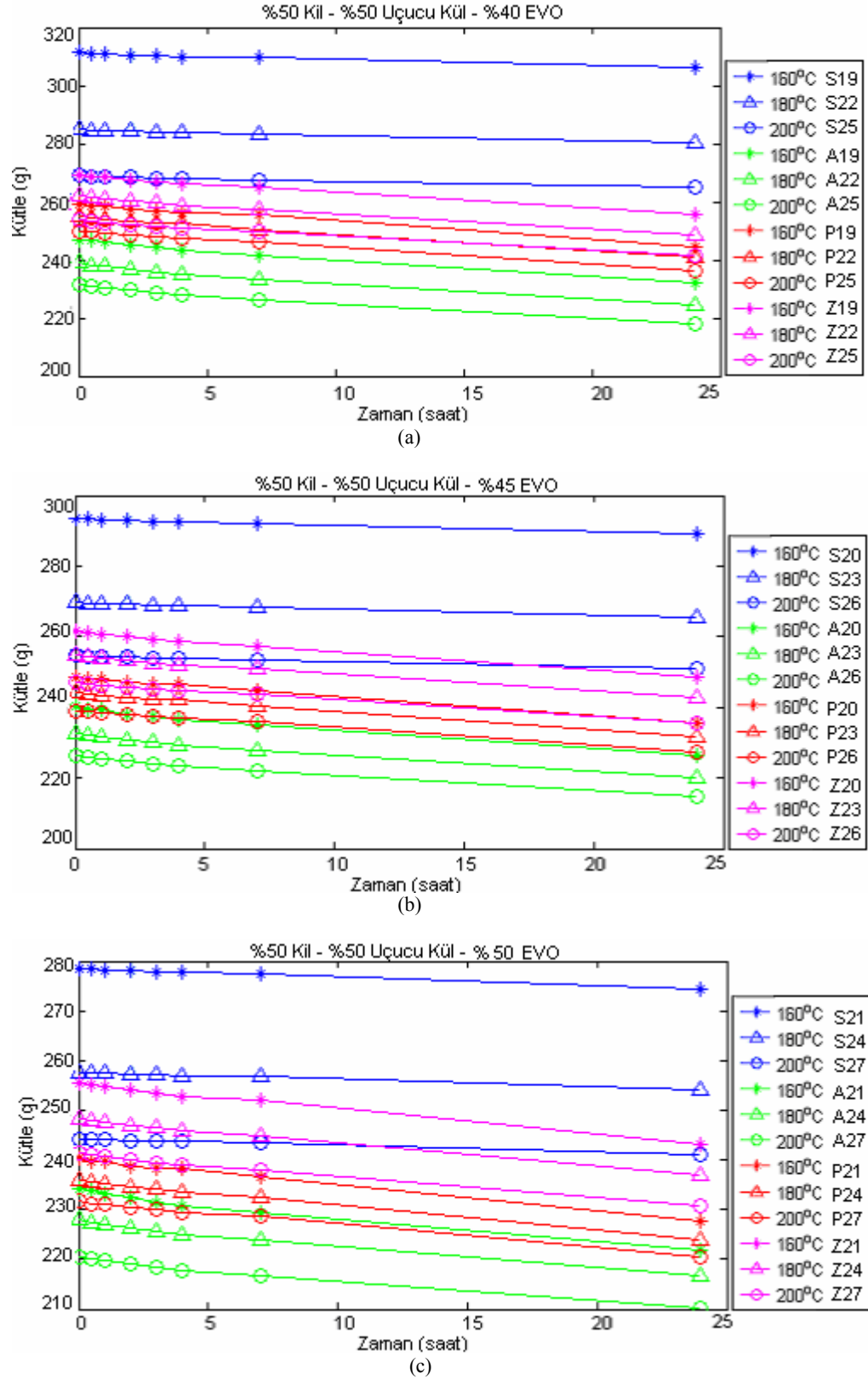


(b)

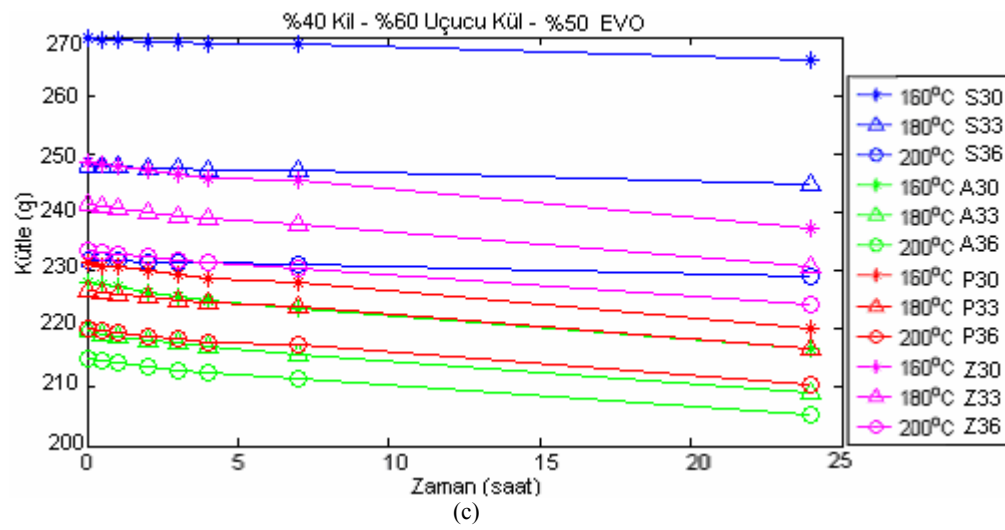
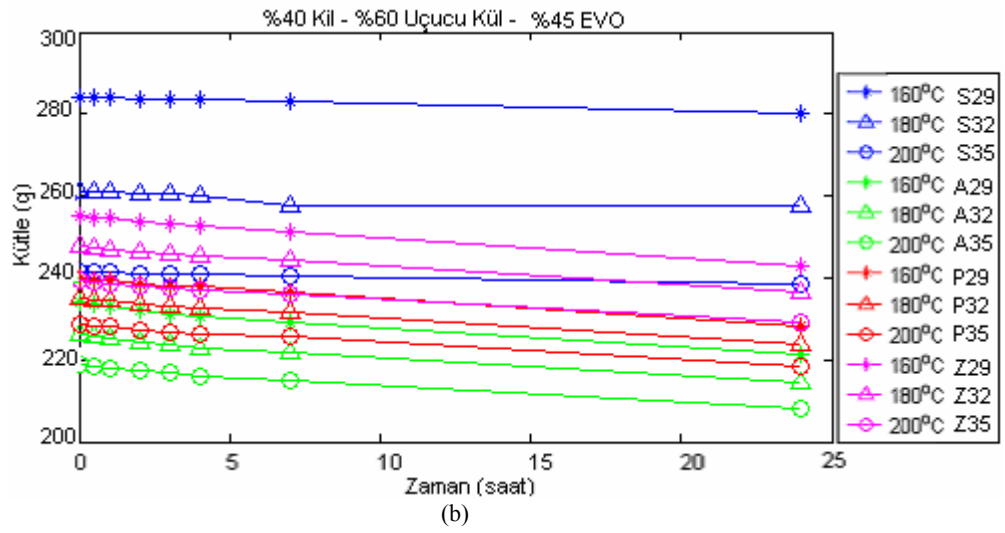
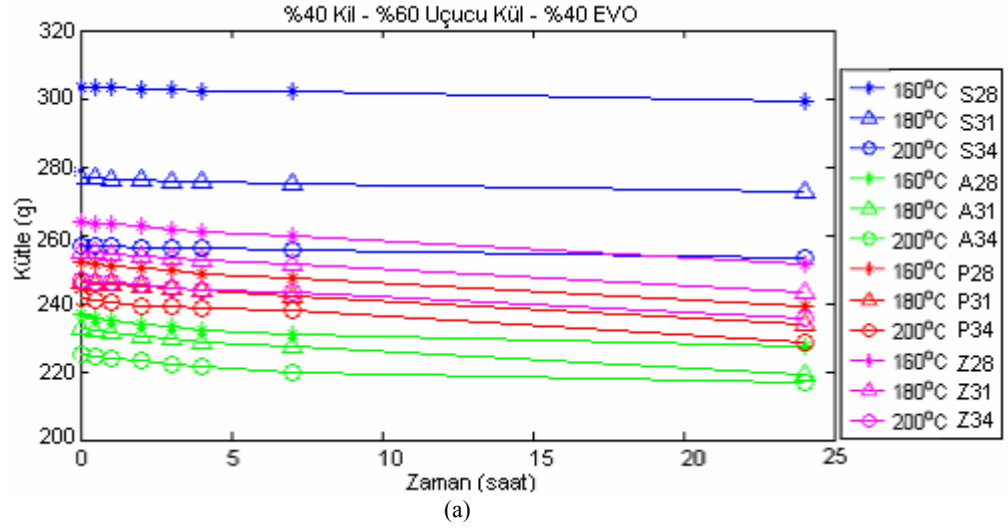


(c)

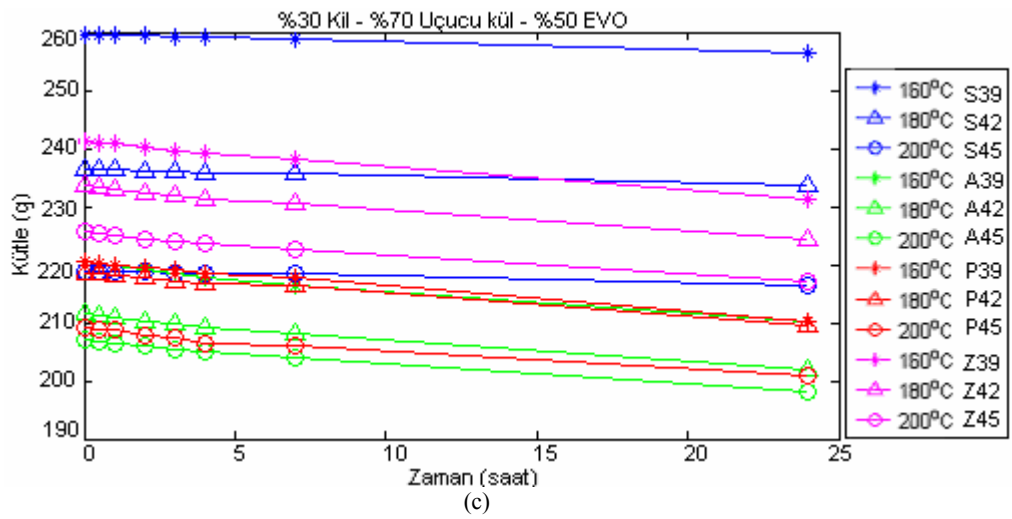
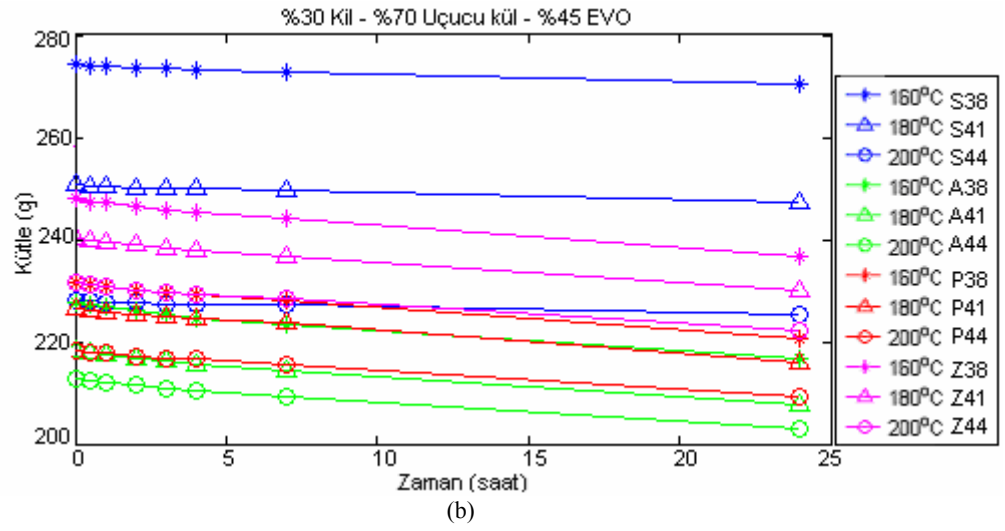
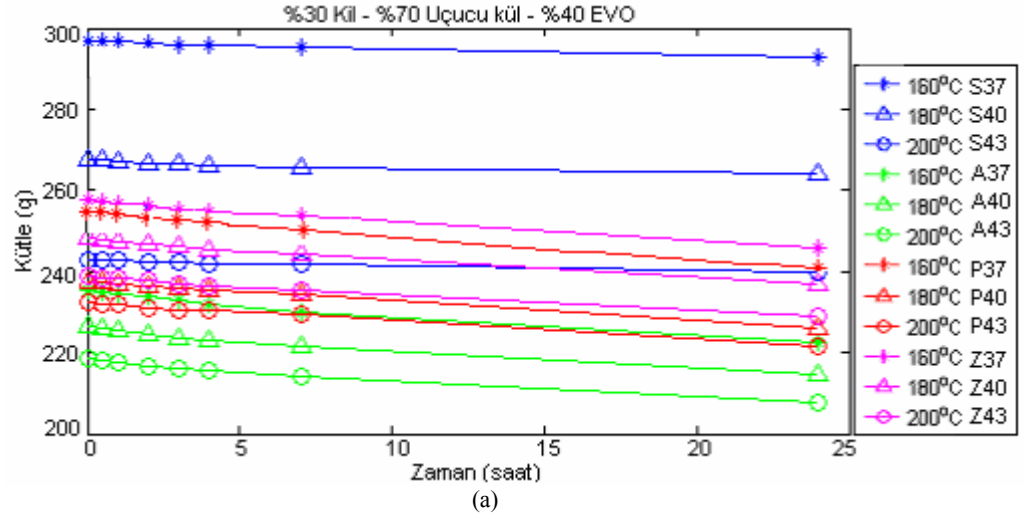
Şekil 5.60. %60 kil-%40 uçucu kül oranında üretilen numunelerin kuruma işlemi süresince zamana bağlı kütle değerlerinin değişimi **a. %40 EVO** **b. %45 EVO** **c. %50 EVO**



Şekil 5.61. %50 kil-%50 uçucu kül oranında üretilen numunelerin kuruma işlemi süresince zamana bağlı kütle değerlerinin değişimi **a.**%40 EVO **b.** %45 EVO **c.** %50 EVO



Şekil 5.62. %40 kil-%60 uçucu kül oranında üretilen numunelerin kuruma işlemi süresince zamana bağlı kütle değerlerinin değişimi **a. %40 EVO** **b. %45 EVO** **c. %50 EVO**



Şekil 5.63. %30 kil-%70UK oranında üretilen numunelerin kuruma işlemi süresince zamana bağlı kütle değerlerinin değişimi **a.** %40 EVO **b.** %45 EVO **c.** %50 EVO

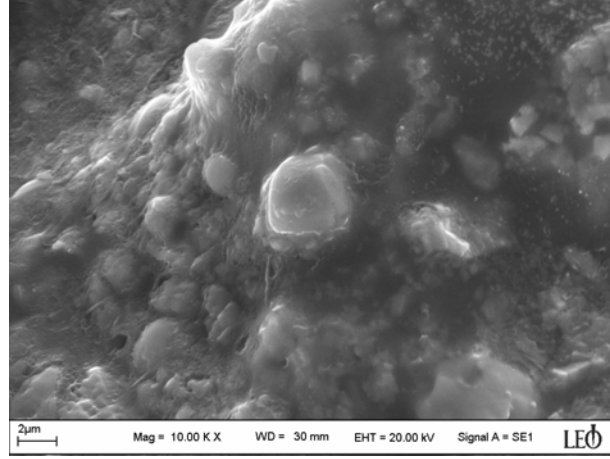
Numunelerin bünyesinde artan porozite dolayısıyla, su emme testi sırasında emilen su miktarı arttıkça, numunelerin kuruma hızlarının düştüğü belirlenmiştir. Numunelerin tümünde kuruma hızı değerlerinin yüksek veya düşük oluşuna paralel olarak, en yüksek oranda zamana bağlı kütleli değişimlerinin ilk iki saat içinde gerçekleştiği belirlenmiştir. 3. ve 4. saatler içinde kütleli değerlerdeki azalmaların ilk iki saatteki azalmalara oranla biraz daha yavaş gerçekleştiği tespit edilmiştir. İlk 4 saat ile 7 saat arasında kütleli değerlerdeki azalmaların, ilk 4 saatten daha yavaş olduğu belirlenmiştir. 7. saatten sonra kütleli değerlerdeki azalmanın ilk 7 saate göre çok çok daha az oranda gerçekleştiği tespit edilmiştir. 24 saat sonunda numunelerin hiçbirinden etüv çıkışında tespit edilen kütleli değerlere çok yakın sonuçlar alınmasada, kuruma süresindeki artışla beraber numunelerdeki kütleli değerlerin azalarak bahsedilen değerlere yakın sonuçlar elde edileceği açıktır.

5.4. Numunelerin SEM Analizi

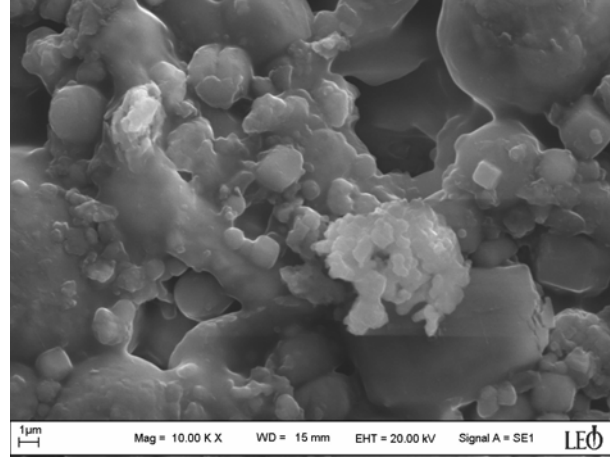
Deneyisel çalışmada elde edilen numunelerden, ısı iletkenlik katsayısı bakımından en iyi sonuçları veren S45, A45, Z45 ve P45 nolu numunelerin SEM görüntüleri Malatya İnönü Üniversitesi laboratuvarlarında tespit edilmiştir. Numunelere ait görüntüler Şekil 5.64, Şekil 5.65, Şekil 5.66, Şekil 5.67’de verilmiştir. Ardından SEM görüntülerine ait yorumlar yapılmıştır.

Şekil 5.64’deki S45 nolu numunede kil tanelerinin ebatları tam ve net olarak belirlenememektedir. Uçucu kül tanelerinin ise maksimum 10 µm ebatlı oldukları görünse de uçucu kül tanelerinin çoğunluğu birbirileri ile tam bir birleşim göstermiş olan kil taneleri arasında homojen olarak dağılıp bu yapı içinde sentezleşmiş ve bir bütünlük içinde görülmektedir. Bir başka ifade ile uçucu kül taneleri yapıda kilin oluşturduğu matris içinde dağılmış, adeta bir kompozit görüntüsü vermektedir. Ancak yapıda bazen çatlakların oluştuğu belirlenmiştir. Çatlakların oluştuğu ve yoğunlaştıkları bölgelerde daha fazla kül görülmektedir. Başka bir ifadeyle, muhtemelen küllerin yoğunlaştıkları kümeleştikleri bölgelerde çatlakların oluşumuna sebebiyet vermiş bir durum izlenmiştir.

Şekil 5.65’deki A45 nolu numunede kil tanelerinin 20-30 µm ebatlı oldukları, kül tanelerinin ise 1-3 µm ebatlı oldukları görülmüştür. Kil taneleri arasındaki bağın geliştiği, sinterleşme ile kil taneleri arasında birleşmenin oluştuğu görülmüş, kil taneleri arasındaki boşlukların S45 numunesine göre çok daha fazla olduğu belirlenmiştir. Taneler arasında 5-15µm lik boşlukların kaldığı belirlenmiştir. Uçucu kül tanelerinin kil taneleri ile birleşme gösterdiği, ancak bu birleşmenin kil taneleri arasındaki bağ gibi bir birleşme olmadığı görülmüştür. Kil tanelerinin homojen olarak dağılmadığı yer yer uçucu kül taneleri arasında kümeleşmelerin olduğu görülmüştür.

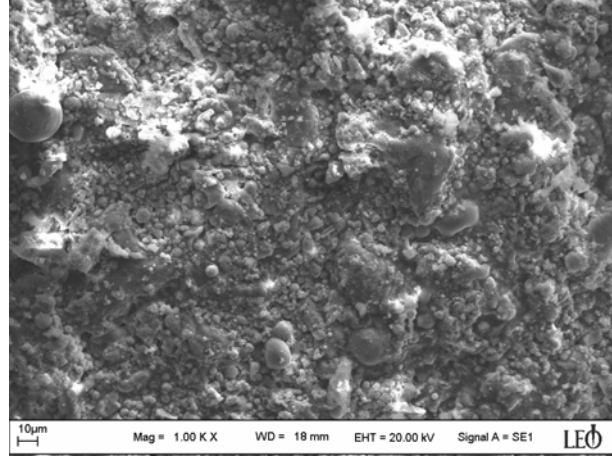


Şekil 5.64. S45 nolu numunenin SEM görüntüsü

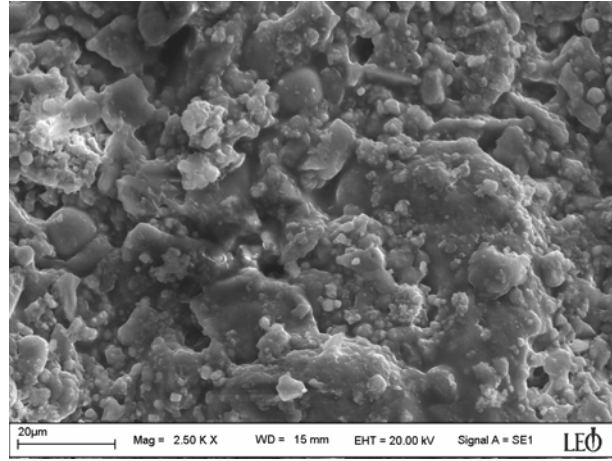


Şekil 5.65. A45 nolu numunenin SEM görüntüsü

Şekil 5.66'daki Z45 nolu numunede kil taneleri arasında bağın geliştiği ancak kil taneleri arasında bağın tam net olarak bir yapı oluşturmadığı görülmüş ve kil tanelerinin ebatları 10-20 µm olarak ölçülmüştür. Uçucu kül tanelerinin ise maksimum 10 µm ebatlı oldukları görülmüştür. Uçucu kül tanelerinin çoğunluğu birbirileri ile tam bir birleşme göstermemiştir. Uçucu kül taneleri yapıda homojen olarak dağılmış gibi görünse de kil taneleri arasında ve tane boşluklarında daha çok yoğunlaştıkları belirlenmiştir. Kül tanelerinin yapıda tamamen sentezlenemedikleri, çünkü yapıda taneler arası boşlukların olduğu ve bu boşlukların yaklaşık 5 µm olduğu görülmektedir.



Şekil 5.66. Z45 nolu numunenin SEM görüntüsü



Şekil 5.67. P45 nolu numunenin SEM görüntüsü

Şekil 5.67'deki P45 nolu numunede kil taneleri arasında bağın istenen ölçüde gelişmediği, kil taneleri arasındaki bağın tam net olarak bir yapı oluşturmadığı görülmüştür. Kil tanelerinin ebatları 20 -30 µm olarak ölçülmüştür. Uçucu kül tanelerinin ise maksimum 10 µm ebatlı oldukları görülmüştür. Uçucu kül tanelerinin çoğunluğu birbirileri ile tam bir birleşme göstermemiştir. Kül taneleri yapıda homojen olarak dağılmış gibi görünse de kil taneleri arasında ve tane boşluklarında daha çok yoğunlaştıkları belirlenmiştir. Kül tanelerinin yapıda tamamen sentezlenemedikleri tespit edilmiştir. Çünkü yapıda taneler arası boşlukların olduğu görülmüştür. Bu boşlukların sayısının diğer numunelere göre çok daha fazla olduğu ve boşluk çaplarının yaklaşık 10 µm olduğu görülmektedir.

6. SONUÇLAR, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Farklı oranlardaki Afşin Elbistan uçucu külü, kil ve epoksilenmiş bitkisel yağ karışımlarından üretilen malzemelerin ısı ve mekanik özelliklerinin araştırılması üzerine yapılan bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar ortaya çıkmıştır.

1. Türkiyede çalışır durumdaki termik santrallerde, yıllık üretimi 15 milyon tonu aşan uçucu kül potansiyeli mevcuttur. Bu küllerin yapı malzemesi üretiminde değerlendirilmesi halinde, termik santrallerde bu atık malzemenin depolanması, taşınması, çevreye olan istenmeyen etkileri... gibi sorunlara çözüm gelecektir.
2. Ülkemizde inşaat malzemelerine olan talep ve malzeme maliyetleri giderek artan bir hızla yükselmektedir. Bu çalışmada uçucu kül, kil, epoksilenmiş bitkisel yağ kombinasyonu şeklinde ısı, ses ve neme karşı yalıtım özelliğine sahip aynı zamanda aşınmaya karşı dirençli yeni kompozit malzemeler elde edilmiştir. Üretilen bu malzemelerin gerek çatı yalıtımında gerekse toprak altı ve toprak üstü duvarlarda kaplama plakası olarak kullanılması ile binalar ısı, ses ve neme karşı korunmuş olurken yalıtım malzemesi üretiminde yenilenebilir kaynakların kullanılması, petrol temelli malzemelere olan bağımlılığı ortadan kaldırarak ucuz üretimlere zemin hazırlayacaktır. Uçucu küller aynı zamanda yalıtım özelliğine sahip malzemelerdir. Bu malzemenin yapı yalıtımında malzeme olarak değerlendirilmesi halinde binaların ısıtılma-soğutulması esnasında önemli oranda enerji tasarrufu sağlanacak, dolayısıyla yakıt tüketimi azaltılarak ülke ekonomisine olumlu yönde katkıda bulunulmuş olacaktır.
3. Alternatif enerji kaynağı olarak kullanılan tarımsal ham malzemelerin kompozit üretimine destek verecek şekilde yapılandırılması tarımsal ürünlerin tam anlamıyla değerlendirilmesi yönünde önemli bir adım olacaktır.
4. Biotemelli ürünlerin çevre dengesini (ekolojik dengeyi) bozmayan yapısı önemlidir. Aynı özellikli malzemeyi petrol temelli değil tarımsal temelli kaynaklardan elde etmek insan sağlığı için de olumlu etkilere zemin hazırlayacaktır.
5. Bu çalışma ile termik santral uçucu külü gibi katı gözenekli malzemelere bağlayıcı olarak çeşitli oranlarda kil ve dört çeşit epoksilenmiş bitkisel yağ karışımı ayrı ayrı katılmak suretiyle elde edilen malzemelerin ısı iletim katsayılarının hesaplanmasında kullanılabilecek cebirsel bir denklem geliştirilmiştir. Bu denklem ile dört çeşit epoksilenmiş bitkisel yağla yapılmış numunelere ait ısı iletim katsayısı hesaplanmıştır. Aynı malzemeler için elde edilen deneysel sonuçların, kuramsal sonuçlarla uyum içinde olduğu saptanmıştır. Ancak deneysel sonucun kuramsal sonuçtan büyük çıktığı görülmüştür. Bunun nedeni

matematiksel denklemin geliştirilmesi sırasında yapılan kabullerden ileri gelmekte ve doğal olarak gerçek ölçümden farklı çıkmaktadır.

6. Epoksilenmiş bitkisel yağlar, kille ve daha sonra uçucu külle bir araya getirilip, belli sıcaklıklarda işleme alındığında, sıcaklıktaki, uçucu kül ve epoksilenmiş bitkisel yağ miktarındaki artışla birlikte üretilen malzemelerin bünyesindeki kabarmaların, dolayısıyla gözeneklerin fazlalaştığı gerek nem testi sonuçlarıyla gerekse gözlemsel olarak belirlenmiştir. Bu durumun sonucu olarak, üretilen yapı malzemelerinin işlem aşamaları esnasında kullanılan sıcaklıkların en yüksekinde (200°C 'de), maksimum epoksilenmiş bitkisel yağ miktarında (%50) ve en fazla uçucu kül miktarında (%70 uçucu kül- %30 kil) elde edilen numunelere ait sonuçlar incelendiğinde;

- En düşük ısı iletim katsayısı (0.250 W/mK)
- En düşük yoğunluk ve kütle (0.969 g/cm^3 ve 174.42 g)
- En düşük basma ve çekme mukavemeti (1.5 MPa ve 0.428 MPa)
- En düşük kuruma hızı (%1.16)
- En yüksek su emme (%18.67)
- En yüksek aşınma kaybı (%5.85)

olarak elde edilmiştir.

9. Uçucu kül, kil ve epoksilenmiş bitkisel yağ içeren numunelerde; uçucu kül oranı, sıcaklık ve epoksilenmiş bitkisel yağ miktarı arttıkça ısı iletim katsayısı değerinin azaldığı, yapıdaki kil oranının artışıyla ısı iletim katsayısı değerinin arttığı tespit edilmiştir. Numunelerden elde edilen ısı iletim katsayısı değerlerinin $0.496\text{-}0.250 \text{ W/mK}$ arasında değiştiği belirlenmiştir. En yüksek ısı iletim katsayısı değeri S1 kodlu numunede, en düşük ısı iletim katsayısı değeri A45 kodlu numunede 0.250 W/mK olarak tespit edilmiştir.
10. Numunelerde uçucu kül oranı, sıcaklık ve epoksilenmiş bitkisel yağ miktarı arttıkça kütle ve yoğunluk değerlerinin azaldığı, yapıdaki kil oranının artışıyla kütle ve yoğunluk değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Deney numunelerinin ağırlıklarının $315.72 - 174.42 \text{ g}$ arasında değiştiği, en ağır numunenin S1, en hafif numunenin A45 kodlu numuneler olduğu, buna paralel olarak numunelerin yoğunluklarının $1.754 - 0.969 \text{ g/cm}^3$ arasında değiştiği, yoğunluğu en yüksek numunenin S1, yoğunluğu en az numunenin A45 kodlu numuneler olduğu belirlenmiştir.
11. Numunelerde uçucu kül oranı, sıcaklık ve epoksilenmiş bitkisel yağ miktarı arttıkça basma mukavemeti değerlerinin azaldığı, yapıdaki kil oranının artışıyla basma mukavemeti değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Üretilen numunelerin basma mukavemeti değerlerinin $13.53\text{-}1.5 \text{ MPa}$ arasında değiştiği belirlenmiştir. En yüksek basma mukavemeti değeri S1

kodlu numuneden, en düşük basma mukavemeti değeri P45 nolu numuneden elde edilmiştir.

12. Numunelerden deneysel olarak tespit edilen basma mukavemeti değerleri ışığında, formülle tespit edilen çekme mukavemeti değerlerinin 1.287 - 0.428 MPa arasında değiştiği belirlenmiştir. En yüksek çekme mukavemeti değeri S1 kodlu numuneden, en düşük çekme mukavemeti değeri P45 nolu numuneden elde edilmiştir.
13. Uçucu kül, kil ve epoksilenmiş bitkisel yağ içeren numunelerde, uçucu kül oranı, sıcaklık ve epoksilenmiş bitkisel yağ miktarı arttıkça aşınma kaybı değerlerinin arttığı, yapıdaki kil oranının artışıyla aşınma kaybı değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Yapılan aşınma testi sonucu üretilen numunelerin aşınma kaybı değerlerinin %5.85-%0.56 arasında değiştiği belirlenmiştir. En yüksek aşınma kaybı değeri S45 kodlu numuneden, en düşük aşınma kaybı değeri S1 nolu numuneden elde edilmiştir.
14. Uçucu kül, kil ve epoksilenmiş bitkisel yağ kombinasyonlarında hazırlanmış tüm numunelere ait deney sonuçlarına göre yapıdaki sıcaklık ve malzeme oranları arttıkça elde edilen numunelerin su emme oranlarının arttığı, bu su emme oranlarının %18.67- %1.87 arasında değiştiği ve en yüksek su emme oranının A45 kodlu numunede, en düşük su emme oranının S1 kodlu numunede tespit edildiği belirlenmiştir. Bu oranların tümü TSE 704 ve 705’de verilen %30’luk üst limit değerinden oldukça düşüktür. Bu nedenle bu çalışmada göz önüne alınan kompozit malzemeler 0°C’nin altındaki sıcaklıklarda ve su ile direk temasın olduğu yerlerde dahi rahatlıkla kullanılabilecektir.

Uçucu kül ile çimento veya alçı türü bağlayıcı karışimli çalışmalarda üretilen yapı malzemelerinin su emme oranlarının %30’un üzerinde çıkması nedeniyle su ile direk temaslı yapı malzemelerinde kullanılması mümkün görülmemiştir [44]. Bu çalışma sonucu bahsedilen problem çözülmüş ve bu tip kompozitlerin su ile direk temaslı tuğla veya sıva malzemesi üretiminde kullanılabiliirliği mümkün olmuştur.
15. Oda sıcaklığında yapılan kuruma hızı deneylerinde uçucu kül oranı, sıcaklık ve epoksilenmiş bitkisel yağ miktarı arttıkça numunelerin bünyesindeki nemin azaldığı ve kütle değişiminin söz konusu olduğu gözlenmiştir. Bu değişimler nedeniyle üretilen malzemeler için bir teneffüs kabiliyetinden bahsetmek mümkündür. Deney sonuçları incelendiğinde kuruma hızlarının %7.21-%1.16 arasında değiştiği belirlenmiştir. En yüksek kuruma hızı A1 kodlu numunede, en düşük kuruma hızı S45 kodlu numunede tespit edilmiştir.

Deneysel çalışma sonucu ölçüm sonuçları, özetle Tablo 6.1’de belirtilirken aşağıdaki öneriler de yapılabilir.

Tablo 6.1. İşlem sıcaklığında ve kompoziti oluşturan malzemelerin miktarlarında yapılan değişikliklerin, üretilen numunelere ait deney sonuçları üzerindeki etkilerinin irdelenmesi

Özellik	Birim	Kil miktarı arttıkça	UK miktarı arttıkça	Sıcaklık arttıkça	EVO miktarı arttıkça
Isı iletim katsayısı	W/mK	artar	azalır	azalır	azalır
Kütle	g	artar	azalır	azalır	azalır
Yoğunluk	g/cm ³	artar	azalır	azalır	azalır
Basma dayanımı	MPa	artar	azalır	azalır	azalır
Çekme dayanımı	MPa	artar	azalır	azalır	azalır
Aşınma	%	azalır	artar	artar	artar
Kuruma hızı	%	artar	azalır	azalır	azalır
Su emme	%	azalır	artar	artar	artar
Tahmini Porozite	%	azalır	artar	artar	artar

Uçucu kül, kil ve epoksilenmiş bitkisel yağ ile üretilen numuneler, özellikle yüksek oranda uçucu kül ve epoksilenmiş bitkisel yağ ile hazırlanarak, 200⁰C gibi yüksek sıcaklık değerlerinde işlem gördüğünde yapı endüstrisinde kullanılmaya oldukça müsait malzemelerin elde edilebileceği bu çalışmayla gösterilmiştir. Üretim aşamaları esnasında yapıya mukavemet artırıcı kimyasalların eklenmesiyle elde edilen malzemelerin geniş bir kullanım alanı bulabileceği aşıkardır.

İmalat olarak gaz beton tarzı bir üretim mekanizmasıyla üretime geçilirse bu malzemenin üretimi sırasında meydana gelen yapay porozitelerden kaynaklanan kabarmalar, düzgün yüzey vermeye müsait yapıda olan bu malzemede oldukça büyük avantaj sağlayabilir. Dolayısıyla elde ettiğimiz bu malzemeler gerek çatı gerek taban gerekse duvarlarda yalıtım malzemesi olarak kullanılabilir.

Bu konudaki araştırmalar, üretilen malzemelerden istenebilecek farklı özellikleri sağlamak amacıyla, yapıya değişik kimyasal katkı maddeleri eklenerek geliştirilebilir. Ayrıca farklı yenilenebilir kaynaklar ve farklı modifiye edilmiş bitkisel yağ tipleri ile bu çalışma genişletilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Öztürk, A.Ç., “Tuğla Üretiminde Termik Santral Atığı Puzolanik Uçucu Küllerin Değerlendirilmesi”, *1.Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi Bildirisi*, 2005.
- [2] Güner, F.S., Yağcı, Y., Erciyes, A.T., ” Polymers from Triglyceride Oils”, *Prog. Polym. Sci.*, 31, 633-670, 2006.
- [3] Sharma, V., Kundu, P.P., “Addition Polymers From Natural Oils-A Review”, *Prog. Polym. Sci.*, 31, 983–1008, 2006.
- [4] Cook, R.C., Wang, Q., Thomas, F., “İmproved Water Resistance and Flow of A Novel Soybean Protein- Based Particle Board Composite Adhesive”, *Journal of Polymer Science*, 32, 123-135, 2002.
- [5] Larock, F., Li, R., “Novel Polymeric Materials from Biological Oils”, *Low A State University 95. AOCs Annual Meeting* , 1-4, USA, 2004.
- [6] Lan, T., Pinnovaia, T.J., “Clay-Reinforced Epoxy Nanocomposites”, *Chem. Mater.*, 6 (12), 2216-2219, 1994.
- [7] Gandini,A. , Belgacem, M.N., “Recent Advances in The Elaboration of Polymeric Materials Derived from Biomass Components”, *Journal of Polymers and the Environment*, 10, No:3, July 2002.
- [8] Khot, N.S. ,Lascale, J.J., Can, E., Morye, S.S., Williams, I.G., Palmese, R.G., Kusefoğlu, S.H., Wool, P.R., “Development and Application of Triglyceride Based Polymers and Composites”, *Journal Of Applied Polymer Science.*, 82, 703–723, 2001.
- [9] Derqouleu, S., Papadimitriow, D., Zoumpoulakis, L., Simtzis, J., “Optical Properties of Carbon Materials Formed by Pyrolysis of Novalac-Resin/Biomass Composites”, *Diamond and Related Materials*, 13, 371-375, 2004.

- [10] Boquillon, N., Fringant, C., "Polymer Networks Derived from Euring of Epoxidized Linseed Oil, Influence of Different Catalysts and Anhydride Hardeners", *Polymer*, 41, 8603-8613, 2000.
- [11] Ashraf, S.M. ,Ahmed, S. ,Riaz, U. ,Alam, M. ,Sharma, H.O., "Miscibility Studies on Linseed Oil Epoxy Blend with Poly(methacrylic acid)", *Journal of Applied Polymer Science*, 99, 2510-2519, 2006.
- [12] Weber, C.J., "Bibased Packaging Materials for the Food Industry", *European Cancorized Action*, 2000.
- [13] Gan, L.H., Ooi, K.S., Goh, S.H., Gan, L.M., Leong, Y.C., "Epoxidized Esters of Palm Olein as Plasticizers for Poly (vinyl chloride)", *IUPAC International Symposium On Polymer Materials, Melbourne,, Australia*, 1991.
- [14] Basiron, Y., Weng, C.K., "The Oil Palm and Its Sustainability", *Journal of Oil Palm Research*, 16 (1), 1-10, 2004.
- [15] Rosli, W.D., Kumar, R.N. , Zah,S., Mohd, M., "UV Radiation Curing of Epoxidized Palm Oil–Cycloaliphatic Diepoxide System Induced by Cationic Photoinitiators for Surface Coatings", *European Polymer Journal*, 39, 593–600, 2003.
- [16] Choi, J.S, Park, W.H., "Thermal and Mechanical Properties of Poly (3-Hydroxybutyrate-co-3- Hydroxyvaleratel Plasticied by Biodegradable Soybean Oils" , *Macromal Symp* , 197, 65-76, 2003.
- [17] Czub, P., "Application of Modified Natural Oils as Reactive Diluents for Epoxy Resins", *Macromal. Symp*, 242, 60-64, 2006.
- [18] Ahamed, S., Gory, A., Sundararman, S., Chandra, K. , Flanigan, V., Kapila, S.," Dynamic and Mechanical Characterization of A Soybased Epoxy Resin System", *Journal of Applied Polymer Science*, 12, 16-20, 2004.

- [19] Dweib, M. A., Hu, B., Donnell, A., Shenton, H. W., Wool, P. R., “All Natural Composite Sandwich Beams for Structural Applications”, *Composite Structures*, 63, 147-157, 2004.
- [20] Dweib, M.A., Hu, B., Shenton, H.W., Wool, R.P., “Bio-Based Composite Roof Structure: Manufacturing and Processing” , *Composite structures*, 74 , 379-388 , 2006.
- [21] Shabeer, A., Gory, A., Sundarraman, S., Chandrashekhara, K., Flanigon, V., Kapila, S., “Dynamic and Mechanical Characterization of Soy Based Epoxy Resin System”, *Journal of Applied Polymer Science*, 98, 1772-1780, 2005.
- [22] Xu, J.J., Liu., Z., Erhan, S., Craig, C., “A Potential Biodegradable Rubber-Viscoelastic Properties of A Soybean Oil Based Composite”, *Society of Rheology*, 2001,.
- [23] Loza, R., Daniel, P., “Process for Preparing Polyester Resins”, *US Patent* 6, 222, 005, 2000.
- [24] Thames, S.F., Yu, H., “Cationic UV-Cured of Epoxide-Containing Vegetable Oils”, *Surface and Coatings Technology*, 115, 208-214, 1999.
- [25] Miyagawa, H., Misra, M., Drzal, L.T., Mohanty, A.M., “Novel Biobased Nanocomposites from Function Analyzed Vegetable Oil and Organically-Modified Layered Silicate Clay”, *Polymer*, 46, 445-453, 2005.
- [26] Lu, J., Hong, C.K, Wool, R.P., “Biobased Nanocomposites from Functionalized Plant Oils and Layered Silicate”, *Journal of Polymer Science*, 42, 1441-1450, 2004.
- [27] Zhu, L., Wool, R.P., “Nanoclay Reinforced Bio-Based Elastomers: Synthesis and Characterization”, *Polymer*, 47, 8106-8115, 2006.
- [28] Liu, Z., Erhan, S.Z., Xu, J., “Preparation, Characterization and Mechanical Properties of Epoxidized Soybean Oil/Clay Nanocomposites”, *Polymer*, 46, 10119-10127, 2005.

- [29] Song, B., Chen, W., Liu, Z., Erhan, S., “Compressive Properties of Epoxidized Soybean Oil /Clay Nanocomposites”, *International Journal of Plasticity*, 22, 1549–1568, 2006.
- [30] Ray, S.S., Bousmina, M., “Biodegradable Polymers and Their Layered Silicate Nanocomposites: In Greening The 21st Century Materials World”, *Progress in Materials Science*, 50, 962–1079, 2005.
- [31] Yasmin, A., Abot, J. L., Daniel, M. I., “Processing of Clay/Epoxy Nanocomposites by Shear Mixing”, *Scripta Materialia*, 49, 81–86, 2003.
- [32] Hiroshi, U., Moi, K., Takoshi, T., Mitsuru, N., Arimitsu U., Shiro, K., “Green Nanocomposites form Renewable Resources-Plant Oil-Clay Hybrid Materials”, *Chem. Mate.*, 15, 2492-2944, 2003.
- [33] Ölmez, H., ‘*Endüstriyel Tarım Atıklarının Çimento Üretiminde Değerlendirilmesi*’, Yüksek Lisans Tezi, 19 Mayıs Üniversitesi Fen Edb. Fak., Samsun, 1988.
- [34] Beyazıt, Ö.L., “*Tunçbilek Uçucu Küllerinin Betonlu Fiziki-Kimyasal ve Mekanik Özellikleri Üzerine Etkileri*”, Doktora Çalışması, A.D.M.M.A., Ankara, 1980.
- [35] Barton, H., “Raw Materials for Manufactures of Cement”, *Procedings Syposium On Fly Ash Utilization*, Mart 1967.
- [36] Davis, R.E., Carlos, R.W., “Propperties of Cements and Concretes Containing Fly –Ash”, *PROC. Amer. Concrete Inst.*, 33, 557-612, 1937.
- [37] Terrier , P., Moreau, M., “Study on The Mechanish of Pozzolanis Reaaction of Fly Ash with Cement”, *Rev. Het. Constr. Trav. Publics*, 613, 379-396, 1966.
- [38] Brink, R.H., Halstead, W.J., “Studies Relating To The Testing Of Fly Ash For Use İn Concrete”, *proc .ASTM* 56, 1161-1206, 1956.
- [39] Watt, J.D.,Thorne, D.J., “The Compostion and Puzzolanis Properties of Pulverised Fly Ashes”, *J.Appl.Chem.*, 15, 585-594, 1966.

- [40] Mesatane, K., “Principal Paper Fly Ash and Fly Ash-Cement”, *Symposium Of Cement Chemistry*, Tokyo, 1972.
- [41] Yamazaki, K., “Fundamental Studies of The Effects of Minerals Fines on The Workability of Concrete”, *Trans.Japon,Soc Of Civil Eng.*, 34, 98-111, 1962.
- [42] Araç, İ., Malzeme Bülteni, DSİ Genel Müdürlüğü Araştırma Dairesi Başkanlığı, Rapor No:MLZ-514 , Ankara, 1970.
- [43] Erdoğan, T., AR, G., Koman, K., “Türkiye Uçucu Küllerinin Üretim, Kullanma Alanları, Sorunlar ve Öneriler”, EİE, Yayın No:82-19,Ankara, 1982.
- [44] Biçer, Y., *Termik Santral Uçucu Küllerinin Değişik Bağlayıcı Kombinasyonlarda Isı İletim Özelliklerinin Analizi Ve Değerlendirilmesi*, Doktora Tezi, FÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 1990.
- [45] Mannan, M.A., Ganapathy, C., “Mix Design for Oil Palm Shell Concrete”, *Cement and Concrete Research*, 31, 1323–1325, 2001.
- [46] Yıldız ,T., “Uçucu Kül ve Polipropilen Atıklarının Değişik Kombinasyonlarda Kompozit Malzeme Üretiminde Değerlendirilmesi”,Doktora Tezi, Fırat Üniv. Metalurji ABD, Elazığ, 1998.
- [47] Li, Y., White, D. J., Peyton, L., “Composite Material from Fly Ash and Post-Consumer PET”, *Conservation and Recycling*, 24, 87–93, 1998.
- [48] Singh , I.B., Chaturvedi, K., Morchhale, R.K., Yegneswaran, A.H., “Thermal Treatment of Toxic Metals of Industrial Hazardous Wastes with Fly Ash and Clay, *Journal of Hazardous Materials*, 141, 215–222, 2007.
- [49] Asokan, P., Saxena, M., Asolekar, R., “Hazardous Jarosite Use in Developing Non-Hazardous Product for Engineering Application”, *Journal of Hazardous Materials B*, 137, 1589–1590, 2006.

- [50] Freidin, C., Motzafi, W., “Cementless Building Units Based on Oil Shale and Coal Fly Ash Binder”, *Construction and Building Materials*, 13, 363-369, 1999.
- [51] Freidin, C., “Influence of Variability of Oil Shale Fly Ash on Compressive Strength of Cementless Building Compounds”, *Construction and Building Materials*, 19, 127–133, 2005.
- [52] Freidin, C., “Stability of Cementless Building Units Based on Oil Shale Fly Ash Binder in Various Conditions”, *Construction And Building Materials*, 16, 23-28, 2002.
- [53] Gu, J., Wu, G., Zhang, Q., “Preparation and Damping Properties of Fly Ash Filled Epoxy Composites”, *Materials Science and Engineering A*, 12, 614–618, 2007.
- [54] Chaowasakoo, T., Sombatsompop, N., “Mechanical and Morphological Properties of Fly Ash/Epoxy Composites Using Conventional Thermal and Microwave Curing Methods”, *Composites Science and Technology*, 67, 2282–2291, 2007.
- [55] Katz, A., Brough, A.R., Kirkpatrick, R.J., Struble, L.J., Sun, G.K., “Cement Solidification of Simulated Gas Condensates from Vitrification of Low- Level Nuclear Waste Solutions”, *Waste Manegement*, 21, 543-553, 2001.
- [56] Pandey, S.P., Singh, A.K., Sharma, R.L., Triwari, A.K., “Studies on High-Performance Blended/Multiblended Cements and Their Durability Characteristics”, *Cement and Concrete Research*, 33, 1433–1436, 2003.
- [57] Singh, M., Garg, M., “Cementitious Binder from Fly Ash and Other Industrial Wastes”, *Cement and Concrete Research*, 29, 309–314, 1999.
- [58] Gündüz, L., “Use of Quartet Blends Containing Fly Ash, Scoria, Perlite Pumice and Cement to Produce Cellular Hollow Lightweight Masonry Blocks for Non-Load Bearing Walls”, *Construction and Building Materials*, 2007.
- [59] Lingling, X., Wei, G., Tao, W., Nanru, Y., “Study on Fired Bricks with Replacing Clay by Fly Ash in High Volume Ratio”, *Construction and Building Materials*, 19, 243–247, 2005.

- [60] Temimi, M., Amor, K., Camps, J.P., “Making Building Products by Extrusion and Cement Stabilization: Limits of The Process with Montmorillonite Clay”, *Applied Clay Science*, 13, 245–253, 1998.
- [61] Göktepe, A.B., Sezer, G., Ramyar, K. , “Classification of Time-Dependent Unconfined Strength of Fly Ash Treated Clay”, *Construction and Building Materials*, 2006.
- [62] Misra, A., Biswas, D., Upadhyaya, S., “Physico-Mechanical Behavior of Self-Cementing Class C Fly Ash–Clay Mixtures”, 84, 1410–1422, 2005.
- [63] Öztürk, A.Ç., “Tuğla Üretiminde Termik Santral Atığı Puzolanik Uçucu Küllerin Değerlendirilmesi”, *1.Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi Bildirisi*, 2005.
- [64] Misra, A., “Physico-mechanical behavior of cementing class C fly ash-clay mixtures”, 84 (11), 1410-1422, 2005.
- [65] Temimi, M., Rahal, M.A., Yahiaoui, M., Jauberthie, R. , ”Recycling of Fly Ash in The Consolidation of Clay Soils”, *Conservation and Recycling*, 24, 1–6, 1998.
- [66] Nalbantoğlu, Z., “Effectiveness of Class C fly ash as An Expansive Soil Stabilizer”, *Construction and Building Materials*, 18, 377–381, 2004.
- [67] Luikov, A. V., Shashkov, A. G., Vasiliev, L. L. and Fraiman, E., “Thermal Conductivity of Porous Systems”, *Heat Mass Transfer* , 44, 117-140, 1968.
- [68] Zumbrun, D.A., Viskante, R., “Heat Transfer”, *Soviet Research Ins.*, 20 (1), 137-142, 1986.
- [69] Akor, A.S., Chancellor , W.S., “The Potential of Palm Oil as A Motor Fuel”, *Trans.Of ASAE*, 1983.
- [70] Doğan, A., Tekin, A., “Yağların Fiziksel Özellikleri”, *A.Ü. Fen Bil. Enst. Seminer Notu*, Ankara, 1991.

- [71] Ryan, T.W., Callahan, T.J., Dodge, L.G., “Characterization of Vegetable Oils for Use as Fuels in Diesel Engines”, *Vegetable Oils Fuels Proceedings of the Int. Conf. on Plant and Vegetable Oils As Fuels*, ASAE., 1982.
- [72] Pryor, R.W., Hanna, M.A., Schinstosk, J.E., “Soybean Oil Fuel in A Small Diesel Engine”, *ASAE Trans*, 1983.
- [73] [http://tr.wikipedia.org/wiki/yag asitleri](http://tr.wikipedia.org/wiki/yag_asitleri)
- [74] Arslan, N., “Yağlar ve Teknolojisi”, *Fırat Üniv. Kimya Müh. Ders Notları*, 1997.
- [75] Cıgızoğlu, B., “Dört Çeşit Bitkisel Yağın Motorin Alternatifi Olarak Kullanımı”, *Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Ens.*, İstanbul, 1996.
- [76] Georing, C.E., Schwab, A.W., Daughrt, M.J., “Fuel Properties of Eleven Vegetable Oils, *Trans. of ASAE*, 1982.
- [77] Kolsarıcı, Ö., Başalma, D., Arıoğlu, H. , Gür, A., Sağlam, C., “Yağ Bitkileri Üretimi”, s:485-503, Ankara, 1998.
- [78] Erhan, S.Z., “The Use of Vegetable Oils in Biobased Products”, *National Center for Agricultural Utilization Research I , Peoria ,USDA/ARS*, 2000.
- [79] Göksu, Ç., “Bitkisel Yağlar”, T.C.Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı İhracatı Geliştirme Etüd Merkezi, 2007.
- [80] Choi, J.S., Park, W.H., “Effect of Biodegradable Plasticizers on Thermal and Mechanical Properties of Poly (3-hydroxybutyrate)”, *Polymer Testing* 23, 455-460, 2004.
- [81] Paster, M., Joan, L., Tracy, M., “Industrial Bioproducts: Today and Tomorrow”, *Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy -Columbia*, July 2003.
- [82] Pollard, G.Ç., “Catalysis in Renewable Feedstocks A Technology Roadmap”, BHR solutions project no:180 2421, s:19, 2005. (www. bhrsolutions.com)

- [83] Netravali, A.N., Chabba, S., “Composites get greener”, *Materialstoday*, s:22-47, April 2003.
- [84] Miertus S., “Programmes on The Exploitation of Renewable Resources in Developing Countries”, *ICS-UNIDO*, Trieste, Italy, 2000
- [85] Jashi, S.V., Drzal, L.T., Mohanty, A.K., Arora, S., “Are Natural Fiber Composites Environmentally Superior to Glass Fiber Reinforced Composites”, *Composites Part A*, 35, 371-376, 2004.
- [86] Miertus S., “Programmes on The Exploitation of Renewable Resources in Developing Countries”, *ICS-UNIDO*, Trieste, Italy, 2005.
- [87] Javni, I., Zhang, W., Petrović, Z.S., “Effect of Different Isocyanates on The Properties of Soy-Based Polyurethanes”, *Journal of Applied Polymer Science*, 88, 2912-2916, 2003.
- [88] Karadeniz Birlik Ayçiçekyağı Fabrikası, Elazığ
- [89] Miyagawa, H., Misra, M., Drzal, L.T., “Fracture Toughness and Impact Strength of Anhydride Biobased Epoxy”, *Polymer Engineering and Science*, 29, 487-493, 2005.
- [90] Bioplastics, *Prepared: Agriculture And Agri-Food*, Canada, 29 Ağustos 2003.
- [91] Basiron, Y., Weng, C.K., “The Oil Palm and Its Sustainability”, *Journal of Oil Palm Research*, 16 (1), 1-10, 2004.
- [92] http://www.teknolojikarastirmalar.com/e-egitim/yapi_malzemesi/icerik/refrakter.htm#.
- [93] Pages, X., Alfos, C., “Synthesis of New Derivatives from Vegetable Sunflower Oil Methyl Ester via Epoxidation and Oxirane Opening”, *OCL*, 8(2), 122-125, 2001.
- [94] Klaas, M.R., Warwel, S., “Complete and Partial Epoxidation of Plant Oils by Lipase-Catalyzed Perhydrolysis”, *Institute for Biochemistry and Technology of Lipids-Industrial Crops and Products*, 9, 125-132, 1999.

- [95] Temimi, M., Amor, K.B., Camps, J.P., “Making Building Products by Extrusion and Cement Stabilization: Limits of The Process with Montmorillonite Clay”, *Applied Clay Science*, 13, 245–253, Rennes France, 1998.
- [96] Zhu, J., “Chandrashekhara, K., Flanigan, V., Kapila, S., Zhu, J., Manufacturing and Mechanical Properties of Soy Based Composites Using Pultrusion”, *Composites PartA: Applied Science and Manufacturing* , 35(1), 95-101, January 2004.
- [97] Tran, P., Graiver, D., Norayan, R., “Biocomposites Synthesized from Chemically Modified Soy Oil and Biofibers”, *Journal of Applied Polymer Science*, 102, 69-75, 2006.
- [98] Qureshi, S., Manson, J.A., Sperling, L.H., Murphy, C.J., Carraher, C.E., “In Polymer Applications of Renewable Resource Materials”, *Plenum Eds.*, New York, 1983.
- [99] Konsan A.Ş. (www.konsan.com)
- [100] Sancar , M., “Kil’in Yapıya Dönüştüğü An”, *Doğa*, Sayı:12 (Ekim-Aralık), 2006,
- [101] <http://tr.wikipedia.org/wiki/kil>
- [102] Biçer, Y., Yıldız, C., “Türkiye’de Uçucu Kül Potansiyeli Ve Değerlendirilmesi”, *Fırat Üniv. Müh. Fak. Makina Müh. Böl.*, Elazığ, 1998.
- [103] Alkaya, D., “Uçucu Kül Katkısının Dolgu Zeminlerin Stabilesine Etkisi”, 2002
- [104] Aruntaş, H.Y., “The Potential Of Fly Ash Usage In Construction Sector”, Gazi Üniv. Tek. Eğt. Fak. Yapı Eğt. Böl. , Ankara, 2006.
- [105] Tokyay, M., Erdoğan, K., “Türkiye Termik Santrallerinden Elde Edilen Uçucu Küllerin Karakterizasyonu”, TÇMB / ARGE / Y 98.3, Ağustos 1998.
- [106] Vysniauskas, V.V., Zikas, A.A., “Determination Of Thermal Conductivity By The Hot Wire Technique”, *Heat Transfer Soviet Research.*, 1988.
- [107] TS 699 Türk Standartları Tabii Yapı Taşları-Muayene Ve Deney Metodları

[108] Akakın, T, “*Betonun Mühendislik Özellikleri*”, 2001.

[109] TS EN 388, 415, 452

ÖZGEÇMİŞ

Figen BALO, 1970 tarihinde Lüleburgaz'da doğdu. İlköğretimini İzmit'te, ortaöğretimini Kayseri'de, lise eğitimini Elazığ'da tamamladı. 1986 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü kazandı. 1990 yılında mezun oldu. 1991 yılında İstanbul Beyoğlu Anadolu Teknik Lisesi Makine Ressamlığı ve Konstrüksiyonu bölümünde öğretmen olarak göreve başladı. 1994 yılında tayinle atandığı Elazığ Gazi Anadolu Teknik Lisesi Makine Ressamlığı ve Konstrüksiyonu bölümünde öğretmenlik görevine devam etti. 2000 yılında Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans yapmaya başladı. 2001 yılında öğretmenliği bırakarak Elazığ Bayındırlık ve İskan Müdürlüğüne makine mühendisi olarak atandı. 2002 yılında yüksek lisans eğitimini tamamlayarak, doktora eğitimine başladı. Halen aynı fakültede doktora yapmakta, aynı zamanda Elazığ Bayındırlık ve İskan Müdürlüğünde Makine Mühendisi olarak görevini sürdürmektedir.

EK-1. SU EMME MİKTARI VE KURUMA HIZI DENEYLERİNE AİT SONUÇLARIN TABLOLAR HALİNDE GÖSTERİLMESİ**Ek 1.1. ESO'lu numunelere ait su emme deneyi sonuçları-1**

KOD	NUMUNELERE AİT SU EMME DENEYİ SONUÇLARI											
	Etüv Çıkışı	1/3 saat	2/3 saat	1saat	2saat	3 saat	4 saat	5 saat	6 saat	7 saat	8 saat	24 saat
S1	315.72	316.11	316.42	316.51	317.23	318.06	318.44	318.71	317.83	318.92	318.97	321.62
S2	297.36	297.77	298.12	298.56	299.67	300.59	301.33	301.91	302.22	302.42	302.56	304.49
S3	282.96	283.52	284	284.57	286.1	287.39	288.4	289.28	289.91	290.33	290.61	293.85
S4	289.08	289.64	289.24	290.66	292.07	293.27	294.31	295.23	296	296.51	296.77	299.02
S4	271.26	271.88	272.44	273.1	274.82	276.36	277.67	278.78	279.7	280.41	280.9	284.52
S6	259.2	259.88	260.42	261.16	263.01	264.62	266.04	267.24	268.29	269.13	269.7	274.05
S7	273.78	274.35	274.84	275.45	276.96	278.26	279.44	280.41	281.09	281.65	282.09	286.04
S8	257.22	257.85	258.44	259.1	260.89	262.42	263.79	264.92	265.91	266.73	267.46	272.44
S9	247.14	247.85	248.55	249.3	251.4	253.32	255.12	256.73	258.06	259.26	260.37	265.62
S10	309.96	310.37	310.73	311.16	311.64	312.04	312.36	312.72	312.9	313.22	313.31	316.48
S11	290.34	290.78	291.16	291.64	292.87	293.99	294.95	295.78	296.53	297.15	297.62	299.65
S12	274.68	275.22	275.74	276.31	277.83	279.14	280.33	281.29	282.07	282.73	283.23	286.68
S13	281.7	282.2	282.71	282.23	284.7	286.07	287.36	288.47	289.43	290.15	290.69	293.1
S14	262.8	263.43	264	264.66	266.41	268.01	269.42	270.7	271.74	272.62	273.36	277.07
S15	248.58	249.31	250.02	250.77	252.83	254.73	256.49	258.11	259.65	261.11	262.29	266.7
S16	264.78	265.36	265.9	266.5	268.18	269.62	270.91	272.12	273.18	274	274.52	278.52
S17	247.32	248.1	248.82	249.64	251.9	253.9	255.69	257.19	258.57	259.74	260.7	265.72
S18	235.98	236.8	237.56	238.42	240.77	242.92	244.89	246.69	248.2	249.56	250.77	256.06
S19	302.94	303.38	303.79	304.26	305.18	305.94	306.56	307.04	307.4	307.54	307.64	311.31
S20	281.52	282	282.44	282.94	284.34	285.7	286.98	288.17	289.29	290.34	291.34	293.51
S21	264.6	265.19	265.76	266.37	268.07	269.63	271.01	272.22	273.27	274.23	274.92	278.46
S22	272.52	273.1	273.61	274.22	275.84	277.3	278.57	279.74	280.71	281.52	282.22	284.83
S23	253.08	253.75	245.37	255.07	257.01	258.81	260.48	261.98	263.36	264.64	265.76	269.68

Ek 1.2. ESO’lu numunelere ait su emme deneyi sonuçları-2

KOD	NUMUNELERE AİT SU EMME DENEYİ SONUÇLARI											
	Etüv Çıkışı	1/3 saat	2/3 saat	1saat	2saat	3 saat	4 saat	5 saat	6 saat	7 saat	8 saat	24 saat
S24	238.14	238.93	239.68	240.5	242.78	244.92	246.9	248.66	250.27	251.73	253.02	257.69
S25	252	252.67	253.3	254.01	255.97	257.8	259.48	261	262.38	263.59	264.68	268.9
S26	234.18	234.99	235.78	236.62	239	241.13	243.11	244.91	246.58	248.12	249.48	254.69
S27	222.12	223.03	223.88	224.83	227.48	229.89	232.09	234	235.78	237.43	238.94	244.3
S28	295.2	295.62	295.96	296.41	297.59	298.71	299.74	300.68	301.54	302.2	302.78	303.49
S29	271.62	272.14	272.63	273.18	274.67	276.07	277.42	278.7	279.89	281.01	282.03	284.3
S30	253.26	253.94	254.55	255.27	257.26	259.15	260.92	262.5	263.87	264.99	266.07	269.69
S31	261.72	262.34	262.96	262.62	265.42	267.14	268.73	270.18	271.54	272.78	273.95	276.74
S32	242.1	242.87	243.52	244.35	246.55	248.71	250.8	252.65	254.27	255.78	257.02	261.03
S33	226.44	227.3	228.09	228.99	231.47	233.81	236.01	238.02	239.88	241.6	243.19	247.97
S34	237.24	237.97	238.66	239.43	241.58	243.66	245.63	247.51	249.28	250.97	252.61	256.95
S35	219.06	219.5	220.78	221.7	224.27	226.65	228.83	230.9	232.83	234.55	236.19	241.53
S36	206.82	207.82	208.75	209.79	212.6	215.273	217.82	220.14	222.34	224.44	226.33	231.84
S37	286.38	286.87	287.28	287.71	289.21	290.56	291.85	293.06	294.22	295.31	296.15	296.91
S38	259.56	260.2	260.69	261.38	263.18	264.93	266.62	268.14	269.51	270.73	271.88	274.19
S39	240.3	241.05	241.72	242.52	244.7	246.82	248.88	250.83	252.7	254.41	256	259.69
S40	249.66	250.38	250.94	251.72	253.76	255.74	257.65	259.48	261.21	262.82	264.32	267.61
S41	229.5	230.3	230.99	231.84	234.15	236.41	238.61	240.77	242.84	244.83	246.5	200.01
S42	212.76	213.69	214.49	215.48	218.16	220.65	222.64	225.25	227.42	229.52	231.54	236.39
S43	220.5	221.37	222.15	223.06	225.58	228.04	230.43	232.71	234.9	236.97	238.53	242.99
S44	201.7	202.78	203.7	204.74	207.65	210.48	213.23	215.85	218.35	220.56	222.45	227.95
S45	189.18	190.42	191.47	192.79	196.4	199.9	203.19	206.21	209.05	211.55	213.32	218.75

Ek-1.3. ESFO’lu numunelere ait su emme deneyi sonuçları-1

KOD	NUMUNELERE AİT SU EMME DENEYİ SONUÇLARI											
	Etüv Çıkışı	1/3 saat	2/3 saat	1saat	2saat	3 saat	4 saat	5 saat	6 saat	7 saat	8 saat	24 saat
A1	235.44	236.34	237.22	238.05	240.59	243.01	245.3	247.42	249.44	251.39	253.22	255.54
A2	228.6	229.54	230.45	231.31	234.02	236.62	239.04	241.33	243.41	245.33	247.22	249.79
A3	223.38	224.37	225.32	226.2	228.98	231.61	234.07	236.37	238.52	240.48	242.26	245.53
A4	226.26	227.23	228.19	229.11	231.88	234.56	237.07	239.45	241.64	243.66	245.5	247.84
A4	220.5	221.51	222.58	223.58	225.53	228.23	230.79	233.23	235.44	237.530	239.5	242.94
A6	216	217.06	218.12	218.14	222.11	224.82	227.4	229.86	232.09	234.19	236.18	239.65
A7	218.34	219.33	220.33	221.31	224.19	226.97	229.61	232.12	234.37	236.47	238.47	241.24
A8	213.48	214.53	215.58	216.8	219.59	222.34	224.93	227.46	229.74	231.87	233.88	237.41
A9	209.97	211.03	212.13	213.13	216.14	219	221.75	224.34	226.68	228.86	230.91	234.43
A10	230.94	231.89	232.81	233.66	236.37	238.91	241.23	243.45	245.6	247.67	249.64	252.02
A11	223.56	224.56	225.53	226.43	229.23	231.94	234.44	236.79	238.96	241.01	242.85	245.62
A12	217.08	218.11	219.12	220.08	222.97	225.64	228.15	230.5	232.68	234.72	236.68	240.04
A13	221.04	222.05	223.08	224.09	227.03	229.76	232.34	234.81	237.05	239.13	240.98	243.43
A14	214.38	215.43	216.49	217.52	220.58	223.39	225.98	228.47	230.75	232.88	234.87	238.39
A15	209.34	210.44	211.54	212.58	215.72	218.6	221.24	223.86	226.06	228.24	230.28	233.82
A16	212.58	213.62	214.66	215.67	218.71	221.54	224.25	226.83	229.16	231.34	233.48	236.3
A17	207	208.06	214.67	210.14	213.21	216.16	218.44	221.05	223.43	225.62	227.78	231.39
A18	202.32	203.41	204.5	205.56	208.67	211.69	214.56	217.26	219.72	221.99	224.23	227.81
A19	225.54	226.52	227.48	228.38	231.19	233.87	236.38	238.68	240.89	242.99	244.98	247.43
A20	217.08	218.12	219.13	220.09	223.03	225.83	228.4	230.84	233.11	235.29	237.22	240.11
A21	209.88	211.01	212.1	213.11	216.26	219.11	221.84	224.37	226.69	228.86	230.84	234.24
A22	215.28	216.34	217.42	218.45	221.54	224.46	227.17	229.75	232.13	234.32	236.32	238.83
A23	208.08	209.16	210.25	211.3	214.43	217.27	219.92	222.49	224.81	226.96	229.01	232.65

Ek I.4. ESFO’lu numunelere ait su emme deneyi sonuçları-2

KOD	NUMUNELERE AİT SU EMME DENEYİ SONUÇLARI											
	Etüv Çıkışı	1/3 saat	2/3 saat	1saat	2saat	3 saat	4 saat	5 saat	6 saat	7 saat	8 saat	24 saat
A24	201.96	203.13	204.28	205.38	208.78	211.73	214.58	217.29	219.73	222.02	224.22	227.91
A25	206.46	207.57	208.72	209.74	212.98	216	218.85	222.58	224.03	226.34	228.62	231.56
A26	199.98	201.11	202.25	203.37	206.64	209.68	212.58	215.32	217.83	220.23	222.51	226.25
A27	194.04	195.18	196.34	197.48	200.79	203.8	206.73	209.49	212.07	214.44	216.73	220.48
A28	218.88	219.88	220.88	221.82	224.7	227.43	230.02	232.43	234.72	236.87	238.89	241.44
A29	210.06	211.15	212.23	213.27	216.3	2319.17	221.82	224.35	226.7	228.96	231.07	234.44
A30	202.32	203.52	204.69	205.79	209.7	212.14	214.98	217.64	220.03	222.32	224.44	228.05
A31	207.72	208.83	209.96	211.07	214.31	217.44	220.33	223.04	225.52	227.78	229.8	232.39
A32	199.62	200.77	201.93	203.07	206.41	209.59	212.58	215.34	217.87	220.28	222.47	226.26
A33	192.78	193.96	195.14	196.28	199.69	202.88	205.88	208.65	211.19	213.59	215.81	219.61
A34	198.72	199.84	200.96	202.04	205.31	208.35	211.21	213.97	216.38	218.7	221	224.98
A35	191.88	193.04	194.21	195.38	198.69	201.81	204.81	207.62	210.21	212.67	215	218.87
A36	184.86	186.14	187.43	188.67	192.36	195.95	199.33	202.47	205.48	208.18	210.64	214.97
A37	211.68	212.74	213.84	214.84	217.9	220.78	223.49	226.03	228.41	230.64	232.6	235.55
A38	202.5	203.63	204.75	205.82	209.03	212.13	215.09	217.74	220.22	222.52	224.69	227.83
A39	194.04	195.28	196.48	197.61	200.95	204.09	207.03	209.78	212.29	214.65	216.83	220.52
A40	199.8	200.97	202.15	203.29	206.68	209.92	213	215.78	218.38	220.73	223.83	226.3
A41	190.8	191.99	193.18	191.34	197.78	201.04	204.13	206.95	209.01	211.43	213.69	218.28
A42	183.42	184.62	185.87	186.99	190.46	193.73	196.83	199.68	202.29	204.73	207	211.65
A43	190.08	191.26	192.46	193.64	197.26	200.54	203.62	206.59	209.33	211.81	214.13	208.45
A44	181.98	183.32	184.68	186	189.96	193.64	196.93	199.98	202.75	205.29	207.67	212.77
A45	174.42	175.8	177.21	178.59	182.65	186.47	190.02	193.3	196.37	199.23	201.74	206.98

Ek 1.5. EPO’lu numunelere ait su emme deneyi sonuçları-1

KOD	NUMUNELERE AİT SU EMME DENEYİ SONUÇLARI											
	Etüv Çıkışı	1/3 saat	2/3 saat	1saat	2saat	3 saat	4 saat	5 saat	6 saat	7 saat	8 saat	24 saat
P1	255.24	255.93	256.63	257.29	259.28	261.14	262.78	264.19	265.37	266.48	267.38	271.37
P2	244.26	244.98	245.71	246.41	248.52	250.51	252.31	253.96	255.43	256.68	257.77	262.79
P3	235.62	236.39	237.16	237.9	240.11	242.12	244	245.72	247.26	248.55	249.73	255.57
P4	250.56	251.27	251.98	252.66	254.69	256.64	258.39	259.95	261.22	262.35	263.41	267.64
P4	240.12	240.87	241.62	242.34	244.53	246.59	248.53	250.31	251.9	253.28	254.42	259.59
P6	232.2	233	233.8	234.56	236.86	239.02	241.05	242.87	244.51	245.92	247.12	253.09
P7	246.6	247.35	248.11	248.85	250.97	253.01	254.93	256.57	257.93	259.16	260.3	265.09
P8	236.88	237.65	238.44	239.18	241.37	243.48	245.48	247.31	248.94	250.34	251.55	256.73
P9	229.5	230.33	231.15	231.93	234.27	236.48	238.57	240.54	242.25	243.77	244.95	251.13
P10	248.04	248.75	249.48	250.18	252.21	254.14	255.83	257.31	258.55	259.68	260.68	264.95
P11	236.34	237.09	237.84	238.57	240.75	242.85	244.79	246.6	248.12	249.44	250.58	256.23
P12	227.16	227.99	228.81	229.8	231.99	234.14	236.12	237.91	239.49	240.88	242.09	248.39
P13	242.82	243.58	244.33	245.07	247.15	249.13	250.86	252.46	253.83	255.01	256.11	261.51
P14	231.66	232.84	233.22	233.98	236.23	238.31	240.27	242.11	243.72	245.16	246.35	252.13
P15	223.02	223.86	224.27	225.5	227.88	230.09	232.16	234.02	235.69	237.17	238.42	245.23
P16	238.32	239.1	239.89	240.65	242.8	244.87	246.81	248.49	249.89	251.16	252.35	257.79
P17	227.16	227.98	228.8	229.58	231.84	234	236.07	237.97	239.65	241.09	242.36	248.58
P18	219.24	220.11	220.97	221.79	224.15	226.38	228.51	230.53	232.25	233.83	235.08	241.66
P19	239.44	240.7	241.46	242.2	244.39	246.5	248.37	249.95	251.31	252.55	253.63	259.15
P20	227.34	228.13	228.91	229.68	231.91	234.09	236.13	238.08	239.99	241.6	242.91	248.68
P21	217.08	217.93	218.78	219.6	222.06	224.39	226.53	228.9	230.78	232.45	233.79	240.24
P22	234	234.78	235.56	236.31	238.5	240.58	242.48	244.28	245.89	247.18	248.36	254.73
P23	221.94	222.75	223.56	224.35	226.71	228.9	230.19	232.74	234.4	235.88	237.12	244.17

Ek 1.6. EPO'lu numunelere ait su emme deneyi sonuçları-2

KOD	NUMUNELERE AİT SU EMME DENEYİ SONUÇLARI											
	Etiv Çıkışı	1/3 saat	2/3 saat	1saat	2saat	3 saat	4 saat	5 saat	6 saat	7 saat	8 saat	24 saat
P24	212.04	212.92	213.8	214.66	217.15	218.44	221.59	223.57	225.49	227.2	228.57	235.8
P25	228.6	229.41	229.62	230.42	232.74	234.86	236.89	238.77	240.39	241.77	243.01	249.88
P26	215.64	216.48	217.33	218.15	220.54	222.77	224.87	226.84	228.57	230.07	231.4	239.1
P27	206.46	207.37	208.26	209.11	211.7	214.1	216.31	218.38	220.37	222.2	223.76	231.62
P28	230.76	231.54	232.33	233.09	235.4	237.58	239.58	241.44	242.92	244.22	245.37	251.89
P29	216.9	217.72	218.53	219.31	221.68	223.91	225.98	227.97	229.87	231.6	233.06	240.12
P30	205.92	206.79	207.66	208.51	211.01	213.45	215.64	217.79	219.76	221.63	223.21	231.28
P31	224.28	225.09	225.88	226.66	228.97	231.17	223.26	235.19	236.82	238.22	231.47	246.28
P32	211.14	211.98	212.82	213.64	216.04	218.32	220.47	222.45	224.24	225.78	227.11	235.12
P33	200.52	201.42	202.66	204.22	206.81	209.16	211.36	213.41	215.36	217.09	218.48	226.62
P34	218.34	219.17	220	220.82	223.21	225.44	227.55	229.51	231.26	232.73	234.03	241.2
P35	203.22	204.09	204.97	205.81	208.31	210.69	212.88	214.95	216.76	218.39	219.81	228.58
P36	193.32	194.27	195.19	196.07	198.75	201.27	203.61	205.77	207.81	209.63	211.08	219.94
P37	221.22	222.02	222.83	223.61	225.93	228.13	230.16	232.09	233.81	235.29	236.57	243.49
P38	206.28	207.03	207.97	208.77	211.19	213.48	215.6	217.62	219.55	221.35	222.88	231.5
P39	194.04	194.93	195.84	196.73	199.35	201.84	204.12	206.22	208.23	210.14	211.76	220.58
P40	214.02	214.84	215.66	216.46	218.83	221.05	223.19	225.18	227	228.52	229.88	237.62
P41	199.8	200.67	201.55	202.39	204.9	207.25	209.45	211.48	213.42	215.23	216.68	226.33
P42	187.92	188.87	189.82	191.74	194.49	197.06	199.37	204.48	203.51	205.43	207.18	218.56
P43	207.54	208.39	209.24	210.07	212.55	214.83	216.97	219.02	220.95	222.77	224.24	232.38
P44	189.36	190.26	191.16	192.03	194.63	197.05	199.29	201.42	203.45	205.37	207.14	218.27
P45	178.2	179.18	180.14	181.05	183.82	186.47	188.93	191.22	193.37	195.4	197.31	209.18

Ek 1.7. EZO'lu numunelere ait su emme deneyi sonuçları-1

KOD	NUMUNELERE AİT SU EMME DENEYİ SONUÇLARI											
	Etüv Çıkışı	1/3 saat	2/3 saat	1saat	2saat	3 saat	4 saat	5 saat	6 saat	7 saat	8 saat	24 saat
Z1	264.42	264.42	264.96	265.47	266.99	268.45	269.84	271.14	272.32	273.37	274.29	278.02
Z2	256.36	256.36	256.94	257.48	259.14	260.72	262.22	263.7	265.05	266.26	267.35	271.38
Z3	249.74	249.74	250.38	250.94	252.7	254.37	255.96	257.46	258.86	260.13	261.25	267.18
Z4	256.17	256.17	256.73	257.27	258.87	260.46	261.97	263.34	264.62	265.78	266.83	271.47
Z4	248.48	248.48	249.1	249.68	251.46	253.11	254.7	256.22	257.66	258.88	259.99	266.22
Z6	244.03	244.03	244.7	245.34	247.25	249.05	250.75	252.31	253.77	255.02	256.16	262.5
Z7	248.66	248.66	249.27	249.85	251.6	253.24	254.76	256.24	257.6	258.83	259.97	266.34
Z8	241.32	241.32	241.96	242.58	244.42	246.18	247.81	249.38	250.86	252.21	253.4	259.96
Z9	235.61	235.61	236.32	237	238.98	240.85	242.6	244.28	245.83	247.28	248.56	255.19
Z10	259.23	259.23	259.8	260.34	261.93	263.43	264.84	266.16	267.36	268.46	269.4	273.71
Z11	250.64	250.64	251.28	251.84	253.62	255.31	256.87	258.38	259.76	261.01	262.11	267.34
Z12	243.51	243.51	244.19	244.83	246.78	248.56	250.23	251.75	253.17	254.46	255.59	261.56
Z13	250.44	250.44	251.05	251.65	253.36	255	256.52	257.96	259.25	260.43	261.52	267.42
Z14	242.4	242.4	243.06	243.7	245.58	247.35	248.98	250.56	252.03	253.29	254.42	260.81
Z15	235.44	235.44	236.18	236.89	238.88	240.78	242.57	244.23	245.75	247.2	248.46	255.16
Z16	242.05	242.05	242.72	243.36	245.17	246.87	248.46	249.96	251.35	252.6	253.75	260.54
Z17	234.55	234.55	235.28	235.99	237.95	239.84	241.59	243.23	244.73	246.12	247.36	254.67
Z18	228.11	228.11	228.88	229.62	231.67	233.65	235.44	237.14	238.66	240.07	241.34	248.73
Z19	253.14	253.14	253.75	254.33	255.96	257.51	258.96	260.33	261.58	262.75	263.71	269.3
Z20	243.29	243.29	243.93	244.54	246.36	248.09	249.71	251.27	252.71	254	255.13	261.51
Z21	235.97	235.97	236.68	237.35	239.35	241.26	243.04	244.64	246.14	247.48	248.67	255.42
Z22	243.82	243.82	244.46	245.07	246.86	248.57	250.15	251.67	252.98	254.19	255.3	261.83
Z23	234.9	234.9	235.6	236.25	238.2	240.09	241.82	243.46	244.99	246.33	247.51	254.76

Ek 1.8. EZO'lu numunelere ait su emme deneyi sonuçları-2

KOD	NUMUNELERE AİT SU EMME DENEYİ SONUÇLARI											
	Etiv Çıkışı	1/3 saat	2/3 saat	1saat	2saat	3 saat	4 saat	5 saat	6 saat	7 saat	8 saat	24 saat
Z24	226.98	227.75	228.52	229.26	231.32	233.31	235.16	236.85	238.4	239.88	241.15	248.42
Z25	234	234.7	235.4	236.06	237.89	239.62	241.25	242.77	244.23	245.55	246.73	253.71
Z26	225.72	226.49	227.26	227.99	230.01	231.98	233.78	235.47	236.99	238.39	239.66	247.04
Z27	218.7	219.53	220.39	221.13	223.26	225.34	227.29	229.06	230.63	232.12	233.42	241.4
Z28	245.52	246.19	246.85	247.49	249.25	250.93	252.43	253.83	255.12	253.32	257.32	264.08
Z29	234.9	235.64	236.35	237.01	238.92	240.72	242.39	243.97	245.44	246.75	247.9	255.26
Z30	227.16	227.93	228.7	229.44	231.51	233.45	235.25	236.87	238.4	239.78	240.99	248.44
Z31	235.08	235.76	236.44	237.09	239.05	240.89	242.55	244.14	245.49	246.75	247.87	255.32
Z32	225.9	226.67	227.43	228.15	230.33	232.18	233.96	235.62	237.18	238.54	239.75	247.63
Z33	218.34	219.15	219.96	220.75	222.86	224.9	226.82	228.58	230.19	231.72	233.08	241.26
Z34	224.82	225.55	226.29	227.01	229.04	230.92	232.66	234.24	235.72	237.07	238.27	246.76
Z35	216.18	217	217.82	218.61	220.75	222.84	224.71	226.43	227.98	229.43	230.73	239.48
Z36	208.98	209.85	210.73	211.58	213.84	215.97	218.03	219.88	221.55	223.06	224.43	233.59
Z37	237.96	238.67	239.39	240.05	241.85	243.55	245.08	246.54	247.85	249.09	250.13	257.63
Z38	226.26	227.05	227.82	228.54	230.59	232.53	234.27	235.88	237.38	238.71	239.88	247.91
Z39	218.34	219.15	219.97	220.77	222.94	224.99	226.97	228.71	230.26	231.7	232.95	241.35
Z40	226.62	227.33	228.05	228.73	230.72	232.62	234.38	236.03	237.42	238.7	239.84	248.1
Z41	216.9	217.71	218.53	219.31	221.48	223.54	225.43	227.13	228.73	230.12	231.38	240.19
Z42	209.16	210.01	210.86	211.68	213.96	216.08	218.11	219.95	221.62	223.19	224.56	233.61
Z43	215.46	216.31	217.03	217.77	219.86	221.85	223.68	225.3	226.84	228.2	229.44	238.98
Z44	206.1	207	207.89	208.73	211.02	213.19	215.23	216.98	218.58	220.05	221.37	231.38
Z45	198.72	199.65	200.57	201.47	203.92	206.2	208.35	210.34	212.07	213.63	215.03	225.56

Ek 1.9. ESO’lu numunelere ait kuruma hızı deneyi sonuçları-1

KOD	SU KABI ÇIKIŞI	1/2 saat	1saat	2saat	3 saat	4 saat	7 saat	24 saat	KURUMA HIZI
S1	321.62	321.27	321.18	320.76	320.38	320.08	319.53	315.5	1.9
S2	304.49	304.29	304.15	303.83	303.55	303.31	302.82	299.13	1.76
S3	293.85	293.69	293.59	293.34	293.12	292.94	292.49	289.29	1.61
S4	299.02	298.78	298.61	298.21	297.85	297.55	297.06	293.48	1.85
S4	284.52	284.34	284.22	283.91	283.66	283.44	282.95	279.74	1.68
S6	274.05	273.9	273.8	273.57	273.36	273.21	272.86	269.82	1.54
S7	286.04	285.83	285.68	285.31	284.96	284.67	284.16	280.91	1.79
S8	272.44	272.27	272.17	271.89	271.65	271.45	271.02	268.08	1.6
S9	265.62	265.48	265.4	265.18	264.99	264.85	264.55	261.68	1.48
S10	316.48	316.24	316.07	315.68	315.33	315.03	314.54	311.03	1.72
S11	299.65	299.45	299.33	299.03	298.76	298.53	298.07	294.67	1.66
S12	286.68	286.54	286.45	286.22	286.01	285.83	285.46	282.17	1.57
S13	293.1	292.88	292.72	292.34	292.01	291.72	291.24	288.14	1.69
S14	277.07	276.9	276.8	276.52	276.28	276.07	275.64	272.58	1.62
S15	266.7	266.57	266.48	266.27	266.07	265.93	265.64	262.72	1.49
S16	278.52	278.32	278.19	277.85	277.53	277.28	276.8	273.92	1.65
S17	265.72	265.57	265.48	265.22	264.98	264.79	264.37	261.57	1.56
S18	256.06	255.94	255.87	255.66	255.48	255.34	255.07	252.5	1.39
S19	311.31	311.08	310.93	310.57	310.23	309.94	309.47	306.26	1.62
S20	213.51	293.32	293.2	292.92	292.67	292.44	291.99	288.9	1.57
S21	278.46	278.33	278.26	278.04	277.84	277.68	277.37	274.28	1.5
S22	284.83	284.63	284.48	284.12	283.81	283.55	283.1	280.38	1.56
S23	269.68	269.52	269.42	269.15	268.92	268.73	268.32	265.52	1.54

Ek 1.10. ESO’lu numunelere ait kuruma hızı deneyi sonuçları-2

KOD	SU KABI ÇIKIŞI	1/2 saat	1 saat	2 saat	3 saat	4 saat	7 saat	24 saat	KURUMA HIZI
S24	257.69	257.58	257.5	257.3	257.1	256.97	256.71	254.05	1.41
S25	268.9	268.72	268.6	268.28	267.99	267.75	267.29	264.89	1.49
S26	254.69	254.56	254.49	254.25	254.03	253.85	253.45	251.07	1.42
S27	244.3	244.19	244.14	243.94	243.78	243.65	243.4	241.12	1.3
S28	303.49	303.27	303.14	302.81	302.49	302.27	301.77	299.05	1.46
S29	284.3	284.17	284.06	283.81	283.59	283.39	282.97	280.23	1.43
S30	269.69	269.57	269.5	269.28	269.09	268.94	268.64	265.96	1.38
S31	276.74	276.55	276.42	276.09	275.8	275.55	275.13	272.86	1.4
S32	261.03	260.89	260.79	260.54	260.37	260.13	257.74	257.55	1.33
S33	247.97	247.86	247.79	247.61	247.44	247.32	247.08	244.79	1.28
S34	256.95	256.79	256.69	256.4	256.14	255.93	255.5	253.4	1.38
S35	241.53	241.4	241.34	241.17	240.91	240.75	240.42	238.46	1.27
S36	231.84	231.74	231.69	231.5	231.35	231.25	231.04	229.03	1.21
S37	296.91	296.71	296.6	296.3	296.02	295.77	295.36	292.84	1.37
S38	274.19	274.07	273.91	273.69	273.49	273.32	272.93	270.54	1.33
S39	259.6	259.59	259.54	259.34	259.17	259.02	258.74	256.41	1.26
S40	267.65	267.39	266.99	266.64	266.40	266.03	265.59	264.11	1.32
S41	250.61	250.49	250.4	250.17	249.97	249.81	249.48	247.37	1.29
S42	236.39	236.29	236.23	236.06	235.97	235.81	235.6	233.48	1.23
S43	242.99	242.85	242.77	242.5	242.26	242.07	241.68	239.78	1.32
S44	227.95	227.85	227.81	227.61	227.42	227.29	227.09	225.21	1.2
S45	218.95	218.87	218.83	218.66	218.53	218.44	218.28	216.41	1.16

Ek 1.11. ESFO’lu numunelere ait kuruma hızı deneyi sonuçları-1

KOD	SU KABI ÇIKIŞI	1/2 saat	1saat	2saat	3 saat	4 saat	7 saat	24 saat	KURUMA HIZI
A1	255.54	254.79	254.29	253.11	252.04	251.11	249.01	237.11	7.21
A2	249.79	249.12	248.66	247.58	246.58	245.72	243.66	232.85	6.78
A3	245.53	244.94	244.54	243.59	242.69	241.87	239.94	230.41	6.15
A4	247.84	247.15	246.68	245.58	244.53	243.64	241.54	230.39	7.04
A4	242.94	242.34	241.99	240.99	240.14	239.38	237.48	226.88	6.61
A6	239.65	239.12	238.77	237.97	237.28	236.61	235.31	225.43	5.93
A7	241.24	240.59	240.17	239.15	238.21	237.36	235.69	224.64	6.88
A8	237.41	236.87	236.51	235.67	234.88	234.14	232.74	222.77	6.19
A9	234.43	233.95	233.62	232.87	232.17	231.54	230.32	220.85	5.79
A10	252.02	251.31	250.83	249.71	248.67	247.77	245.77	234.78	6.84
A11	245.62	244.98	244.53	243.51	242.57	241.76	239.78	229.6	6.52
A12	240.04	239.46	239.08	238.16	237.28	236.48	234.66	225.61	6.01
A13	243.43	242.77	242.32	241.23	240.22	239.36	237.62	227.41	6.58
A14	238.39	237.81	237.43	236.49	235.67	234.93	233.43	223.6	6.2
A15	233.82	233.3	232.96	232.18	231.49	230.85	229.58	219.86	5.97
A16	236.3	235.67	235.26	234.28	233.36	232.53	230.58	221.38	6.31
A17	231.39	230.87	230.52	229.71	228.95	228.22	226.84	217.46	6.02
A18	227.89	227.44	227.13	226.41	225.72	225.12	223.94	215.24	5.55
A19	247.43	246.78	246.33	245.25	244.23	243.37	241.74	232.18	6.16
A20	240.11	239.49	239.33	238.1	237.2	236.42	234.84	226.27	5.76
A21	234.24	233.68	233.33	232.43	231.58	230.82	229.29	221.87	5.28
A22	238.83	238.21	237.78	236.78	235.84	235.01	233.36	224.33	6.07
A23	232.65	232.08	231.72	230.8	230	229.27	227.86	219.97	5.45

Ek 1.12. ESFO’lu numunelere ait kuruma hızı deneyi sonuçları-2

KOD	SU KABI ÇIKIŞI	1/2 saat	1saat	2saat	3 saat	4 saat	7 saat	24 saat	KURUMA HIZI
A24	227.91	227.41	227.08	226.33	225.65	225.04	223.84	216.83	4.86
A25	231.56	230.96	230.57	229.61	228.71	227.91	226.35	218.08	5.82
A26	226.25	225.75	225.42	224.64	223.9	223.19	221.79	214.68	5.11
A27	220.48	220.07	219.43	218.99	218.46	217.86	216.73	210.07	4.72
A28	236.53	235.44	235.03	234.05	233.1	232.27	230.68	227.58	5.74
A29	234.04	233.56	233.06	232.11	231.24	230.48	228.99	221.49	5.36
A30	228.05	227.52	227.19	226.36	225.57	224.35	223.45	216.71	4.97
A31	232.39	231.8	231.38	230.41	229.51	228.7	227.15	219.35	5.61
A32	226.26	225.71	225.36	224.48	223.7	223	221.62	214.51	5.19
A33	219.61	219.16	218.86	218.16	217.51	216.92	215.77	209.09	4.79
A34	224.98	224.41	224.04	223.13	222.26	221.49	219.98	217.01	5.32
A35	218.87	218.42	218.12	217.4	216.7	216.05	214.8	208.16	4.89
A36	214.97	214.58	214.29	213.64	213.03	212.49	211.47	205.36	4.47
A37	235.55	235.01	234.64	233.74	232.88	232.09	230.06	222.64	5.48
A38	227.83	227.32	226.97	226.13	225.33	224.85	223.23	216.64	4.91
A39	220.52	220.05	219.74	219.02	218.34	217.69	216.39	210.24	4.66
A40	226.31	225.79	225.4	224.53	223.71	222.96	221.56	214.79	5.09
A41	218.28	217.79	217.51	216.78	216.1	215.53	214.41	207.69	4.85
A42	211.65	211.25	210.98	210.34	209.73	209.18	208.1	201.95	4.58
A43	218.45	217.95	217.62	216.82	216.07	215.39	214.1	207.7	4.92
A44	212.77	212.35	212.09	211.46	210.88	210.37	209.27	202.87	4.65
A45	206.98	206.65	206.4	205.88	205.41	205.01	204.09	198.05	4.31

Ek 1.13. EPO’lu numunelere ait kuruma hızı deneyi sonuçları-1

KOD	SU KABI ÇIKIŞI	1/2 saat	1 saat	2 saat	3 saat	4 saat	7 saat	24 saat	KURUMA HIZI
P1	271.37	270.75	270.28	269.53	268.28	267.45	265.84	253.44	6.58
P2	262.79	262.21	261.77	260.77	259.85	259.04	257.45	246.36	6.25
P3	255.57	255.05	254.65	253.77	252.97	252.24	250.81	240.28	5.99
P4	267.64	267.05	266.6	265.34	264.66	263.86	262.31	251.23	6.13
P5	259.59	259.04	258.63	257.69	256.84	256.06	254.56	243.83	6.07
P6	253.09	252.59	252.2	251.36	250.6	249.93	248.62	238.41	5.8
P7	265.09	264.53	264.1	263.15	262.29	261.79	260.33	249.13	6.02
P8	256.73	259.19	255.79	254.89	254.07	253.37	252	241.58	5.9
P9	251.13	250.65	250.29	259.5	248.81	248.22	247.05	236.89	5.67
P10	264.95	264.38	263.95	262.99	262.11	261.29	260.99	249	6.02
P11	256.23	255.78	255.3	254.41	253.61	253.61	251.53	241.31	5.82
P12	248.39	247.92	247.56	247.76	246.02	246.02	244.06	234.13	5.74
P13	261.51	260.97	260.54	259.63	258.78	257.78	256.49	246	5.93
P14	252.13	251.63	251.23	250.37	249.58	249.58	247.42	237.58	5.77
P15	245.23	244.76	244.39	243.58	242.84	242.84	240.48	232.2	5.3
P16	257.79	257.26	256.86	255.98	255.16	254.32	252.82	242.65	5.87
P17	248.58	248.08	247.73	246.92	246.17	246.17	244.2	234.48	5.67
P18	241.66	241.2	240.88	240.13	239.45	239.45	237.67	229.28	5.12
P19	259.15	258.65	258.26	257.39	256.59	256.27	253.51	244.17	5.78
P20	248.68	248.21	247.85	247.02	246.38	246.38	244.58	235.3	5.38
P21	240.24	239.82	239.51	238.81	238.18	238.18	236.45	227.74	5.2
P22	254.73	254.29	253.92	253.13	252.42	251.56	250.49	240.61	5.54
P23	244.17	243.77	243.43	242.71	242.04	242.04	240.26	231.54	5.17

Ek 1.14. EPO’lu numunelere ait kuruma hızı deneyi sonuçları-2

KOD	SU KABI ÇIKIŞI	1/2 saat	1saat	2saat	3 saat	4 saat	7 saat	24 saat	KURUMA HIZI
P24	235.8	235.45	235.17	234.57	234.04	233.57	232.61	224	4.99
P25	249.88	249.47	249.12	248.38	247.73	247.17	246.06	236.23	5.46
P26	239.1	238.73	238.43	237.79	237.22	236.74	235.77	227.07	5.03
P27	231.62	231.27	231	230.41	229.91	229.48	228.59	220.5	4.8
P28	251.89	251.43	251.07	250.27	249.53	248.46	247.61	238.86	5.17
P29	240.12	239.7	239.38	238.67	238.02	237.84	236.38	228.21	4.96
P30	231.28	230.88	230.61	229.96	229.37	228.55	227.84	220.24	4.77
P31	246.28	245.85	245.5	244.76	244.13	243.77	242.34	233.96	5
P32	235.12	234.75	234.45	233.81	233.25	232.36	231.86	223.97	4.74
P33	226.62	226.29	226.03	225.47	225	224.70	223.85	216.73	4.36
P34	241.2	240.82	240.5	239.2	239.33	238.46	237.81	228.42	4.88
P35	228.58	228.23	227.96	227.41	226.89	226.18	225.65	218.29	4.5
P36	219.94	219.6	219.37	218.86	218.39	218.72	217.25	210.63	4.23
P37	293.49	293.09	292.76	292.01	291.32	290.71	289.57	279.05	4.92
P38	231.5	231.13	230.83	230.19	229.62	229.12	228.16	220.41	4.79
P39	220.58	220.24	220	219.46	218.98	218.59	217.85	210.32	4.65
P40	237.62	237.26	236.97	236.35	235.8	235.31	234.37	226.14	4.83
P41	226.33	226.001	225.76	225.23	224.78	224.43	223.76	215.87	4.62
P42	218.56	218.28	218.07	217.6	217.19	216.86	216.25	209.42	4.18
P43	232.38	232.02	231.73	231.16	230.66	230.26	229.48	221.29	4.77
P44	218.27	217.94	217.68	217.15	216.67	216.53	215.53	209.1	4.2
P45	209.18	208.87	208.64	207.88	207.45	206.37	206.07	200.75	4.03

Ek 1.15. EZO’lu numunelere ait kuruma hızı deneyi sonuçları-1

KOD	SU KABI ÇIKIŞI	1/2 saat	1 saat	2saat	3 saat	4 saat	7 saat	24 saat	KURUMA HIZI
Z1	278.02	277.45	277.06	276.12	275.21	274.44	272.81	262.36	5.63
Z2	271.38	270.86	270.5	269.64	268.85	268.15	266.72	257.26	5.2
Z3	267.18	266.69	266.37	265.6	264.89	264.22	262.87	253.68	5.05
Z4	271.47	270.92	270.54	269.64	268.81	268.07	266.58	256.59	5.48
Z4	266.22	265.73	265.35	264.51	263.75	263.08	261.77	252.53	5.14
Z6	262.5	262.05	261.71	260.97	260.3	259.72	258.54	249.4	4.99
Z7	266.34	265.82	265.48	264.61	263.84	263.15	261.75	252.3	5.27
Z8	259.96	259.5	259.15	258.35	257.63	257	255.78	247.06	4.96
Z9	255.19	254.78	254.5	253.78	253.13	252.59	251.32	241.4	4.78
Z10	273.71	273.17	272.79	271.9	271.08	270.33	268.9	258.92	5.4
Z11	267.34	266.85	266.5	265.7	264.97	264.33	263.07	253.54	5.16
Z12	261.56	261.12	260.81	260.09	259.42	258.83	257.68	248.66	4.93
Z13	267.42	266.9	266.54	265.7	264.92	264.23	262.78	253.32	5.27
Z14	260.81	260.39	259.99	259.2	258.48	257.83	256.58	247.61	5.06
Z15	255.16	254.73	254.4	253.68	253.03	252.49	251.32	242.65	4.9
Z16	260.54	260.05	259.72	258.91	258.19	257.48	256.18	247.25	5.1
Z17	254.67	254.24	253.93	253.22	252.58	252	250.86	242.42	4.81
Z18	248.73	248.31	248.01	247.32	246.69	246.13	244.99	237.11	4.67
Z19	269.3	268.79	268.43	267.59	266.81	266.12	264.76	255.48	5.13
Z20	261.51	261.03	260.7	259.93	259.23	258.62	257.42	248.43	5
Z21	255.42	255	254.71	254.02	253.41	252.89	251.89	243.23	5.77
Z22	261.83	261.33	260.99	260.18	259.43	258.79	257.55	248.68	5.02
Z23	254.76	254.33	254.01	253.29	252.64	251.99	251.08	242.53	4.8

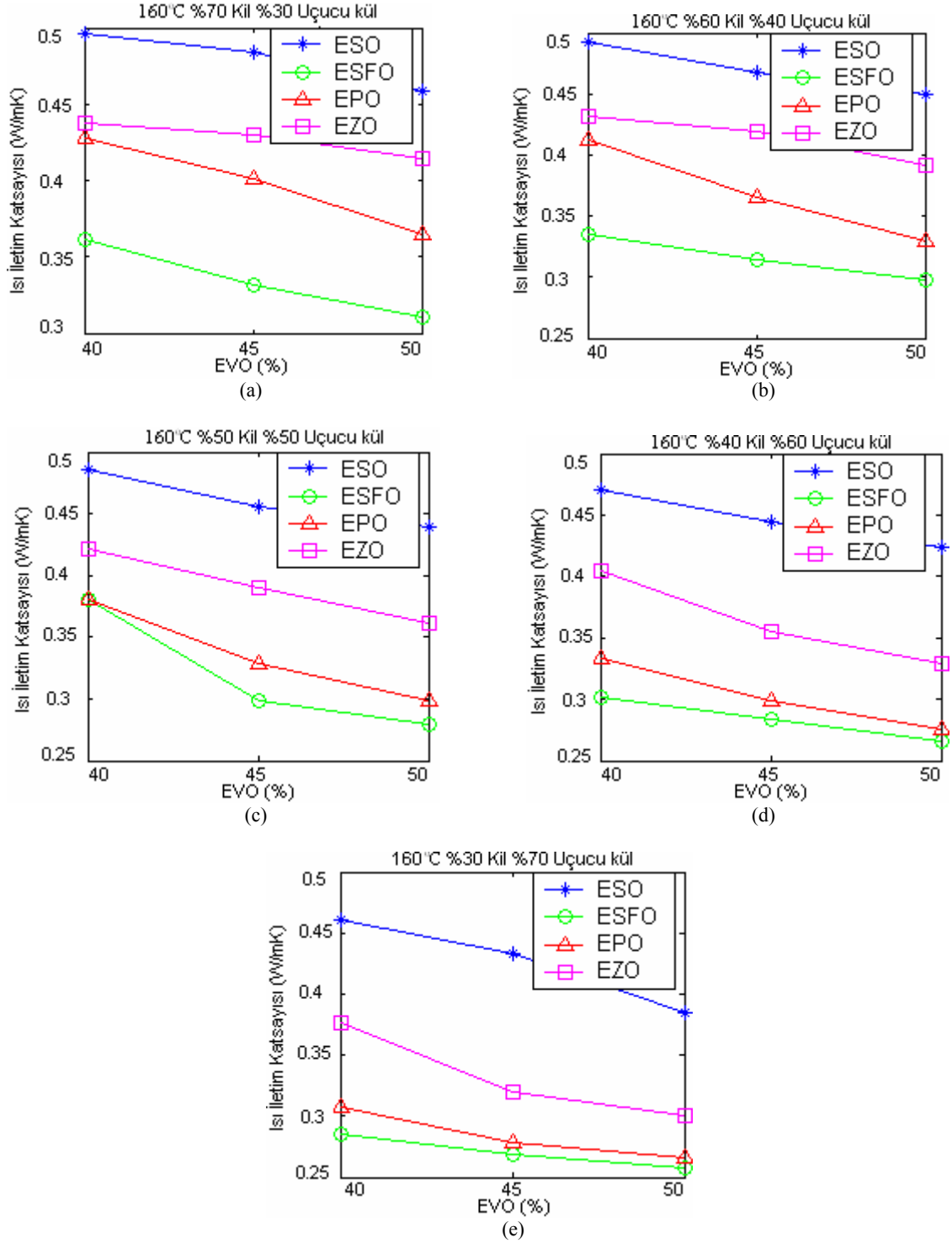
Ek 1.16. EZO’lu numunelere ait kuruma hızı deneyi sonuçları-2

KOD	SU KABI ÇIKIŞI	1/2 saat	1saat	2saat	3 saat	4 saat	7 saat	24 saat	KURUMA HIZI
Z24	248.42	248.02	247.71	247.02	246.4	245.86	244.77	236.81	4.67
Z25	253.71	253.29	252.93	252.17	251.48	250.88	249.71	241.3	4.89
Z26	247.04	246.62	246.33	245.65	245.05	244.54	243.55	235.42	4.7
Z27	241.4	241	260240.7	240.05	239.46	238.97	238.02	230.63	4.46
Z28	264.08	263	263.28	262.45	261.71	261.06	259.81	251.32	4.83
Z29	255.26	254.79	254.49	253.74	253.08	252.51	251.43	243.05	4.78
Z30	248.44	248.04	247.76	247.1	246.5	245.97	245.43	237.38	4.45
Z31	255.32	254.85	254.53	253.77	253.08	252.48	251.31	243.26	4.72
Z32	247.63	247.22	246.92	246.25	245.68	245.2	244.27	236.33	4.56
Z33	241.26	240.87	240.6	239.98	239.43	238.96	238.06	230.64	4.4
Z34	246.76	246.31	246.01	245.3	244.66	244.1	243.02	235.63	4.51
Z35	239.48	239.08	238.61	238.17	237.61	237.14	236.23	229.23	4.28
Z36	233.59	233.22	232.94	232.31	231.76	231.28	230.36	224.26	3.99
Z37	257.63	257.17	256.85	256.1	255.43	254.84	253.69	245.67	4.64
Z38	247.91	247.45	247.16	246.43	245.78	245.22	244.15	236.72	4.51
Z39	241.35	240.96	240.71	240.1	239.55	239.1	238.24	231.14	4.23
Z40	248.1	247.66	247.36	246.66	246.05	245.47	244.4	236.91	4.51
Z41	240.19	239.79	239.51	238.86	238.28	237.78	236.83	229.93	4.27
Z42	233.61	233.24	232.98	232.37	231.82	231.36	230.48	224.14	4.05
Z43	238.98	238.56	238.29	237.63	237.04	236.54	235.59	228.79	4.26
Z44	231.38	231	230.75	230.15	229.62	229.16	228.3	222.05	4.03
Z45	225.56	225.21	224.96	224.4	223.9	223.47	222.63	216.98	3.8

Ek-2. SHOTERM QTM ÖLÇME CİHAZI İLE DEĞİŞİK MALZEMELERİN ISIL İLETKENLİK DEĞERLERİNİN TESPİTİ [44]

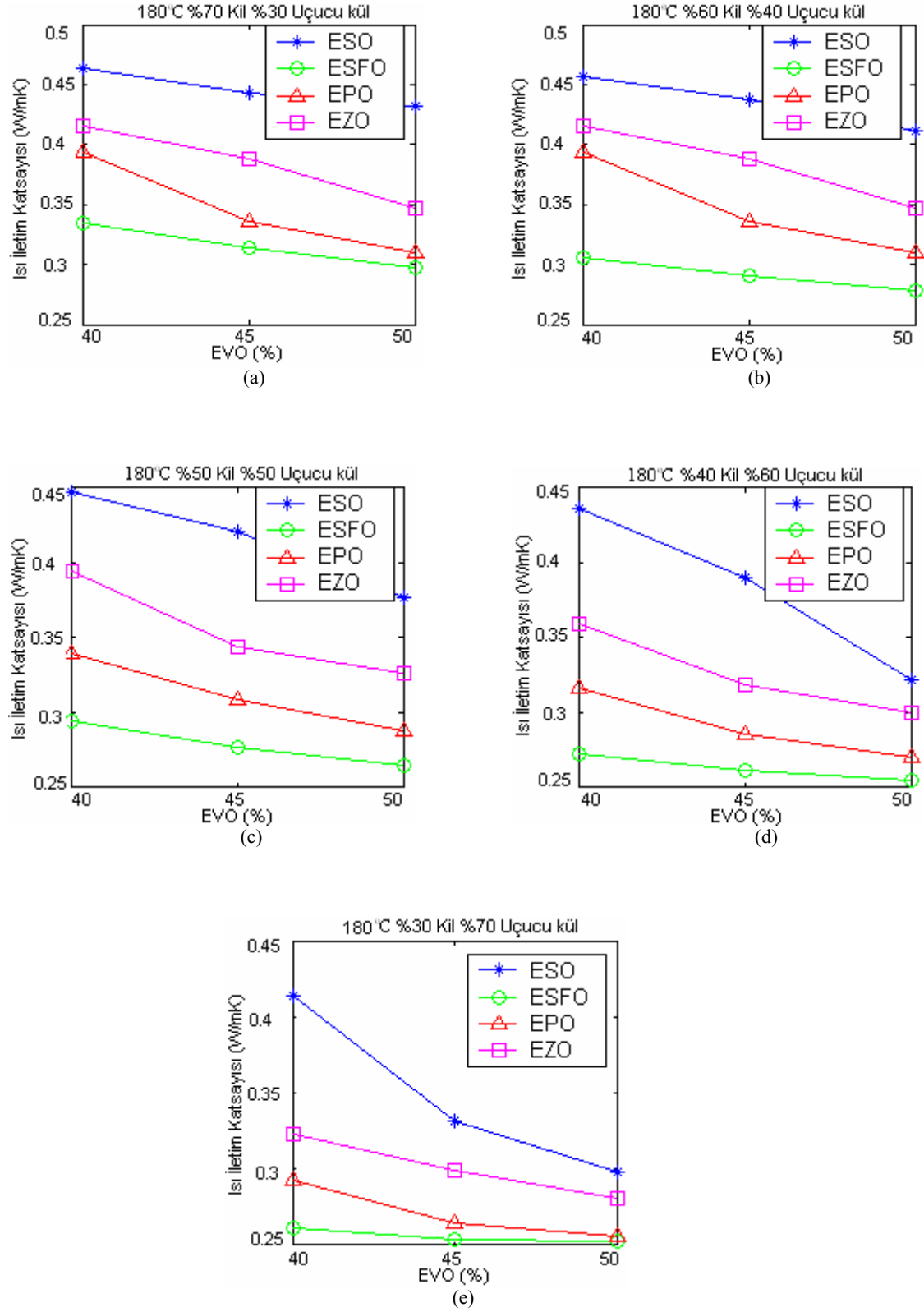
MALZEME ADI	ÖLÇÜLEN DEĞERLER			LİTERATÜRDEKİ DEĞERLER		
	Yoğunluk	T _{ort}	Isıl İletkenlik	Yoğunluk	T _{ort}	Isıl İletkenlik
	g/cm ³	°C	W/mK	g/cm ³	°C	W/mK
Dış sıva harcı (kaba)	1.856	31.0	1.173	1.600 1.800	20 20	0.930 1.630
İç sıva harcı (ince)	1.763	33.0	1.163	1.680 1.680	20 20	0.779 0.930
Alçılı ince sıva (perlitli)	0.465	34.0	0.244	0.4-0.5	20	0.139-0.162
Alçılı kaba sıva (perlitli)	0.465	50.7	0.168	0.4-0.5	20	0.139-0.162
Çimentolu sıva (perlitli)	0.672	51.3	0.173	0.700	20	0.244
Alçılı blok (perlitli)	1.047	40.0	0.372	0.9	20	0.221
Çimentolu blok (perlitli)	0.427	37.7	0.292	0.1046	20	0.300
beton	2.5	27.0	1.4	2.272	24	1.512
Seramik toprak	1.077	27.7	0.214	2.00	20	0.988
Strofor	0.016	26.3	0.0308	0.200	20	0.0395
Ytong	0.617	38.7	0.18	0.800	20	0.383
Cam yünü	0.15	33.7	0.0341	0.200	20	0.0372
Tuğla duvar	2.093	45.7	1.148	1.8-2.0	20	0.972

EK-3. NUMUNELERİN İÇERİKLERİNDEKİ DEĞİŞİK EPOKSİLENMİŞ BİTKİSEL YAĞ ORANLARINA GÖRE ÖZELLİKLERİNDEKİ DEĞİŞİMLERİN DETAYLI GÖSTERİMİ



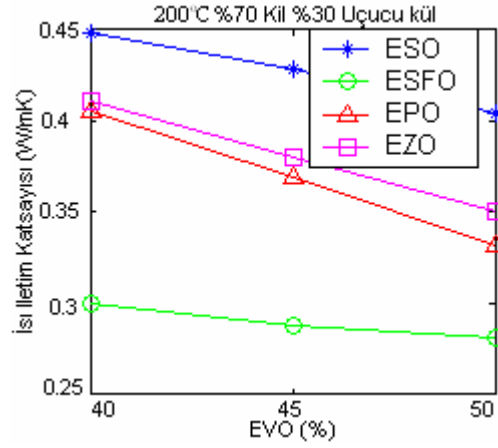
Ek 3.1. 160°C’de, numune içeriğindeki EVO oranlarına göre, ısı iletim katsayılarının değişimi

a. %70 kil %30 kül **b.** %60 kil %40 kül **c.** %50 kil %50UK **d.** %40 kil %60UK **e.** %30 kil %70 UK

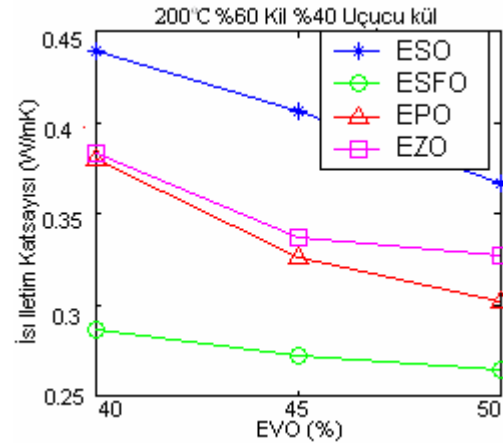


Ek 3.2. 180°C’de, numune içeriğindeki EVO oranlarına göre, ısı iletim katsayılarının değişimi

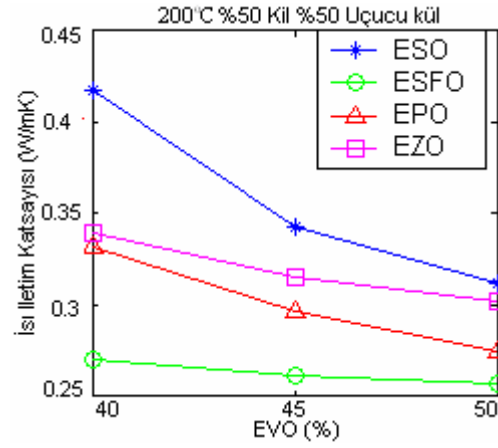
a. %70 kil %30 UK **b.** %60 kil %40 UK **c.** %50kil %50UK **d.** %40 kil %60UK **e.** %30kil %70 UK



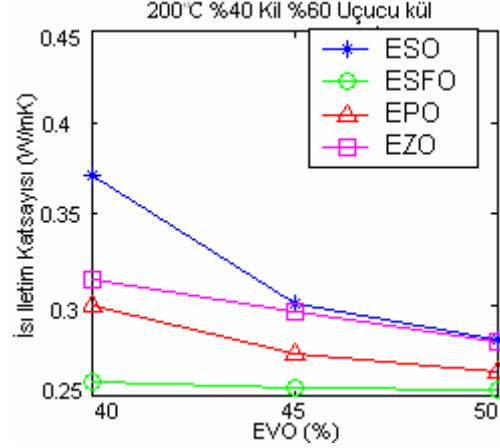
(a)



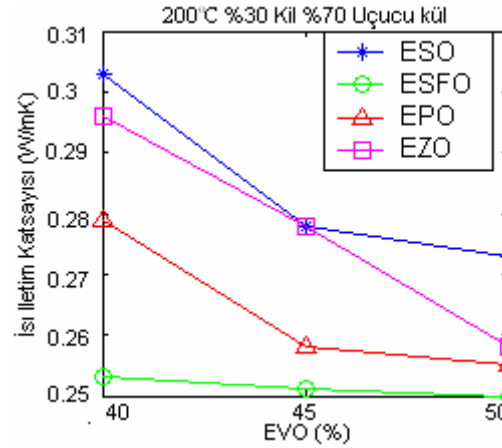
(b)



(c)



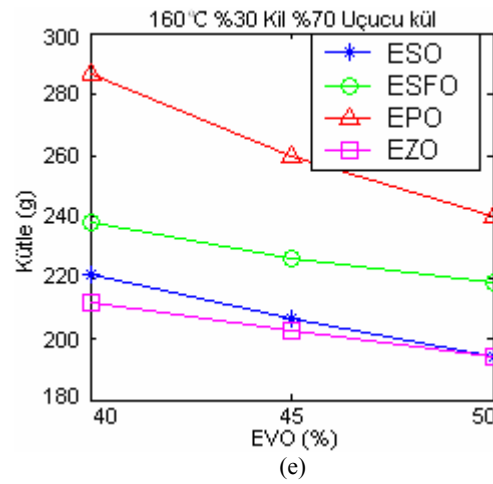
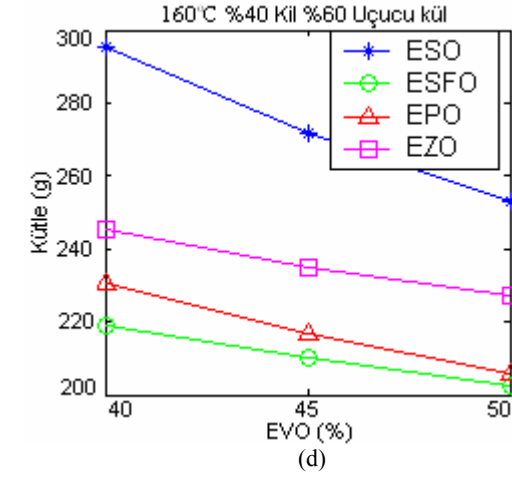
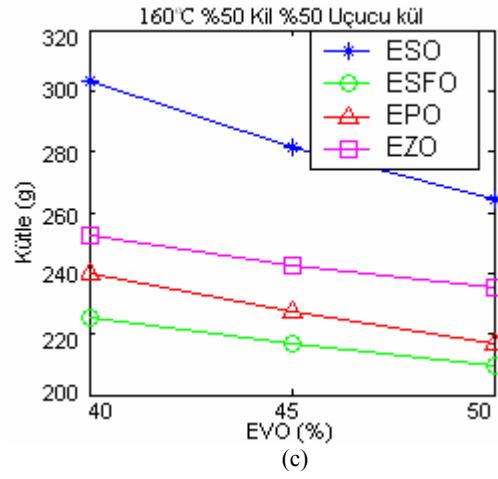
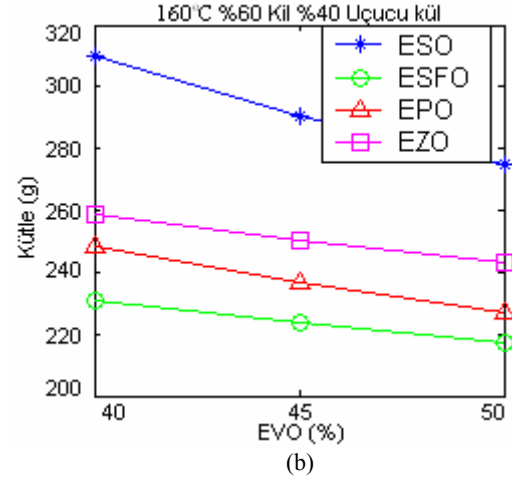
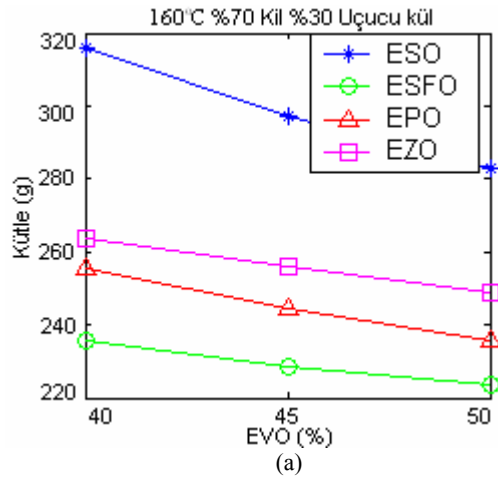
(d)



(e)

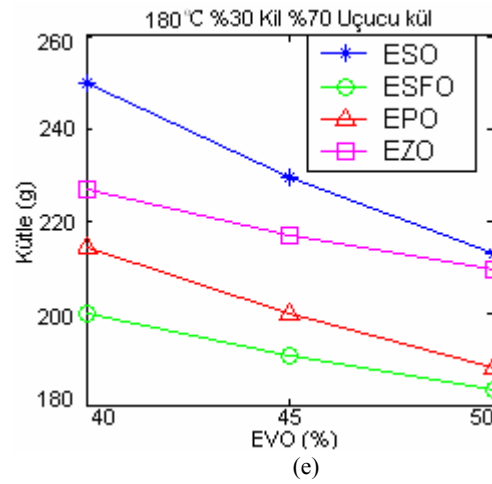
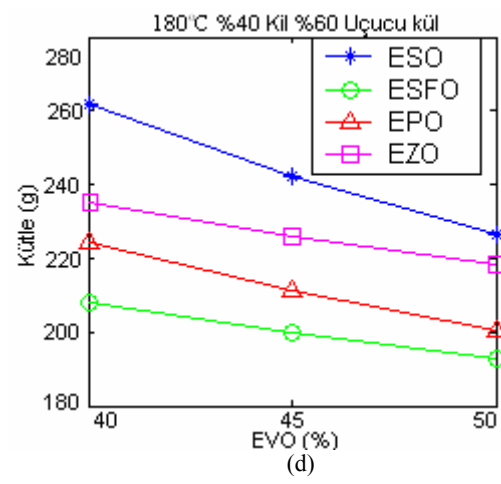
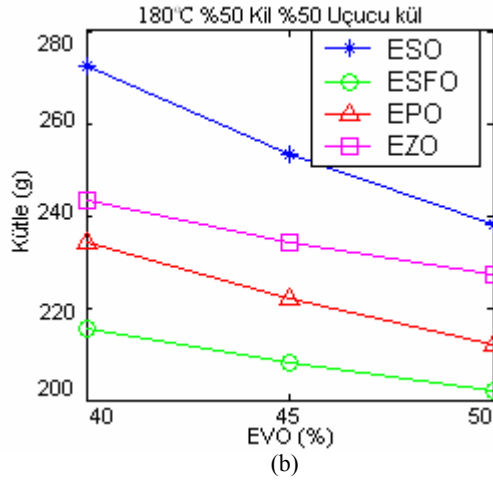
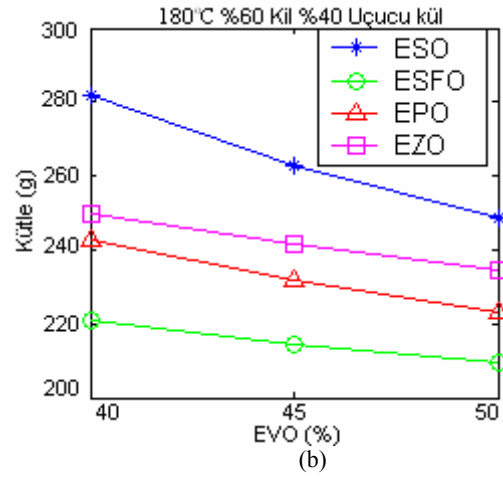
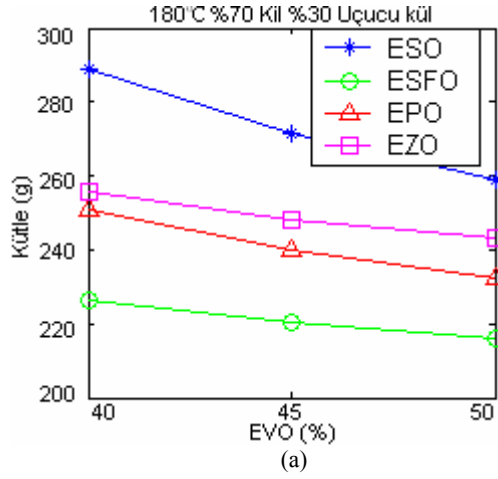
Ek 3.3. 200°C'de, numune içeriğindeki EVO oranlarına göre, ısı iletim katsayılarının değişimi

a. %70 kil %30 UK **b.** %60 kil %40 UK **c.** %50 kil %50 UK **d.** %40 kil %60 UK **e.** %30 kil %70 UK



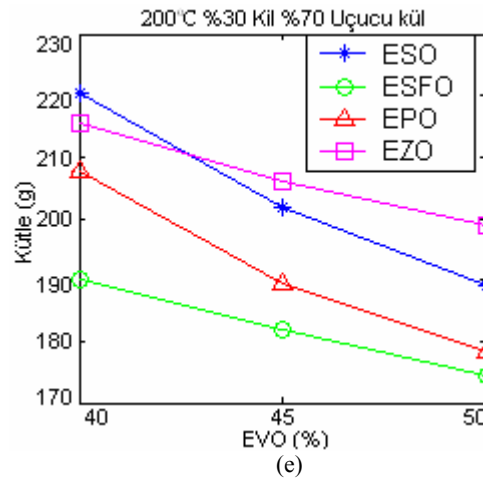
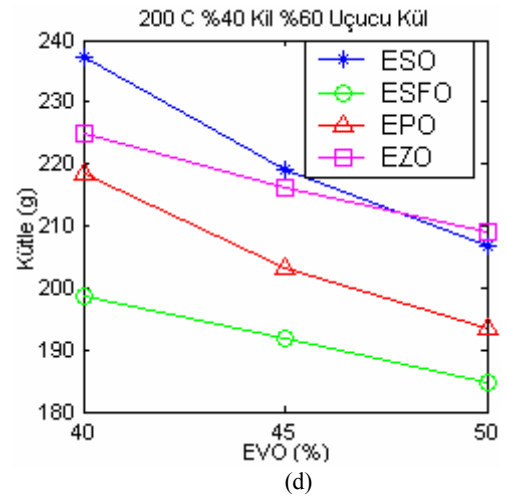
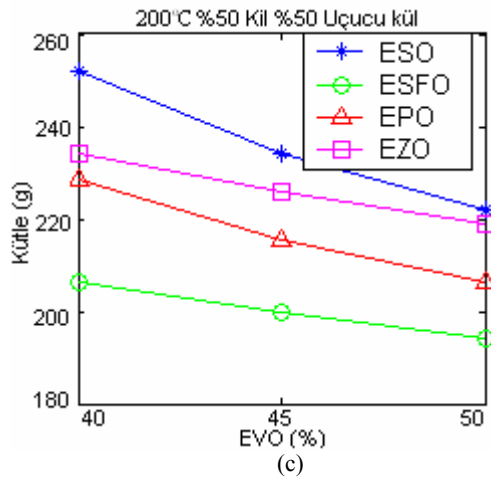
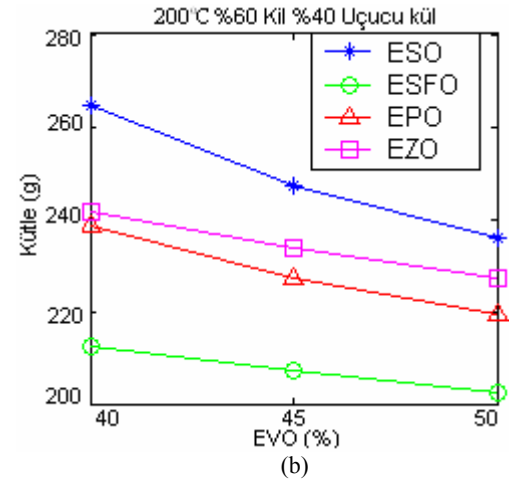
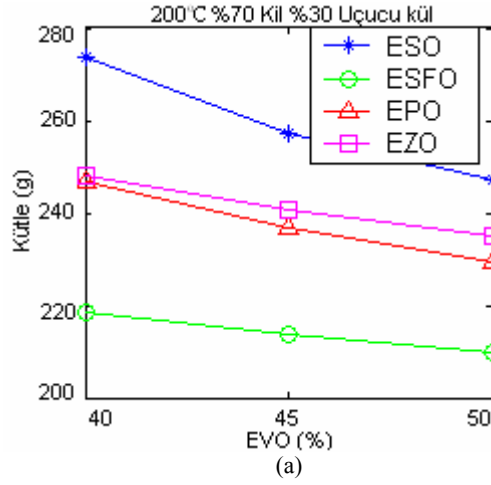
Ek 3.4. 160°C'de, numune içeriğindeki EVO oranlarına göre, kütle değerlerinin değişimi

a. %70 kil %30 UK **b.** %60 kil %40 UK **c.** %50 kil %50 UK **d.** %40 kil %60 UK **e.** %30 kil %70 UK



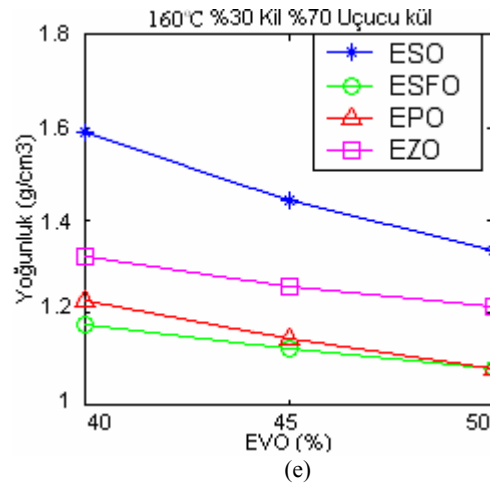
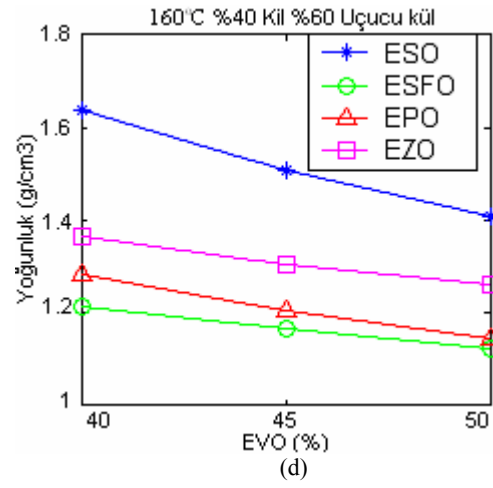
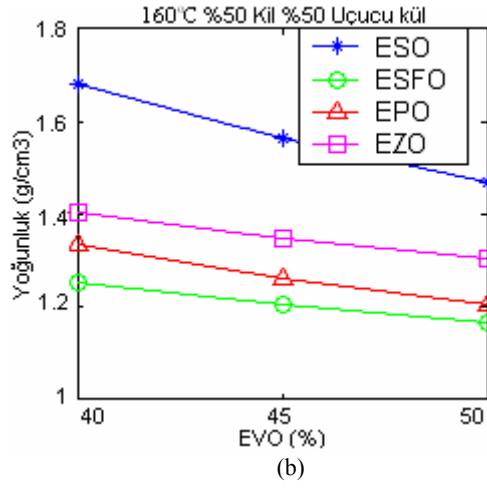
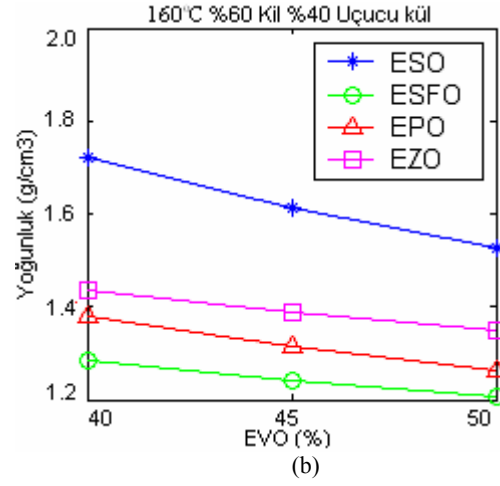
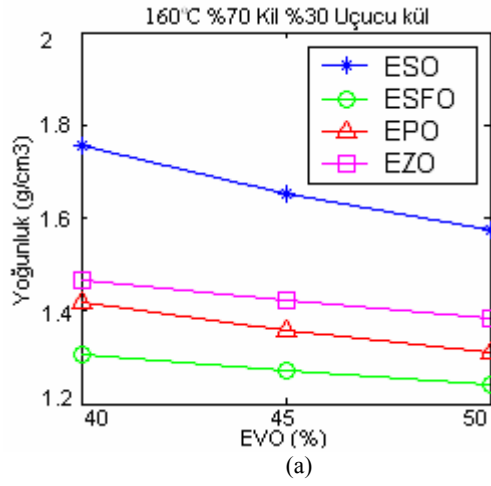
Ek 3.5. 180°C'de, numune içeriğindeki EVO oranlarına göre, kütle değerlerinin değişimi

a. %70 kil %30 UK **b.** %60 kil %40 UK **c.** %50 kil %50 UK **d.** %40 kil %60UK **e.** %30 kil %70 UK



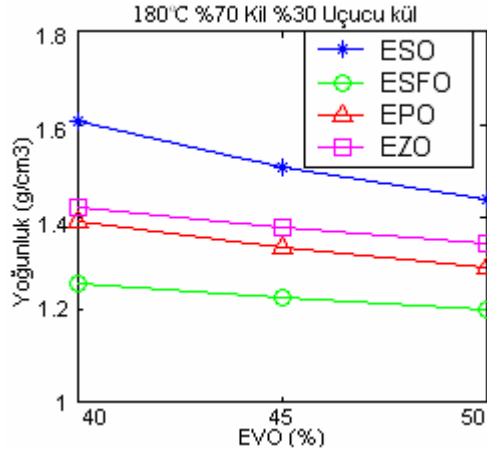
Ek 3.6. 200⁰C’de, numune içeriğindeki EVO oranlarına göre, kütle değerlerinin değişimi

a. %70 kil %30 UK **b.** %60 kil %40 UK **c.** %50 kil %50UK **d.** %40 kil %60UK **e.** %30 kil %70 UK

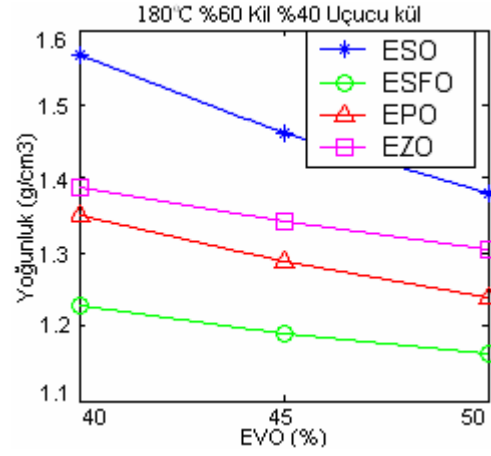


Ek 3.7. 160°C'de, numune içeriğindeki EVO oranlarına göre, yoğunluk değerlerinin değişimi

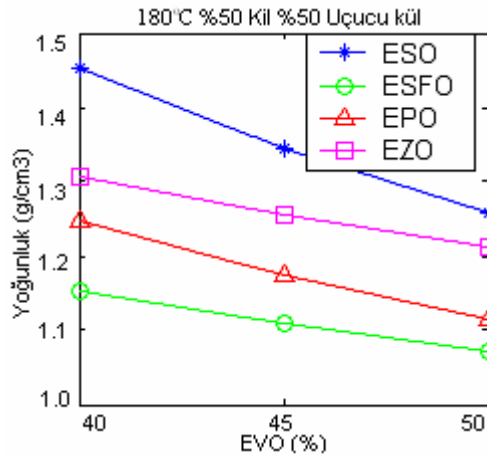
a. %70 kil %30 UK **b.** %60 kil %40 UK, **c.** %50 kil %50 UK, **d.** %40 kil %60 UK, **e.** %30 kil %70 UK



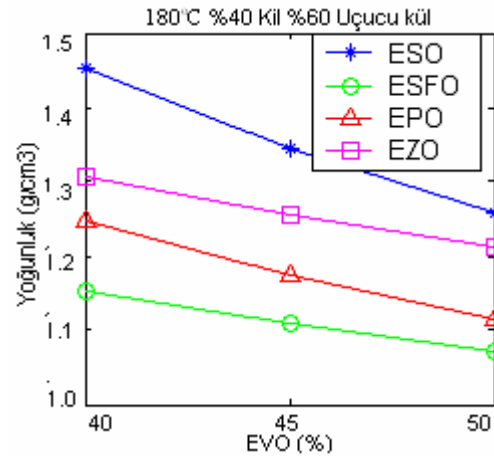
(a)



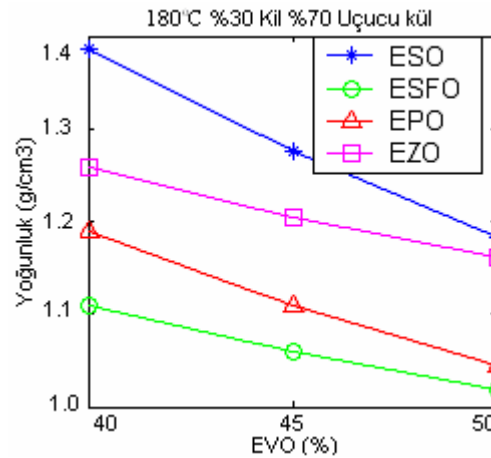
(b)



(c)



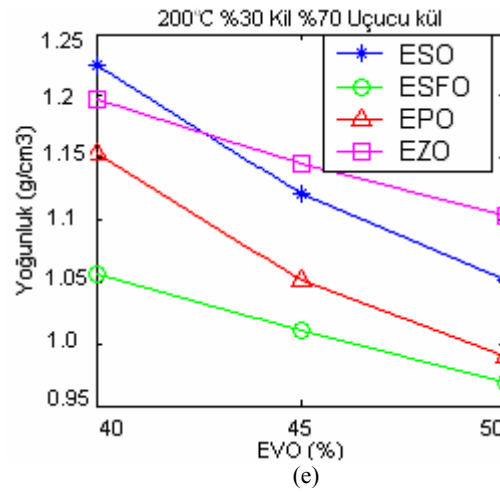
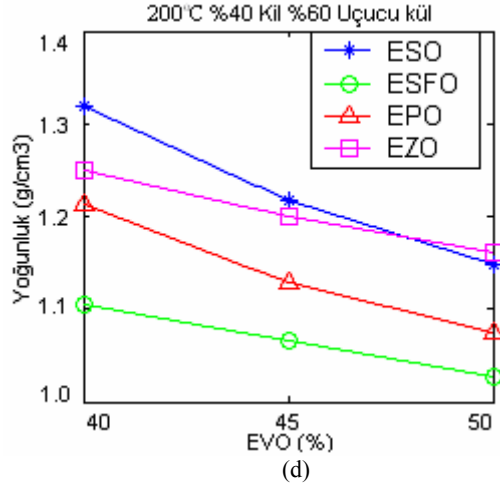
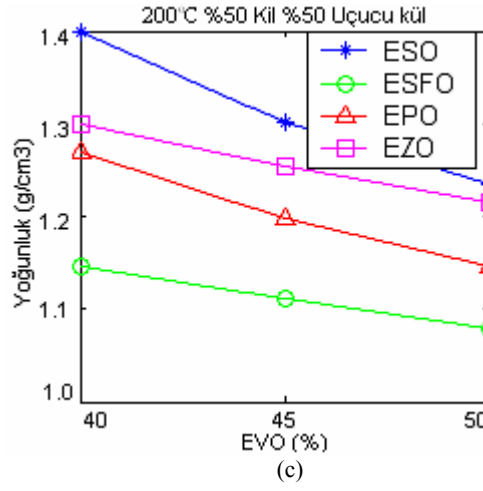
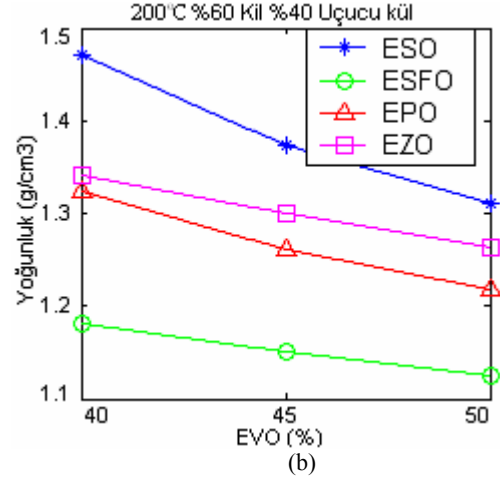
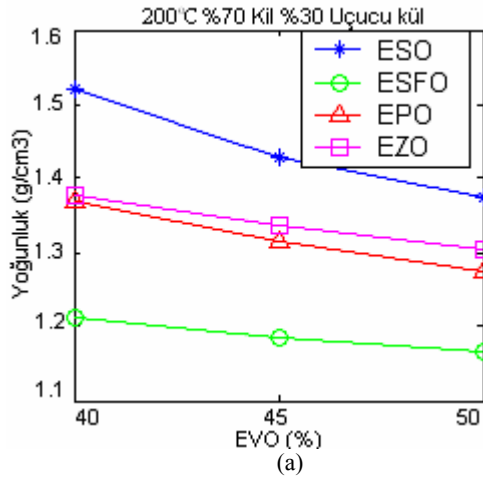
(d)



(e)

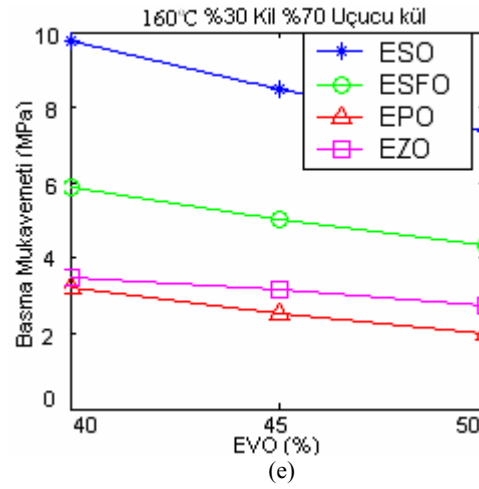
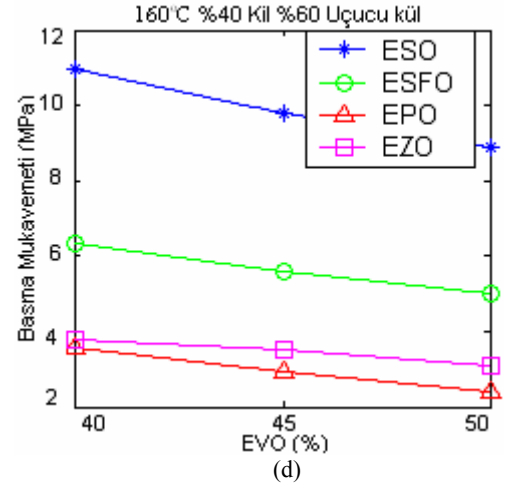
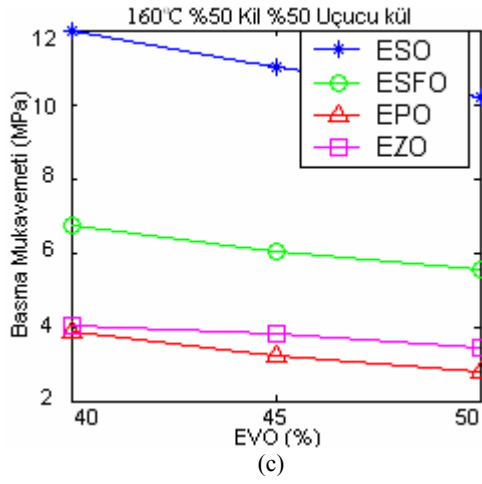
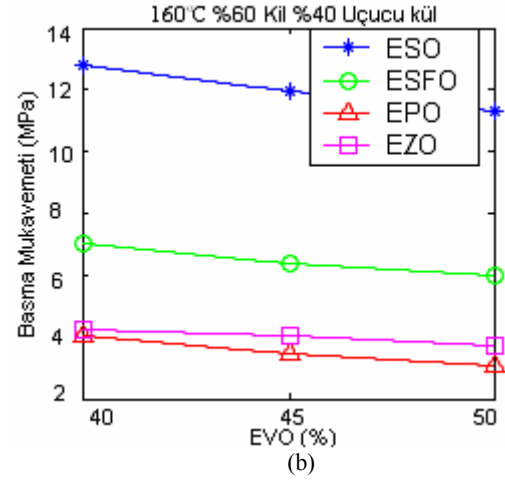
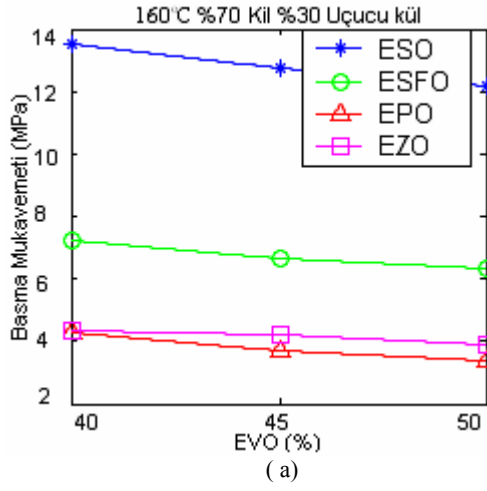
Ek 3.8. 180°C'de, numune içeriğindeki EVO oranlarına göre, yoğunluk değerlerinin değişimi

a. %70 kil %30 UK, **b.** %60 kil %40 UK, **c.** %50 kil %50 UK, **d.** %40 kil %60 UK, **e.** %30 kil %70 UK



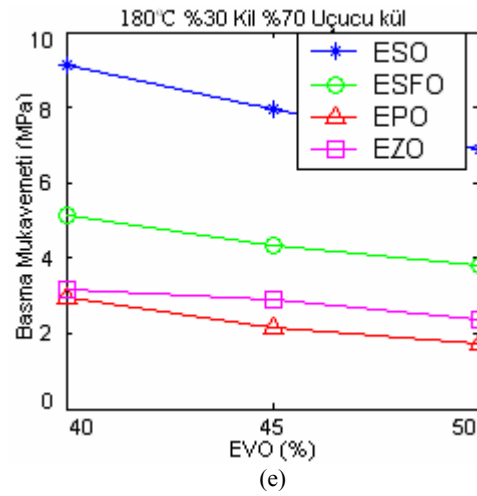
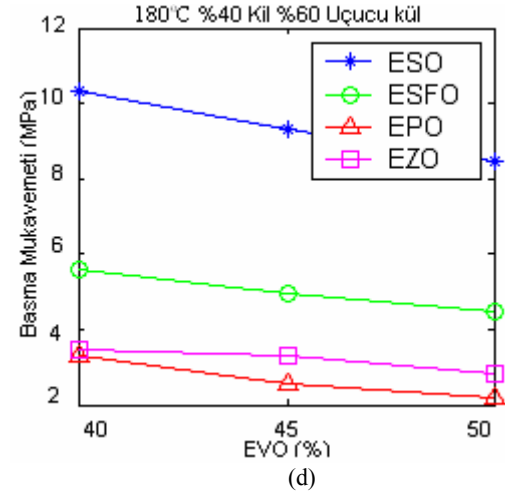
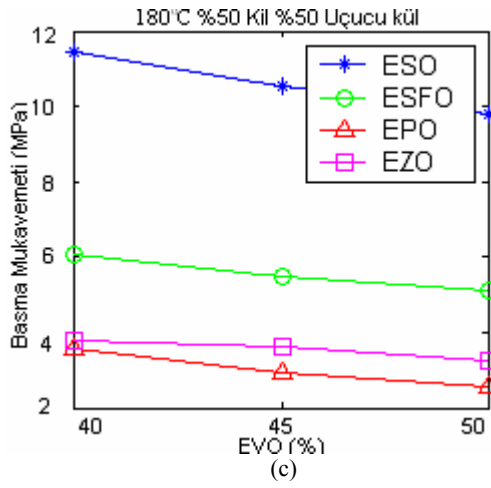
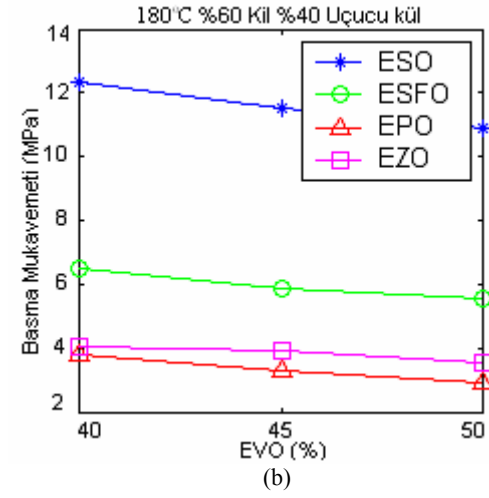
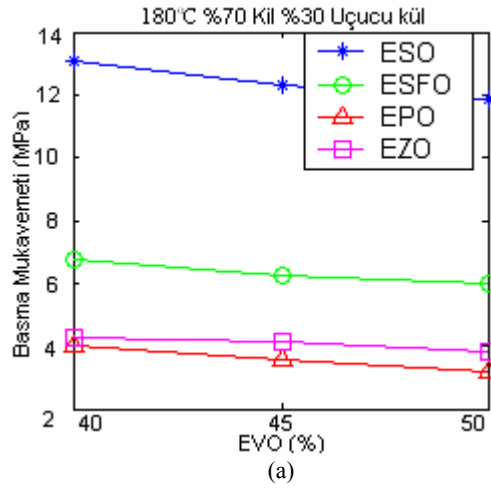
Ek 3.9. 200°C’de, numune içeriğindeki EVO oranlarına göre, yoğunluk değerlerinin değişimi

a. %70 kil %30 UK b. %60 kil %40 UK, c. %50 kil %50 UK, d. %40 kil %60 UK, e. %30 kil %70 UK



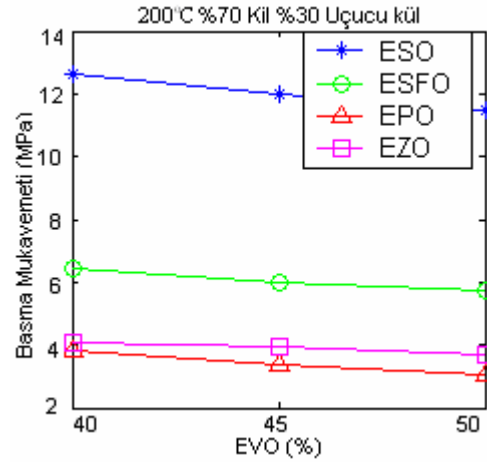
Ek 3.10. 160⁰C’de, numune içeriğindeki EVO oranlarına göre, basma mukavemetlerinin değişimi

a. %70 kil %30 UK **b.** %60 kil %40 UK **c.** %50 kil %50 UK **d.** %40 kil %60 UK **e.** %30 kil %70 UK

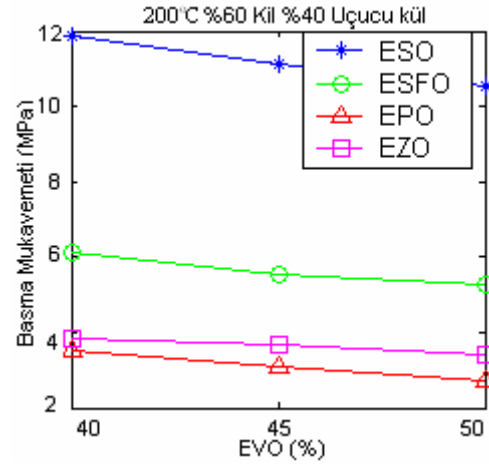


Ek 3.11. 180°C’de, numune içeriğindeki EVO oranlarına göre, basma mukavemetlerinin değişimi

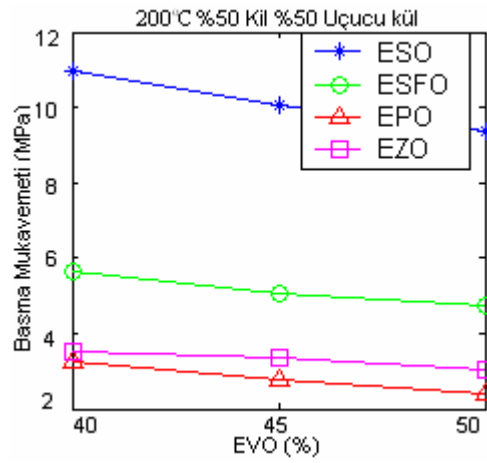
a. %70 kil %30 UK **b.** %60 kil %40 UK **c.** %50 kil %50 UK **d.** %40 kil %60 UK **e.** %30 kil %70 UK



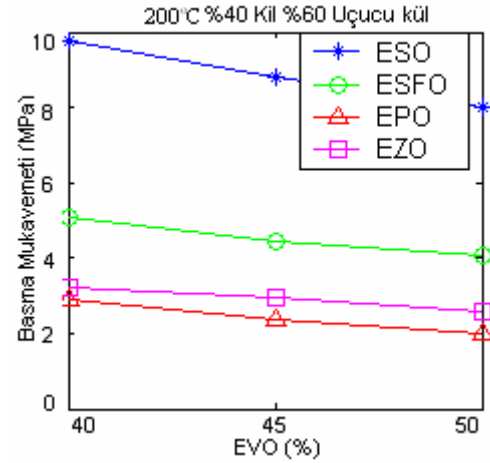
(a)



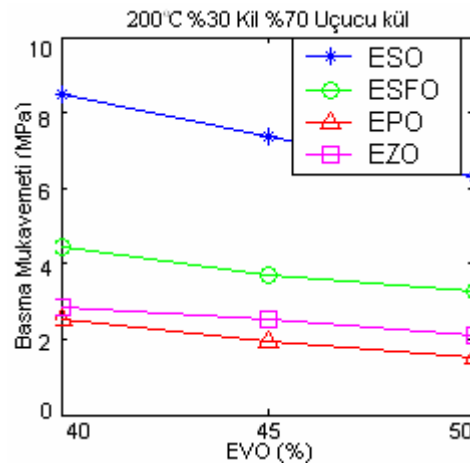
(b)



(c)



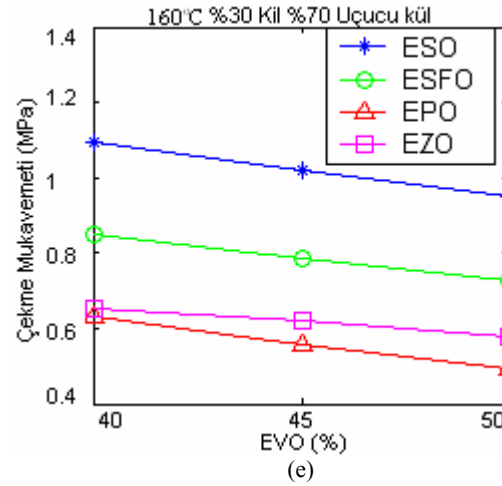
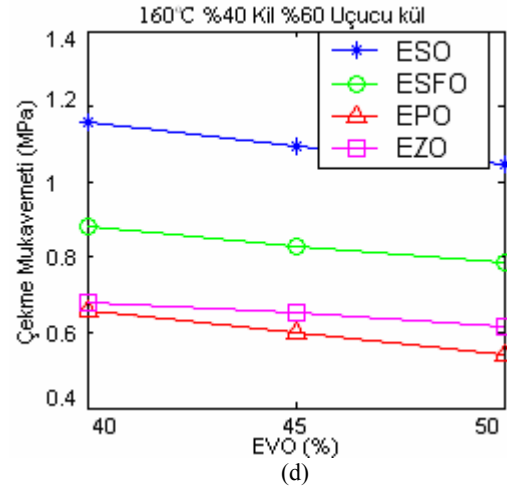
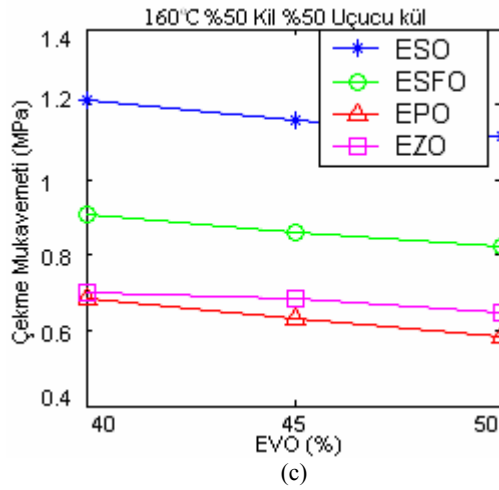
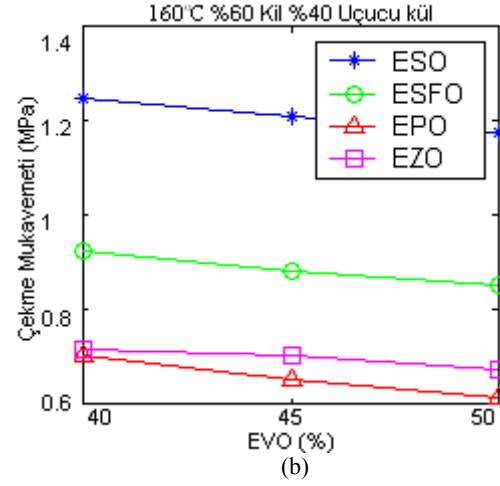
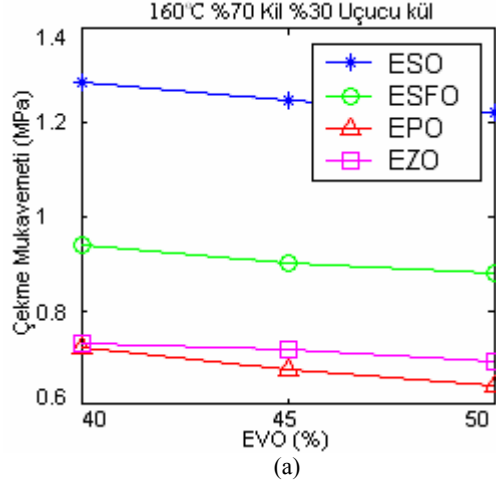
(d)



(e)

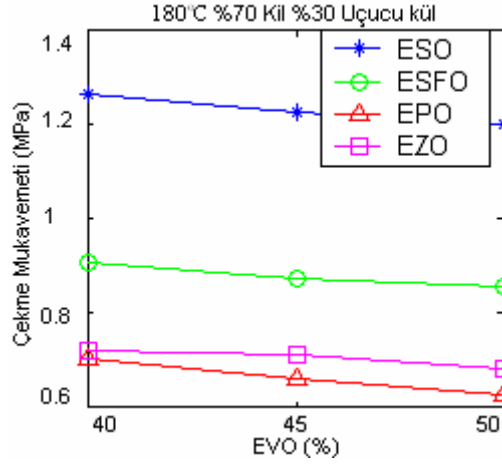
Ek 3.12. 200 °C’de, numune içeriğindeki EVO oranlarına göre, basma mukavemetlerinin değişimi

a. %70 kil %30 UK **b.** %60 kil %40 UK **c.** %50 kil %50 UK **d.** %40 kil %60 UK **e.** %30 kil %70 UK

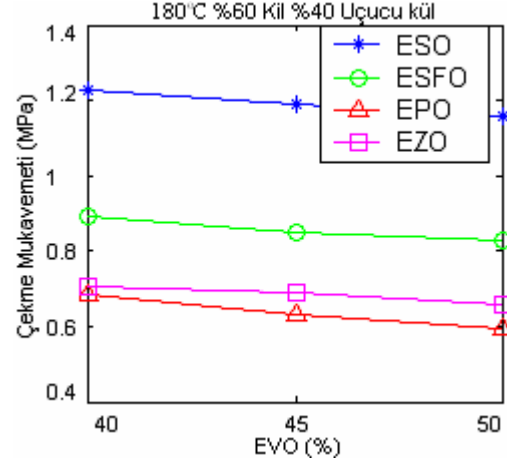


Ek 3.13. 160⁰C’de, numune içeriğindeki EVO oranlarına göre, çekme mukavemetlerinin değişimi

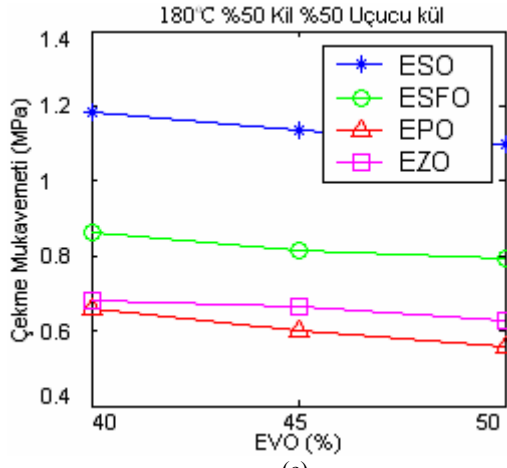
a. %70 kil %30 UK **b.** %60 kil %40 UK **c.** %50 kil %50 UK **d.** %40 kil %60 UK **e.** %30 kil %70 UK



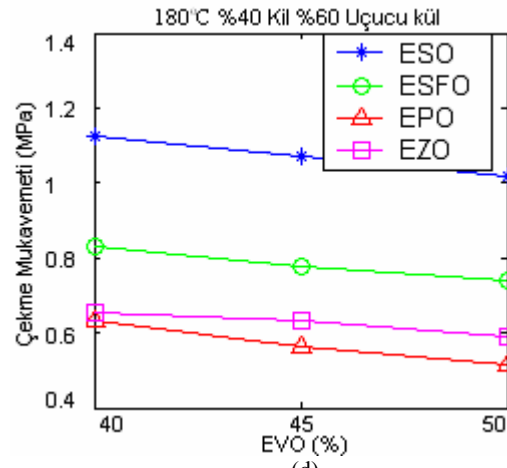
(a)



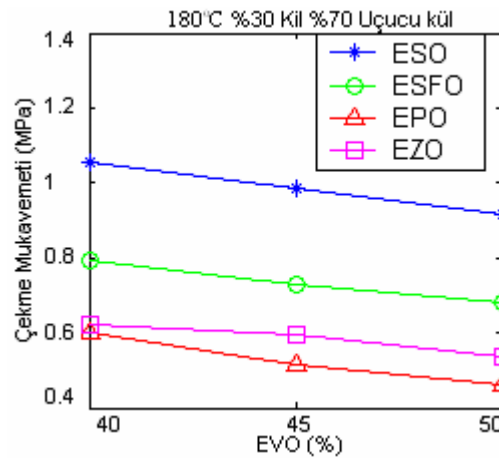
(b)



(c)



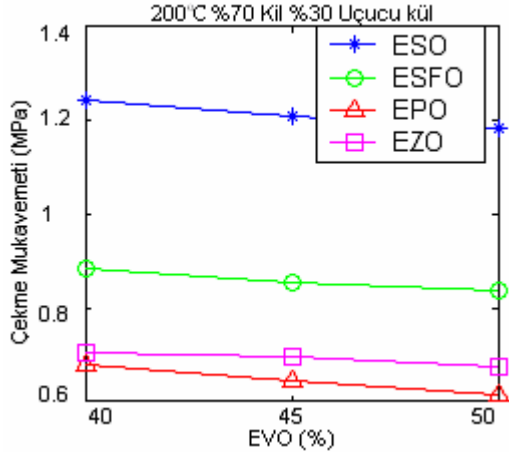
(d)



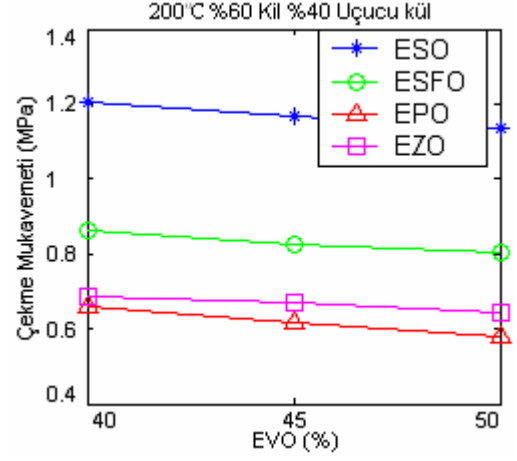
(c)

Ek 3.14. 180⁰C’de, numune içeriğindeki EVO oranlarına göre, çekme mukavemetlerinin değişimi

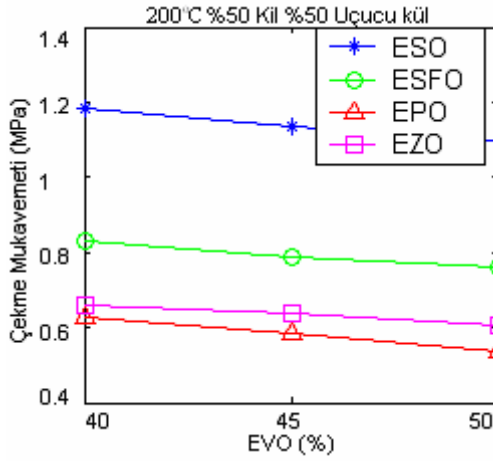
a. %70 kil %30 UK **b.** %60 kil %40 UK **c.** %50 kil %50 UK **d.** %40 kil %60 UK **e.** %30 kil %70 UK



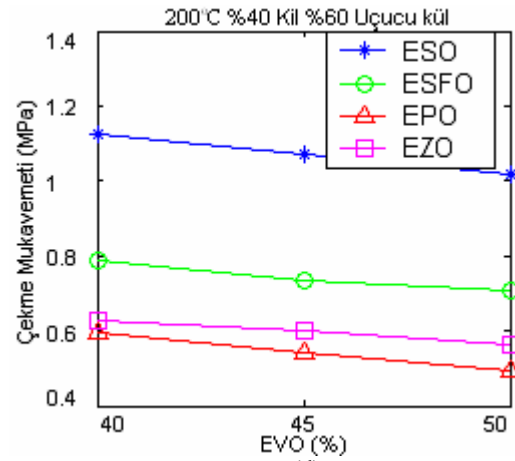
(a)



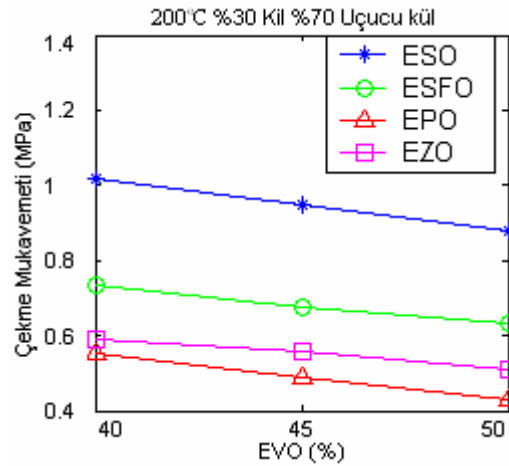
(b)



(c)



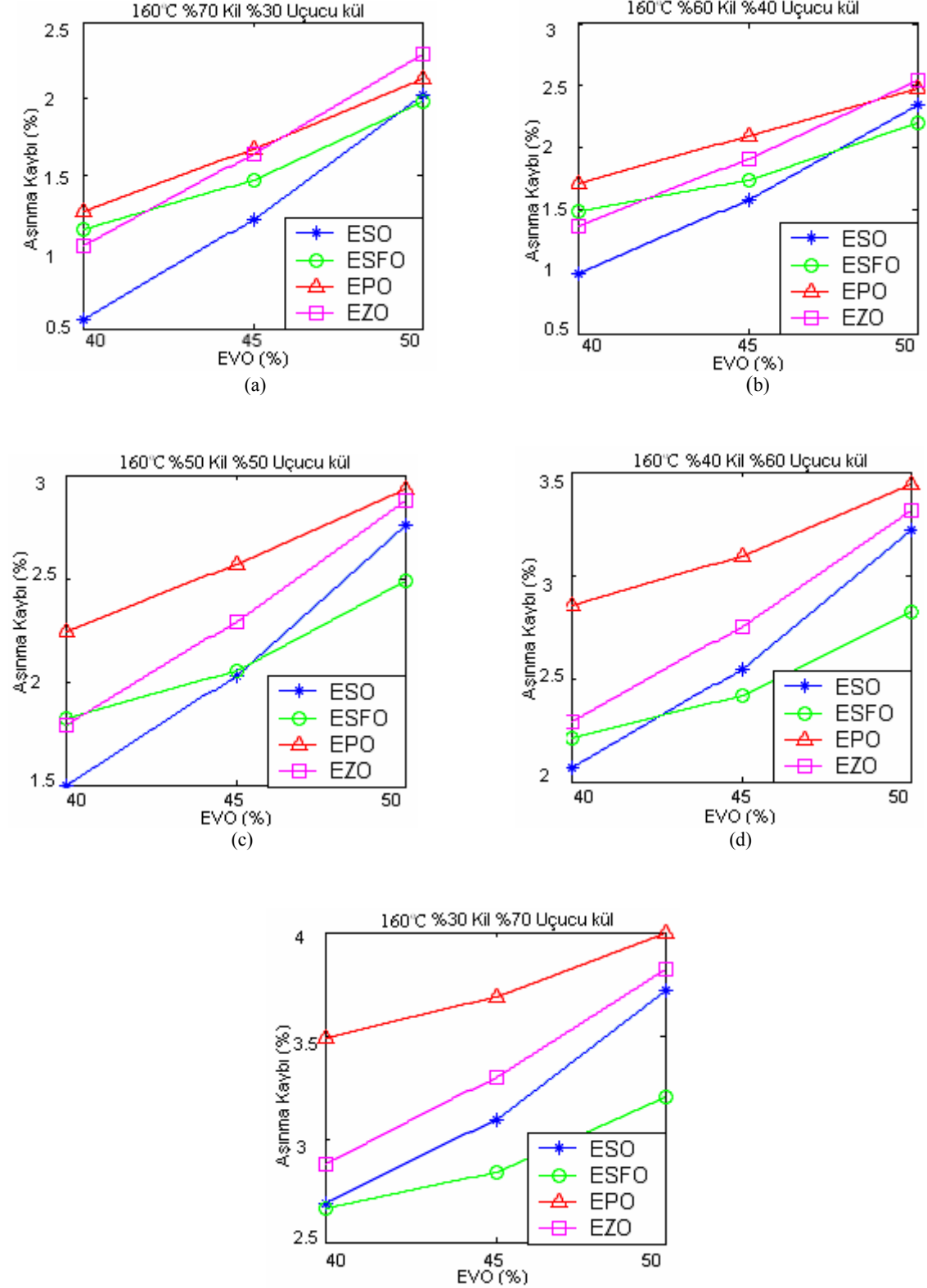
(d)



(e)

Ek 3.15. 200⁰C'de, numune içeriğindeki EVO oranlarına göre, çekme mukavemetlerinin değişimi

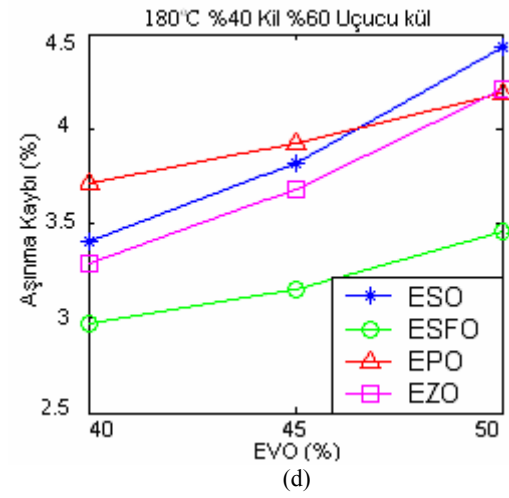
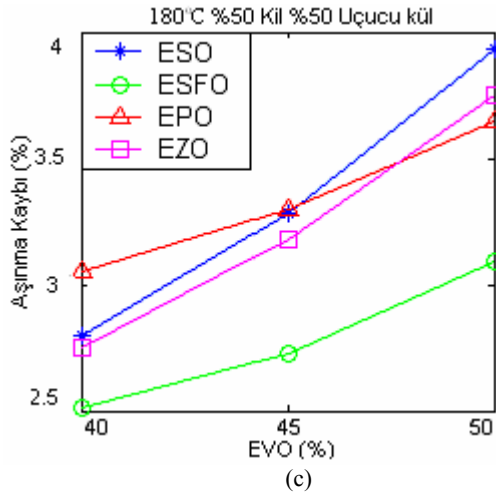
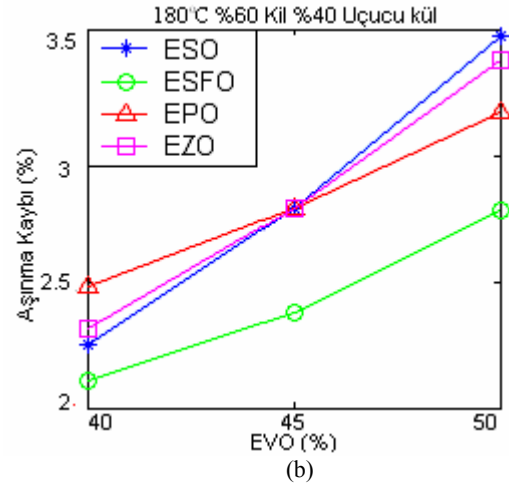
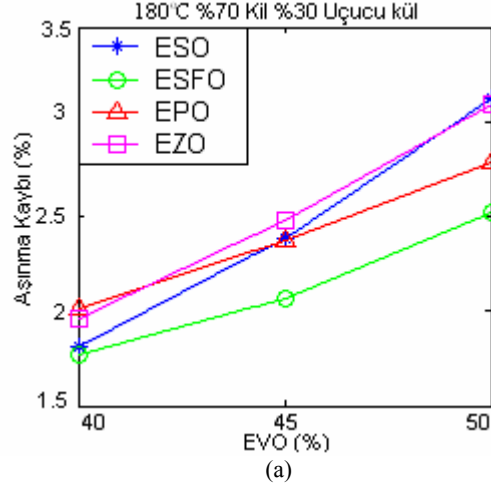
a. %70 kil %30 UK **b.** %60 kil %40 UK **c.** %50 kil %50 UK **d.** %40 kil %60 UK **e.** %30 kil %70 UK

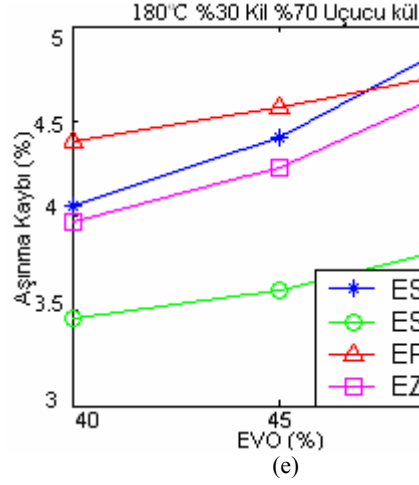


(e)

Ek 3.16. 160⁰C’de, numune içeriğindeki EVO oranlarına göre, aşınma kaybı değerlerinin değişimi

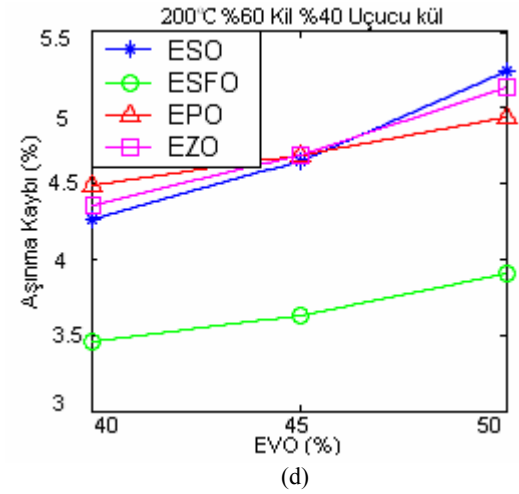
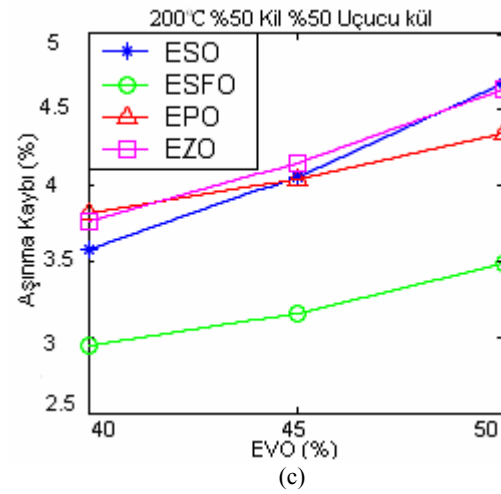
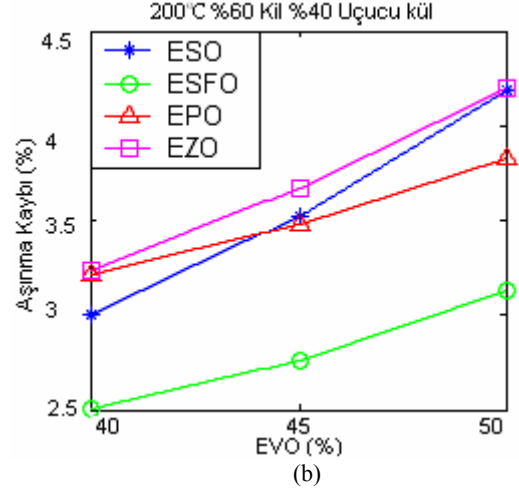
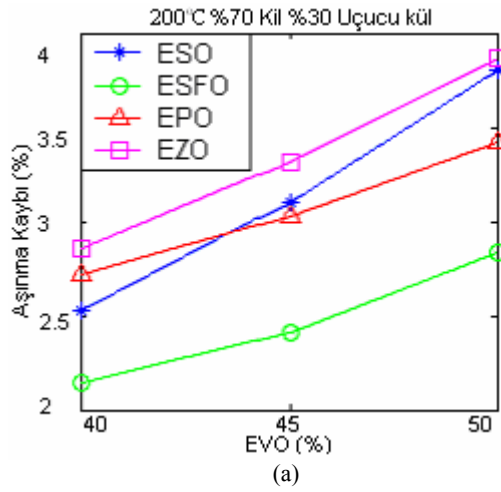
a. %70 kil %30 UK b. %60 kil %40 UK c. %50 kil %50 UK d. %40 kil %60 UK e. %30 kil %70 UK

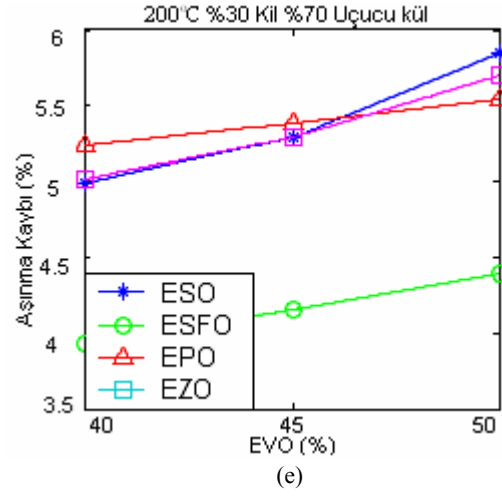




Ek 3.17. 180⁰C’de, numune içeriğindeki EVO oranlarına göre, aşınma kaybı değerlerinin değişimi

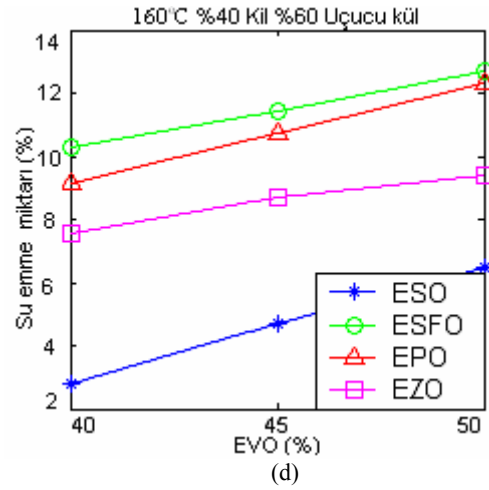
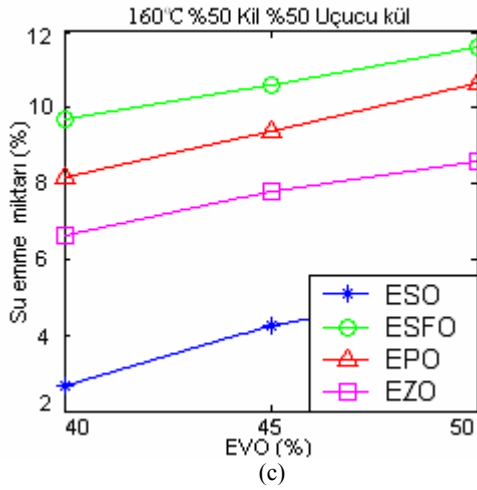
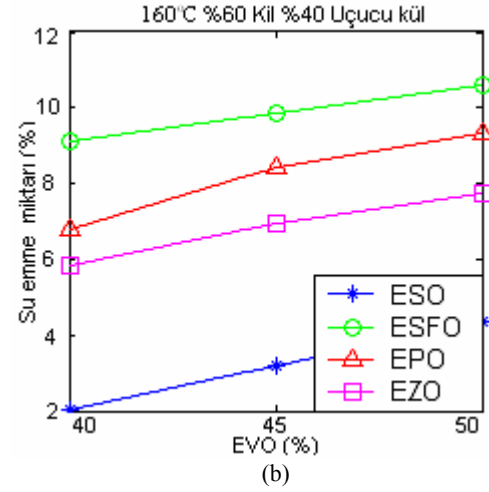
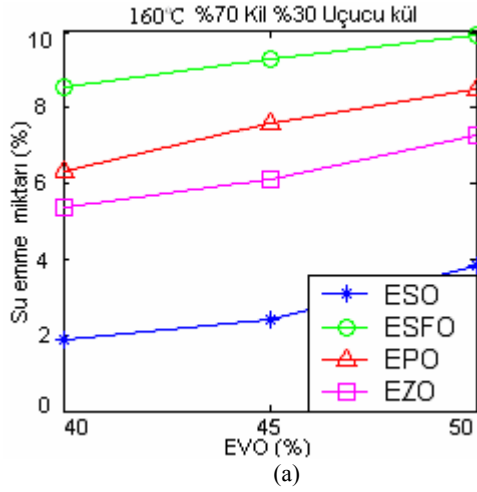
a. %70 kil %30 UK b. %60 kil %40 UK c. %50 kil %50 UK d. %40 kil %60 UK e. %30 kil %70 UK

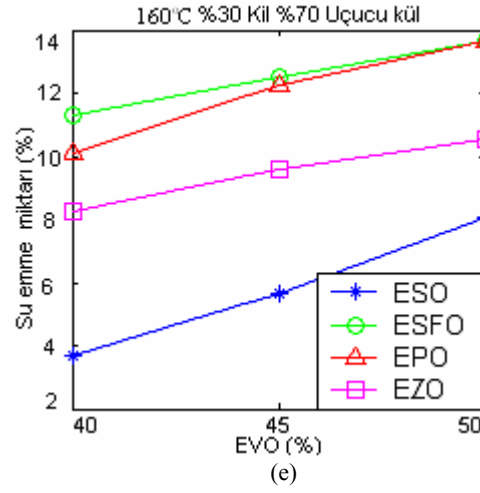




Ek 3.18. 200⁰C’de, numune içeriğindeki EVO oranlarına göre, aşınma kaybı değerlerinin değişimi

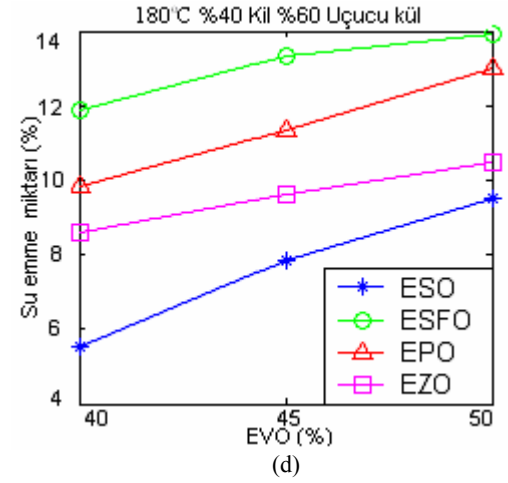
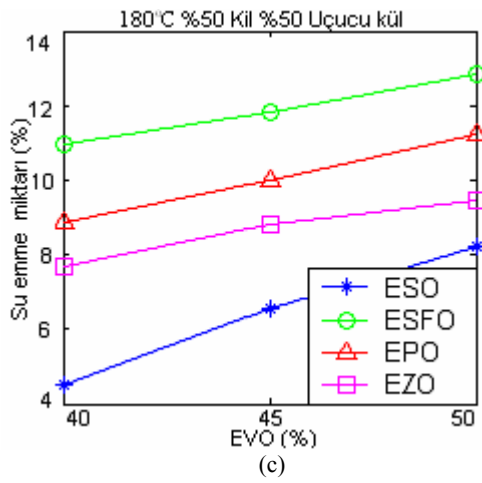
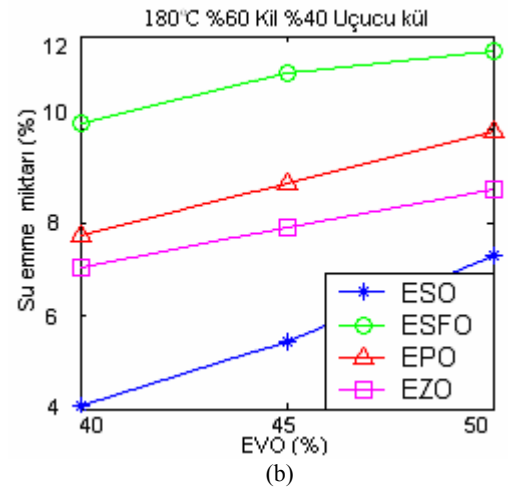
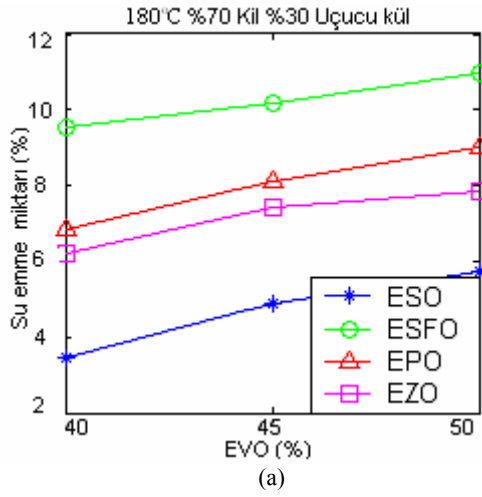
a. %70 kil %30 UK **b.** %60 kil %40 UK **c.** %50 kil %50 UK **d.** %40 kil %60 UK **e.** %30 kil %70 UK

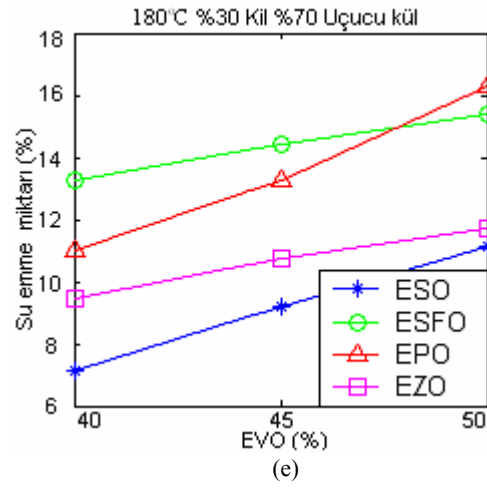




Ek 3.19. 160°C'de, numune içeriğindeki EVO oranlarına göre, su emme miktarlarının değişimi

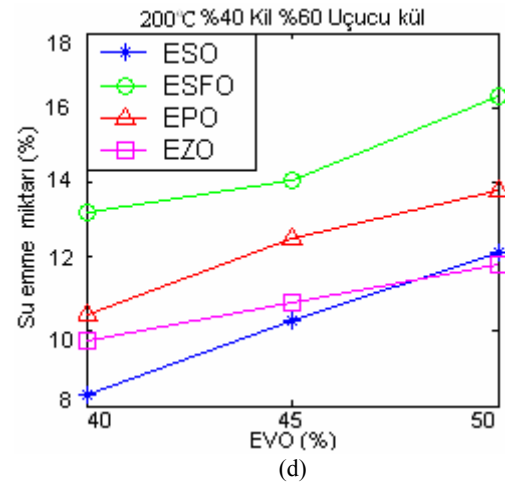
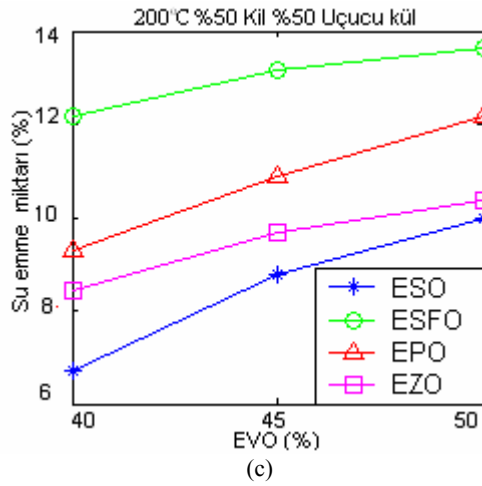
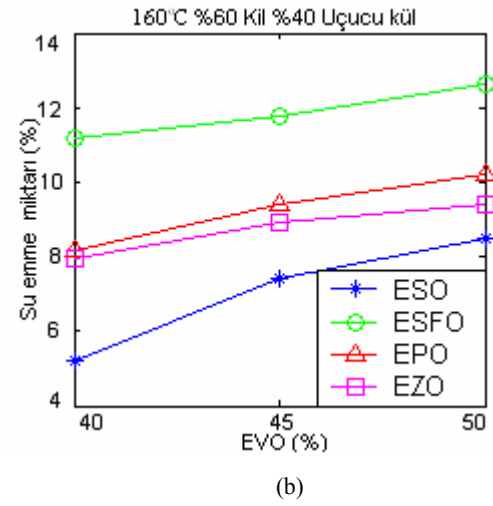
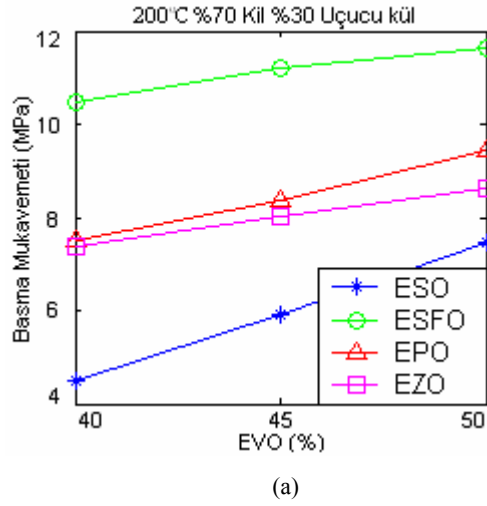
a. %70 kil %30 UK **b.** %60 kil %40 UK **c.** %50 kil %50 UK **d.** %40 kil %60 UK **e.** %30 kil %70 UK

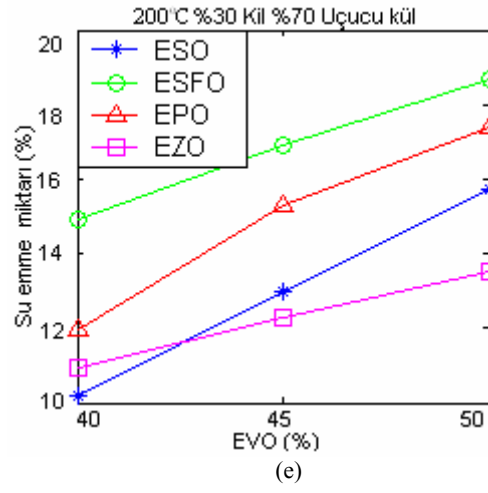




Ek 3.20. 180⁰C’de, numune içeriğindeki EVO oranlarına göre, su emme miktarlarının değişimi

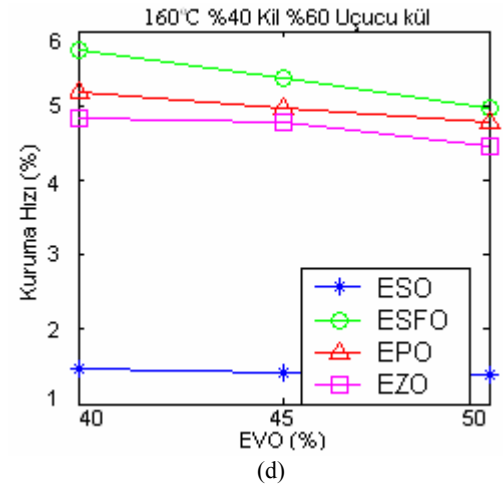
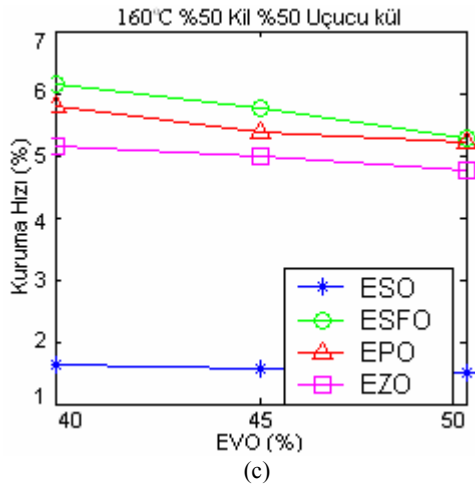
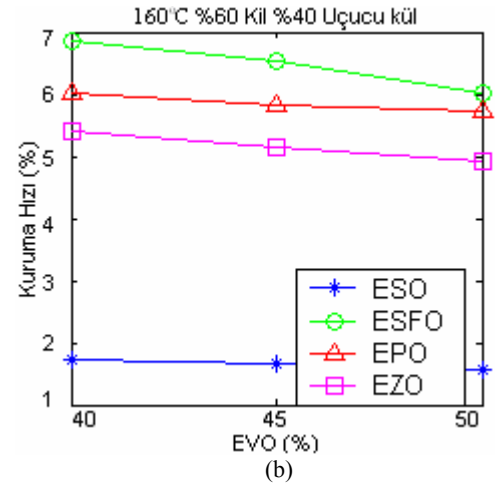
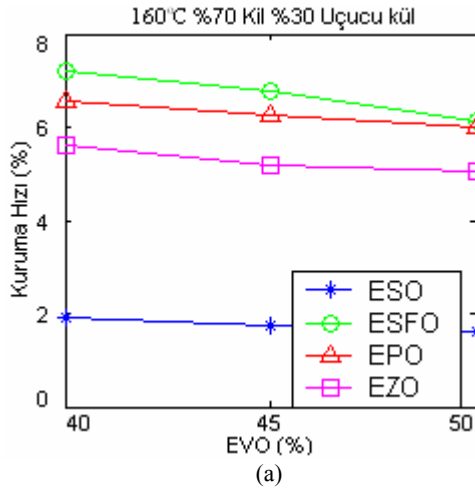
a. %70 kil %30 UK **b.** %60 kil %40 UK **c.** %50 kil %50 UK **d.** %40 kil %60 UK **e.** %30 kil %70 UK

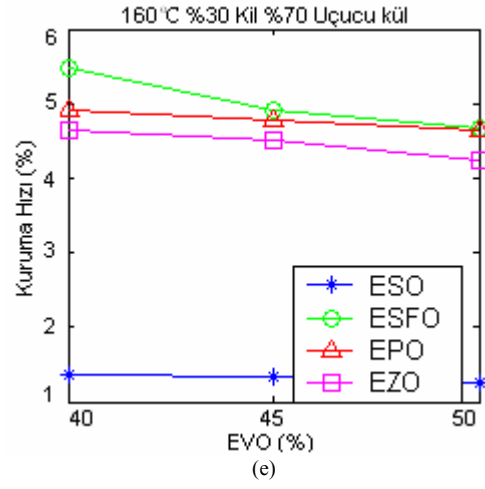




Ek 3.21. 200⁰C’de, numune içeriğindeki EVO oranlarına göre, su emme miktarlarının değişimi

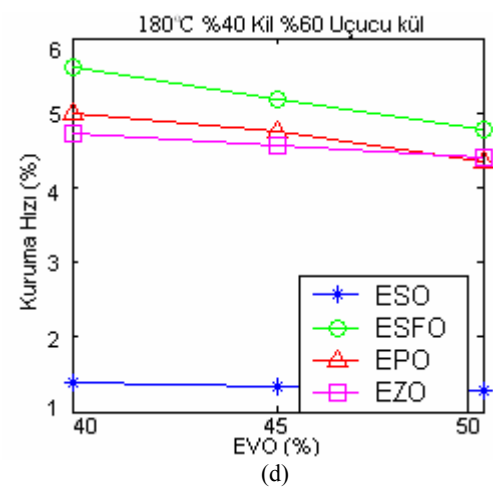
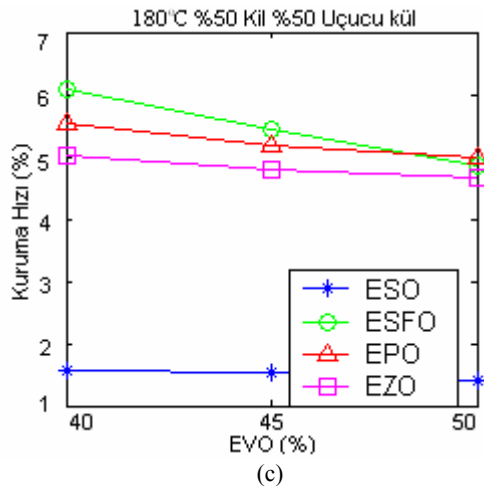
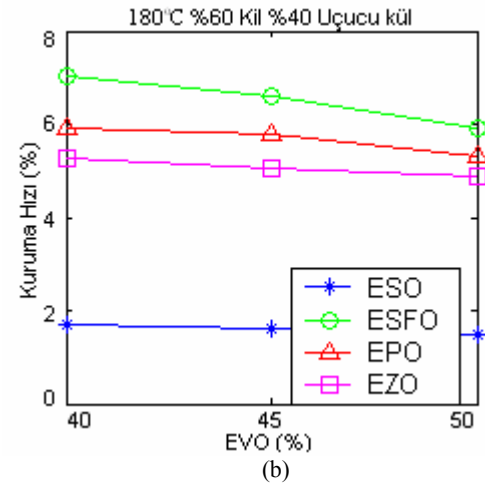
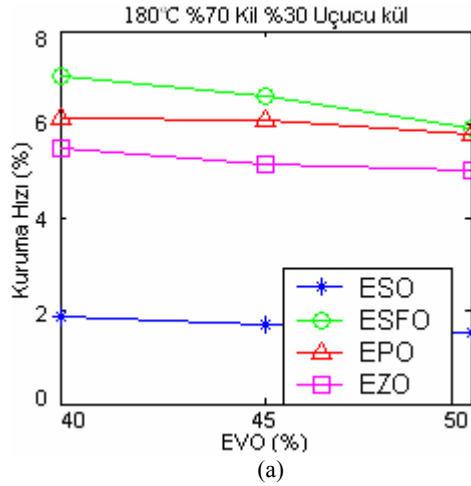
a. %70 kil %30 UK **b.** %60 kil %40 UK **c.** %50 kil %50 UK **d.** %40 kil %60 UK **e.** %30 kil %70 UK

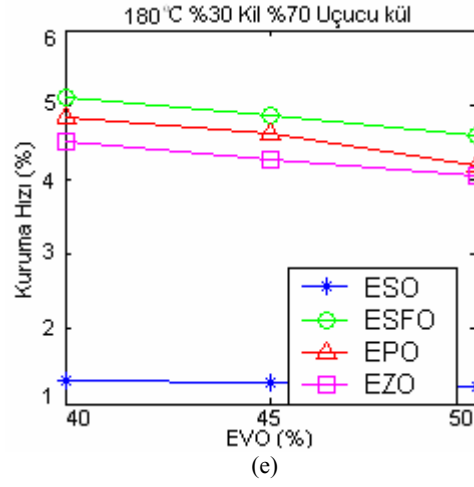




Ek 3.22. 160°C’de, numune içeriğindeki EVO oranlarına göre, kuruma hızı değerlerinin değişimi

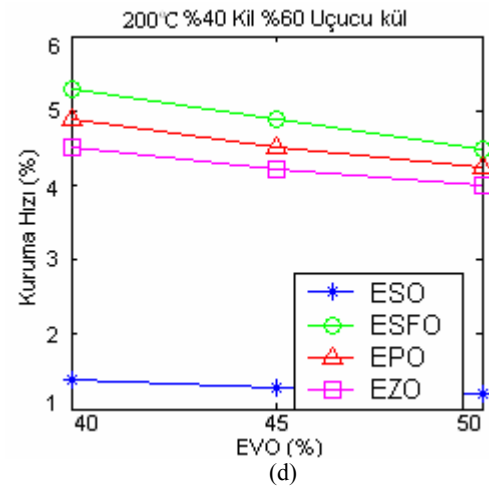
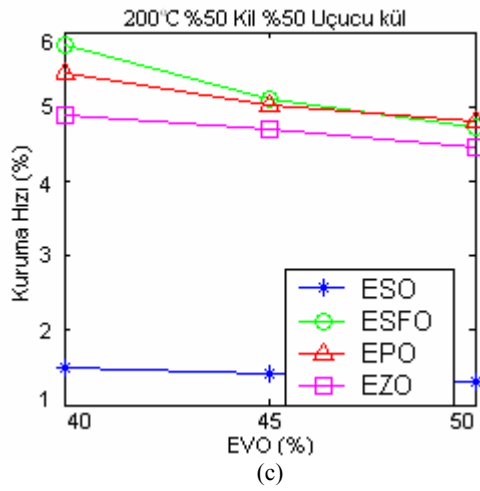
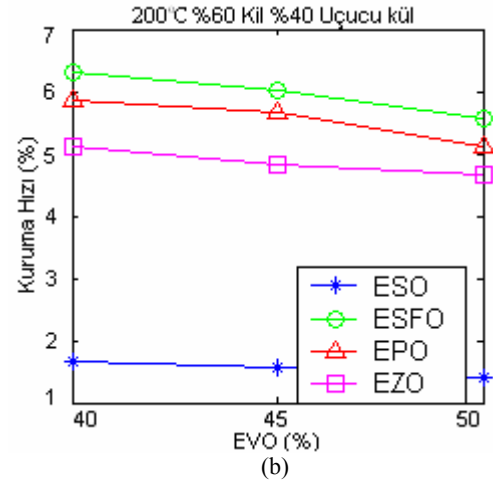
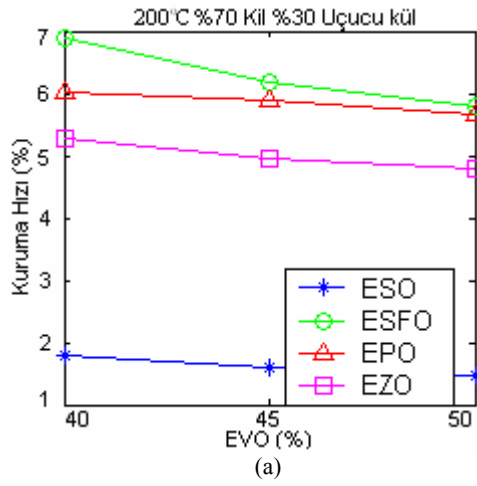
a. %70 kil %30 UK **b.** %60 kil %40 UK **c.** %50 kil %50 UK **d.** %40 kil %60 UK **e.** %30 kil %70 UK

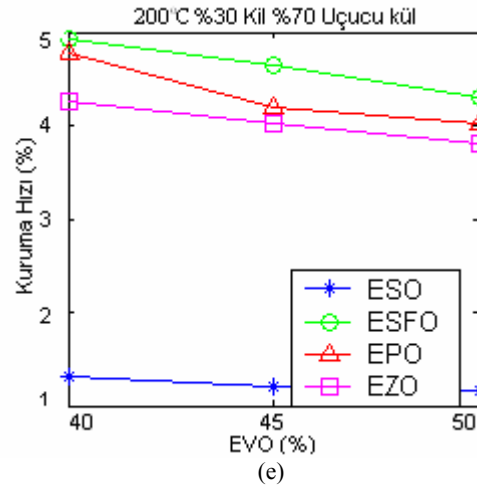




Ek 3.23. 180°C’de, numune içeriğindeki EVO oranlarına göre, kuruma hızı değerlerinin değişimi

a. %70 kil %30 UK **b.** %60 kil %40 UK **c.** %50 kil %50 UK **d.** %40 kil %60 UK **e.** %30 kil %70 UK





Ek 3.24. 200⁰C’de, numune içeriğindeki EVO oranlarına göre, kuruma hızı değerlerinin değişimi

a. %70 kil %30 UK **b.** %60 kil %40 UK **c.** %50 kil %50 UK **d.** %40 kil %60 UK **e.** %30 kil %70 UK