



**GENLEŞTİRİLMİŞ POLİSTREN (EPS) ATIĞININ
ÇEŞİTLİ BAĞLAYICI KOMBİNASYONLARINDA
YENİDEN DEĞERLENDİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

Yük. Müh. Ayşe KAYA
Anabilim Dalı: Kimya Mühendisliği
Programı: Temel İşlemler ve Termodinamik
Danışman: Doç. Dr. Filiz KAR

EYLÜL-2016

**T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GENLEŞTİRİLMİŞ POLİSTREN (EPS) ATIĞININ ÇEŞİTLİ BAĞLAYICI
KOMBİNASYONLARINDA YENİDEN DEĞERLENDİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

Yük. Müh. Ayşe KAYA

Anabilim Dalı: Kimya Mühendisliği

Programı: Temel İşlemler ve Termodinamik

Danışman: Doç. Dr. Filiz KAR

EYLÜL-2016

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GENLEŞTİRİLMİŞ POLİSTREN (EPS) ATIĞININ ÇEŞİTLİ BAĞLAYICI
KOMBİNASYONLARINDA YENİDEN DEĞERLENDİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

Yük. Müh. Ayşe KAYA

(Ens. No:091118201)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih:

Tezin Savunulduğu Tarih:

Tez Danışmanı:
Diğer Juri Üyeleri:

Doç. Dr. Filiz KAR (F.Ü)

Prof. Dr. Nurhan ARSLAN (F.Ü)

Prof. Dr. Mehtap MURATOĞLU (F.Ü)

Prof. Dr. Asım KÜNKÜLARSLAN (İ.Ü)

Prof. Dr. Ahmet BAYSAR (İ.Ü)

EYLÜL-2016

ÖNSÖZ

Genleştirilmiş polistiren (EPS), üstün özellikleri sayesinde, birçok alanda kullanılmaktadır. Özellikle ambalaj sanayinde çok kullanılan EPS'nin Türkiye'de son yıllarda geri dönüşüm ile ilgili araştırmalar yapılmaya başlanmıştır. Bu araştırmalar yeterli düzeyde değildir. Bu çalışmada atık EPS parçaları mekanik bir yöntemle parçalanarak gerek beton, tuğla ve beton sıvada agrega olarak ve gerekse alçı sıva ve dekorasyon işlerinde kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Doğal bir reçine olan kitle ve kayısı ağacı reçinelerinin, inşaat sektöründe kullanılabilirliği araştırılmamıştır. Bu çalışma ile, EPS agregalı betonda çimento ile, sıva ve dekorasyon malzemelerinde alçı ile birlikte kitle ve kayısı ağacı reçineleri ayrı ayrı kullanılarak, hafif beton özelliğinde ve aynı zamanda enerji tasarrufu sağlayan yeni tür yapı malzemeleri üretilmiştir.

Çalışmalarım sırasında desteklerinden dolayı, atık EPS lerin temin edildiği Redboard A.Ş. Yönetim Kurulu Başkanı Sayın Emre DÜŞMEZ'e, deneylerimin yapılmasına imkan sağlayan Dicle Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Bölüm Başkanlığı'na, Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölüm Başkanlığı'na, Dicle Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümü öğretim üyesi, Yrd. Doç. Dr. Atilla G. DEVECİOĞLU'na, Doktora Tez İzleme Komitesi üyeleri Prof.Dr. Mehtap MURATOĞLU ile Prof.Dr. Nurhan ARSLAN'a ve çok kıymetli danışmanım Doç. Dr. Filiz KAR'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayşe KAYA

Elazığ-2016

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	VI
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER LİSTESİ	X
TABLolar LİSTESİ	XVI
SEMBOLLERİN LİSTESİ	XVII
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
2.1. PS ve EPS ile İlgili Yapılmış Çalışmalar	3
2.2. EPS'nin Geri Dönüşümü ile İlgili Yapılmış Çalışmalar	7
2.2.1. EPS'nin betonda agrega olarak kullanımları ile ilgili çalışmalar.....	7
2.2.2. EPS'nin geri dönüşüm yöntemleri ile ilgili çalışmalar	10
2.3. Reçine Kullanımı ile İlgili Yapılmış Çalışmalar	14
2.4. Gözenekli Katı Malzemelerde Isı transferi ile İlgili Yapılmış Çalışmalar.....	14
3. POLİSTİREN VE GENLEŞTİRİLMİŞ POLİSTREN	17
3.1. Polistren	17
3.1.1. Polistrenin fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	18
3.1.2. Polistren üretimi	19
3.2. Genleştirilmiş Polistren ve Genel Özellikleri	20
3.2.1. EPS'nin Türkiye ve Avrupa'daki kullanımı	22
3.2.2. EPS'nin üretimi	23
3.2.3. EPS'nin kullanım alanları	25

4. GERİ DÖNÜŞÜM	27
4.1. Ambalaj ve Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği ve Atık Maddelerin oluşumu	28
4.2. EPS'nin Geri Dönüşümü	29
4.3. EPS'nin Geri Dönüşüm Şekilleri.....	31
5. REÇİNELER	33
5.1. Kitre.....	33
5.1.1. Türk kitresi	33
5.1.2. Türkiye'de yetişen Geven türleri	34
5.1.3. Kitrenin elde edilmesi	36
5.1.4. Kitrenin bileşimi	37
5.1.5. Kitrenin kullanım alanları	37
5.2. Kayısı Ağacı Reçinesi	37
6. KURAMSAL VE DENEYSEL ÇALIŞMA.....	39
6.1. Isıl İletkenliğin Kuramsal İncelenmesi	39
6.1.1. Yapılan kabuller	39
6.1.2. Isıl iletkenlik hesabı için kuramsal bir model.....	40
6.1.3. Modeldeki parametrelerin deneysel ve kuramsal yöntemlerle tespiti	45
6.1.4. Bir numunenin ısı iletkenliğine ait sayısal çözüm.....	49
6.2. Deneysel Çalışma	51
6.2.1. Numune bileşenlerinin belirlenmesi	52
6.2.2. Deney numunelerinin hazırlanması	55
6.2.3. Deneylerde uygulanan ölçme yöntemleri	56
6.2.3.1. Isıl iletkenlik, özgül ısı kapasitesi ve ısı yayılma.....	56
6.2.3.2. Su emme ve kuruma oranı deneyi	57
6.2.3.3. Basma dayanım ve çekme deneyi.....	59
6.2.3.4. Yoğunluk tayini	60
6.2.3.5. Gözeneklilik oranı (porozite).....	60
6.2.3.6. Numunelerin işlenebilirlik özelliği.....	60
7. BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	70
7.1. Isı İletim Katsayısı.....	70
7.1.1. EPS tane boyutu, reçine cins ve katılım oranlarına göre ısı iletim katsayısı	

değişimi	70
7.1.2. Bağlayıcı cinsine göre ısı iletim katsayısı değişimi	76
7.1.3. Kuramsal ve deneysel ısı iletim katsayılarının birlikte değerlendirilmesi	82
7.2. Hacimsel Özgül Isı Kapasitesi	90
7.3. Su Emme Deneyi	95
7.4. Kuruma Oranı deneyi	108
7.5. Basma Dayanımı	120
7.6. Çekme Dayanımı	124
7.7. Yoğunluk Değişimi	129
7.8. Gözeneklilik	133
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	138
KAYNAKLAR.....	141
EKLER.....	149
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Bu Doktora Tezinin amacı, atık haldeki genleştirilmiş polistren (EPS'nin) geri dönüşümünü sağlayarak, düşük yoğunluklu sıva, panel duvar, döşeme ve tavan betonu ile dekorasyon malzemesi üretiminde yeniden değerlendirmektir. Bu tür düşük yoğunluklu malzemelerin kullanımı ile bina yükü azaltılacak ve depreme uygun konut projelerinde, kullanımı söz konusu olacaktır. Doğaya bırakılan EPS yeniden değerlendirilerek hem ekonomiye kazandırılacak hem de enerji tasarrufu ile birlikte çevre kirliliğinin önlenmesine yardımcı olacaktır.

Çalışma için parça halindeki atık EPS ler temin edilerek parçalanmak suretiyle 0-3 mm ve 0-6 mm tane çaplarında iki gruba ayrılmıştır. Bu grupların her biri %20, 40, 60, 80 oranlarında bağlayıcılarla karıştırılmıştır. Çalışmada EPS ile birlikte bağlayıcı olarak KPÇ 325 çimento ve saten alçı kullanılmıştır. Bu bağlayıcıların her birine karışım ağırlığının % 0.5, 1 ve 1.5 oranlarında, reçine katılmıştır. Reçine olarak Geven bitkisinden elde edilen kitre reçinesi ile kayısı ağacı reçinesi kullanılarak çözelti halinde çimento ve alçıya katılmıştır. Aynı EPS ve bağlayıcı oranlarında reçine katkısız numuneler de üretilerek karşılaştırma yapılmıştır. Toplam 112 adet farklı kombinasyonlarda numune üretilmiştir.

Hazırlanan harçlar ısı testler için 2x6x15 cm ile mekanik testler için 10x10x10 cm ebatlarındaki kalıplara dökülerek 28 günlük kuruma dönemine bırakılmıştır. Numunelere yoğunluk, ısı iletim katsayısı, hacimsel özgül ısı kapasitesi, basınç ve çekme dayanımı, su emme ve kuruma oranı, matkapla delme, kesme ve boya tutma testleri uygulanmıştır. Çalışmada bu tür heterojen yapıdaki malzemeler için ısı iletim katsayısının hesaplanmasında kullanılmak üzere matematiksel bir denklem geliştirilmiş ve denklem sonuçları ile deneysel sonuçların uygunluğu araştırılmıştır.

Çalışmanın sonunda, EPS oranının artışı ile ısı iletim katsayısı, yoğunluk, hacimsel özgül ısı kapasitesi, basınç ve çekme dayanımı, su emme oranı ve kuruma oranı küçülürken gözeneklilik oranının büyüdüğü gözlenmiştir.

Bağlayıcılara katılan reçine oranının artışı ile ısı iletim katsayısı, yoğunluk, hacimsel özgül ısı kapasitesi, basınç ve çekme dayanımı küçülürken, gözeneklilik oranı, su emme ile kuruma oranının büyüdüğü gözlenmiştir.

EPS agregalı ve reçine katkılı betonların taşıyıcı sistemler olan kolon ve kiriş elamanı olarak kullanılmaması, buna karşılık beton perde, panel duvar, tavan ve döşeme betonlarda kullanılarak bina yükünü azaltacağı ve yalıtım görevi yapabileceğı yapılan deneylerle anlaşılmıştır.

Çimentolu numunelerin su emme oranları kritik değeri %30 dan küçük çıkmıştır. Bu değerler ile numuneler su ile temaslı ortamlarda kullanılabilirken, alçılı numunelerin tamamının su emme oranları %30 dan büyük çıkmıştır. Bu nedenle bina dış sıvalarında kullanılamayacağı buna karşılık iç sıva (kalın ve ince sıva), yalıtım malzemesi, hafif olmaları nedeniyle dekorasyon malzemesi olarak değerlendirilebileceğı ortaya konmuştur.

Numunelerin matkapla delinme, kanal açma ve boya tutma özellikleri ile yapı malzemeleri olarak kullanılabilirliğı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Atık EPS, geri dönüşüm, kitre, kayısı reçinesi, düşük yoğunluklu beton, yalıtım sıvası

SUMMARY

Reuse of Expanded Polystyrene (EPS) Waste in Various Binding Combinations

The purpose of this doctoral thesis is to evaluate reuse of expanded polystyrene (EPS) which is a waste packaging material, to perform the production of low-intensity plasters, partition walls, floorings, and ceiling concrete in earthquake-proof housing projects in order to decrease the loads of the building. By this way, the EPS that is left to the nature after one-use, can be recycled and so re-economized, hence in addition to this energy savings it will help prevention of environmental pollution.

After waste EPS is collected as packaging material, it is divided into two groups as 0-3 mm and 0-6 mm particle diameter. Each group is mixed with the binders of percentages; 20%, 40%, 60% and 80%. In the study KPC 325 cement and gypsum are used as binders. Resin is added to each of these binders at 0.5%, 1% and 1.5% of the weight of the mixture in order to create artificial pores on concrete and decoration materials. Tragacanth resin, obtained from *astragalus* plant, and apricot tree resin are solved separately and added to the cement and the plaster. The samples of 112 different combinations are produces.

The prepared mortars are moulded to 10x10x10 cm formworks for mechanical tests and 2x6x15 cm formworks for thermal tests and left to drying for standard period of 28 days. Thermal conduction coefficient test, volumetric specific heat capacity test, pressure and tensile strength test, water absorption and drying speed, drilling tests, cutting test and dye-ability test are conducted on the produced samples. In the study attention are paid to develop a mathematical equation in order to calculate the thermal conductivity for such heterogeneous materials and its conformance with experimental results are analysed.

At the final of the study, it was observed that while the some characteristic parameters of the samples such as; thermal conductivity, density, specific heat, compression and tensile strengths, water absorption rate decreases, the porosity rate and the dying rate increases meanwhile.

Increasing the resin ratio resulted in decreasing of thermal conductivity, density, specific heat, compression and tensile strengths but increasing of water absorption rate, dying ratio, porosity rate.

It was evident from the tests that, the new produced samples cannot be used for pillar and joist but can be used as concrete shear wall or separator element on the ceiling and floor. It can decrease the load of the building and can also be used as insulation material.

Almost all of the samples with cement binders remained below 30%, which is the critical level for water absorption. Therefore these materials can be used without the risk of freezing under 0°C temperature in places which is in contact with water. From this result, it is concluded that these materials can be used as concrete, brick wall and external plaster or inner plaster material that subjected to water. Water absorption values of the samples with gypsum binders found higher than 30%. With this result these materials can be used as internal plaster (gypsum rough and thin plaster), insulation plaster and decorative material.

For all samples including plaster the water absorption tests are negatively resulted. Meaning, the value is above the percentage 30% which is a critical value. This result shows that the samples cannot be used as external wall concretes but can be used as internal wall concrete or decorative concrete.

The samples are subjected to drilling test, dying tests and all of those tests proved that the samples can be used as building material.

Key words: Waste EPS, recycling, tragacanth, apricot resin, lightweight concrete, insulation plaster.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1. Stiren monomerinin polimerizasyonu	17
Şekil 3.2. Polistren molekülü simülasyonu	17
Şekil 3.3. Stiren monomeri	18
Şekil 3.4. Polistiren ve genleştirilmiş polistiren	20
Şekil 3.5. Şekillendirilmiş EPS görünümü	21
Şekil 3.6. Türkiye’de EPS ürünlerinin ısı yalıtım amacıyla kullanımı.....	22
Şekil 3.7. Avrupa’da EPS ürünlerinin ısı yalıtım amacıyla kullanımı	22
Şekil 3.8. PS ile EPS nin hacimce kıyaslaması	23
Şekil 3.9. EPS boncukların iç yapısının görünümü	24
Şekil 3.10. Kalıplanarak elde edilmiş EPS ambalaj ürünleri.....	26
Şekil 4.1. Türkiye’nin genel atık karakterizasyonu	27
Şekil 4.2. Geri kazanılabilir atık karakterizasyonu.....	28
Şekil 4.3. Genleştirilmiş polistiren atıkları.....	31
Şekil 5.1. Geven bitkisi.....	34
Şekil 5.2. Kuru halde kitre görünümü	37
Şekil 5.3. Kayısı ağacı reçinesi.....	38
Şekil 6.1. Gözenekli malzemenin fiziksel modeli	40
Şekil 6.2. (1) Numaralı çeyrek elementer hücre yapısı	41
Şekil 6.3. Çeyrek hücre bileşenleri ısıl dirençlerinin paralel ve seri benzeşim devresi	43
Şekil 6.4. Reçinelerin kuru ve filitre edilmiş çözelti halinde görünümü (a: kitre, b: kayısı ağacı c: kitre çözeltisi, d: kayısı ağacı reçine çözeltisi).....	53
Şekil 6.5. Deneylerde kullanılan parçalanmış atık genleştirilmiş polistiren.....	56
Şekil 6.6. EPS ile hazırlanan deney numuneleri	56
Şekil 6.7. Isomet 2104 ölçme aleti	57
Şekil 6.8. Numunelerin su emme ve kuruma deneyinde bekletilme süreçleri	58
Şekil 6.9. Basma dayanımı ölçme cihazı.....	59
Şekil 6.10. Boya uygulanmış numuneler a) plastik boya b) sentetik boya c) akrilik boya boya (d) su bazlı silikonlu (e) plastik boya.....	60
Şekil 6.11. Numunelere çivi çakma, vida, kanal ve delik açma uygulaması.....	61

Şekil 7.1. Çimento + kitre karışımli numunelerde ısı iletim katsayısının EPS oranı ile değişimi a) 0-3 mm tane çaplı, b) 0-6 mm tane çaplı	71
Şekil 7.2. Çimento + kayısı karışımli numunelerde ısı iletim katsayısının EPS oranı ile değişimi a) 0-3 mm tane çaplı, b) 0-6 mm tane çaplı	72
Şekil 7.3. Alçı + kitre karışımli numunelerde ısı iletim katsayısının EPS oranı ile değişimi a) 0-3 mm tane çaplı, b) 0-6 mm tane çaplı	73
Şekil 7.4. Alçı + kayısı karışımli numunelerde ısı iletim katsayısının EPS oranı ile değişimi a) 0-3 mm tane çaplı, b) 0-6 mm tane çaplı	74
Şekil 7.5. 0-3 mm tane çaplı, çimentolu, reçinesiz (1Ç4 kodlu) numunenin mikroskop altı kesit görünümü	75
Şekil 7.6. 0-3 mm tane çaplı, çimentolu, kitre oranı %1.5 (1G3Ç4 kodlu) numunenin mikroskop altı kesit görünümü	76
Şekil 7.7. Çimento ve alçı + kitre bağlayıcı numunelerin ısı iletim katsayısının 0-3 mm tane çaplı EPS oranı ile değişimi	78
Şekil 7.8. Çimento-alçı + kitre bağlayıcı numunelerin ısı iletim katsayısının 0-6 mm tane çaplı EPS oranı ile değişimi.....	79
Şekil 7.9. Çimento-alçı + kayısı bağlayıcı numunelerin ısı iletim katsayısının 0-3 mm tane çaplı EPS oranı ile değişimi	80
Şekil 7.10. Çimento-alçı + kayısı bağlayıcı numunelerin ısı iletim katsayısının 0-6 mm tane çaplı EPS oranı ile değişimi	81
Şekil 7.11. Çimento + kitre bağlayıcılı, 0-3 mm tane çaplı EPS agregalı numunelerin ısı iletim katsayısının deneysel ve kuramsal değişim eğrileri, denklem ve R-kare değerleri.....	82
Şekil 7.12. Çimento + kitre bağlayıcılı, 0-6 mm tane çaplı EPS agregalı numunelerin ısı iletim katsayısının deneysel ve kuramsal değişim eğrileri, denklem ve R-kare değerleri	83
Şekil 7.13. Alçı + kitre bağlayıcılı, 0-3 mm tane çaplı EPS agregalı numunelerin ısı iletim katsayısının deneysel ve kuramsal değişim eğrileri, denklem ve R-kare değerleri.....	84
Şekil 7.14. Alçı + kitre bağlayıcılı, 0-6 mm tane çaplı EPS agregalı numunelerin ısı iletim katsayısının deneysel ve kuramsal değişimi	85
Şekil 7.15. Çimento + kayısı bağlayıcılı, 0-3 mm tane çaplı EPS agregalı numunelerin ısı iletim	

katsayısının deneysel ve kuramsal değişim eğrileri, denklem ve R-kare değerleri	86
Şekil 7.16. Çimento + kayısı bağlayıcılı, 0-6 mm tane çaplı EPS agregalı numunelerin ısı iletim katsayısının deneysel ve kuramsal değişim eğrileri, denklem ve R-kare değerleri	87
Şekil 7.17. Alçı + kayısı bağlayıcılı, 0-3 mm tane çaplı EPS agregalı numunelerin ısı iletim katsayısının deneysel ve kuramsal değişim eğrileri, denklem ve R-kare değerleri	88
Şekil 7.18. Alçı + kayısı bağlayıcılı, 0-6 mm tane çaplı EPS agregalı numunelerin ısı iletim katsayısının deneysel ve kuramsal değişim eğrileri, denklem ve R-kare değerleri.....	89
Şekil 7.19. Çimento + kitre bağlayıcılı numunelerde EPS oranı ve kitre katılım oranına bağli olarak hacimsel özgül ısı kapasitesi değişimi a) EPS tane çapı 0-3 mm, b) EPS tane çapı 0-6 mm.....	91
Şekil 7.20. Alçı + kitre bağlayıcılı numunelerde EPS oranı ve kitre katılım oranına bağli olarak hacimsel özgül ısı kapasitesi değişimi a) EPS tane çapı 0-3 mm, b) EPS tane çapı 0-6 mm	92
Şekil 7.21. Çimento + kayısı bağlayıcılı numunelerde EPS oranı ve kayısı reçinesi katılım oranına bağli olarak hacimsel özgül ısı kapasitesi değişimi a) EPS tane çapı 0-3 mm, b) EPS tane çapı 0-6 mm.....	93
Şekil 7.22. Alçı + kayısı bağlayıcılı numunelerde EPS oranı ve kayısı reçinesi katılım oranına bağli olarak hacimsel özgül ısı kapasitesi değişimi a) EPS tane çapı 0-3 mm, b) EPS tane çapı 0-6 mm.....	94
Şekil 7.23. Çimento + kitre bağlayıcı numunelerde su emme oranlarının EPS oranı ile değişimi a) 0-3 mm EPS tane çaplı, b) 0-6 mm EPS tane çaplı	96
Şekil 7.24. Alçı + kitre bağlayıcı numunelerde su emme oranlarının EPS oranı ile değişimi a) 0-3 mm EPS tane çaplı, b) 0-6 mm EPS tane çaplı	97
Şekil 7.25. Çimento + kayısı bağlayıcı numunelerde su emme oranlarının EPS oranı ile değişimi a) 0-3 mm EPS tane çaplı, b) 0-6 mm EPS tane çaplı	98
Şekil 7.26. Alçı + kayısı bağlayıcı numunelerde su emme oranlarının EPS oranı ile değişimi a) 0-3 mm EPS tane çaplı, b) 0-6 mm EPS tane çaplı.....	99
Şekil 7.27. Çimento + kitre karışımı, 0-3 mm tane çaplı numunelerde su emme	

miktarlarının zamana göre değişimi a) EPS oranı %20, b) EPS oranı %40, c) EPS oranı %60, d) EPS oranı %80.....	100
Şekil 7.28. Çimento + kitre karışıklı, 0-6 mm tane çaplı numunelerde su emme miktarlarının zamana göre değişimi a) EPS oranı %20, b) EPS oranı %40, c) EPS oranı %60, d) EPS oranı %80.....	101
Şekil 7.29. Alçı + kitre karışıklı, 0-3 mm tane çaplı numunelerde su emme miktarlarının zamana göre değişimi a) EPS oranı %20, b) EPS oranı %40, c) EPS oranı %60, d) EPS oranı %80.....	102
Şekil 7.30. Alçı + kitre karışıklı, 0-6 mm tane çaplı numunelerde su emme miktarlarının zamana göre değişimi a) EPS oranı %20, b) EPS oranı %40, c) EPS oranı %60, d) EPS oranı %80.....	103
Şekil 7.31. Çimento + kayısı karışıklı, 0-3 mm tane çaplı numunelerde su emme miktarlarının zamana göre değişimi a) EPS oranı %20, b) EPS oranı %40, c) EPS oranı %60, d) EPS oranı %80.....	104
Şekil 7.32. Çimento + kayısı karışıklı, 0-6 mm tane çaplı numunelerde su emme miktarlarının zamana göre değişimi a) EPS oranı %20, b) EPS oranı %40, c) EPS oranı %60, d) EPS oranı %80.....	105
Şekil 7.33. Alçı + kayısı karışıklı, 0-3 mm tane çaplı numunelerde su emme miktarlarının zamana göre değişimi a) EPS oranı %20, b) EPS oranı %40, c) EPS oranı %60, d) EPS oranı %80.....	106
Şekil 7.34. Alçı + kayısı karışıklı, 0-6 mm tane çaplı numunelerde su emme miktarlarının zamana göre değişimi a) EPS oranı %20, b) EPS oranı %40, c) EPS oranı %60, d) EPS oranı %80.....	107
Şekil 7.35. Çimento + kitre bağlayıcı numunelerde kuruma oranlarının EPS oranı ile değişimi, a) 0-3 mm EPS tane çaplı, b) 0-6 mm EPS tane çaplı	108
Şekil 7.36. Alçı + kitre bağlayıcı numunelerde kuruma oranlarının EPS oranı ile değişimi a) 0-3 mm EPS tane çaplı, b) 0-6 mm EPS tane çaplı	109
Şekil 7.37. Çimento + kayısı bağlayıcı numunelerde kuruma oranlarının EPS oranı ile değişimi a) 0-3 mm EPS tane çaplı, b) 0-6 mm EPS tane çaplı	110
Şekil 7.38. Alçı + kayısı bağlayıcı numunelerde kuruma oranlarının EPS oranı ile değişimi a) 0-3 mm EPS tane çaplı, b) 0-6 mm EPS tane çaplı	111
Şekil 7.39. Çimento + kitre bağlayıcı, 0-3 mm tane çaplı numunelerin 24 saatteki kuruma	

grafiği a) EPS oranı %20, b) EPS oranı %40, c) EPS oranı %60, d) EPS oranı % 80	112
Şekil 7.40. Çimento + kitre bağlayıcı, 0-6 mm tane çaplı numunelerin 24 saatteki kuruma grafiği a) EPS oranı %20, b) EPS oranı %40, c) EPS oranı %60, d) EPS oranı % 80	113
Şekil 7.41. Alçı + kitre bağlayıcı, 0-3 mm tane çaplı numunelerin 24 saatteki kuruma grafiği a) EPS oranı %20, b) EPS oranı %40, c) EPS oranı %60, d) EPS oranı % 80	114
Şekil 7.42. Alçı + kitre bağlayıcı, 0-6 mm tane çaplı numunelerin 24 saatteki kuruma grafiği a) EPS oranı %20, b) EPS oranı %40, c) EPS oranı %60, d) EPS oranı % 80	115
Şekil 7.43. Çimento + kayısı bağlayıcı, 0-3 mm tane çaplı numunelerin 24 saatteki kuruma grafiği a) EPS oranı %20, b) EPS oranı %40, c) EPS oranı %60, d) EPS oranı % 80	116
Şekil 7.44. Çimento + kayısı bağlayıcı, 0-6 mm tane çaplı numunelerin 24 saatteki kuruma grafiği a) EPS oranı %20, b) EPS oranı %40, c) EPS oranı %60, d) EPS oranı % 80	117
Şekil 7.45. Alçı + kayısı bağlayıcı, 0-3 mm tane çaplı numunelerin 24 saatteki kuruma grafiği a) EPS oranı %20, b) EPS oranı %40, c) EPS oranı %60, d) EPS oranı % 80	118
Şekil 7.46. Alçı + kayısı bağlayıcı, 0-6 mm tane çaplı numunelerin 24 saatteki kuruma grafiği a) EPS oranı %20, b) EPS oranı %40, c) EPS oranı %60, d) EPS oranı % 80	119
Şekil 7.47. Çimento + kitre bağlayıcı numunelerde basınç dayanımının EPS oranı ile değişimi a) 0-3 mm EPS tane çaplı, b) 0-6 mm EPS tane çaplı	120
Şekil 7.48. Alçı + kitre bağlayıcı numunelerde basınç dayanımının EPS oranı ile değişimi a) 0-3 mm EPS tane çaplı, b) 0-6 mm EPS tane çaplı	121
Şekil 7.49. Çimento + kayısı bağlayıcı numunelerde basınç dayanımının EPS oranı ile değişimi a) 0-3 mm EPS tane çaplı, b) 0-6 mm EPS tane çaplı	122
Şekil 7.50. Alçı + kayısı bağlayıcı numunelerde basınç dayanımının EPS oranı ile değişimi a) 0-3 mm EPS tane çaplı, b) 0-6 mm EPS tane çaplı	123
Şekil 7.51. Çimento + kitre bağlayıcı numunelerde çekme dayanımı EPS oranı ile değişimi	

a) 0-3 mm EPS tane çaplı, b) 0-6 mm EPS tane çaplı	125
Şekil 7.52. Alçı + kitre bağlayıcı numunelerde çekme dayanımının EPS oranı ile değişimi	
a) 0-3 mm EPS tane çaplı, b) 0-6 mm EPS tane çaplı	126
Şekil 7.53. Çimento + kayısı bağlayıcı numunelerde çekme dayanımının EPS oranı ile	
değişimi a) 0-3 mm EPS tane çaplı, b) 0-6 mm EPS tane çaplı	127
Şekil 7.54. Alçı + kayısı bağlayıcı numunelerde çekme dayanımının EPS oranı ile değişimi	
a) 0-3 mm EPS tane çaplı, b) 0-6 mm EPS tane çaplı	128
Şekil 7.55. Çimento+ kitre bağlayıcı numunelerde yoğunluğun EPS oranı ile değişimi	
a) 0-3 mm EPS tane çaplı, b) 0-6 mm EPS tane çaplı	129
Şekil 7.56. Alçı + kitre bağlayıcı numunelerde yoğunluğun EPS oranı ile değişimi	
a) 0-3 mm EPS tane çaplı, b) 0-6 mm EPS tane çaplı	130
Şekil 7.57. Çimento+ kayısı bağlayıcı numunelerde yoğunluğun EPS oranı ile değişimi	
a) 0-3 mm EPS tane çaplı, b) 0-6 mm EPS tane çaplı	131
Şekil 7.58. Alçı + kayısı bağlayıcı numunelerde yoğunluğun EPS oranı ile değişimi	
a) 0-3 mm EPS tane çaplı, b) 0-6 mm EPS tane çaplı	132
Şekil 7.59. Çimento+ kitre bağlayıcı numunelerde gözeneklilik oranının EPS oranı ile	
değişimi a) 0-3 mm EPS tane çaplı, b) 0-6 mm EPS tane çaplı	133
Şekil 7.60. Alçı + kitre bağlayıcı numunelerde gözeneklilik oranının EPS oranı ile değişimi	
a) 0-3 mm EPS tane çaplı, b) 0-6 mm EPS tane çaplı	134
Şekil 7.61. Çimento+ kayısı bağlayıcı numunelerde gözeneklilik oranının EPS oranı ile	
değişimi a) 0-3 mm EPS tane çaplı, b) 0-6 mm EPS tane çaplı	135
Şekil 7.62. Alçı + kayısı bağlayıcı numunelerde gözeneklilik oranının EPS oranı ile	
değişimi a) 0-3 mm EPS tane çaplı, b) 0-6 mm EPS tane çaplı.....	136

TABLolar LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1. Polistren ve benzer polimerlerin ısı özellikleri	19
Tablo 3.2. Yoğunluklarına göre EPS Levhalarının ısı iletkenlik değeri	24
Tablo 3.3. EPS köpüklerin teknik özellikleri (TS 7316)	25
Tablo 3.4. Beş cm EPS ye eşdeğer kalınlıkta bazı yalıtım ve yapı malzemeleri.....	26
Tablo 4.1. Türkiye’ de piyasaya sürülen geri dönüştürülebilir malzeme miktarları.....	31
Tablo 4.2. Malzemeye göre yıllık geri kazanım hedefleri (%).....	31
Tablo 5.1. 2011 yılı itibarı ile Dünya üzerindeki kayısı üretimi.....	38
Tablo 6.1. Poroziteye bağlı olarak θ boyutsuz sayısının değeri	46
Tablo 6.2. EPS ve bağlayıcılara ait yoğunluk değeri	48
Tablo 6.3. EPS ve bağlayıcı matrislerine ait ısı iletkenlik değeri.....	49
Tablo 6.4. Numune bileşenlerinin hacimsel katılım yüzdelerinin ağırlıkları	52
Tablo 6.5. EPS tane çapı 0-3 mm olan numunelerin karışım oranları	54
Tablo 6.6. EPS tane çapı 0-6 mm olan numunelerin karışım oranları	55
Tablo 6.7. EPS tane çapı 0-3 mm olan kitre reçineli numunelerin ısı özellikleri.....	62
Tablo 6.8. EPS tane çapı 0-6 mm olan kitre reçineli numunelerin ısı özellikleri.....	63
Tablo 6.9. EPS tane çapı 0-3 mm kayısı ağacı reçineli olan numunelerin ısı özellikleri.....	64
Tablo 6.10. EPS tane çapı 0-6 mm olan kayısı ağacı reçineli numunelerin ısı özellikleri.....	65
Tablo 6.11. EPS tane çapı 0-3 mm olan kitre reçineli numunelerin mekanik özellikleri.....	66
Tablo 6.12. EPS tane çapı 0-6 mm olan kitre reçineli numunelerin mekanik özellikleri.....	67
Tablo 6.13. EPS tane çapı 0-3 mm olan kayısı ağacı reçineli numunelerin mekanik özellikleri	68
Tablo 6.14. EPS tane çapı 0-6 mm olan kayısı ağacı reçineli numunelerin mekanik özellikleri	69
EK 1. Poroziteye bağlı olarak θ boyutsuz sayısının değeri bilgisayar programı.....	149
EK 2. Hazırlanan örneklerin kodlanma şekli tablosu.....	150
EK 3. Numunelerin su emme deneyi sonuçları	154
EK 4. Numunelerin kuruma deneyi sonuçları	158
EK 5. Literatür ile çalışma sonuçların karşılaştırılması.....	162
EK 6. Ölçülen değişik malzemelerin ısı iletkenliği ve literatür değeri	163
EK 7. Bazı depolama malzemelerinin 300 K sıcaklığındaki özellikleri.....	164

SEMBOLLER LİSTESİ

k	: Isı iletim katsayısı, (W/mK)
a	: Isıl yayılım, (m ² /s)
T	: Sıcaklık, (K, C)
t	: Zaman, (s)
A	: Alan, (m ²)
Q	: Isı iletim miktarı, (W)
f_{ck}	: Basınç dayanımı, (MPa)
f_{ctk}	: Çekme dayanımı, (MPa)
Ra	: Rayleigh sayısı
Gr	: Grashof sayısı
Pr	: Prandtl sayısı
σ	: Stefan-Boltzmann sabiti, (W/m ² K ⁴)
ε	: Siyah cismin ışıyım katsayısı
L	: Elamanter hücrenin karakteristik uzunluğu, (m)
l	: Elamanter hücredeki gözeneğin karakteristik uzunluğu (m)
k_{efes}	: Numunenin efektif ısıl iletkenliği, (W/mK)
k_g	: EPS nin ısı iletim katsayısı, (W/mK)
k_s	: Numunenin katı fazının ısıl iletkenliği, (W/mK)
R_{es}	: Eşdeğer ısıl direnç, (K/W)
φ	: Gözeneklilik oranı (Porozite), (%)
ρ	: Numunenin yoğunluğu (g/cm ³)
ρ_{EPSmatrisi}	: Sıfır poroziteli EPS yoğunluğu, (g/cm ³)
ρ_{bağ.matrisi}	: Sıfır poroziteli bağlayıcı yoğunluğu, (g/cm ³)
ρ_{bağ}	: Bağlayıcı yoğunluğu, (g/cm ³)
V	: Numunenin hacmi, (cm ³)
V_s	: Numunenin katı kısmının hacmi, (cm ³)
V_b	: Bağlayıcı hacmi, (cm ³)
V_g	: Gözenek hacmi, (cm ³)
Z	: EPS katılım oranı, (%)

- 1-Z : Bağlayıcı katılım oranı, (%)
C_p : Hacimsel özgül ısı kapasitesi, (J/m³K)
W_k : Numunenin kuru ağırlığı, (g)
W_d : Numunenin su emdirilmiş ağırlığı, (g)
Θ : Lastik parçalarının katılım oranı, (%)

KISALTMALAR

- Ç : Çimento
PS : Polistiren
EPS : Genleştirilmiş polistiren
PP : Polipropilen
ABS : Akrilonitril bütadien stiren
HDPE : Yüksek yoğunluklu polietilen
LDPE : Düşük yoğunluklu polietilen
SE : Su emme oranı

1. GİRİŞ

Geri dönüşüm, bir kere kullanıldıktan sonra, kullanım dışı kalan malzemelerin çeşitli geri dönüşüm yöntemleri ile hammadde olarak tekrar kullanıma kazandırılması anlamına gelir. Değerlendirilecek olan atıklar kaynağında toplanarak, katı ayırma tesislerinde işlenir ve özelliklerine göre daha homojen gruplara sınıflandırılabilir. Atıkların bu şekilde tekrar kullanılabilir hale getirilmesine geri kazanım adı verilir [1,2].

Geri dönüştürülecek atıklar olarak, kağıt, cam, alüminyum, plastik, elektronik malzemeler, metal, tekstil, ahşap, beton, organik atıklar, örnek olarak sıralanabilir. Bu sıralamada plastikler, atık malzeme kaynağı olarak günümüzde önemli bir yer tutmaktadır. Günlük yaşantıda kullanılan, hazır giyim, kozmetik, temizlik malzemeleri, beyaz eşya, otomobil parçaları, tarım ürünleri ambalajında kısaca her yerde plastik malzemeler kullanılmaktadır. Plastikler, ucuz, üretimi kolay, uzun ömürlü, dayanımlı, hafif, nem almaz, elektrik iletkenliği olmayan malzemelerdir. Son yıllarda ilerleyen teknolojiye paralel olarak, plastiklerin üretim ve işleme tekniklerinin gelişmesi bu malzemeye olan talebi artırmıştır.

Bu kadar çok kullanım alanına sahip plastikler kullanım ömrü tamamlandıktan sonra doğaya bırakılarak atık durumuna gelmektedir. Kullanılan bu maddelerin çoğunun kullanılıp atılması ve hacimce çok yer kaplamaları nedeniyle çevre kirliliğini de beraberinde getirmiştir. Bu sorunun bir çözümü de, plastik atıkların geri kazanılmasıdır. Doğaya bırakılan bu tür malzemelerin tekrar üretime sokularak onların geri kazanımı ile hem doğaya verilen zarar engellenmiş olur hemde hammadde olarak yeniden kullanılması ile, büyük oranda ekonomi sağlanır [3].

Genleştirilmiş polistiren çeşitli endüstri alanlarında yaygın olarak kullanılan bir ambalaj ve yalıtım malzemesidir. Bütün plastikler gibi EPS köpükler de doğada parçalanma süresi en uzun olan maddelerden biri olduğu için doğal yoldan yok olması güçtür. Bu nedenle önemli bir çevre problemine sebep olmaktadır. Günümüzde EPS'ye olan talep hızla artarken buna paralel doğaya bırakılan EPS miktarıda artmaktadır. Bu nedenle, büyük miktarda ortaya çıkan EPS atıkların yeniden değerlendirilmesi, önem taşımaktadır. EPS atıkların geri dönüşümü ile ilgili yapılan araştırmalarda, geri dönüşümün

mekanik, termal ve kimyasal yöntemler olmak üzere üç başlık altında toplandığı belirlenmiştir [4].

Bu çalışmada, mekanik yöntem kullanılarak fabrika atığı blok halindeki EPS'ler parçalama makinesi ile parçalanarak granül halde iki farklı tane çapında gruplara ayrılmış ve yeniden kullanılmaya hazır hale getirilmiştir. Çalışma iki aşamalı olarak düşünülmüştür. Birinci aşamada, dolgu ve aynı zamanda agrega malzemesi olarak çeşitli boyuttaki parçalanmış EPS kullanılarak bağlayıcı malzeme olan reçine katkılı veya katkısız çimento ile düşük yoğunluklu hafif beton veya tuğla şeklinde çalışılmıştır. İkinci aşamada ise yine bağlayıcı malzeme olarak reçine katkılı veya katkısız alçı ve dolgu malzemesi olarak EPS kullanılarak yeni ürünün dekorasyon malzemesi, sıva veya yalıtım malzemesi olarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Atık EPS'nin değerlendirilmesi amacıyla yapılan bu çalışmanın, benzeri çalışmalardan farkı, çimento veya alçı bağlayıcılara reçine katılmasıdır. Reçine olarak, Geven bitkisinden elde edilen kitre ile kayısı ağacından elde edilen kayısı ağacı reçinesi kullanılmıştır. Reçine katılımının malzeme üzerindeki etkilerini tespit etmek amacıyla reçinesiz numunelerde üretilmiş ve bu numunelere çeşitli ısı ve mekanik testler uygulanmıştır. Testler sonunda, malzemelerin fiziksel özellikleri belirlenerek benzeri diğer malzemelerle karşılaştırılmıştır.

EPS agregalı, reçine katkılı çimento bağlayıcılı numunelerin düşük yoğunluklu beton, tuğla ve sıvalarda, yine reçine katkılı alçı numunelerin sıva ve dekorasyon malzemesi olarak kullanılması halinde, binaların yükü ile ısınma ve soğuma giderleri azalırken, önemli bir çevre problemi de çözülmüş olacaktır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Gerek ulusal ve gerekse uluslararası araştırmalarda konu ile ilgili birçok yayın ve teze rastlanmıştır. Bu kaynaklar çalışma ile ilgili olması bakımından dört bölüm halinde özetlenmiştir. Araştırmanın birinci bölümü PS ve EPS ile ilgili, ikinci bölümü EPS'nin geri dönüşümü ile ilgili, üçüncü bölümü reçinelerle ilgili ve son bölümü ise gözenekli malzemelerde ısı transferi ile ilgili çalışmalardır.

2.1. PS ve EPS İle İlgili Yapılmış Çalışmalar

Bu bölümle ilgili çalışmalar genellikle PS ve EPS'nin kimyasal yapıları, düşük yoğunluklu beton üretiminde agrega, bazı kompozit malzemelerin üretiminde bağlayıcı, dekorasyon ve ambalaj malzemesi olarak kullanılması ile ilgili çalışmalardır. Bu çalışmaların bir kısmı özetle aşağıda verilmiştir.

Babu vd. [1], yapmış oldukları çalışmada normal agrega yerine genleştirilmiş polistirenle birlikte uçucu kül kullanarak üretilen hafif betonların mekanik özelliklerini incelemiş ve literatür değerleriyle karşılaştırmışlardır.

Babu vd. [2], yapmış oldukları diğer bir çalışmada, hafif beton üretiminde polistiren agrega boyutunun betonun mukavemet değerlerine ve nem geçiş özelliklerine etkisini araştırmışlardır.

Demirel [3], polistiren ve pomza taşı karışımından oluşan agregaların, mekanik dayanım ve ısı direnç parametrelerinin optimizasyonu ile ilgili çalışmıştır.

Ahn vd. [5], yapmış oldukları çalışmada, EPS köpük tabakalarının düzgün halde hot wire yöntemi ile kesimlerinde ısı etkilerinin kesime etkisi, uygun kesme koşulları ve boyutları ve bu parametrelerin birbiri ile olan ilişkileri araştırmıştır.

Doroudiani vd. [6], EPS ile yapılan bina pervaz dekorasyonlarında, çevre, sağlık ve güvenlik sorunları tartışılarak önerilerde bulunmuştur.

Mıhlayanlar vd. [7], EPS yalıtım panolarının üretiminde, üretim süreci parametreleri ve yoğunluğun malzemenin ısı ve mekanik özelliklerine etkisini deneysel olarak araştırmış ve sonuçları değerlendirmişlerdir.

Gnip vd. [8], yaptıkları çalışmada, 0-50 °C sıcaklık aralığında ve 50 mm ile 100 mm kalınlıklarında EPS plaklarının ısı iletkenlik değerlerinin değişimi incelenmiş ve ortalama 10 °C sıcaklık için ampirik denklemler belirlemişlerdir.

Gnip vd. [9], yapmış oldukları diğer bir çalışmada basma gerilmesi altında EPS levhalarının dayanım gücü ile ilgili çalışmışlardır.

Gnip vd. [10], diğer bir çalışmada geliştirilmiş polysterinin kısa ve vadeli yük altında çekme dayanımı ve malzemedeki deformasyonu incelemişlerdir.

Bourvard vd. [11], milimetre boyutlu genişletilmiş polistiren küreleri ihtiva eden yüksek performanslı betonların fiziksel özellikleri üzerine çalışmışlardır.

Babu ve Babu, [12], EPS ihtiva eden düşük yoğunluklu betonun dayanım özelliklerini artırmak üzere farklı oranlarda silis dumanı katılan betonların mekanik davranışlarını incelemişlerdir.

Taşlıçukur vd. [13], EPS kullanarak geliştirilen seramik köpük filtrelerin kullanımı ile ilgili çalışmışlardır.

Azimi vd. [14], MMA-St kopolimer ve EPS'nin oksijen ortamında ısı bozunma incelenip azotlu ortam ile karşılaştırmışlardır.

Öztürk ve Anlaş [15], darbe ve titreşim absorblayıcı olarak EPS ve PS'nin kullanılması ile ilgili çalışmışlardır.

Kannan vd. [16], EPS'nin dökümü sürecinde ki ayrışma olaylarını ifade eden kinetik bir model araştırması yapmışlardır.

Mondello vd. [17], PS'nin bir çözücü içerisinde çözülmesi esnasında rasgele dönerken, PS molekülünü, altıgen şekiller halinde, karbon atomları, ince çubuklar ise bu atomlar arasındaki bağı temsil edecek şekilde yaklaşık 20 kat büyütülmüş halde, atomlar arası bağlantı mesafesi yaklaşık 1.4 Angstroms olacak şekilde, serbestçe hareket edebilen bu molekül yapı simülasyonu üzerinde çalışmışlardır.

Özşahin [18], yapmış olduğu çalışmasında, Türkiye'de yakın zamanda tanınıp, uygulanmaya başlanan, diğer ülkelerde ise geniş bir kullanım alanı olan EPS bloklu çelik donatılı beton taşıyıcı duvar sisteminin mekanik özelliklerinin ilgili yönetmeliklere göre

yeterliliği incelenmiştir. Söz konusu sistemle ilgili yapılan araştırmalar sonucu, sistemin Türkiye koşulları için uygulanabilir olduğu belirlenmiştir.

Sever [19], yapmış olduğu çalışmada, uçucu kül-çimento-genleşmiş polistiren köpük daneleri karışımının hafif dolgu malzemesi olarak geoteknik özellikleri araştırılmıştır.

Mıhlayan [20], yapmış olduğu çalışmada, genleştirilmiş EPS ısı yalıtım levhalarının özellikleri ve üretim parametreleri ile numune boyutlarının elde edilen deney sonuçlarına etkisini incelemiştir.

Cihan [21], yapmış olduğu çalışmada Türkiye'de geleneksel ısı yalıtım sistemlerine alternatif olarak sunulan EPS-Bloklu Çelik Donatılı Beton Taşıyıcı Duvar Sistemi'nin örnek bir bina için ısı performansını ilgili standartlara (kış konforu, TS 825; yaz konforu, ISO 13786) göre incelenmiş ve geleneksel ısı yalıtım sistemleriyle karşılaştırmıştır.

Atay [22], yapmış olduğu çalışmada, bir çatı kaplama malzemesi olan EPS sert köpük malzemesinin kiremit olarak kullanılabilirliği incelemiştir. EPS sert köpüklü kiremide yapılan fiziksel ve mekanik testler sonuçlarına göre yapılarda güvenle kullanılabilir olduğu sonucuna varmıştır.

Öztürk ve Anlaş [23], sonlu elemanlar yöntemi ile EPS'nin modifiye işlemini değişken basınç altında çalışmışlardır.

Shimizu vd. [24], EPS boncukları bağlayıcı olarak kullanarak yüksek gözenekli metal köpükler ve PVA (polivinil alkol) çözeltisinden oluşan karışımlar üreterek bu malzemenin ısı ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Paslanmaz çelik toz metal köpükler %90 ve 97 gözeneklilik ile kullanıldığında 40.4 MPa için basınç gerilmesi ve ısı iletkenliği 0.5-0.1 W/mK olan kompozit malzemeler üretilabileceğini saptamışlardır. EPS tane ebatları değiştirilerek ısı ve mekanik değerlerin değiştirilebileceğini göstermişlerdir.

Mesaros vd. [25], çalışmalarında, binalarda yalıtım amacıyla EPS kullanarak, düşük enerjili bina tasarımı üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışma ile 2020 yılına kadar enerji verimliliği %20 artacağı ve baca gazları emisyonlarında %20 oranında azalma olacağı vurgulanmıştır.

Young-Sun Jeong [26], çalışmalarında konutlarda ısıtma ve soğutma kayıplarının önemini işliyerek kullanılacak yalıtım malzemelerinin tipi, ısıl iletkenliği, yoğunluğu ve kalınlığının önemli bir faktör olduğunu vurgulamışlardır. Kore de en fazla kullanılan yalıtım malzemesi extruded polistiren (XPS) ve expanded polistiren (EPS) olup 70 mm kalınlık için yoğunluk değeri $30-35 \text{ kg/m}^3$, ısıl iletkenlik için XPS 0.0292 W/mK ve EPS için 0.0316 W/mK olarak ölçülmüştür.

Cronin ve Ouellet [27], yapmış oldukları çalışmada, farklı yoğunluklarda (Düşük Yoğunluklu Polietilen, Polistiren ve Genleştirilmiş Polipropilen) üç kapalı-hücre polimerik köpüklerin mekanik özellikleri incelenmiştir.

Chindaprasirt vd. [28], diamonyum fosfat alev geciktirici ile modifiye edilmiş atık EPS ile odun talaşı kompozitlerin ısıl ve mekanik özellikleri üzerine çalışmışlardır.

Demirboğa ve Kan [29] geleneksel agregası, kısmen EPS ile değiştirilerek üretilen betonun ısıl iletkenliğini 0.60 W/mK olarak belirlemişlerdir.

Şengül vd. [30], geleneksel agregası %60 perlitle yer değiştirilerek betonda 0.35 W/mK ısıl iletkenlik elde etmiştir.

Kim vd. [31], EPS ve vermikülit katkılı düşük yoğunluklu betonların ısıl iletkenliği normal betonların ısıl iletkenliğinden 7 kat daha düşük çıkmıştır. %55 EPS agregalı düşük yoğunluklu betonların ısıl iletkenliği %65 EPS agregalı betonların ısıl iletkenliğinden daha yüksek çıkmıştır. EPS ve vermikülit karışımı, düşük yoğunluklu betonlar, vermikülit katkılı betonların ısıl iletkenli ile karşılaştırıldığında, betonun ısıl iletkenliğini daha da düşürdüğü görülmüştür. (%55 EPS agregalı betolarda 0.50 W/mK ve %65 de 0.34 W/mK).

Kismi vd. [32], kısmen geleneksel agregası yerine genleştirilmiş kil ve polistiren karışımı kullanarak düşük ısı iletkenlik değerleri elde etmişlerdir.

Shafigh vd. [33], Düşük yoğunluklu betonların ısıl yalıtımı normal betonlarınkinden 2 kat daha küçük çıkmaktadır. Betonların ısıl iletkenliği, agregaların özelliklerine, betonun sıcaklık, nem ve yoğunluğuna bağlıdır. Tipik kuarz Agregalı betonların ısıl iletkenlik değeri 3.5 W/mK dir.

Sarıışık ve Sarıışık, [34] EPSli betonda ısıl iletkenliği 0.33 W/mK olarak elde etmiştir

2.2. EPS' nin Geri Dönüşümü ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

EPS' nin geri dönüşümü ile ilgili çalışmaları iki başlık altında toplanabilir. Bunlar betonda agregası olarak kullanımları ve geri dönüşüm yöntemleri ile ilgili çalışmalarıdır.

2.2.1. EPS' nin betonda agregası olarak kullanımları ile ilgili çalışmaları

Literatürde karşılaşılan EPS köpük agregası kullanılarak yapılan çalışmaların tamamı, EPS boncukları veya atık EPS ürünlerin ufalanmasıyla elde edilen agregası ile yapılmış beton veya diğer yapı malzemeleriyle ilgili çalışmalarıdır. EPS ile birlikte PP lif, silis dumanı, kum, çakıl, uçucu kül gibi dolgu maddeleri ile EPS'nin su iticiliğini azaltan kimyasallar kullanılarak elde edilen EPS agregalı hafif betonların, bazı fiziksel ve mekanik özelliklerini iyileştirme çalışmaları da vardır. Bu çalışmaların çoğunun ortak yönü; kullanılan atık veya orijinal EPS'nin modifiye edilmemiş malzeme olmasıdır. Bu çalışmaların bir kısmı aşağıda özetle verilmiştir.

Rossignolo vd. [35], Brezilya'da üretilen iki tip hafif agregası ile modifiye edilmiş stiren-bütadien kauçuk (SBR) hafif agregası karışımlarıyla oluşturulmuş ve dar kesitli prefabrik eleman betonlarının taze beton özellikleri ile sertleşmiş betonların teknik özelliklerini test etmişlerdir. Çimento, silis dumanı, tabii kum, hafif agregası, kauçuk agregası, su ve süper plastikleştiricinin çeşitli oranlardaki karışımından oluşan betonların kuru birim hacim ağırlıklarını ile 7 günlük basınç dayanımlarını sırasıyla 1460-1605 kg/m³ ile 39.7 ile 51.9 MPa olarak bulmuşlardır.

Chen ve Liu [36], 8.5 ve 20 kg/m³ birim ağırlığında ve 3 ile 8 mm olmak üzere iki ayrı çaptaki EPS boncukları, kaba ve ince doğal agregası ile kısmen yer değiştirerek yaptığı betonlarda, EPS boncukları beton hacminin %25-40 ve %55'i oranında kullanmış ve 28 günlük dayanımlarını sırasıyla 22.1, 17.6 ve 10.6 MPa olarak bulmuştur. Karışım içerisinde EPS hacmi arttıkça beklenildiği gibi beton ağırlığının sırasıyla 1820, 1356 ve 876 kg/m³ değerlerinde gittikçe azaldığını ve beton dayanımının EPS agregası hacmiyle orantılı olarak düştüğünü, betonun birim hacim ağırlığı arttıkça dayanımın yükseldiğini gözlemişlerdir.

Esveld vd. [37], Hollanda demiryolları mühendisleri, EPS köpüklerin, demiryollarında

alt temel malzemesi olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Demiryolu güzergâhında oldukça fazla miktarda sabit yük oluşturan taş yığınlarının (31–63 mm) kullanımına gerek kalmayacak şekilde tabii zemin ile beton tabaka arasına bir EPS tabaka teşkil etmişlerdir. Üst yapıdan gelecek olan yüklerden dolayı oluşan darbelerin sönümlemesine, gürültünün ve titreşimin azaltılmasına katkıda bulunacak ayrıca temele etkiyecek toplam yüklerin azalmasına sebep olacak esnek bir tabaka elde edilmesine çalışılmıştır.

Miled vd. [38], EPS köpüklerin, düşük yoğunluklu betonun gerekli olduğu panel duvarlar, beton briketler gibi inşaat uygulamalarında veya harç ve beton yapımında da kullanılabileceğini belirtmiştir.

Choi ve Ohama [39], atık EPS solüsyon esaslı bağlayıcı kullanılan EPS harçların geliştirilmesi ve test edilmesi üzerine araştırmalar yapmışlardır. Atık EPS köpükleri bir çözücü madde içerisinde eriterek elde ettikleri solüsyona, kalsiyum karbonat ($<2.5 \mu m$ boyutunda ve %16.4 oranında ve silis kumu ($106-850 \mu m$ boyutunda ve %64.2 oranında) katarak elde ettikleri atık EPS harcın sıcak ve soğuk su içerisindeki mekanik özellik değişimleri incelemiş ve EPS harçların sıcak suya karşı dayanımlarının iyi olduğunu tespit etmişlerdir. Araştırmacılar, böyle bir çalışmadaki asıl amaçlarının, atık EPS köpüklerin geri kazanımı çalışmalarına yeni bir boyut getirmek olduğunu belirtmişlerdir.

Demirboğa ve Kan [40], yapmış oldukları çalışmada, betonda agrega olarak %25, %50 ve %100 oranlarında EPS kullanarak ürettikleri numunelerde ısı iletkenlik, yoğunluk ve betonun ortalama kuruma büzülme değerlerindeki değişimler ortaya konmuştur. Isıl iletkenlik %25 EPS agregalı betonda $1.990 W/mK$ ve ortalama kuruma büzülmesi 2.59×10^{-3} iken %100 EPS agregalı numunede ise ısı iletkenlik $0.600 W/mK$, ortalama kuruma büzülmesi 5.08×10^{-3} olarak bulunmuştur.

Topcu ve Canbaz [41], yapmış oldukları çalışmada, betonda kaba agrega olarak %0 ila %60 oranında 4-16 mm ebatlarında atık cam kullanarak beton numuneler üretilmiştir. Atık camın işlenebilirlik üzerindeki etkileri ile ilgili ve taze ve sertleşmiş betonun kuvvetiyle ilgili testler incelenmiştir. Yürütülmüş olan çalışmanın sonucunda, ıskarta camın betonun işlenebilirliği üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı ancak sadece betonun kuvvetinin azalmasında çok az etkisinin olduğu belirlenmiştir.

Saikia ve Brito [42], yapmış olduğu çalışmada çimento harcı ve beton ürünlerinde

agrega olarak ger dönüşümlü plastik atıklar hakkında bir bakış açısı sunmaktadır. Plastik agregaların, çimento bileşiklerinin yeni ve sertleşmiş beton özelliklerinin ve plastik agregaya sahip betonun özellikleri tartışılmıştır. Ayrıca, beton üretimi plastik atığın kullanımının uygulamalı sonuçlarına ve gelecekte ne gibi araştırmaların gerekli olacağına göstermişlerdir.

Liu ve Chen [43], EPS'li betonların mekanik özelliklerinin EPS tane çapı ile değişimini incelemişlerdir. Bu amaçla EPS li hafif betonun basınç dayanımı, çekme dayanımı ve beton bükülme gücüne etkisini deneysel olarak araştırılmıştır.

Schackow vd. [44], bu çalışmada, hafif agrega olarak vermikülit ve EPS ihtiva eden, süper akışkanlaştırıcı katkılı iki tür düşük yoğunluklu betonların ısı ve mekanik özellikleri karşılaştırmalı olarak çalışılmıştır. EPS'li hafif beton basma gerilmesi yönünden vermikülitli betona göre daha yüksek bir değere sahip iken vermikülit hafif beton EPS'li betonların ısı iletkenlik değerinden daha küçük olduğunu ortaya koymuşlardır.

Sancho vd. [45], bu çalışmada, atık EPS agregalı düşük yoğunluklu betonların, yüksek sıcaklıklara maruz kalmaları durumunda mekanik özelliklerindeki değişimler araştırılmıştır.

Lakatos ve Kalımar [46], farklı yoğunluklarda EPS'li yalıtım malzemelerinin, ısı iletkenlik ve su emme özelliklerinin analizi yapılmıştır.

Yaxian vd. [47], atık beton ve EPS dönüşümü ile farklı yoğunlukta yeni bir yapı malzemesi geliştirilerek malzemenin fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. EPS hacimsel oranı %60 olan numunede basma gerilmesi 4.0 MPa ve ısı iletkenlikj 0.27 W/mK olarak bulunmuştur.

Chen vd. [48], EPS agregalı betonlarla ilgili yapılan çalışmalar araştırılarak tartışılmış ve önemli çalışmalar ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Chen ve Liu [49], Çelik fiber ile güçlendirilmiş EPS agregalı hafif betonların fiziksel özellikleri ile ilgili araştırma yapmışlardır.

Xu vd. [50], yapmış oldukları çalışmada, genleştirilmiş polistiren (EPS) agregalı beton ve tuğlalarda, EPS karışım oranının malzemenin mekanik özelliklerine olan etkisi Taguchi yaklaşımı kullanılarak analiz edilmiştir. Karşılaştırmada parametre olarak, yoğunluk,

basınç dayanımı ve gerilme-deformasyon davranışı test edilerek, optimum EPS karışım oranı belirlenmeye çalışılmıştır.

Sayadi vd. [51], çalışmalarında, %0-82.22 değişen değerlere göre EPS katkılı betonların, yangına karşı dayanım, ısı iletkenliğin ve basma gerilmesinin değişimi araştırmışlardır. EPS oranına göre yoğunluk 1200 kg/m^3 den 150 kg/m^3 değişirken su-çimento oranı 0.33 alınmıştır. EPS oranını artışı ile yangına olan direncin, ısı iletkenlik ve basma gerilmesinin küçüldüğü görülmüştür.

Liu vd. [52], yapmış oldukları çalışmada, düşük hızlı darbe karşısında EPS'li betonların dinamik davranışlarını deneysel olarak incelemişlerdir. EPS katkılı hafif betonlar, yüksek hızda fotoğraf çekim sistemi ile donatılmış damla çekiç sistemi kullanılarak düşük hızlı darbe karşısında tepkisi araştırılmıştır. Deneyler sırasında, darbe kuvvetlerinin EPS'li betona olan etkisi, dört aşamalı bir prosedür olarak özetlenmiştir. EPS'li betonda hasar üst kısmından aşağıya doğru başlamış ve gelişerek, ilerleyici bir süreç olduğu gözlemlenmiştir.

Lanzon vd. [53], çalışmada kauçuk lastik ve genleştirilmiş polistiren atıklarının betonun yapışma özelliklerine olan etkisi ve potansiyel uygulamaları konuları işlenmiştir

Adili vd. [54], odun talaşı ve EPS karışımli hafif betonların termofiziksel özelliklerini araştırarak, malzemelerin ısı özellikleri ve yoğunlukların değişimini araştırmışlardır.

2.2.2. EPS' nin geri dönüşüm yöntemleri ile ilgili çalışmalar

Kılıç [4], yapmış olduğu çalışmasında, kimyasal geri kazanım yöntemi kullanarak, atık EPS'nin derişik sülfat asidi ile katalizörlü (AgCl) ve katalizörsüz ortamda sülfonasyon reaksiyonu gerçekleştirmiştir. Sülfone ürünler FTIR spektroskopisi ve DSC ile karakterize edilmeye çalışılmıştır. Katalizörsüz ortamda yapılan reaksiyon sonucunda elde edilen ürünlerden filmler hazırlanarak, bu filmlerin yüzey örtü maddesi olarak kullanılabilirlikleri incelenmiştir. Filmlerin kuruma derecesi, sertlik, adezyon, darbe dayanımı, su ve asit dayanımı özellikleri tayin edilerek sonuçlar referans ürün olarak kullanılan atık EPS ile karşılaştırmıştır.

Xue vd. [55], atıkların değerlendirilmesi amacıyla toplama merkezlerinden ve son kullanıcı teslimiyle toplanan atık EPS ambalajları ısıtma yöntemi ile işlenerek yeni bir ürün elde etme çalışmaları yapmışlardır. Bu amaçla atık EPS köpükler, Styrene monomerini toplamak için 400°C nin üzerindeki sıcaklıklara maruz bırakılırlar. Bu sıcaklıktaki EPS'ler den pratikte sıkça kullanılan bir çeşit fuel-oil elde edilmektedir.

Kan ve Demirboğa [56], atık EPS'lere ısıtma işlemi uygulanarak, yeni bir geri dönüşüm süreci geliştirmiştir. Çalışmada, bahsedilen geri dönüşüm sürecinin özellikleri ve sürecin kendisi deneysel sistemi ile birlikte tanımlanmıştır. Bu teknik, atık EPS lerin hacmini ilk baştaki duruma göre 20 kat azaltmaktadır. Isıtma işlemi öncesinde, atık EPS lerin ortalama yoğunluğu 10 kg/m³ iken, ısıtma iletkenliği 0.0368 W/mK ve sıkıştırma direnci 0.12 MPa olarak ölçülmüştür. Modifikasyonun en iyi sonucu 130°C' de ve 15 dakikalık zaman diliminde alınmıştır. Modifikasyon sonrasında, atık EPS'lerin yoğunluğu 217 kg/m³'e, ısıtma iletkenliği 0.0555 W/mK ve basınç direnci 8.29 MPa'ya çıkmıştır.

Kan [57], yaptığı çalışmada, atık genişletilmiş polistiren köpüklerin (EPS) geri dönüşümünü sağlamada yeni bir yöntem geliştirmiştir. Atık EPS köpüklerin, ısıtma işlemi yöntemiyle modifiye edilebilirliği araştırılmış, daha sonra modifiye edilmiş atık EPS köpükler (MEPS) beton agregası olarak kullanılarak geri kazanımı amaçlanmıştır.

Sulkowski vd. [58], polimer atıkların kimyasal yöntemle geri dönüşümü ile ilgili çalışmışlardır. EPS ve bozulmamış polistiren (VPS) bir referans maddesi olarak kimyasal reaksiyonlar tarafından polimerik çöktürücülere dönüştürülmüştür. Polistiren sülfonat asitleri (EPSSS ve VPSS), sülfonlama etkeni olan sülfürik asit ve katalizör olan Ag₂SO₄ ile birlikte sülfonlama süreci boyunca atık polistiren köpük ve bozulmamış polistirenden elde edilmiştir. Ürünler, Na₂CO₃ reaksiyonundaki sodyum tuzu formunda (Sodyum EPSS, Sodyum VPPS) çöktürülmüştür. Ürünlerin özelliklerindeki reaksiyon zamanı ve sıcaklığın etkisi üzerinde çalışılmıştır.

Thomas vd. [59], çalışmalarında, ısı ile sertleşen polimerlerin ve bunların karışım ve bileşenlerinin geri dönüşümündeki temel literatürleri yeniden gözden geçirilmişlerdir.

Bajdur vd. [60], EPS lerin kimyasal yolla geri dönüşümünü çalışmışlardır. Verimli polielektrolitleri elde etmek için genişletilmiş polistiren atıkların sülfonlu türevlerinin sentezleri gerçekleştirilmiştir. Modifikasyon bilinen yöntemlerle yürütülmüştür ve polimer zincirindeki sülfü grupların çeşitli içeriklerine sahip ürünler elde edilmiştir. Elde edilmiş

olan anyonik çeşit polielektrolitlerin çökeltme özellikleri test edilmiştir.

Abbes vd. [61], yapmış oldukları çalışmada Polistiren atık, katyon değiştirici reçineye çevrilmiştir ve sulu çözeltiden kurşun ve kadmiyum metallerini ortadan kaldırmak için kullanılmıştır. Kahve bardaklarını içeren atıklar küçük parçalara ayrılmıştır ve polimer zincire sülfonik grubu eklemek için bir sülfürik asit çözeltisine batırılmıştır; bu gruplar modifiye edilmiş yani değiştirilmiş plastiğin özelliklerini bozmaktan sorumludur. Katyon değiştirici kapasite (KDK) belirlenmiştir ve ticari değiştiricilerle karşılaştırılabilmiştir. Kurşun ve kadmiyum iyonları içeren sentetik atık suya sahip reçinenin adsorpsiyon izotermi test edilmiştir.

Shin [62], damlama ölçüsü 100 µm den az olan yağda su emülsiyonunu ayrıştırmak zordur. Kaynaşma filtrasyonu ekonomiktir ve ikincil dağılımın ayrışması için verimlidir. Kaynaşma performansı akış oranına, yatak derinliğine, fiber yüzey özelliklerine ve damla ölçüsüne bağlıdır. Fiberlerin yüzey alanının miktarı verimliliği doğrudan etkiler. Önceki çalışmada polistiren alt-µm fiberlerinin geri dönüştürülmüş ve genişmiş polistirenden kaynaklanan elektro-bükümlü halde olduğu yeni bir geri dönüşüm yöntemi araştırılmıştı. Bu fiberler, fiberglas filter ortamını modifiye etmek için mikro fiberglaslarla karıştırılmıştır. Filtre araçları yağdaki su damlacıklarının emülsiyonundan su damlacıklarının ayrıştırılmasında test edilmektedir. Bu çalışmadaki deneysel sonuçlar sıradan mikron ölçekli fiber filtre araçlarına nanofiberlerin eklenmesinin filtre araçlarının ayrıştırma verimliliğini arttırdığını göstermiştir.

Teo vd. [63], kendilerinin daha önceki çalışmalarında düzenli ergime elde etmek için dönüşlü kalıplama yoluyla mikrodalga enerjisini kullanarak genişmiş polistiren köpüklerin üretilmesinin mümkün olduğunu göstermiştir. Bu kalıplamaların basınç kuvvetleri ölçülmüştür ve konvansiyonel (geleneksel) buhar işlemi kullanılarak test edilmiş olanlara benzer oldukları ortaya çıkmıştır. Geri dönüştürülmüş genişmiş polistiren köpükler, arttıkça köpüğün basınç gücü azalmıştır. Köpüğün şok tamponu eğrileri de bu durumdan etkilenmiştir. Geri dönüştürülmüş maddeyle birlikte olan köpükler tarafından aktarılmış olan minimum pik ivmesi bu maddeyle birlikte olmayan köpüklerin pik ivmesinden daha düşük olduğunu göstermişlerdir.

Dimitris vd. [64], arkadaşları polimerlerin kimyasal geri dönüşümü ile ilgili son

yıllarda yapılan çalışmaları araştırmışlardır.

Luy vd. [65], yapmış olduğu bu çalışmada katı atıkların azaltılmasından tekrar kullanımına, geri kazanılmasından geri dönüşümüne kadar atık azaltma ve değerlendirme yöntemleri incelenmiş, İstanbul örneği üzerinde ülkemizin mevcut durumu ile diğer ülkelerin durumları kıyaslanmaya çalışılmıştır.

Çevre ve şehircilik Bakanlığı, “Ambalaj atıklarının kontrol yönetmeliği”ni hazırlayarak, 24 Ağustos 2011 tarihinde Resmi gazetede yayınlamıştır [66].

Emirlioğlu [67], Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü Atık Yönetimi Dairesi Ambalaj Atıkları Yönetimi çalışmasını yapmıştır.

Hornberger [68], plastiklerin geri dönüşümü ile ilgili laboratuarda araştırmalar yapmıştır.

Koester ve Nemeth [69], PET lerin ısıtılarak yeniden şekillendirmek suretiyle geri dönüşümü ile ilgili çalışmalar yapmıştır.

Ganesh Babu ve Saradhi Babu [70], Silika tozu ihtiva eden genleştirilmiş polistirenli düşük yoğunluklu betonların fiziksel özellikleri üzerine çalışmışlardır.

Noguchi vd. [71], EPS atıkların geri dönüşümüyle ilgili çalışmaların en ilginç SONY firması tarafından desteklenen bir projede gerçekleştirilmiştir. Orange R-net System adı verilen bu çalışmada, portakal, limon, mandalina gibi turuncgillerin kabuklarının sıkılmasıyla Limonene adı verilen saydam, hoş kokulu, renksiz bir doğal solvent elde edilmektedir. EPS köpük ve limonene, benzer moleküler yapıya sahiptirler. Karıştırıldıklarında EPS, aynen şekerin suda erimesi gibi Limonene içerisinde kolayca erir. Mekanik kırıcılarda ufalanarak parçalanan atık EPS ile, limonene'nin karıştırılmasıyla oluşan reaksiyon sonucunda elde edilen yeni maddeye “Eco-Mark” adı verilmiş olup kaliteli plastik ürün imalatında kullanılmaktadır. Araştırmacılar bu yöntemle EPS köpüklerin hacimlerini yaklaşık 20 kat küçültebilmektedirler. Japonya’da yıllık 400.000 ton olan EPS üretiminin yaklaşık %10 luk bir kısmı Sony firması tarafından desteklenen bu Orange R-Net sistemi ile geri kazanılmaktadır.

Mas vd. [72], atık EPS ihtiva eden betonların deneysel istatistikel bir yöntemle EPS katılım oranına göre, basma gerilmesi ve işlenebilirliği üzerine çalışmışlardır.

2.3. Reçine Kullanımı ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

Bağlayıcı olarak kullanılan kitre ve kayısı ağacı reçinesi ile ilgili yapılan çalışma taramasında kayda değer çalışmaya rastlanmamıştır. Bulunan çalışmalar özetle;

Mohammadifar vd. [73], kitre parçalarının suda çözünbilme özellikleri ile ilgili çalışmalar yapmışlardır.

Balaghi vd. [74], İran ülkesindeki Astragaus tür kitrelerin bileşenlerinin analizini çalışmışlardır.

Baytop ve Gözler [75, 76], Türk kitre zambının menşei ve yapısı, kullanılan yerler hakkında derleme bilgileri vermiştir.

2.4. Gözenekli Katı Malzemelerde Isı Transferi ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

Çalışmanın önemli bir bölümü EPS nin değişik bağlayıcılar kullanarak üretilen, iki bileşenli ve homojen olmayan yapıdaki, yeni bir malzemenin ısı iletim katsayısını verecek cebirsel bir denklemin kurulmasıdır. Bu tür malzemelerin ısı iletkenliğini tespit etmek için literatürde çok sayıda denklem modeli bulunmaktadır. Bu modellerin çoğu, Maxwell, seri ve paralel model gibi temel modellerden türetilmekte veya deneysel olarak elde edilmektedir [77]. Cebirsel denklemin kurulmasında, gözenek yapısı ve büyüklüğü, gözenekteki fazlar ve gözenek oranı gibi bir çok parametrenin tam olarak bilinmesi gerektiğinden, denklemin kurulması zordur. Ayrıca denklemin, önerilen uygulama yeri ve aralığı da dikkate alınmalıdır. Konu ile ilgili önemli çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Luikov vd. [78], gözeneklilik oranı %35-98 ve gözenek çapları 4-5 mm den küçük olan seramik malzemelerin efektif ısı iletkenlik hesabı için Denklem 2.1 geliştirmiş ve hesaplanan değerlerin deneysel sonuçlarla uyumlu olduğunu ifade etmişlerdir.

$$k = k_s \left[\frac{1}{1/\left(\frac{h}{L}\right)^2 + A} + \left(\frac{k_g}{k_s}\right)\left(1 - \left(\frac{h}{L}\right)\right)^2 + \frac{2}{1 + (h/L) + [1/(k_g/k_s)(h/L)]} \right] \quad (2.1)$$

Dulnev [79], iki bileşenli ve bitişik gözenekli, malzemeler için Denklem 2.2 geliştirerek bu malzemelerin efektif ısı iletkenliği hesaplamıştır.

$$k_{ef} = k_s \left[\left(\frac{h}{L}\right)^2 + \frac{k_g}{k_s} \left(1 - \frac{h}{L}\right)^2 + \frac{2 \frac{k_g}{k_s} \frac{h}{L} \left(1 - \frac{h}{L}\right)}{1 - \frac{h}{L} \left(1 - \frac{k_g}{k_s}\right)} \right] \quad (2.2)$$

Denklem sonuçlarının, gözeneklilik oranı %50'nin altındaki seramik malzemeler için deneysel sonuçlarla uyum içinde olduğunu ifade etmiştir.

Yıldız [80], yapmış olduğu tez çalışmasında, termik santral uçucu külü ile polipropilen atıklarından oluşan iki bileşenli yeni bir malzeme üretimi için çalışmış ve bu tür malzemelerin ısı iletim katsayıları için Denklem 2.3 geliştirmiştir. Denklem sonuçları ile deneysel sonuçların uyum içerisinde olduğunu belirtmiştir.

$$k_{ef} = k_p k_f k_g \left\{ \frac{1}{k_p k_f} (1 - Z^{2/3}) + \frac{Z^{2/3} - \phi^{2/3}}{k_g k_f (1 - Z^{1/3}) + k_p k_g Z^{1/3}} + \frac{\phi^{2/3}}{k_g k_f (1 - Z^{1/3}) + k_p k_g (Z^{1/3} - \phi^{1/3}) + k_g k_f \phi^{1/3}} \right\} \quad (2.3)$$

Benazzouk vd. [81], betonda agrega olarak atık lastik parçalarını hacimsel olarak %10, %20, %30, %40 ve %50 oranında çimentoya ekleyerek numuneler hazırlamıştır. Numunelerin ısı iletkenliğinin hesaplanması için Denklem 2.4 geliştirerek hesaplanan değerlerle deneysel değerleri karşılaştırmışlardır.

$$\frac{k_{eq}}{k_3} = 1 + \frac{\Theta}{(1 - \frac{\Theta}{3}) + \frac{1 + \frac{\delta}{3}(\frac{k_1}{k_2} - 1)}{\frac{k_1}{k_2} - 1 - \frac{\delta}{3}(\frac{k_1}{k_2} - 1)(\frac{2k_2}{k_3} + 1)}} \quad (2.4)$$

Sonuçda, karışımlardaki atık lastik oranının artması ile ısı iletkenlik değeri düştüğü, hesaplanan değerlerle deneysel sonuçlarla uyumlu olduğunu ifade etmiş ve atık lastiklerin geri dönüşümü ile ekonomiye katılabileceği sonucuna varmışlardır.

Zumbrunnen vd. [82], gözenekli katı malzemelerde, belirli bir birim hücre için ısı iletkenlik modeli geliştirerek, deneysel sonuçlarla mukayese etmişlerdir.

Vysniauskas vd. [83], Hot Wire yöntemi ile seramik malzemelerin ısı iletkenliğini ölçmüşlerdir.

Altun ve Böke [84], yalıtım amaçlı kaplama malzemelerin ısı iletkenlikleri hesaplanarak sonuçları hesaplamalı akışkanlar dinamiği sonuçlarıyla mukayese etmişlerdir.

Wyrwal vd. [85], iki fazlı, gözenekli yapı malzemelerin, etkin ısı iletkenlikleri, literatürdeki farklı modellerle hesaplanarak sonuçları karşılaştırmışlardır.

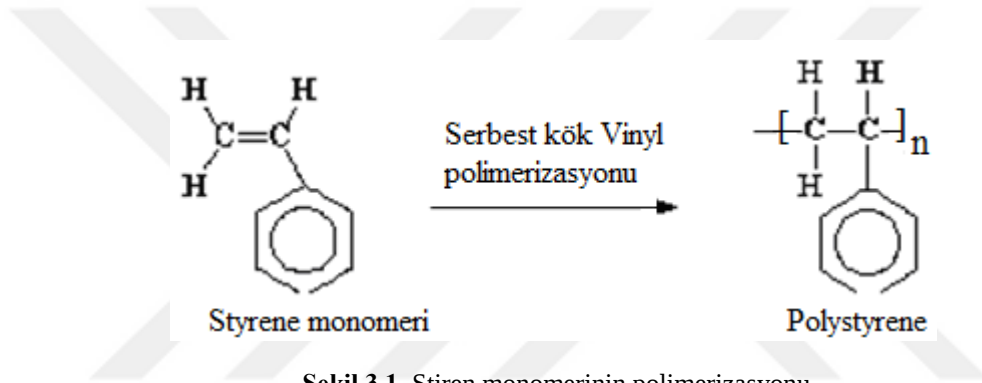
Wang vd. [86], iki bileşenli yapılar için literatürdeki beş ısı iletkenlik modeli, çeşitli şekillerde birleştirilip yeni denklemler üreterek. yeni denklemi karmaşık yapılar için uygulanabilirliğini belirtmişlerdir.

Reddy ve Karthikeyan [87], birim hücre geometrisinden gidilerek iki fazlı malzemelerin ısı iletkenliğini belirlemek için matematiksel denklemler geliştirmişlerdir. Model sonuçları ile literatür de bulunan modellerden elde edilen sonuçlarla mukayese edilmiştir, sonuçta geliştirilrn katı kübik modelin, diğer modellerden daha iyi olduğu ifade edilmiştir.

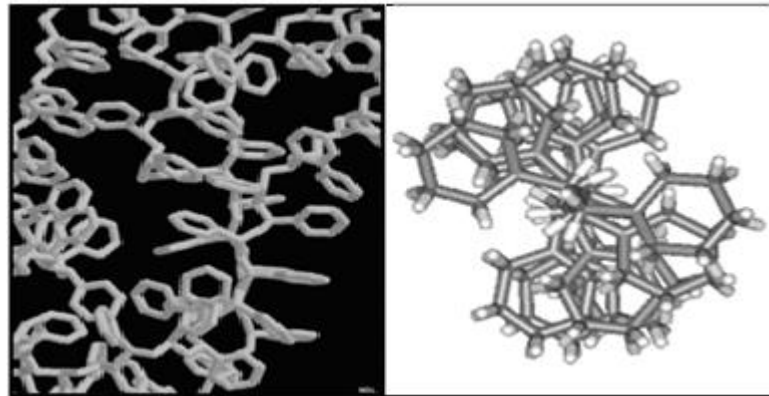
3. POLİSTİREN VE GENLEŞTİRİLMİŞ POLİSTİREN

3.1. Polistiren

Polistiren, stiren monomerinden üretilen bir polimerdir (Şekil 3.1). Polimerin elde edilmesi için en yaygın yöntem, serbest kök vinil polimerizasyon reaksiyonudur. Plastik endüstrisinde daha çok PS kısaltması ile tanınır. Oda sıcaklığında, polistiren katı halde bir termoplastiktir. Yüksek sıcaklıklarda eriyik hale getirilerek enjeksiyon veya ekstrüzyon yolu ile işlenir. Daha sonra soğutulularak katılaşması sağlanır [57].



Bu yöntemle polimer elde etmek için, çift bağlı karbon-karbon molekülleri içeren vinil monomerlerinden faydalanılır [57]. Şekil 3.2’de görülen yapı, PS molekülünün 20 kat büyütülmüş bilgisayar simülasyonudur. Altıgen görünümde karbon atomları ve atomlar arası bağ temsilen görülmektedir. Atomlar arası bağlantı mesafesi yaklaşık 1.4 Angstroms kadardır [17].



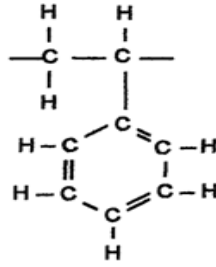
Şekil 3.2. Polistiren molekülü simülasyonu (X20).

3.1.1. Polistirenin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Polistirenin yapı olarak diğer termoplastiklerden farkı onun amorf yapısıdır. Kristal yapıda olmadığından camsı yapıdan eriyik hale geçerken az enerji harcanır. PS, basınç ve ısı etkisiyle şekillendirilebilen, 60-80°C de yumuşayan, 145°C de kaynayan bir polimerdir. Polistiren asitlere, alkalilere ve suya karşı çok dayanıklı olup özellikleri, molekül ağırlıklarına göre çok değişir.

Polistirenin, kimyasal formülü $C_6H_5CHCH_2$ veya $(C_8H_8)_n$ olup, n adet C_8H_8 molekülünün bir araya gelmesiyle oluşur. Her bir C_8H_8 monomer adını alır (Şekil 3.3). Monomerin moleküler ağırlığı 104.15 g/mol dür. Polistiren sert, kırılğan ve parlak bir plastik olup çok amaçlı olarak kullanılır.

Stiren monomeri, $CH_2 = CH-(C_6H_5)$



Şekil 3.3. Stiren monomeri

Molekül ağırlığı değişiminin polimerin ısı ve mekanik özellikleri üzerine büyük etkisi vardır. Polistiren, elektrik yalıtım özelliği açısından diğer polimer tipleri arasında en iyisidir [88,89].

Polistiren, polipropilen, epoksi, teflon ve poliesterler gibi önemli plastikler arasındadır. Bir çok elektronik cihaz kabini, süs eşyası, oyuncak, soğuksu borusu ve otomobillerin plastik kısımları çoğunlukla PS'den yapılır. Ayrıca, genleştirilmiş veya püskürtülerek elde edilmiş olan PS türevleri ambalaj ve yalıtım malzemesi olarak kullanılmaktadır. PS ve diğer polimerlerin fiziksel özellikleri, Tablo 3.1'de verilmiştir [57].

Tablo 3.1 Polistiren ve benzer polimerlerin ısı özellikleri

Polimer	Birim ağırlık (kg/m ³)	Isı iletim katsayısı (W/m.°C)	Özgül ısı kapasitesi (cal/g°C)	Isıl genleşme katsayısı (x10 ⁻⁶ °C ⁻¹)
Polistiren (PS)	1050	0.18	0.54	70
ABS	1050	0.12	0.40	90
Polikarbonat	1200	0.207	0.49	70
(LDPE)	920	0.39	0.95	250
(HDPE)	960	0.50	1.05	200
Polipropilen (PP)	900	0.19	0.83	150

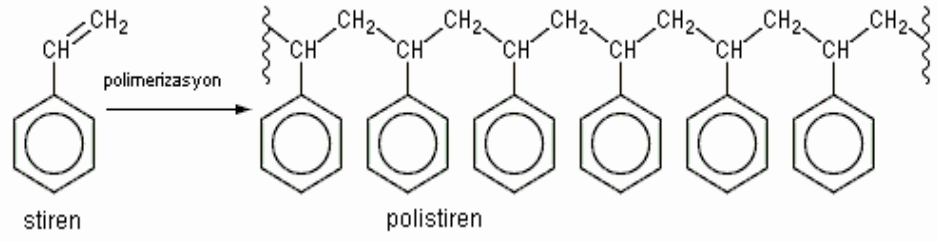
Polistiren UV ışınlarına, asit, alkali ve tuzlara karşı üstün bir direnç gösterir [89]. İşlenmesi kolaydır. Hızlı yanar ve çok miktarda kurum meydana getirir. Asetonlu ortamda hızla kabırır. Aromatik ve klorlanmış hidrokarbonlarda (örneğin: toluen, perkloroetilen, karbon tetraklorür), karbon disülfid, tetralin, dioksan, metil etil keton, piridin, sikloheksan ve etil asetatta çözünür.

Polistirenin ısı iletkenliği diğer polimerlerin ısı iletkenliğinden düşüktür. Köpük polistirenin iletkenliği ise normal polistirenden 3 kat daha azdır. Polimerlerin ısı iletkenliklerini arttırmak için içerisine metal tozları ve fiberler dolgu malzemesi olarak katılabilir. Bu yöntemle ısı iletkenlikler 10 kat veya daha fazla artırılabilir. Polimerlerin ve polistirenin ısı genleşmesi veya büzülmesi metallere göre daha fazladır [4].

3.1.2. Polistiren üretimi

Polistiren üretimi, ilk olarak Amerika Birleşik Devletleri'nde 1938 yılında teneke kutularda gerçekleştirilmiştir. 10 galonluk teneke, monomer ile doldurularak sıvı banyosunda ısıtılıp sıcaklık artırılarak polimerleşmesi sağlanmıştır. Elde edilen polimer, kutudan alınarak granül haline getirilip ambalajlanmıştır [4].

Polistiren; günümüzde antişok, kristal ve köpük polistiren olmak üzere üç çeşit üretilmektedir. Monomer haldeki stirenden serbest radikal veya iyonik başlatıcılar kullanılarak katılma polimerizasyonu ile elde edilir. Bu şekilde elde edilen polistiren amorf yapıdadır. Reaksiyon denklemi aşağıdaki şekilde ifade edilir [90].



(3.1)

Son zamanlarda koordinasyon katalizörleri ile kristalin yapıda polimerler de üretilmektedir. Antişok ve kristal Polistiren üretimi için, kütle, çözelti, süspansiyon ve emülsiyon polimerizasyonu olmak üzere 4 üretim prosesi mevcuttur. Çok yüksek berraklık istenildiği zaman kütle veya süspansiyon polimerizasyonu, renkli döküm tozları ve kaplama malzemeleri için ise emülsiyon ve süspansiyon polimerizasyonu kullanılmaktadır [4].

3.2. Genleştirilmiş Polistiren ve Genel Özellikleri

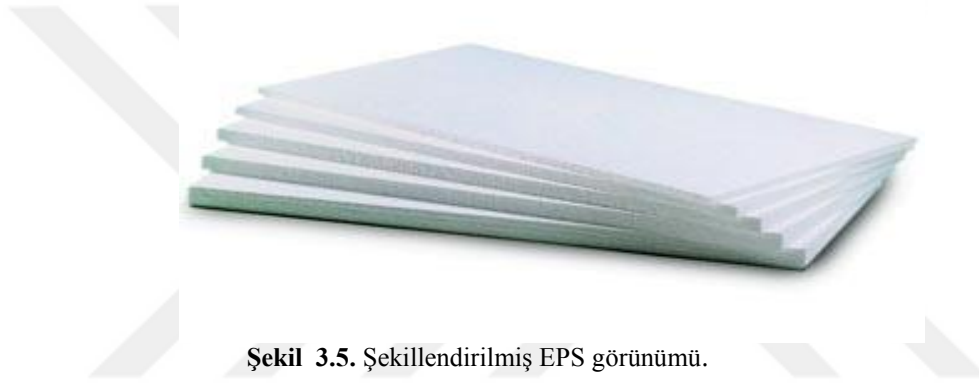
Genleştirilmiş Polistiren Sert Köpük (EPS-Expanded Polystyren Foam), kapalı gözenekli, beyaz renkli bir termoplastik malzemedir [91,92]. Polistiren ve genleştirilmiş polistiren Şekil 3.4 de gösterilmiştir [93].



Şekil 3.4. Polistiren ve genleştirilmiş polistiren

Polistiren taneciklerinin Pentan gazı ile şişirilmesi suretiyle EPS elde edilir. Bu işlem, polistirenin cam geçiş sıcaklığı üzerinde ki su buharı ile ısıtılması sonucu gerçekleşir ve EPS köpük boncuklar elde edilir. Pentan gazı, tanecikler içinde çok sayıda küçük gözeneklerin oluşmasını sağlar çok kısa sürede hava ile yer değiştirir. Atmosfere atılan bu gaz CO₂ ve su buharına dönüşür. Pentanın gazı atıldıktan sonra, EPS bünyesinde çok sayıdaki küçük kapalı gözenekli hücreler içinde durgun hava hapsolür (yoğunluğa bağlı

olarak 1 m³ EPS'de 3-6 milyar). EPS nin %98'i hareketsiz hava, %2'si ise polistirendir [88,94]. Daha sonra, su buharı yardımı ile şekli istenen bir kalıp içerisinde birbirleriyle kaynaşması ve malzemenin özelliklerini kazanması sağlanır. Bu esnada malzeme bal peteği görünümünde, boşluksuz bir kütle haline gelir. Bundan sonra ki üretim aşaması farklıdır. Eğer EPS yalıtım malzemesi olarak kullanılacak ise düz plaka şeklinde Şekil 3.5 veya ambalaj malzemesi olarak kullanılacak ise, PS, pentan gazı etkisi ile genişirken içerisinde bulundukları kalıbın şeklini alarak elde edilirler. EPS sağlığa zararlı madde içermez dolayısıyla, yiyecekler için hem ısı yalıtım özelliği hem de koruma özelliği sayesinde gıda malzemelerinin ambalajlanmasında kullanılır [93].



Şekil 3.5. Şekillendirilmiş EPS görünümü.

EPS zehirli olmayıp, normal atmosfer şartlarında kimyasal reaksiyona girmez. Kloroflorokarbon (CFC), hidrokloroflorokarbon (HCFC) ve formaldehid içermez [92]. EPS üretimi için, benzer ürünlerin üretimine göre daha az enerji tüketilir. EPS ile yalıtılan binalarda ısı tüketimi %50'ye kadar düşmektedir.

EPS, kullanıldıktan sonra doğaya bırakılır. Doğaya ve ozon tabakasına zarar vermez, çöplerin içinde bozulmaz ve sera gazı oluşturmaz bu nedenle çevre dostu bir malzemedir [94].

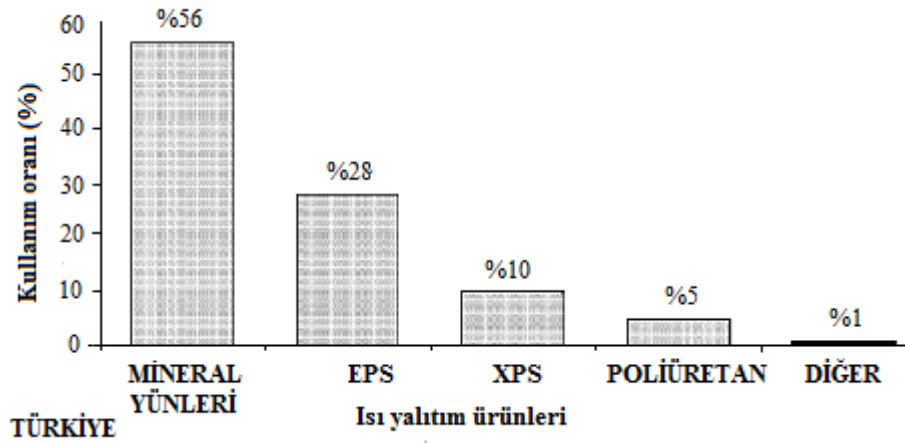
EPS ortam sıcaklığının 490°C ulaşması halinde kendiliğinden yanabilir. Kısa sürede 100 °C ye kadar, uzun sürede 75-85°C ye kadar dayanıklı olup, minimumda ise -180°C ye kadar kullanılabilir. Bu nedenle soğuk ortamlar için de ideal bir malzemedir.

EPS kapalı gözenekli bir malzeme olup su emme oranı çok düşüktür. Bu nedenle su ile temasında özellikleri değişmez. Suda çözülmeyen ve erimeyen bir yapıda olduğundan, gözenek duvarları suyu geçirmez.

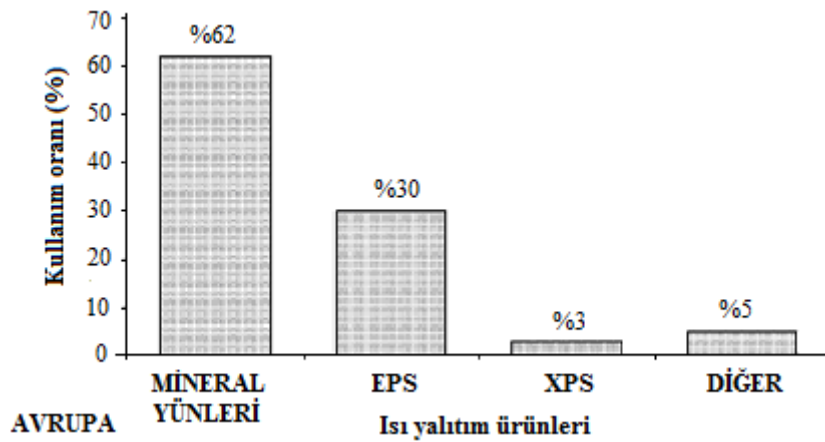
3.2.1. EPS'nin Türkiye ve Avrupa'daki kullanımı

EPS ilk olarak 1950'li yıllarda Almanya'da styropor ismi ile geliştirilip kullanılmaya başlanmış ve kısa süre içinde tüm dünyada kullanımı gerçekleşmiştir. Türkiye'de ise 1960 yılından itibaren üretilip kullanılmaya başlanmıştır.

EPS nin yalıtım özelliğinin çok iyi, maliyetinin ise ucuz olması bu malzemeye olan talebi artırmıştır. 1990'larda Türkiye'de yıllık EPS kullanımı 14.000 ton dolayında iken, 2000'li yıllarda 27.000 tona ulaşmıştır. 2007 yılından itibaren hammadde ithalatı yanında Türkiye'de hammadde üretiminin başlamasıyla 2010 yılına gelindiğinde EPS kullanımı 130.000 tona çıkmıştır. Şekil 3.6 ve Şekil 3.7 de Türkiye'de ve Avrupa'da ısı yalıtım amacıyla EPS ürünlerinin kullanım oranlarını gösterilmiştir [57].



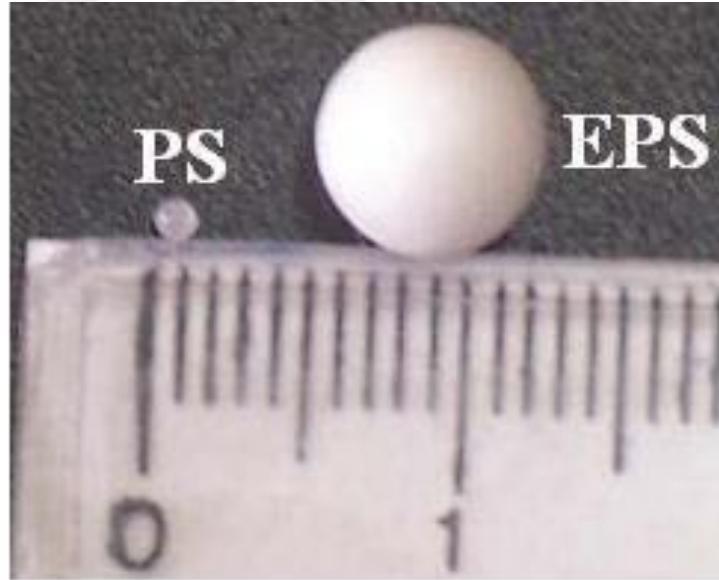
Şekil 3.6. Türkiye'de EPS ürünlerinin ısı yalıtım amacıyla kullanımı



Şekil 3.7. Avrupa'da EPS ürünlerinin ısı yalıtım amacıyla kullanımı

3.2.2. EPS'nin üretimi

EPS, kullanım sahasına göre istenilen yoğunluklarda üretilir. Hammaddesi PS olup işlenişi, istenilen nihai yoğunluğa göre, ön genleştirme ve kalıplama şeklinde iki aşamada gerçekleşir. Genleştirme aşamasında hammaddeye buhar uygulanması yapılır. Bu esnada PS yumuşar, Pentan gazı, genişip hücre duvarlarını zorlar ve PS'ni genleştirir. Şekil 3.8.de EPS'nin genleştirildikten sonraki PS ye göre hacimce kıyaslaması görülmektedir [57]. EPS gözenekli bir yapı şeklinde oluşurken, pentan gazı açığa çıkar ve tanecikler kumaş silolara basılıp dinlendirilir. Kalıplama (şekil verme) aşamasında taneciklerin birbirleri ile sıkıca kaynaşması sağlanır. Ürün yalıtım malzemesi olarak üretilecekse, odadan çıktıktan sonra bir müddet daha dinlendirilir ve istenilen kalınlığa göre yürüyen band üzerinde kızgın tellere doğru itilerek çeşitli kalınlıklarda kesilir. Ürün Ambalaj malzemesi olarak üretilecekse, küçük EPS tanecikleri seçilerek darbe ve sıkışma mukavemeti açısından yüksek yoğunluk tercih edilir. EPS malzemeleri, ısı yalıtım amacıyla 15-30 kg/m³ yoğunluklarda, ambalaj malzemesi olarak kullanım amacıyla da 20-100 kg/m³ yoğunluklarda üretilmektedir.



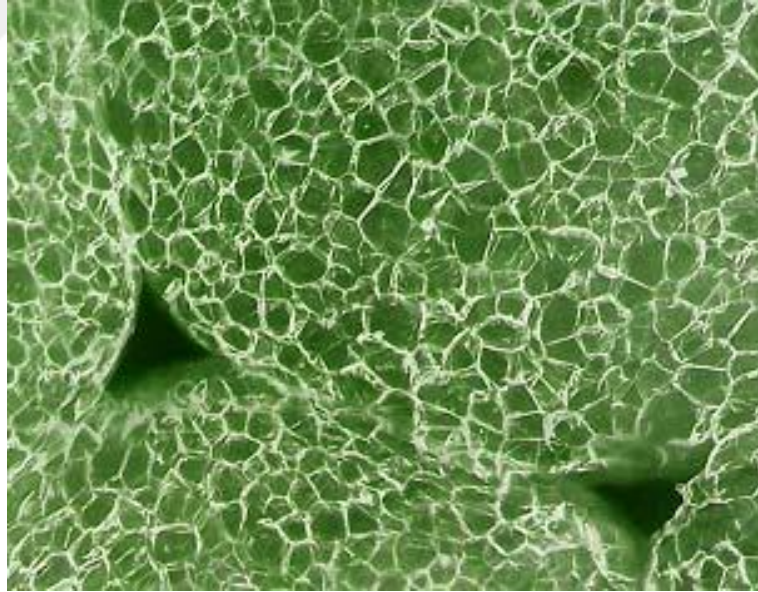
Şekil 3.8. PS ile EPS nin hacimce kıyaslaması

Tablo 3.2 de EPS levhalarının yoğunluklarına göre ısı iletkenlik değerleri gösterilmiştir [95].

Tablo 3.2. Yoğunluklarına göre EPS levhalarının ısı iletkenlik değeri

Yoğunluk (kg/m³)	Isıl iletkenlik (W/mK)
16	0.039
17	0.038
18	0.038
19	0.037
20	0.037
21	0.037
23	0.036
26	0.035
31	0.034
36	0.034
41	0.033
46	0.033
51	0.033
61	0.033

Şekil 3.9’da, EPS köpük boncukların kapalı gözenekli hücrelerinin de görülebildiği Abdulkadir Kan tarafından Leitz marka mikroskop ve Kodak Easyshare dijital kamera kullanılarak çekilmiş görüntüsü verilmiştir [57].



Şekil 3.9. EPS boncukların iç yapısının görünümü (X1000)

EPS’nin zaman içerisinde, ebatları değişmez, ısı iletkenliği artmaz, özelliklerinde hiçbir bozulma meydana gelmez. Hafif bir malzemedir. EPS köpüklerin, TS 7316 ’da belirtilmiş diğer teknik özellikleri, Tablo 3.3 de verilmiştir [96].

Tablo 3.3 EPS köpüklerin teknik özellikleri (TS 7316)

Teknik Özellik		İlgili	Birim	EPS	Teknik	İlgili
Yoğunluk		DIN 53420	kg/m ³	15	20	
İsi İletkenlik	Laboratuvar	DIN 52612	W / mK	0.036-0.038	0.034-0.036	0.031-0.033
	Hesap değeri	DIN 4108	W / mK	0.04	0.04	0.035-0.040
%10 Deformasyonda basınç dayanımı		DIN 53421	MPa	0.07-0.12	0.12-0.16	0.18-0.26
%2' den Küçük deformasyonda basınç		-	MPa	0.012-0.025	0.020-0.035	0.036-0.062
Makaslama dayanımı		DIN 53427	MPa	0.09-0.12	0.12-0.15	0.19-0.22
Bükülme dayanımı		DIN 53423	MPa	0.16-0.21	0.25-0.30	0.42-0.50
Çekme dayanımı		DIN 53430	MPa	0.15-0.23	0.25-0.32	0.37-0.52
E – Modülü		-	MPa	0.6-1.25	1.0-1.75	1.8-3.1
Özgül ısı kapasitesi		DIN 4108	J/(kg.k)	1500	1500	1500
Su buhar geçirgenliği		DIN 53429	g/m ² .D	40	35	20
Buhar difüzyon direnç katsayısı (μ)		DIN 4108	1	20/50	30/70	40/100
Buhar difüzyon direnç katsayısı		DIN 52615	1	30/70	40/100	

3.2.3. EPS'nin kullanım alanları

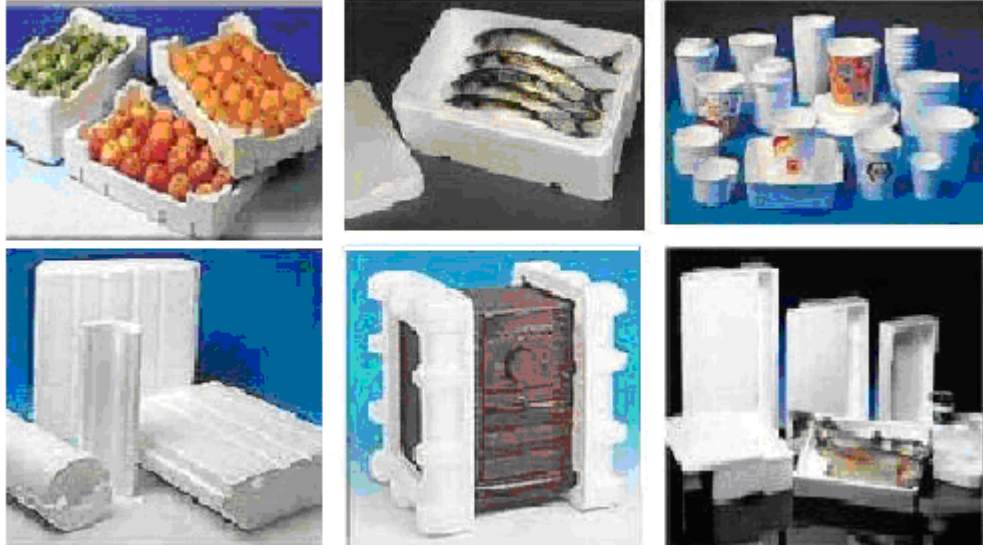
Genleştirilmiş polistren, gerek fiziksel özellikleri ve gerekse öteki malzemelerden daha ekonomik olması nedeni ile geniş bir kullanım alanına sahiptir. Kullanım alanları aşağıdaki gibi özetlenebilir.

1-Yalıtım amacıyla, EPS ürünler, levha ve boru şeklinde üretilerek, yapılarda duvar ve borularının ısı ve sese karşı yalıtımında yoğun bir şekilde kullanılmaktadır.

2-Ambalaj malzemesi olarak gıda, beyaz eşya, mobilya, tabak ve oyuncak sanayi de kullanım alanları oldukça geniştir (Şekil 3.10).

3-Soğutma kulelerinde, çeşitli aletler ve otomobil parçalarında, paneller ve elektronik aletlerin plastik aksamalarında veya bardak, tabak gibi önceden şekil verilmiş elemanlar halinde, gemiler için can simidi ve can yeleği yapımına kadar sayılması mümkün olmayan bir çok yerde yoğun bir şekilde kullanılırlar.

4-Gerek orijinal ve gerekse geri dönüşümü sağlanmış granül halinde EPS, geleneksel agrega yerine kısmen veya tamamen kullanılarak, düşük yoğunluklu beton, tuğla, sıva ve dekoratif malzeme gibi yapı malzemesi üretiminde kullanılabilir. Tablo 3.4 de 5 cm EPS ye eşdeğer kalınlıkta bazı yalıtım ve yapı malzemeleri verilmiştir [57].



Şekil 3.10. Kalıplanarak elde edilmiş EPS ambalaj ürünleri.

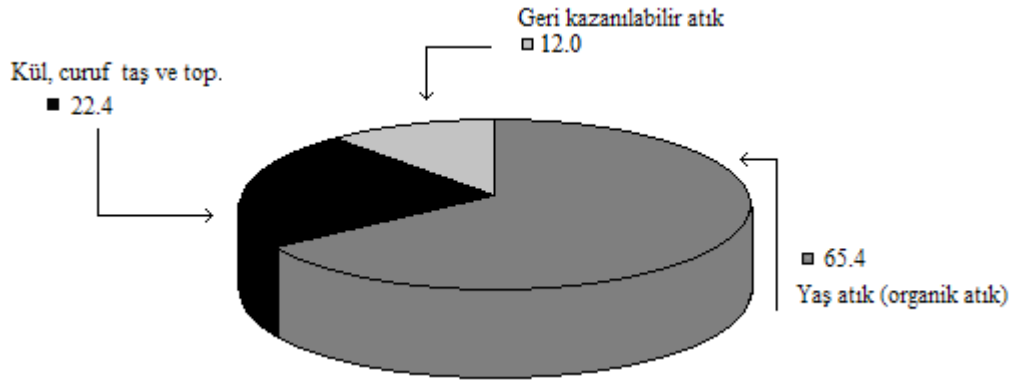
Tablo 3.4. Beş cm EPS ye eşdeğer kalınlıkta bazı yalıtım ve yapı malzemeleri [96]

Malzeme	Kalınlık (cm)
Poliüretan	4.4
Camyünü, taşyünü	5
Heraklit	19
Ahşap	22
Bims tuğlası	26
Perlit betonu sıvası	31
Gazbetonu	31
Delikli tuğla	63
Betonarme	264

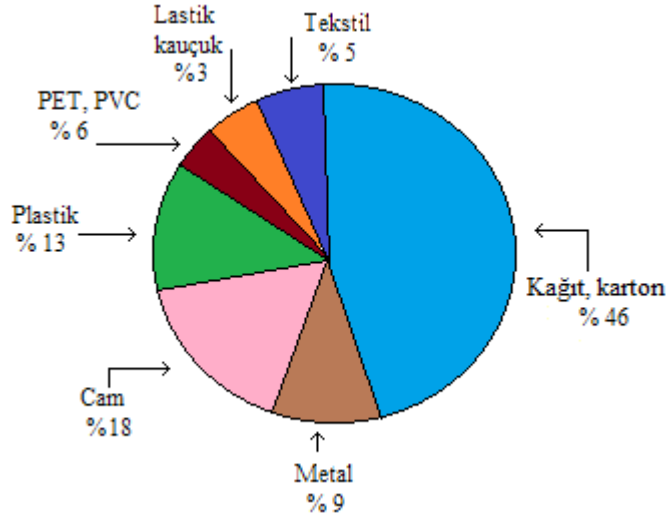
4. GERİ DÖNÜŞÜM

Geri dönüşüm, tekrar kullanım anlamına gelen bir kavramdır. Atıkların özelliklerinden yararlanılarak, içindeki bileşenlerin fiziksel, kimyasal veya biyokimyasal yöntemlerle başka ürünlere veya enerjiye çevrilmesidir. Günümüzde önemli boyutlara ulaşan katı atık sorunu, ülkelerin gündemini 1980’li yıllardan beri işgal etmektedir [4]. Kül, posa ve curuf gibi sanayi atığı ile insanların günlük ihtiyaçlarından arta kalan ve doğaya bırakılan cam, kağıt, plastik, ahşap, şişe mantarı gibi bir çok madde geri dönüşümü sağlanarak yeniden ekonomiye kazandırılmaktadır. Bunlar içerisinde hafif olmaları nedeniyle, betonda geleneksel agregaya yerine kısmen veya tamamen kullanılabilecek fabrika atığı yüksek fırın cürufu, uçucu kül, testere talaşı, atık cam, pişirilmiş kil, demir, bakır, ferrokrom madeni atıkları ve EPS gibi bir çok malzemenin geri dönüşümü sağlanabilir.

Türkiye’nin genel atık karakterizasyonu ve geri kazanılabilir atık kompozisyonu (Adana, Ankara, Diyarbakır, İstanbul, İzmir, Samsun şehirleri için) hakkında açıklayıcı bilgiler sırası ile Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de verilmiştir [65].



Şekil 4.1. Türkiye’nin genel atık karakterizasyonu



Şekil 4.2 Geri kazanılabilir atık karakterizasyonu.

4.1. Ambalaj ve Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği ve Atık Maddelerin Oluşumu

Avrupa Birliği'ne girme hazırlığında olan Türkiye, Avrupa Parlamentosu Komisyonu'nun hazırladığı “Ambalaj atıklarının kontrolü yönetmeliği”ne paralel olarak, Türkiye’de Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından, “Ambalaj ve ambalaj atıklarının kontrolü yönetmeliği” ni hazırlamıştır. Bu yönetmeliğin amacı; ambalaj atıklarının çevreye zarar verecek şekilde doğrudan veya dolaylı olarak alıcı ortama verilmesinin önlenmesi, önlenemeyen ambalaj atıkların tekrar kullanım için geri dönüşüm yolu ile ekonomiye kazandırılmasıdır. Ayrıca bu yönetmelik ile, gerekli teknik ve idari standartların oluşturulması ve bununla ilgili prensip, politika ve programlar ile hukuki, idari ve teknik esasların belirlenmesi amaçlanmıştır [66]. Yönetmelik kapsamı içerisinde, kullanılan malzemeye (plastik, metal, cam, kağıt-karton, kompozit vb.) ve kaynağına (evsel, endüstriyel, ticari, işyeri) bakılmaksızın ülke içinde piyasaya sürülen bütün ambalaj ve ambalaj atıkları bulunmaktadır. Yönetmeliğin en önemli hususlarından biri, sorumlu ekonomik işletmelerin ambalaj atıklarının ağırlık itibari ile kademeli olarak artıracak şekilde belirli bir miktarını geri kazanmakla yükümlü olmalarıdır.

Devlet İstatistik Enstitüsü. tarafından yapılan yıllık istatistiklere göre; ülkemizde evsel atıkları ağırlık olarak %12’sini cam, metal, plastik, kağıt ve karton gibi geri kazanılabilir atıklar oluşturmaktadır. Buna göre yıllık geri kazanılabilir atık miktarının 2-

2.5 milyon ton olduğunu söylenebilir. Hacim olarak ise ülkemiz çöpünün yaklaşık %30-35'ini geri kazanılabilir atıklar oluşturmaktadır [97].

4.2. EPS' nin Geri Dönüşümü

Bütün plastikler geri dönüştürülebilir, ancak bazı türlerinin geri dönüşüm maliyetleri yüksektir. Polietilen (PE), PS ve EPS köpük gibi termoplastik polimerlerin geri dönüşümü daha kolay ve ucuzdur. Bu plastikler ısıtıldıklarında yumuşamaya başlarlar ve bu durumda tekrar işlenerek kolayca biçimlendirilebilirler. Epoksi (E), ve silikon (SR) gibi termoset malzemeler ısıtıldıklarında, termoplastik polimerler gibi kullanışlı hale gelmezler ancak çok küçük parçalar halinde kesilerek geri dönüşümleri sağlanabilir ve diğer ürünlerin dolgu malzemesi olarak kullanılabilirler.

Atık EPS ambalajlarının çevre kirliliğine etkileri oldukça fazladır. Bu nedenle Dünyadaki yaşam kaynaklarını korumak için doğanın yok edemediği EPS gibi atıkları mümkün olduğunca azaltmak veya çeşitli yöntemler kullanarak tekrar geri kazanmak gerekir. Çünkü EPS ve ekstrüde polistrenler (XPS) doğal olarak çözünmezler ve doğaya terk edildiklerinde güneş, rüzgar ve yağmurdan kimyasal olarak etkilenmezler.

Çevremizde bol miktarda atık olarak bulunan ve ekonomiye hiçbir katkısı olmayan atık EPS ürünlerin basınç dayanımları ve yoğunlukları kolay ve ucuz bir şekilde artırılabilirse, elde edilen EPS agrega ile çevreye zararsız, ekonomik, yalıtım ve yarı taşıyıcı özelliğine sahip bir beton elde edilmiş olabilir. Orijinal EPS köpüklerin basınç dayanımlarının düşük oluşu nedeniyle, bunların agrega olarak kullanıldığı zaman beton dayanımlarının da düşük olacaktır. Bu yüzden, atık EPS köpüklerin kısmen veya tamamen doğal agrega ile yer değiştirilerek, agrega olarak kullanılacağı betonların dayanım değerleri daha yüksek çıkacaktır [57].

Günümüzde geri dönüştürülebilir termoplastik atıklar iki şekilde oluşmaktadır.

a- Endüstriyel atıklar: Plastik eşya üreten fabrikalarda, üretim bandından defolu çıkan ürünler oluşabilir. Bu atıklar geliştirilerek döşeme kaplaması, plastik oyuncak ve bilgisayar kabini gibi ürünlere dönüştürülebilir. Bu atıklar çevre şartlarından kirlenmediğinden birinci

kalite plastik atık sınıfına girerler. Bu plastiklerin bünyesine dışarıdan herhangi bir malzeme girmediğinden, yeni plastik ürün kadar temizdirler. Bu yüzden üretim atıkları oldukça aranan ve kolayca toplanabilen atıklardır.

b- Son kullanıcı atıkları: Bu tür atıklar, yerleşim bölgelerinden ve ticaret sahalarından elde edilen atıklardır. Bu grupta, kullanıma uygun plastik atıklar, kirli, yağlı plastiklerin içerisinden, metal ve cam gibi atıklardan ayrılmalıdır. Daha önce kimyasal veya evsel atık içeren plastik kapların çevresel ve insan sağlığı açısından geri dönüşümü yapılamayacağı için bu gibi atıklar ayıklanarak yakılır veya toprağa gömülerek yok edilir. Evsel atıklar, uzun ve bilinmeyen geçmişi nedeniyle esas maddesinden oldukça farklı özelliklere sahip olurlar. Bu yüzden, endüstriyel atıklara nazaran daha az rağbet görürler ve genellikle toprağa gömülerek yok edilirler [68].

EPS köpük atıkların ana kaynağı, beyaz eşya, elektronik cihazlar, gıda ve tıbbi malzemelerin darbe sönümlerme veya dış ortam sıcaklığından korumak amacıyla paketlenmesinde kullanılan köpük ambalaj malzemeleridir [67]. Genelde, EPS köpükler ambalajlanmış ürünler için koruyucu dolgu malzemesi olarak kullanıldıklarında bütün ambalaj hacminin yaklaşık %40-80'ini oluştururlar. DIE (2006)'nın yayınlamış olduğu, Başlıca dayanıklı tüketim malları üretimi istatistiklerine göre 2005 yılında Türkiye'de 34.501.381 adet televizyon, buzdolabı, çamaşır makinesi gibi EPS köpük ile ambalajlanan mal üretilmiştir. Her elektronik cihazın paketlenmesi için darbe sönümleyici olarak yaklaşık 0.5 kg EPS köpük kullanılmaktadır [55]. Bu verilere göre 2005 yılında sadece elektronik cihazların paketlenmesi için yaklaşık 17.250.000 kg (17.250 ton) EPS köpük kullanılmıştır. Bunun %90'ının son tüketici tarafından çevreye terkedilmiş olduğu düşünülürse, atık EPS köpüklerin sebep olduğu çevre kirliliğinin boyutu görülebilir. Emiroğlu [67], tarafından yapılan bir araştırmada da, Tablo 4.1'de görüldüğü gibi, 2004 yılında Türkiye'de piyasaya sürülen geri dönüştürülebilir malzemelerin miktarları verilmiştir. Türkiye'de 2011 yılında piyasaya sürülen 6.6 milyon ton ambalajın 2.5 milyon tonu geri kazanılmıştır [99]. 2012 yılında %40 olan geri kazanım oranının 2020 yılında kadar % 60 lara ulaşması beklenmektedir. Tablo 4.2' de malzemeye göre yıllık geri kazanım hedefleri verilmektedir [66].

Tablo 4.1. Türkiye’ de piyasaya sürülen geri dönüştürülebilir malzeme miktarları.

Atık oluşturabilen malzeme	Miktar (ton/yıl)
Kağıt-karton	1.800.000
Cam	330.000
Metal	150.000
Plastik (EPS,PP,PE,PET;PS,PVC)	550.000
Toplam	2.830.000

Tablo 4.2 Malzemeye göre yıllık geri kazanım hedefleri

Yıllar	Cam	Plastik	Metal	Kağıt/karton	Ahşap
2013	42	42	42	42	5
2014	44	44	44	44	5
2015	48	48	48	48	5
2016	52	52	52	52	7
2017	54	54	54	54	9
2018	56	56	56	56	11
2019	58	58	58	58	13
2020	60	60	60	60	15



Şekil 4.3. Genleştirilmiş polistiren atıkları (EPS).

4.3. EPS Ürünlerin Geri Dönüşüm Şekilleri

EPS atıkların geri dönüşümü, yani yeniden kazanımı üç şekilde gerçekleşir. Mekanik, kimyasal geri dönüşüm ve termal ayrıştırma yöntemleridir [4].

Mekanik yöntem: EUMEPS (European Manufacturers of EPS), uluslararası EPS üreticileri birliğine göre, kullanılmış EPS köpüklerin mekanik olarak geri dönüşümü ve bu dönüşümden elde edilebilir yeni ürünler dört kategoride toplanmıştır.

1-Köpük olarak yeniden kullanım: Son kullanıcıdan artan EPS köpükler, bozulmamış polimerlerin bir kısmı veya tamamı yerine kullanılarak yeniden işlenip paketlenme gevşek dolgu maddesi yapılabileceği gibi, yeni EPS kalıpları içinde kullanılabilir.

2-Köpük harici uygulama olarak yeniden kullanım: Atık EPS ler ufalama, eritme gibi işlemlerden geçirildikten sonra, saydam veya çeşitli renklerde pigment katılarak örneğin, kırtasiye ürünleri, video ve CD kutuları, elbise askıları, çiçek saksıları gibi ürünler elde edilebilir.

3-Extrude (plastik kıvamda iken basınçla şekillendirme) uygulama olarak yeniden kullanım: Örnek olarak mobilya aksesuarı, pencere ve resim çerçevesi veya piknik masa sandalyesi üretiminde kullanılabilir.

4-Hafif beton ve inşaat malzemesi olarak kullanımı: Hafif beton ve yalıtım betonu üretmek için ana malzeme olarak EPS, çimento ile karıştırılarak yüzme havuzları, teras çatı ve döşeme betonları gibi inşaat uygulamalarında kullanılabilir.

Kimyasal Yöntem: Atık yönetiminin en etkin yollarından biri kullanılmış polimer plastikleri kimyasal modifikasyonla yararlı ürünlere dönüştürmektir.

1. Atık EPS'nin suda çözünen türevlerine dönüştürülerek polimerik flokülan olarak kullanımı

2. Atık EPS'nin sülfone türevlerinin iyon değiştirici reçine olarak kullanımı

3. Atık EPS'nin beton katkı maddesi olarak kullanımı

Termal Ayrıştırma: Termal ayrıştırma yoluyla geri kazanım, atık EPS köpükler, geri kazanmanın en etkili yoludur. Bunun için 400°C üzerinde sıcaklık gerekir. Elde edilen dönüşmüş PS, yakıt olarak kullanılır.

5. REÇİNELER

Bu çalışmada doğal agrega yerine atık EPS kullanılarak üretilecek beton, sıva ve dekorasyon malzemelerinde ısı iletim katsayılarını daha da küçülterek malzemeye yalıtım özelliği kazandırmak amacıyla bağlayıcılara doğal reçineler katılması planlanmıştır. Kullanılan reçineler sırasıyla kitre ve kayısı ağacı reçinesidir.

5.1. Kitre

Kitre, dikenli ve yapraklı Geven bitkisinin gövdesinde açılan yaralardan sızan bir zamktır (Şekil 5.1). 0.5-3 mm kalınlığında, 1-3 cm çapında yuvarlak plakalar veya değişik biçimlerde parçalar halindedir. Bitkinin çiçekleri sarı, beyaz veya pembe renkli olup, 850-3000 m yüksekliklerde yetişir (Şekil 5.2), [73,74]. Kitrenin elde edildiği önemli Geven türleri; Türk kitresi (*astragalus gummifer*), İran kitresi (*astragalus brachycentrus*), Irak kitresi (*astragalus arabicus*), Türkistan kitresi (*astragalus brachycentrus*), Anadolu kitresi (*astragalus microcephalus*), Azeri kitresi (*astragalus elymaiticus*) ve Moğul kitresi (*astragalus mongholicus*) en önemlileridir [75].

5.1.1. Türk kitresi

Türk kitresi, en çok bilinen bir tür olmasına rağmen Anadolu kitresi olarak bilinen *astragalus microcephalus* en kaliteli olanıdır. Türkistan kitresi çok farklı şekilde kullanılmasına rağmen bu türün zamkı elde edilmez [76].

Türk kitresi, yaprakları, koyu yeşil renkli olup, 3-10 mm uzunluğunda ve 2-5 mm genişliğindedir. Çiçekleri başak şeklinde yaprak diplerinden çıkan uzun bir sap üzerine 30-50 çiçekten meydana gelir. Kupa yaprakları çan şeklinde, yeşilimsi sarı 5-8 mm ve taç yaprakları 8-12 mm büyüklüğünde sarı renkli bazen üzerinde kırmızısı veya morumsu damarlara rastlanır [75].

Anadolu kitresi, Türk kitresinden farklı olup 50-150 cm boyunda, yaprakları 11-17 adet uzun oval şekilde, 5-10 mm uzunluğunda 2-4 mm enindeki yapraklardan meydana

gelir. Türkiye'nin orta, doğu ve güneydoğu bölgelerinde yabani olarak yetişir. Tohumları çimenlik, yol kenarları, bahçe ve tarlalara ekilirse kendiliğinden oralarda bakıma gerek kalmadan yetişir [76].



Şekil 5.1. Geven bitkisi

5.1.2. Türkiye’de yetişen Geven türleri

1- Keçi Geveni (*Astragalus Angustifolius*): Ege ve İçanadolu bölgelerinde yetişir. Nisan-Ağustos aylarında beyaz çiçekler açar. 800–2900 m yükseklikteki bozkırlarda, kayalık taşlı kurak yamaçlarda yetişen bir bitkidir.

2- Şişik Geven (*Astragalus Anthylloides*): Akdeniz, Orta Anadolu ve Batı Karadeniz bölgelerinde yetişir. Mayıs-Ağustos aylarında pembe çiçekler açar. 17-25 cm boylarında, 750-1900 m yükseklikteki bozkırlarda, kayalık yamaçlarda rastlanır.

3- Kısa Kanatlı Geven (*Asrtagalus Brachypterus*): Orta ve Doğu Karadeniz, Marmara, Akdeniz, Orta ve Doğu Anadolu bölgelerinde yetişir. Haziran-Ağustos aylarında pembe-mor çiçekler açar. 7-15 cm boylarında, 300-2400 m yükseklikteki ormanlarda, çalılık ve kayalık yamaçlarda yetişen bir bitkidir.

4- Kıvrık Geven (*Astragalus Campylosema*): Orta ve Doğu Karadeniz, Marmara, Akdeniz, Orta ve Doğu Anadolu bölgelerinde yetişir. Mayıs-Haziran aylarında mor çiçekler açar. 300-2400 m yükseklikteki ormanlarda, çalılık ve makilerde, kayalık taşlı kurak yamaçlarda rastlanır.

5- Meyan Yapraklı Geven (*Astragalus Glycyphyllos*): Karadeniz ve Marmara bölgelerinde yetişir. Haziran-Ağustos aylarında sarı çiçekler açar. 2 m boyunda olup, 280-1400 m yükseklikteki ormanlarda, bataklık ve sulak, kayalık taşlı kurak yamaçlarda rastlanır.

6- Sert Tüylü Geven (*Astragalus Girsutus*): . Karadeniz, Marmara, Akdeniz, Orta ve Doğu Anadolu bölgelerinde yetişir. Haziran-Temmuz aylarında sarı çiçekler açar. 800-3200 m yükseklikteki çayırlar ve yol kenarlarında kayalık yamaçlarda rastlanır.

7- Şeffaf Pullu Geven (*Astragalus Hyalolepsi*): Doğu Karadeniz ve Doğu Anadolu bölgelerinde yetişir. Haziran-Ağustos aylarında eflatun renkli çiçekler açar. 1600-2400 m yükseklikteki dağlarda, kayalık taşlı kurak yamaçlarda bulunur.

8- Kayseri Karamas Geveni (*Astragalus Karamasicus*): Batı Karadeniz, Orta Anadolu, Doğu Akdeniz bölgelerinde yetişir. Haziran-Temmuz aylarında eflatun veya mor çiçekler açar. 10-20 cm boylarında olup, 450-2060 m yükseklikteki bozkırlarda, bataklık ve sulak alanlarda bulunur.

9- Tavşan Kuyruğumsu Geven (*Astragalus Lagurus*): Doğu Karadeniz ve Doğu Anadolu bölgelerinde yetişir. Haziran-Ağustos aylarında sarı çiçekler açar. 1200-2890 m yükseklikteki dağlarda, çalılıklar ve makilerde rastlanır.

10- Küçük Kanatlı Geven (*Astragalus Micropterus*) : Batı Karadeniz, Orta Anadolu, Akdeniz bölgelerinde yetişir. Haziran-Temmuz aylarında pembe çiçekler açar. 15-25 cm boylarında, 850-1860 m yükseklikteki kayalık yamaçlarda rastlanır.

11- Korungamsı Geven (*Astragalus Onobrychis*): Marmara (Trakya hariç) Karadeniz, Doğu Anadolu, Akdeniz bölgelerinde ve Hatay yöresinde yetişir. Mayıs-Temmuz aylarında pembe çiçekler açar. 25-40 cm boylarındadır. 975-2400 m yükseklikteki bozkırlarda ve kayalık yamaçlarda yetişir.

12- Çamsı Geven (*Astragalus Pinetorum*) : Karadeniz, Orta ve Doğu Anadolu, Akdeniz bölgelerinde yetişir. Haziran-Ağustos aylarında sarı çiçekler açar. 1100-3300 m yükseklikteki dağlar, ormanlar, kayalık taşlı kurak yamaçlarda yetişen bir bitkidir.

13- Laz Geveni (*Astragalus Ponticus*): Karadeniz, Orta ve Doğu Anadolu, Batı Akdeniz bölgelerinde yetişir. Mayıs-Ağustos aylarında sarı çiçekler açar. 0.75-1.5 m boylarında olup, 900-2800 m yükseklikteki bataklık ve sulak alanlarda rastlanır.

14- Kuş Tüylü Geven (*Astragalus Ptilodes*): Marmara, Ege, Akdeniz bölgelerinde, orman ve bozkırlarda, Haziran-Temmuz aylarında beyaz renkli çiçekler açan bir bitkidir. 0-500 m yükseklikteki yerlerde yetişir.

15- Marmara Geveni (*Astragalus Sibthorpianus*): Marmara bölgesinde yetişir. Haziran-Ağustos aylarında kırmızı renkli çiçekler açar. 10 cm boylarında, 950-2350 m yükseklikteki ormanlık ve kayalık yamaçlarda rastlanır.

16- Sert Yapraklı Geven (*Astragalus Strictifolius*): Doğu Anadolu Bölgesinin doğu ve güneydoğu kısımlarında, Haziran-Ağustos aylarında pembe renkli çiçekler açan bir bitkidir. 850-1900 m yükseklikteki ormanlarda yetişir.

17- Tabanı Odunumsu Geven (*Astragalus Xylobasis*): Orta ve Doğu Karadeniz, Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesinde, Mayıs-Temmuz aylarında pembe çiçekler açan, 20-35 cm boylarında bir bitkidir. 450-2230 m yükseklikte orman, kayalık taşlı kurak yamaçlarda yetişir.

5.1.3. Kitrenin elde edilmesi

İlk bahar mevsimi sonlarına doğru, bitkinin kökleri açılır. Temmuz ayı ortalarında kökle gövde arasında bir kaç yerden bıçakla çizilerek eğri bir yara oluşturulur. Bu çiziklerden çıkan bitkinin özü sertleşerek zamk haline gelir. 10 gün sonra kitrenin toplama işlemi başlar. İlk elde edilen kitre, şeffaf renkte ve birinci kalitedir. Toplama, el ile yapılır ve yaklaşık günde 1-2 kilo kadar kitre toplanabilir. Elde edilen kitrenin özellikleri bitkiye, bölgeye ve elde ediliş yöntemine bağlı olarak büyük değişiklik gösterebilir (Şekil 5.2), [69,70].



Şekil 5.2. Kuru halde kitre görünümü

5.1.4. Kitrenin bileşimi

Bir polisakkarit karışımıdır. Suda çözünen kısmı trigakantin, suda çözünmeyip şişen kısmı ise bassorin ismini alır. Asit hidroliz sonunda monosakkaritler ve uron asitlerine ayrılır. Monosakkaritler, kitrenin elde edildiği bitki türüne göre değişiklik gösterir [76].

5.1.5. Kitrenin kullanım alanları

Eczacılık tekniğinde emülsyon, süspansiyon, pastil ve tablet gibi preparatların yapılmasında, ebru sanatında, boya ve kumaş endüstrisinde kullanılmaktadır. Türkiye'nin ihraç maddesidir [76].

5.2. Kayısı Ağacı Reçinesi

Kayısı ağacı, dünyanın her yerine dağılmış olsa da daha çok Akdeniz'e yakın olan ülkelerde Avrupa, Orta Asya, Amerika ve Afrika kıtalarına yayılmış ve burada yetişme alanları bulmuştur. Dünya yaş kayısı üretiminde Türkiye ilk sıradadır. Dünya yaş kayısı üretiminin yaklaşık % 10-15'i Türkiye'de yapılmaktadır. Bu bölgeler içerisinde Malatya dışındaki bölgelerin üretimleri sofralık tüketime yöneliktir. Malatya kayısı, Türk ekonomisinin önemli ihracat kalemlerinden biridir. Malatya dışında Erzincan ve Elazığ'da

da ihracata yönelik kayısı üretimi yapılmaktadır. Kars, Iğdır, Mersin, Hatay gibi bölgelerde yetişen az miktarda kayısı ise, miktar yetersizliği ve kalite açısından ihraç edilme şansı bulamamaktadır. Halen dünyada en yaygın olarak Anadolu'da (özellikle Malatya ve çevresinde) bulunur. Yağmurlama sistemiyle 10-12 gün aralıklarla sulanan kayısının % 85 gibi büyük kısmı kuru kayısı olarak dünya piyasasına verilir.

Tablo 5.1. 2011 yılı itibari ile Dünya üzerindeki kayısı üretimi

Sıra	Ülke	Üretim (Ton)
1	Türkiye	676.138
2	İran	452.988
3	Özbekistan	356.000
4	Cezayir	285.897
5	İtalya	263.132
6	Pakistan	189.420
7	Fas	159.124
8	Fransa	155.124
9	Ukrayna	119.900
10	Japonya	106.900

Kayısı ağacı reçinesi, ağacın hastalığı sonucu gövdesinde sızarak ortaya çıkar ve bir tür bal yapısında olup zamanla sertleşerek gövde üzerine yapışık olarak kalır (Şekil 5.3) [100].



Şekil 5.3. Kayısı ağacı reçinesi

6. KURAMSAL VE DENEYSEL ÇALIŞMA

6.1. Isıl İletkenliğin Kuramsal İncelenmesi

Gözenekli malzemeler, yapı bakımından, içerdikleri saf malzemelerin özelliklerine ve hacimsel oranlarına bağlı olup, karmaşık şekil ve boyuttaki katı partiküller ve boşluklardan oluşur. Gözeneksiz yapı malzemelerine uygulanabilen temel hidrodinamik ve termodinamik denklemleri, gözenekli yapı malzemelerine uygulayarak analitik olarak incelemek zordur. Ancak bazı kabuller yapılarak malzemenin her hangi bir elamanter hücre yapısı incelenip, yapının tümü hakkında fikir edinilebilir [77].

6.1.1. Yapılan kabuller

1- Gözenekli malzemeden geçen ısı, iletim, taşınım ve ışınila gerçekleşir. Bu çalışmada EPS bünyesindeki gözenek çaplarının 1 cm den küçük olması nedeniyle $Ra = Gr.Pr < 10^3$ olacağından, doğal taşınım oluşmayacağı ve ısınlın iletim yoluyla geçtiğı kabul edilmiştir [78].

2- Stefan-Boltzman kanununa göre ışınila ısı transferi, $Q_r = \epsilon \cdot \sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4)$ denklemi ile verilir. EPS içindeki gözeneklerin cidar sıcaklıkları birbirine çok yakın olacağından ($T_1 \approx T_2$) ışınila ısı transferi ihmal edilmiştir.

3- Isı geçişi sürekli rejimde ve tek boyutlu olduğı ve ısı akışı yönündeki kesiti sabit alabilmek için, EPS parçaları küp şeklinde kabul edilmiştir.

4- Malzeme yapısında rutubet olmadığı

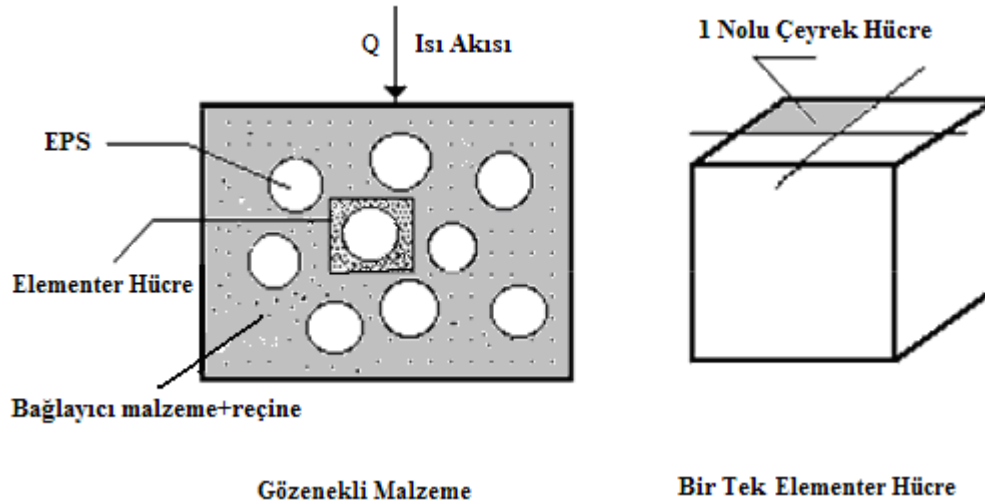
5- Bünyesinin % 98 i hava olan EPS taneciğı, gözenek olarak kabul edilmiştir.

6.1.2. Isıl iletkenlik hesabı için kuramsal bir model

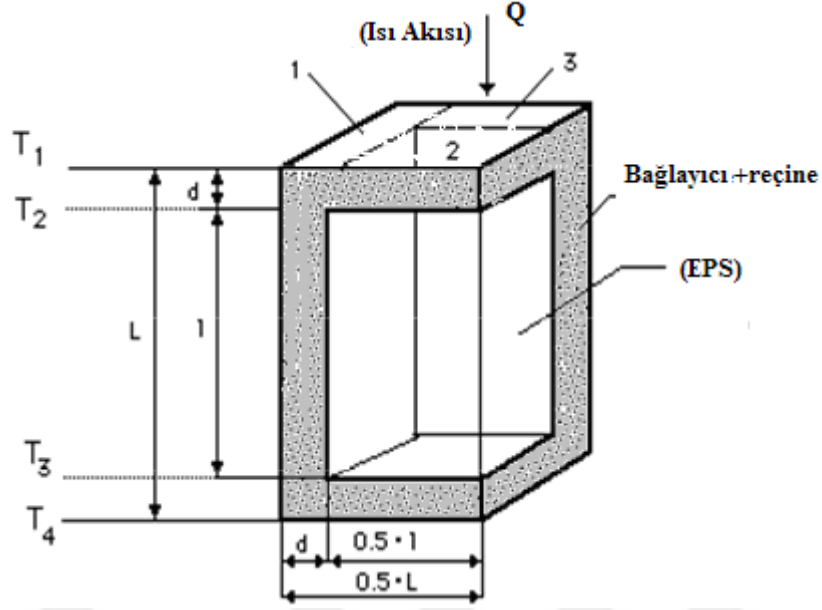
Değişik ısı iletim katsayısı değerlerine sahip malzemelerden oluşan homojen olmayan bir yapının ortalama ısı iletkenliğine efektif ısı iletkenlik denir. Bu malzemelerin efektif ısı iletkenliği, gözeneklilik oranı (porozite), katı malzemenin ısı iletkenliği, gözenekli malzemenin ısı iletkenliği, yoğunluk gibi birçok parametrenin bir fonksiyonudur [78].

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

Gözenekli malzemelerde, gözenek şekilleri genel olarak bilinen geometrik şekillere uymaz. Gözenek şekilleri ne kadar kompleks ise malzemenin porozitesi o kadar büyük olur. Gözenekler yapıda genellikle rasgele ve irili ufaklı dağılmış vaziyettedir. Gözenekli yapı için Şekil 6.1 deki gibi fiziksel bir model ve modeldeki bir tek elementer hücre ele alınabilir.



Şekil 6.1. Gözenekli malzemenin fiziksel modeli



Şekil 6.2. (1) Numaralı çeyrek elementer hücre yapısı

Elementer hücre, kenarları yani matrisi sıfır poroziteli ve içindede, içi durgun hava dolu gözenekli EPS küp olarak kabul edilmiştir. Bir tek elementer hücreyi dört eşit parçaya bölerek elde edilen çeyrek hücrelerden (1) nolu parçanın gözenekli yapısı Şekil 6.2 deki gibi gösterilebilir. Isı akış yönü elementer hücrenin dikey hatlarına paralel kabul edilirse, Fourier kanununa göre tek boyutlu ısı iletim ifadesi:

$$Q = -k.A \frac{dT}{dx} \quad (6.1)$$

şeklinde verilmektedir. Bu ifadenin entegrali alınırsa,

$$Q = \frac{T_{sıcak} - T_{soğuk}}{\frac{1}{k.A} L} \quad (6.2)$$

yazılabilir. Burada, $L/k.A$ ifadesi ısııl direnç olup R ile gösterilirse,

$$Q.R = T_{sıcak} - T_{soğuk} \quad (6.3)$$

denklemini elde edilir. Şekil 6.2 de görülen elementer hücreye ait dikey kesit incelendiğinde, EPS malzemesinin etrafı 1 ve 3 numaralı eleman, EPS ile üst ve alt matris tabakaları 2

numaralı eleman olarak düşünülürse, (6.3) denklemi 1 ve 2 numaralı hücre elemanlarına tatbik edilerek, 1 numaralı hücre elemanı için:

$$T_1 - T_4 = Q_1 \cdot R_{1s} = Q_1 \cdot R_{1eş} \quad (6.4)$$

2 numaralı hücre elemanı için (6.3) denklemi yazılıp taraf tarafa toplanırsa;

$$\begin{aligned} T_1 - T_2 &= Q_2 \cdot R_{2s} \\ T_2 - T_3 &= Q_2 \cdot R_{2g} \\ T_3 - T_4 &= Q_2 \cdot R_{2s} \\ + \underline{\hspace{2cm}} \\ T_1 - T_4 &= Q_2 \cdot (R_{2s} + R_{2g} + R_{2s}) = Q_2 \cdot R_{2eş} \end{aligned} \quad (6.5)$$

3 numaralı parça için;

$$T_1 - T_4 = Q_3 \cdot (R_{3s}) = Q_3 \cdot R_{3eş} \quad (6.6)$$

yazılır. Diğer taraftan elemanter çeyrek hücrenin tümü için,

$$Q = k_{eş} \cdot A \frac{(T_1 - T_4)}{L} = \frac{(T_1 - T_4)}{\frac{L}{k_{eş} \cdot A}} = \frac{(T_1 - T_4)}{R_{eş}} \quad (6.7)$$

ifadesi yazılır. Şekil 6.1 de görülen hücreden geçen ısı miktarı, bileşenlerinin paralel bağlı olmaları nedeniyle,

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (6.8)$$

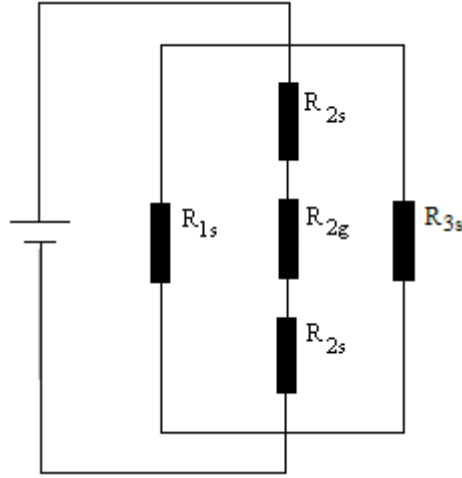
yazılabilir. (6.4), (6.5) ve (6.6) denklemlerinden Q_1 , Q_2 ve Q_3 çekilip (6.8) denkleminde yerlerine konursa,

$$\frac{T_1 - T_4}{R_{eş}} = \frac{T_1 - T_4}{R_{1eş}} + \frac{T_1 - T_4}{R_{2eş}} + \frac{T_1 - T_4}{R_{3eş}} \quad (6.9)$$

ifadesi elde edilir. Bu ifadenin iki tarafındaki $(T_1 - T_4)$ değerleri elimine edilirse,

$$\frac{1}{R_{eş}} = \frac{1}{R_{1eş}} + \frac{1}{R_{2eş}} + \frac{1}{R_{3eş}} \quad (6.10)$$

ifadesi bulunur. Bu eşitlik Şekil 6.3 de gösterilen ve Şekil 6.2 e ait çeyrek hücre yapısının, elektriksel benzeşim devre şemasındaki dirençlerin paralel bağlı ifadesidir.



Şekil 6.3. Çeyrek hücre bileşenleri ısıl dirençlerinin paralel ve seri benzeşim devresi

Bu elemanter çeyrek hücre için ısıl dirençler aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$R_{1s} = \frac{L}{k_s \cdot d \cdot 0,5 \cdot L} = \frac{2}{k_s \cdot d} \quad R_{2s} = \frac{d}{k_s \cdot 0,5 \cdot I \cdot 0,5 \cdot I} = \frac{4 \cdot d}{k_s \cdot I^2}$$

$$R_{2g} = \frac{l}{k_g \cdot 0,5 \cdot I \cdot 0,5 \cdot I} = \frac{4}{k_g \cdot I} \quad R_{3s} = \frac{L}{k_s \cdot 0,5 \cdot I \cdot d} = \frac{2 \cdot L}{k_s \cdot I \cdot d}$$

Bu dirençler sırasıyla, (1) nolu bileşenin katı fazı, (2) nolu bileşenin katı fazı, (2) nolu bileşenin gözenek ve (3) nolu bileşenin katı fazına ait direnç ifadeleridir. Elektriksel benzeşim devresinin seri bağlı dirençleri toplanarak dirençleri aşağıdaki şekilde yazılır.

$$R_{1eş} = R_{1s}$$

$$R_{2eş} = R_{2s} + R_{2g} + R_{2s}$$

$$R_{3eş} = R_{3g}$$

Bu eş değer dirençler (6.10) eşitliğinde yerine konarak,

$$\frac{1}{R_{eş}} = \frac{I}{\frac{2}{k_s \cdot d}} + \frac{I}{2 \cdot \frac{4 \cdot d}{k_s \cdot I^2} + \frac{4}{k_g \cdot I}} + \frac{I}{\frac{2 \cdot L}{k_s \cdot I \cdot d}} \quad (6.11)$$

elde edilir. $d=h/2$, $L-I=2.d$ ve $I=L-h$ dönüşümleri (6.11) eşitliğinde yerine konur ve işlemler yapılırsa,

$$\begin{aligned}\frac{1}{R_{eş}} &= \frac{k_s \cdot h}{4} + \frac{k_s \cdot k_g (L-h)^2}{4 \cdot h \cdot k_g + 4 \cdot k_s (L-h)} + \frac{k_s \cdot h}{4} \cdot \left(1 - \frac{h}{L}\right) \\ \frac{1}{R_{eş}} &= \frac{k_s \cdot L}{4} \left[\frac{h}{L} + \frac{k_g \cdot L \cdot \left(1 - \frac{h}{L}\right)^2}{h \cdot k_g + k_s \cdot (L-h)} + \frac{h}{L} \cdot \left(1 - \frac{h}{L}\right) \right] \\ \frac{1}{R_{eş}} &= \frac{k_s \cdot L}{4} \left[\frac{h}{L} \cdot \left(2 - \frac{h}{L}\right) + \frac{k_g \cdot \left(1 - \frac{h}{L}\right)^2}{\frac{h}{L} \cdot k_g + k_s \cdot \left(1 - \frac{h}{L}\right)} \right] \quad (6.12)\end{aligned}$$

şeklini alır. Diğer taraftan, çeyrek hücre için

$$R_{eş} = \frac{L}{k_{efeş} \cdot 0,5 \cdot L \cdot 0,5 \cdot L} = \frac{4}{k_{efeş} \cdot L} \quad (6.13)$$

yazılabilir. (6.13) eşitliği, (6.12) eşitliğinde yerine konursa,

$$k_{efeş} = \frac{k_{efeş} \cdot L}{4} = \frac{k_s \cdot L}{4} \left[\frac{h}{L} \cdot \left(2 - \frac{h}{L}\right) + \frac{\left(1 - \frac{h}{L}\right)^2}{\frac{h}{L} \cdot \left(1 - \frac{k_s}{k_g}\right) + \frac{k_s}{k_g}} \right] \quad (6.14)$$

ve ara işlemler yapılırsa (6.15) eşitliği elde edilir.

$$k_{efeş} = k_s \cdot \left[\frac{h}{L} \cdot \left(2 - \frac{h}{L}\right) + \frac{\left(1 - \frac{h}{L}\right)^2}{\frac{h}{L} \cdot \left(1 - \frac{k_s}{k_g}\right) + \frac{k_s}{k_g}} \right] \quad (6.15)$$

Burada, $\frac{h}{L}$ boyutsuz sayı olup θ ile gösterilir, (6.15) eşitliğinde yerine konarak gözenekli katı malzemenin ısı iletkenlik değerini veren 6.16 denklemi elde edilir.

$$k_{efeş} = k_s \cdot \left[\theta \cdot (2 - \theta) + \frac{(1 - \theta)^2}{\theta + \frac{k_s}{k_g} \cdot (1 - \theta)} \right] \quad (6.16)$$

6.1.3. Modeldeki parametrelerin deneysel ve kuramsal yöntemlerle tespiti

(θ) Boyut Oranı Tayini:

Şekil 6.2 de gösterilen elemanter çeyrek hücreye ait toplam hacim ve katı kısım hacmi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\text{Toplam hacim : } V = (1/4).L^3$$

$$\text{Katı kısmın hacmi: } V_k = (1/2).L^2.d + (1/2).d.I.L + (1/2).I^2.d = (d/2).(L^2 + L.I + I^2) \quad (6.17)$$

$I = L - 2.d$ ifadesi (6.17) eşitliğinde yerine konursa,

$$V_k = 2.d^3 - 3.L.d^2 + (3/2).L^2.d \quad (6.18)$$

Çeyrek elemanter hücre için katı hacmin toplam hacme oranı yazılırsa;

$$\frac{V_k}{V} = 8.\left(\frac{d}{L}\right)^3 - 12.\left(\frac{d}{L}\right)^2 + 6.\left(\frac{d}{L}\right) \quad (6.19)$$

eşitliği elde edilir. Literatürde porozite, gözenek hacminin toplam hacme oranı olarak verilmektedir [77]. Poroziteyi ϕ , gözenek hacmini V_g ile gösterilirse,

$$V_g + V_k = V \quad (6.20)$$

yazılabilir. (6.20) eşitliğinin iki tarafı toplam hacme bölünürse;

$$V_g/V + V_k/V = 1$$

$$V_k/V = 1 - V_g/V = 1 - \phi \quad (6.21)$$

yazılır. (6.19) denkleminde (d/L) oranını X ile gösterip ve eşitlik (6.21) denklemine taşınırsa,

$$8.X^3 - 12.X^2 + 6.X - 1 + \phi = 0 \quad (6.22)$$

(6.22) eşitliği elde edilir. Bu denklemin çözümü için elemanter çeyrek hücrenin geometrik boyutlarının oransal bağıntıları aşağıdaki gibi yazılır.

$$d/L = d/(1+2.d) = (d/I)/[1+2.(d/I)] = (h/2.I) / (1+h/I) \text{ den}$$

$$h/I = X/(0.5-X) \text{ ve } h/I = (d/L) / (0.5-d/l) = (h/2.L) / (1-h/L) \text{ den}$$

$$h/L = (h/I) / (1+h/I)$$

Bu bağıntılar kullanılarak, (6.21) eşitliği porozitenin (ϕ), 0 ila 1 aralığında değişen değerleri için X' e göre (Ek 1. de verilen bilgisayar programı ile) çözülüp yukardaki dönüşümler yapılarak, Tablo 6.1 deki değerler elde edilmiştir.

Tablo 6.1. Poroziteye bağlı olarak θ boyutsuz sayısının değişimi

ϕ	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
$h/L = \theta$	1	0.5354	0.4151	0.3305	0.2631	0.2062	0.1565	0.112	0.0716	0.0345	0

Gözeneklilik Oranı (porozite) Tayini:

Gözenekli bir maddenin porozitesi, boşlukların toplam hacme oranıdır.

$$\text{Porozite} = \phi = \frac{\text{Gözenekli hacim}}{\text{Toplam hacim}}$$

olup, boyutsuz bir büyüklüktür. Gözeneklerin bulunmadığı katı hacim kısmında ise maddenin katı taneleri ya da matrisi bulunup

$$\frac{V_k}{V} = 1 - \frac{V_g}{V} = 1 - \phi$$

şeklinde yazılabilir. Numunenin kütlesi $M = \rho_k \cdot V_k = \rho_{göz} \cdot V_{göz}$ den

$$\frac{\rho_{göz}}{\rho_k} = \frac{V_k}{V}$$

elde edilir. $\frac{V_k}{V}$ oranı yerine $\frac{\rho_{göz}}{\rho_k}$ oranı yazılıp, ϕ çekilirse,

$$\phi = 1 - \frac{\rho_{göz}}{\rho_k} \quad (6.23)$$

denklemini elde edilir. Burada,

ρ_k = Gözeneklilik oranı sıfır olan numune yoğunluğu (numuneler değirmen vasıtasıyla kırılıp ezilip gözenekler yok edilerek gözenekliliği sıfır halindeki yoğunluğu)

V_k = Gözeneklilik oranı sıfır haldeki numune hacmi

$\rho_{göz}$ = Gözenekli numunenin yoğunluğu (numunenin mevcut hali ile yoğunluğu)

$V = V_{göz}$ = Gözenekli numunenin hacmini ifade eder.

Numunenin Kaba Yoğunluğu ($\rho_{göz}$) :

$$\rho_{göz} = \rho_{EPS} \cdot Z + \rho_{bağ} \cdot (1-Z) \quad (6.24)$$

Numunenin Katı Malzemesinin Yoğunluğu (ρ_k) :

$$\rho_k = \rho_{EPSmatrisi} \cdot Z + \rho_{bağ-matrisi} \cdot (1-Z) \quad (6.25)$$

(6.24) ve (6.25) denklemleri (6.23) denkleminde yerlerine konursa (6.26) denklemi elde edilir.

$$\phi = 1 - \frac{\rho_{EPS} \cdot Z + \rho_{bağ} \cdot (1-Z)}{\rho_{EPSmatrisi} \cdot Z + \rho_{bağ-matrisi} \cdot (1-Z)} \quad (6.26)$$

Denklem (6.26) daki parametreler sırasıyla; ρ_{EPS} ; EPS ler tane çaplarına göre parçalanmamış blok halindeki yoğunluk değeridir. $\rho_{EPSmatrisi}$ değeri EPS tanecikleri kahve değirmeninde öğütülerek toz haline getirildikten sonra ölçülen yoğunluk değeri olup sıfır poroziteli EPS olarak kabul edilmiştir. Aynı şekilde çimento veya alçı bağlayıcılar % 0.5, 1, 1.5 oranında öğütülmüş her bir kuru reçine ile karıştırılıp karışımın yoğunlukları ayrı ayrı deneysel olarak belirlenmiştir. Bağlayıcılara ait matris yoğunlukları ise reçinelerin Fırat Üniversitesi Malzeme ve Metallurji Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında bulunan değirmenlerde öğütülerek toz haline getirildikten sonra, 400 meshlik ($35.10^{-6}m$) elekte elenmiş çimento ve alçı ile belirlenen oranlarda ayrı ayrı karıştırılarak hazırlanmış karışımların, yoğunlukları bağlayıcı matris yoğunlukları olarak kabul edilmiştir. Tüm ölçülen yoğunluk değerleri Tablo 6.2 de topluca verilmiştir. Örneklerin gözeneklilik oranları Denklem (6.26) kullanılarak ayrı ayrı hesaplanmış ve Tablo 6.7 de topluca verilmiştir.

Tablo 6.2. EPS ve bağlayıcılara ait yoğunluk değerleri (g/cm³)

Bağlayıcı malzeme	EPS (0-3) mm	EPS (0-6) mm
	0.01267	0.00628
	Çimento+kitre	
	<u>Bağ. yoğunluğu</u>	<u>Bağ. matris yoğ.</u>
Çimento + %0.0 kitre	3.00	3.315
Çimento + %0.5 kitre	2.83	3.310
Çimento + %1 kitre	2.75	3.308
Çimento + %1.5 kitre	2.56	3.306
	Çimento+kayısı	
Çimento + %0.0 kayısı	3.00	3.315
Çimento + %0.5 kayısı	2.91	3.312
Çimento + %1 kayısı	2.83	3.310
Çimento + %1.5 kayısı	2.66	3.308
	Alçı+ kitre	
Alçı + %0.0 kitre	2.25	2.485
Alçı + %0.5 kitre	2.06	2.477
Alçı + %1 kitre	1.97	2.470
Alçı + %1.5 kitre	1.81	2.460
	Alçı+ kayısı	
Alçı + %0.0 kayısı	2.25	2.485
Alçı + %0.5 kayısı	2.15	2.480
Alçı + %1 kayısı	2.04	2.473
Alçı + %1.5 kayısı	1.95	2.468
EPS matrisi	1.350	
Çimento matrisi	3.315	
Alçı matrisi	2.485	

Bağlayıcı + EPS Karışımlarının Katı Fazı Isıl İletkenlik (k_s) Değerinin Tespiti:

Farklı fiziksel özelliklere sahip iki bileşen karışarak sürekli bir ortam oluşturacak şekilde yeni bir yapı meydana getiriyor ise, bu yeni malzemenin ısı iletkenliği tayini için, Maxvel-Eucken bağıntısı kullanılabilir [78,79]. Bu bağıntıyı EPS ile bağlayıcı karışımlarına uygulayarak meydana gelen yeni malzemenin ısı iletkenliği;

$$\frac{k_s}{k_{EPS}} = \frac{1 + 2 \cdot (1-Z) \cdot \frac{1 - \frac{k_{EPS}}{k_{bağ}}}{2 \cdot \frac{k_{EPS}}{k_{bağ}} + 1}}{1 - (1-Z) \cdot \frac{1 - \frac{k_{EPS}}{k_{bağ}}}{2 \cdot \frac{k_{EPS}}{k_{bağ}} + 1}} \quad (6.27)$$

şeklinde yazılabilir. (6.27) eşitliğinde bulunan $k_{bağ}$ bağlayıcılara ait ısı iletkenlik değerini, k_{EPS} ise sıfır poroziteye sahip EPS nin ısı iletkenlik değeri olup deneysel olarak, 0-3 mm tane çaplı numuneler için 0.1837 W/mK ve 0-6 mm tane çaplı numuneler için 0.1795 W/mK olarak belirlenmiştir. Numunelere ait k_s değerleri, (6.27) eşitliği kullanılarak bilgisayarla hesaplanmıştır.

Gözeneğin Isıl İletkenliği: EPS taneciği PS+hava karışımı olarak kabul edilirse, gözenek içinin ısı iletim katsayısı, EPS nin ısı iletim katsayısı olduğu kabul edilerek, literatür değeri olan 0.0403 W/mK olarak alınmıştır.

Tablo 6.3. EPS ve bağlayıcı matrislerine ait ısı iletkenlik değerleri (W/mK)

Malzeme	Çimento karışımı	Malzeme	Alçı karışımı
EPS (matris)	(Tane çapı:0-3 mm): 0.1837 - (Tane çapı:0-6 mm): 0.1795		
Çimento + kitre reçinesi	Çim+% 0.0 kitre : 0.751 Çim+% 0.5 kitre : 0.690 Çim+% 1 kitre : 0.609 Çim+% 1.5 kitre : 0.556	Alçı + kitre	Alçı+% 0.0 kitre : 0.439 Alçı+% 0.5 kitre : 0.386 Alçı +% 1 kitre : 0.34 Alçı +% 1.5 kitre : 0.32
Çimento + kayısı reçinesi	Çim+% 0.0 kayısı : 0.751 Çim+% 0.5 kayısı : 0.735 Çim+% 1 kayısı : 0.682 Çim+% 1.5 kayısı : 0.618	Alçı + kayısı	Alçı +% 0.0 kayısı : 0.439 Alçı +% 0.5 kayısı : 0.41 Alçı +% 1 kayısı : 0.37 Alçı +% 1.5 kayısı : 0.35

6.1.4. Bir numunenin ısı iletkenliği'ne ait sayısal çözüm

Sayısal çözüm için 1G1Ç2 numunesi örnek alınmıştır. Bu numune (0-3) mm tane çaplı ve hacimsel katılım oranı %60 EPS ile bağlayıcı oranı %40, çimento ve karışımın ağırlıklı olarak % 0.5 oranında kitre katkılı numunedir. Karışımın gözeneksiz ısı iletkenliği için (6.27) eşitliği ve Tablo 6.3 den yararlanarak;

$$k_s = \frac{1 - \frac{0.1837}{0.690}}{1 + 2 \cdot (1 - 0.60) - \frac{2 \cdot \frac{0.1837}{0.690} + 1}} = \frac{1 - \frac{0.1837}{0.690}}{1 - (1 - 0.60) - \frac{2 \cdot \frac{0.1837}{0.690} + 1}}$$

$k_s = 0.314255$ W/mK bulunur. Porozite değeri (6.26) eşitliğinden ve Tablo 6.2 yararlanarak hesaplanırsa

$$\phi = 1 - \frac{0.01267 \cdot 0.60 + 2.83 \cdot (1-0.60)}{1.35 \cdot 0.60 + 3.31 \cdot (1-0.60)}$$

$\phi = 0.4660$ değeri elde edilir. Bu değere tekabül eden θ değeri Tablo 6.1 den 0.225603 olarak tespit edilir. Bu veriler, (6.16) denkleminde yerine konursa

$$k_{efes} = 0.314255 \cdot \left[0.225603 \cdot (2 - 0.225603) + \frac{(1 - 0.225603)^2}{(0.225603 + (\frac{0.314255}{0.0403}) \cdot (1 - 0.225603))} \right]$$

$k_{efes} = 0.156$ W/mK olarak elde edilir. Benzer şekilde diğer numunelerin ısı iletkenlikleri geliştirilen cebirsel denklem ile bilgisayarla hesaplanarak Tablo 6.7, Tablo 6.8, Tablo 6.9 ve Tablo 6.10 da topluca verilmiştir.

6.2. Deneysel Çalışma

Deneyisel çalışma için numunelerin üretilmesinde Elazığ Yapı Yalıtım İnşaat Pazarlama ve Üretim Sanayi ve Tic. Ltd Şirketi'ne (*Red bord*) ait EPS üretim fabrikasının, üretim atıkları kullanılmıştır. Atık EPS ler aynı fabrikada bulunan “Ege Proses Kesme Makinesi” ile yine aynı fabrikada bulunan “Patos” parçalama makinesi'nde 0-3 mm ve el yardımı ile 0-6 mm çaplarında parçalatılarak iki ayrı grup halinde çalışmaya hazır halde temin edilmiştir. Atık EPS ler için bağlayıcı olarak serbest piyasadan temin edilen KPC 325 portland çimentosu ve saten alçı kullanılmıştır. Bağlayıcılara katılan reçinelerden kitre, Gaziantep, Bingöl ve Elazığ yöresinden, kayısı ağacı reçinesi ise, Elazığ ve Malatya illerinden serbest piyasadan temin edilmiştir. Su olarak Fırat Üniversitesi Kampus içi içme suyu kullanılmıştır. Oluşturulan karışım harçları önceden hazırlanmış kalıplara dökülerek üretilen numuneler kurumaya bırakılmıştır.

Bütün numuneler kendisini oluşturan malzemelerin tipine ve karışım oranlarına göre harf ve rakamlarla kodlanmıştır. Bu kodlama toplam 5 harf veya rakamdan ibarettir. Bu kodlamada sırasıyla,

Birinci rakam: EPS tane boyutunu gösterir. 1:Tane çapı ortalama 0-3 mm, 2:Tane çapı ortalama 0-6 mm.

İkinci harf: Reçine cinsidir. G:Kitre, K: Kayısı ağacı reçinesini belirtir.

Üçüncü rakam: Reçine katılım oranıdır. 0: %0.0, 1: %0.5, 2: %1 ve 3: %1.5 belirtir.

Dördüncü harf: Bağlayıcı cinsi olup Ç: Çimento, A: Alçıyı temsil etmektedir.

Beşinci rakam: Bağlayıcı katılım oranıdır. 1: %20, 2: %40, 3: %60, 4: %80 gösterir.

Hazırlanan numuneler, ısı iletim katsayısı, hacimsel özgül ısı kapasitesi, ısı yayılma, mekanik dayanımı, su emme, kuruma oranı, yoğunluk ve gözeneklilik oranı özelliklerini belirlemek için deneylere tabi tutulmuştur. Ayrıca bu numunelerin boya tutma, matkapla delinebilme gibi işlenebilirlik özellikleri araştırılmıştır.

6.2.1. Numune bileşenlerinin belirlenmesi

Deney numunelerinin üretilmesi için ilk olarak reçineler kullanıma hazır hale getirilmelidir (Şekil 6.4).

Reçinenin hazırlanması: Hazırlanmak istenen miktara göre kuru kitre hesaplanıp bir kaba konur ve harç işleminde kullanmak üzere kitre miktarına uygun su hazırlanır. Çalışmada 5 litre su içerisinde 80 gram kitrenin tamamen çözülebildiği saptanmıştır. Bu durumda karışımlara katılacak kitre çözelti miktarları aşağıdaki şekilde hesaplanır;

Ölçekli bir kap içerisine ayrı ayrı ölçek hacminin %20, 40, 60 ve 80 oranlarında 0-3 ila 0-6 mm çaplarında EPS ile bu ölçüleri %100 tamamlayacak olan bağlayıcı çimento veya alçı ağırlıkları tartılır ve bileşenlerin ağırlıkça katılım oranları belirlenerek Tablo 6.4 hazırlanır.

Tablo 6.4. Numune bileşenlerinin hacimsel katılım yüzdelerinin ağırlıkları (g)

Malzeme	Katılım oranı %20	Katılım oranı %40	Katılım oranı %60	Katılım oranı %80
EPS (0-3 mm)	5.2	10.4	15.6	20.4
EPS (0-6 mm)	2.26	4.52	6.76	9.04
Çimento	450	900	1350	1800
Alçı	350	700	1050	1400

Bağlayıcılara katılacak olan reçinelerin her biri 48 saat su içerisinde bekletildikten sonra el yardımıyla iyice ezilir. Daha sonra süzme işlemi en az üç defa yapılır. Süzme işlemi kitre veya kayısı ağacı reçinesi içindeki erimeyen parçacıkları kum veya bitkisel artıkları temizler ve reçinenin homojen bir hal alması sağlanır. Süzülen kitre sabunlu su görünümünde, kayısı ağacı reçinesi ise açık çikolata rengini almaktadır (Şekil 6.4). Çözeltilerin kıvamı birim su içerisinde eritilebilen reçine miktarına göre değişir. EPS tane çapı 0-3 mm ve 0-6 mm olan numunelerin karışım oranları Tablo 6.5 ve 6.6'da verilmiştir.



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 6.4. Reçinelerin kuru ve filitre edilmiş çözelti halinde görünümü
(a: Kitre, b: Kayısı ağacı, c: Kitre çözeltisi, d: Kayısı ağacı reçine çözeltisi)

Tablo 6.5. EPS tane çapı 0-3 mm olan numunelerin karışım oranları

EPS tane çapı 0-3 mm, Reçine cinsi: Kitre veya Kayısı ağacı								
Kod	EPS oranı (%)	Çimento-Alçı (%)	Reçine (%)	EPS (g)	Çimento (g)	Harman (g)	Reçine (g)	Reçine (litre)
Ağırlıklı reçine oranı % 0.5 bağlayıcı numuneler								
1G1Ç1-1K1Ç1	80	20	0.5	20.4	450	470.4	2.36	0.15
1G1Ç2-1K1Ç2	60	40	0.5	15.6	900	915.6	4.58	0.29
1G1Ç3-1K1Ç3	40	60	0.5	10.4	1350	1360.4	6.8	0.43
1G1Ç4-1K1Ç4	20	80	0.5	5.2	1800	1805.2	9.03	0.57
1G1A1-1K1A1	80	20	0.5	20.4	350	370.4	1.86	0.12
1G1A2-1K1A2	60	40	0.5	15.6	700	715.6	3.58	0.23
1G1A3-1K1A3	40	60	0.5	10.4	1050	1160.4	5.81	0.37
1G1A4-1K1A4	20	80	0.5	5.2	1400	1405.2	7.03	0.44
Ağırlıklı reçine oranı % 1 bağlayıcı numuneler								
1G2Ç1-1K2Ç1	80	20	1	20.4	450	470.4	4.71	0.3
1G2Ç2-1K2Ç2	60	40	1	15.6	900	915.6	9.16	0.58
1G2Ç3-1K2Ç3	40	60	1	10.4	1350	1360.4	13.60	0.85
1G2Ç4-1K2Ç4	20	80	1	5.2	1800	1805.2	18.05	1.13
1G2A1-1K2A1	80	20	1	20.4	350	370.4	3.71	0.24
1G2A2-1K2A2	60	40	1	15.6	700	715.6	7.16	0.45
1G2A3-1K2A3	40	60	1	10.4	1050	1160.4	11.61	0.73
1G2A4-1K2A4	20	80	1	5.2	1400	1405.2	14.06	0.88
Ağırlıklı reçine oranı % 1.5 bağlayıcı numuneler								
1G3Ç1-1K3Ç1	80	20	1.5	20.4	450	470.4	7.1	0.45
1G3Ç2-1K3Ç2	60	40	1.5	15.6	900	915.6	13.74	0.86
1G3Ç3-1K3Ç3	40	60	1.5	10.4	1350	1360.4	20.41	1.3
1G3Ç4-1K3Ç4	20	80	1.5	5.2	1800	1805.2	27.08	1.7
1G3A1-1K3A1	80	20	1.5	20.4	350	370.4	5.56	0.35
1G3A2-1K3A2	60	40	1.5	15.6	700	715.6	10.74	0.68
1G3A3-1K3A3	40	60	1.5	10.4	1050	1160.4	17.41	1.09
1G3A4-1K3A4	20	80	1.5	5.2	1400	1405.2	21.08	1.32

Tablo 6.6. EPS tane çapı 0-6 mm olan numunelerin karışım oranları

EPS tane çapı 0-6 mm, Reçine cinsi: Kitre veya Kayısı ağacı								
Kod	EPS oranı (%)	Çimento-Alçı (%)	Reçine (%)	EPS (g)	Çimento (g)	Harman (g)	Reçine (g)	Reçine (litre)
Ağırlıklı reçine oranı % 0.5 bağlayıcılı numuneler								
2G1Ç1-2K1Ç1	80	20	0.5	9.04	450	459.04	2.30	0.15
2G1Ç2-2K1Ç2	60	40	0.5	6.76	900	906.80	4.54	0.29
2G1Ç3-2K1Ç3	40	60	0.5	4.52	1350	1354.2	6.78	0.43
2G1Ç4-2K1Ç4	20	80	0.5	2.26	1800	1802.3	9.02	0.57
2G1A1-2K1A1	80	20	0.5	9.04	350	359.04	1.80	0.12
2G1A2-2K1A2	60	40	0.5	6.76	700	706.76	3.54	0.22
2G1A3-2K1A3	40	60	0.5	4.52	1050	1054.52	5.28	0.33
2G1A4-2K1A4	20	80	0.5	2.26	1400	1402.16	7.01	0.44
Ağırlıklı reçine oranı % 1 bağlayıcılı numuneler								
2G2Ç1-2K2Ç1	80	20	1	9.04	450	459.04	4.59	0.29
2G2Ç2-2K2Ç2	60	40	1	6.76	900	906.80	9.07	0.57
2G2Ç3-2K2Ç3	40	60	1	4.52	1350	1354.2	13.55	0.85
2G2Ç4-2K2Ç4	20	80	1	2.26	1800	1802.26	18.03	1.13
2G2A1-2K2A1	80	20	1	9.04	350	359.04	3.59	0.23
2G2A2-2K2A2	60	40	1	6.76	700	706.76	7.07	0.44
2G2A3-2K2A3	40	60	1	4.52	1050	1054.52	10.55	0.66
2G2A4-2K2A4	20	80	1	2.26	1400	1402.16	14.30	0.90
Ağırlıklı reçine oranı % 1.5 bağlayıcılı numuneler								
2G3Ç1-2K3Ç1	80	20	1.5	9.04	450	459.04	6.89	0.43
2G3Ç2-2K3Ç2	60	40	1.5	6.76	900	906.80	13.60	0.85
2G3Ç3-2K3Ç3	40	60	1.5	4.52	1350	1354	20.31	1.27
2G3Ç4-2K3Ç4	20	80	1.5	2.26	1800	1802.26	27.04	1.36
2G3A1-2K3A1	80	20	1.5	9.04	350	359.04	5.39	0.34
2G3A2-2K3A2	60	40	1.5	6.76	700	706.76	10.60	0.67
2G3A3-2K3A3	40	60	1.5	4.52	1050	1054.52	15.82	0.99
2G3A4-2K3A4	20	80	1.5	2.26	1400	1402.26	21.03	1.32

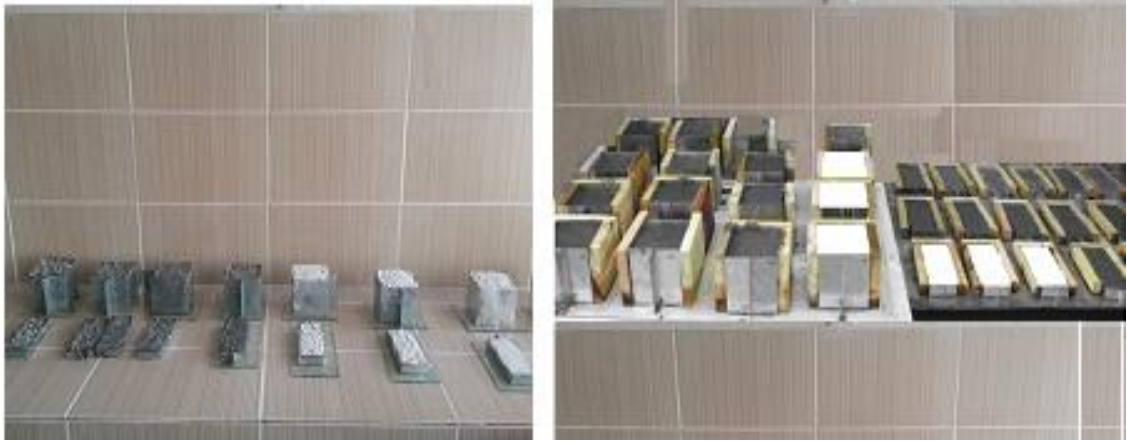
6.2.2. Deney numunelerinin hazırlanması

Isıl testler de kullanılacak numunelerin dökümü için kalıplar, ölçme aletinin prob ölçülerine uygun olarak 20x60x150 mm ve mekanik testlerde kullanılacak numunelerin dökümü için kalıplar 100x100x100 mm ebatlarında hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımlara hesaplanan ölçüde sulandırılmış reçineler katıldıktan sonra karışıma harç kıvamına gelinceye kadar su ilave edilmiştir. Harçlar yeteri kadar karıştırıldıktan sonra oda sıcaklığında (20°C) kalıplara dökülmüştür. Bu kalıplar titreşime tabi tutulduktan sonra üst yüzeyler sıvanarak kurumaya bırakılmıştır. Numuneler 48 saat kalıp içerisinde bekletildikten sonra kalıplardan çıkarılarak oda sıcaklığında 28 günlük standart kuruma dönemine bırakılmıştır. Kuruma dönemi sonunda numuneler ambalajlanarak ölçüm anına

kadar muhafaza edilmiştir. Şekil 6.5’de parçalanmış atık EPS ve Şekil 6.6’da reçine, çimento ve alçı karışımı hazırlanan deney numuneleri gösterilmiştir.



Şekil 6.5. Deneylerde kullanılan parçalanmış atık genleştirilmiş polistiren



Şekil 6.6. EPS ile hazırlanan deney numuneleri

6.2.3. Deneylerde uygulanan ölçme yöntemleri

6.2.3.1 Isıl iletkenlik, özgül ısı kapasitesi ve ısı yayılma

- 1- Yapı malzemelerinin ısıl iletkenlik katsayılarının kolay olarak ölçülebilmesi.
- 2- Numune bünyesinde bulunan nem derecesinde bir değişiklik meydana getirmeden ölçüm yapması,

3- Isıl iletim katsayısı ölçülen malzemelerin yapısının homojen olmaması,

4- Numune ebatlarının küçük ve ölçüm süresinin kısa olması nedeniyle,

geçici rejimde ölçme yapan ve sıcak tel (Hot Wire) yöntemi ile çalışan “Isomet 2104” marka cihaz ile ölçmeler yapılmıştır. DIN 51046 normuna göre sıcak tel metodunu kullanarak ölçüm yapan bu cihaz, ısı iletim katsayısı (k), özgül ısı kapasitesi (C_p) ve ısı yayılma (α) değerlerini aynı anda ölçüp, sonuçları digital olarak vermektedir. Dicle Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan bu cihazla, 22-25°C oda sıcaklığında ve her numune üzerinde 5 farklı noktadan ölçümler yapılmış ve bu ölçümlerden birbirine uyumlu olan 3 değer aritmetik ortalamaları alınmıştır. Sonuçlar Tablo 6.7-10’da verilmiştir. Şekil 6.7’de görülen ölçüm cihazı, ısı iletim katsayısını 0.02 - 6 W/mK aralığında %5 hassasiyetle, hacimsel özgül ısı kapasitesini $4.0 \times 10^4 - 4.0 \times 10^6 \text{ J/m}^3 \text{ K}$ aralığında %15 hassasiyetle ölçme yaptığı katalog bilgileri ile verilmiştir.



Şekil 6.7. Isomet 2104 ölçme aleti

6.2.3.2. Su emme ve kuruma oranı deneyi

Bu deneyler; su ile direkt temas sağlayan yapı malzemelerinin 0°C sıcaklıklarda, bünyesinde teşekkül edecek buz kristallerinin genleşme imkânı bulabileceği bir kuru hacmin varlığının araştırılması için yapılır. BS 812.Part 2. standardına göre yapılan bu testin amacı, malzemede donmaya karşı güvence sağlamaktır. Her numunenin kuru ağırlığı (W_k) ayrı ayrı tespit edilmiştir. Daha sonra numunelerin konduğu bir su kabında su

seviyesi kademeli olarak yükseltilmiş 24 saat sonra numunelerin tamamı su içinde kalacak şekilde kaba su ilave edilmiştir. Numuneler 48 saat su içinde bekletildikten sonra sudan çıkarılıp silinerek, su emdirilmiş ağırlıkları (W_d) bulunmuş ve (6.28) bağıntısı ile su emme oranı hesaplanmıştır.

$$SE = \frac{W_d - W_k}{W_k} \cdot 100 \quad (6.28)$$

Kuruma oranı deneyinde amaç, numunelerin teneffüs kabiliyeti mevcudiyetinin araştırılmasıdır. 48 saat su kabı içerisinde bekletilen numuneler sudan çıkarılıp ıslak bir bezle silindikten sonra 20°C oda sıcaklığında doğal kurumaya bırakılmıştır. 48 saatteki kuruma oranları (6.29) bağıntısı ile hesaplanmıştır. Kuruma malzeme yüzeyinden buharlaşma yolu ile olduğundan, burada malzeme derinliğinden yüzeye kılcal kanallar vasıtasıyla suyun hareketi söz konusudur. Yani buhar geçirgenlik direnci vasıtasıyla rutubet bünyeden atılarak kurumaktadır.

$$\text{Kuruma oranı} = \frac{W_d - W_k}{W_d} \cdot 100 \quad (6.29)$$

Su emme ve kuruma deneyi sonuçları Tablo 6.11-14'de verilmiştir.



Şekil 6.8. Numunelerin su emme ve kuruma deneyinde bekletilme süreçleri

6.2.3.3. Basma dayanımı ve çekme deneyi

Numunelere uygulanan basınç dayanımı deneyleri Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemesi Laboratuvarında yapılmıştır. Ele International marka cihaz, 3000 kN yükleme kapasiteli, dijital kumanda panelli, yükleme hızı ayarlanabilen ve tek eksenli kuvvet uygulayabilen özelliktedir. Şekil 6.9’ da deney cihazının test ve kontrol üniteleri görülmektedir.



Şekil 6.9. Basınç dayanımı ölçme cihazı

Deneye tabi tutulacak numunenin, kuvvete maruz kalan birbirine paralel yüzeylerinin pürüzsüz ve düz olması gerekmektedir. Cihazın alt çenesi sabit, üst çenesi basma kuvvetini gerçekleştiren hareketli yapıdadır. Cihaz çalıştırıldıktan sonra, üst çene yavaşça numuneye doğru hareket eder ve artan miktarda numuneye kuvvet uygulanır. Numunenin kırıldığı anda basma kuvveti durur ve ekranda en son kuvvet kN cinsinden ve basma gerilmesi de MPa olarak okunur. Ölçüm sonucunda, kırılan parça test bölümünden çıkarılır ve diğer ölçüme geçilir.

Basınç dayanımı sonuçları, TS500 standardına göre aşağıdaki (6.30) bağıntısıyla çekme dayanımına dönüştürülmüştür. Hesaplanan sonuçlar basma deneyi sonuçları ile Tablo 6.11-14’de verilmiştir.

$$f_{ctk} = 0.35\sqrt{f_{ck}} \quad (6.30)$$

burada;

f_{ck} : basınç dayanımı (MPa) ve f_{ctk} : çekme dayanımı (MPa)’dır.

6.2.3.4. Yoğunluk tayini

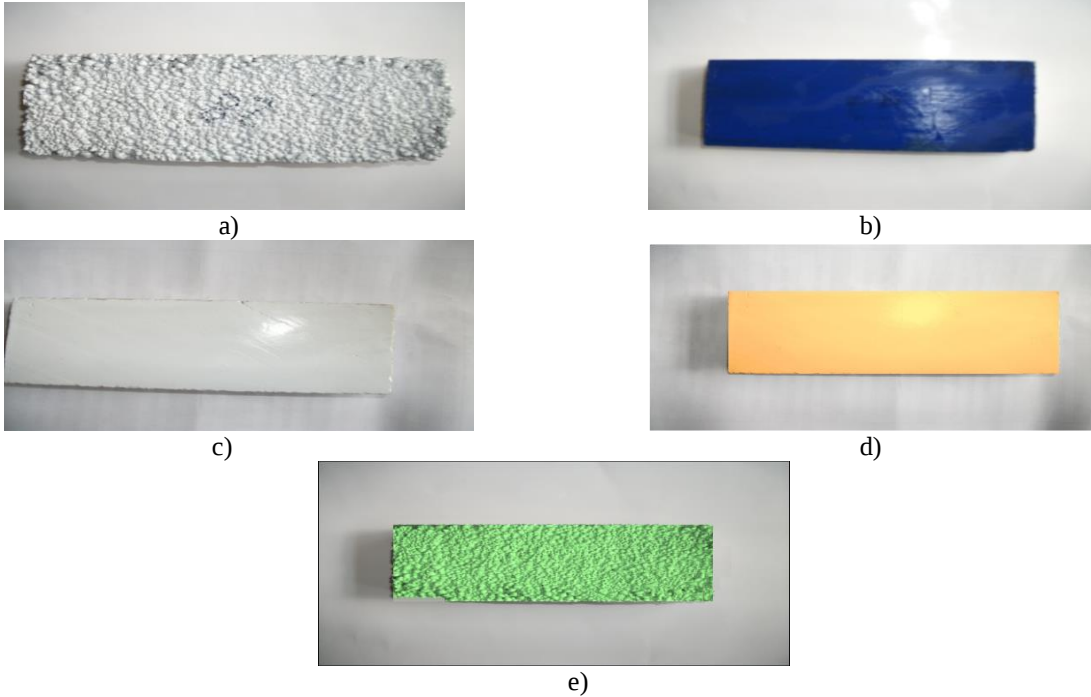
Numunelerin kuru ağırlıkları %1 hassasiyetle ölçme yapan terazide ölçülmüş ve numune ebatlarıyla hacimleri belirlenerek yoğunluklar belirlenmiştir. Belirlenen yoğunluklar Tablo 6.7-10’da verilmiştir.

6.2.3.5. Gözeneklilik oranı (porozite)

Gözenekli bir maddenin gözeneklilik oranı; boşlukların kaba hacme oranıdır. Böylece, Gözeneklilik oranı=(Gözeneklerin hacmi)/(Toplam katı hacim) olup boyutsuz bir büyüklüktür. Bu çalışmada gözeneklilik oranı yoğunluk yöntemi kullanılarak 6.23 bağıntısı ile hesaplanmıştır.

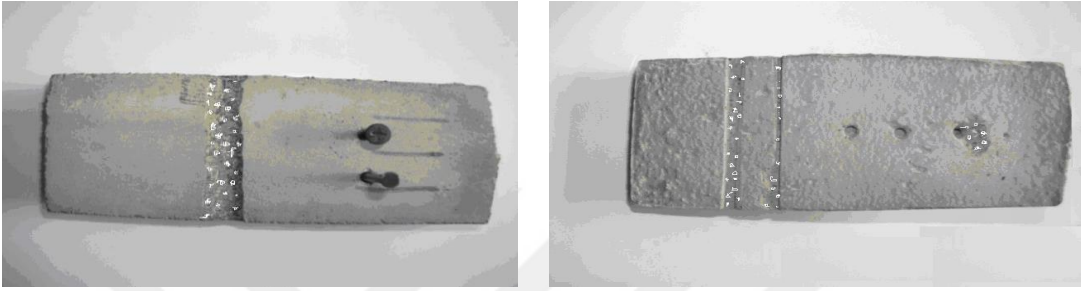
6.2.3.6. Numunelerin işlenebilirlik özelliği

Hazırlanan numuneler üzerinde boya tutma özelliği araştırılmıştır. Uygulama olarak plastik, sentetik, akrilik, su bazlı silikonlu ve su bazlı plastik boya uygulamaları yapılmıştır (Şekil 6.10).



Şekil 6.10. Boya uygulanmış numuneler a) plastik boya b) sentetik boya c) akrilik boya d) su bazlı silikonlu e) su bazlı plastik boya

Numuneler üzerinde yapılan bazı işlenebilirlik testlerinde, özellikle küçük tane çaplı ve %60 EPS oranına kadar olan numunelerin, matkapla delik açılması, çivi çakılması ve oluk açılması işlemleri için uygun olduğu görülmüştür. Büyük tane çaplı ve %80 EPS katılım oranlı numuneler, delme ve kesme işlemleri için uygun olmayıp, uygulama esnasında çatlama veya dağılabilmektedir. Şekil 6.11’ de numunelere uygulanan kanal açma, delik açma, çivi çakılması gibi mekanik işlemler görülmektedir.



Şekil 6.11. Numunelere çivi çakma, vida, kanal ve delik açma uygulaması

Tablo 6.7. EPS tane çapı 0-3 mm olan kitre reçineli numunelerin ısı özellikleri

EPS tane çapı 0-3 mm, Reçine cinsi: Kitre							
Kod	EPS oranı (%)	Yoğunluk ρ (g/cm ³)	Porozite ϕ (%)	Hac. özgül ısı kap. C_p (J/m ³ K)*10 ⁴	Isıl yayılma*10 ⁻⁶	DeneySEL k (W/mK)	Kuramsal k (W/mK)
Reçine katkısız numuneler							
1G0Ç1	80	0.648	64.97	60.5	0.100	0.071	0.096
1G0Ç2	60	0.979	43.41	83.4	0.161	0.135	0.168
1G0Ç3	40	1.318	28.54	101.2	0.247	0.250	0.267
1G0Ç4	20	1.567	17.66	120.0	0.325	0.390	0.408
1G0A1	80	0.527	70.80	48.0	0.114	0.055	0.089
1G0A2	60	0.741	49.63	65.2	0.176	0.115	0.141
1G0A3	40	0.948	33.18	79.8	0.238	0.190	0.202
1G0A4	20	1.088	20.02	93.8	0.357	0.260	0.276
Ağırlıklı reçine oranı % 0.5							
1G1Ç1	80	0.593	66.92	48.7	0.114	0.064	0.092
1G1Ç2	60	0.845	46.60	71.6	0.166	0.119	0.156
1G1Ç3	40	1.135	32.57	89.0	0.237	0.211	0.247
1G1Ç4	20	1.390	22.32	105.0	0.333	0.350	0.357
1G1A1	80	0.501	73.21	45.4	0.116	0.053	0.085
1G1A2	60	0.675	53.85	60.1	0.176	0.106	0.130
1G1A3	40	0.884	38.80	73.4	0.245	0.170	0.184
1G1A4	20	1.0275	26.77	86.7	0.362	0.230	0.237
Ağırlıklı reçine oranı % 1							
1G2Ç1	80	0.536	67.84	42.4	0.117	0.058	0.090
1G2Ç2	60	0.742	48.09	63.7	0.175	0.112	0.154
1G2Ç3	40	1.023	34.47	79.8	0.238	0.190	0.226
1G2Ç4	20	1.232	24.51	96.4	0.331	0.320	0.327
1G2A1	80	0.485	74.35	41.3	0.118	0.049	0.084
1G2A2	60	0.638	55.84	55.3	0.177	0.098	0.129
1G2A3	40	0.821	41.46	69.3	0.245	0.160	0.173
1G2A4	20	0.945	29.96	77.6	0.367	0.201	0.223
Ağırlıklı reçine oranı % 1.5							
1G3Ç1	80	0.482	70.02	36.4	0.131	0.054	0.088
1G3Ç2	60	0.641	51.65	55.5	0.171	0.105	0.152
1G3Ç3	40	0.891	38.99	70.8	0.242	0.172	0.203
1G3Ç4	20	1.083	29.72	86.2	0.329	0.279	0.285
1G3A1	80	0.451	76.38	35.4	0.132	0.047	0.083
1G3A2	60	0.603	59.40	50.6	0.173	0.088	0.126
1G3A3	40	0.768	46.19	63.6	0.229	0.146	0.158
1G3A4	20	0.903	35.64	77.2	0.323	0.190	0.202

Tablo 6.8. EPS tane çapı 0-6 mm olan kitre reçineli numunelerin ısı özellikleri

EPS tane çapı 0-6 mm, Reçine cinsi: Kitre							
Kod	EPS oranı (%)	Yoğunluk ρ (g/cm ³)	Porozite ϕ (%)	Hac. özgül ısı kap. C_p (J/m ³ K)*10 ⁴	Isıl yayılma*10 ⁻⁶	DeneySEL k (W/mK)	Kuramsal k (W/mK)
Reçine katkısız numuneler							
2G0Ç1	80	0.605	65.26	46.5	0.122	0.067	0.094
2G0Ç2	60	0.827	43.59	68.8	0.170	0.127	0.163
2G0Ç3	40	1.092	28.64	88.1	0.272	0.240	0.264
2G0Ç4	20	1.339	17.70	103.5	0.367	0.380	0.405
2G0A1	80	0.512	71.12	45.2	0.086	0.050	0.088
2G0A2	60	0.497	49.84	59.3	0.151	0.100	0.140
2G0A3	40	0.885	33.08	72.6	0.231	0.168	0.201
2G0A4	20	1.015	20.08	88.3	0.328	0.255	0.275
Ağırlıklı reçine oranı % 0.5							
2G1Ç1	80	0.548	67.22	43.2	0.097	0.060	0.090
2G1Ç2	60	0.729	46.77	63.2	0.136	0.110	0.160
2G1Ç3	40	0.985	32.67	80.0	0.213	0.190	0.244
2G1Ç4	20	1.211	22.36	94.4	0.350	0.321	0.355
2G1A1	80	0.483	73.53	41.6	0.086	0.046	0.084
2G1A2	60	0.627	54.06	55.7	0.145	0.081	0.129
2G1A3	40	0.814	38.92	68.6	0.214	0.147	0.183
2G1A4	20	0.939	26.82	84.0	0.327	0.228	0.236
Ağırlıklı reçine oranı % 1							
2G2Ç1	80	0.502	68.13	40.1	0.094	0.055	0.089
2G2Ç2	60	0.672	48.27	58.1	0.137	0.101	0.155
2G2Ç3	40	0.905	34.57	74.3	0.212	0.168	0.224
2G2Ç4	20	1.082	24.56	85.6	0.358	0.300	0.325
2G2A1	80	0.457	74.68	39.2	0.089	0.043	0.083
2G2A2	60	0.585	56.06	51.8	0.140	0.075	0.131
2G2A3	40	0.764	41.59	64.2	0.204	0.128	0.171
2G2A4	20	0.890	32.50	76.5	0.339	0.198	0.222
Ağırlıklı reçine oranı % 1.5							
2G3Ç1	80	0.473	70.32	35.0	0.091	0.050	0.088
2G3Ç2	60	0.598	51.83	54.9	0.127	0.090	0.151
2G3Ç3	40	0.806	39.09	69.1	0.215	0.159	0.211
2G3Ç4	20	0.979	29.77	79.6	0.339	0.270	0.303
2G3A1	80	0.429	76.71	34.0	0.088	0.041	0.082
2G3A2	60	0.548	59.61	47.4	0.137	0.066	0.128
2G3A3	40	0.696	46.32	58.6	0.196	0.110	0.157
2G3A4	20	0.816	35.70	68.5	0.350	0.188	0.200

Tablo 6.9. EPS tane çapı 0-3 mm kayısı ağacı reçineli olan numunelerin ısı özellikleri

EPS tane çapı 0-3 mm, Reçine cinsi: Kayısı							
Kod	EPS oranı (%)	Yoğunluk ρ (g/cm ³)	Porozite ϕ (%)	Hac. özgül ısı kap. C_p (J/m ³ K)*10 ⁴	Isıl yayılma*10 ⁻⁶	DeneySEL k (W/mK)	Kuramsal k (W/mK)
Ağırlıklı reçine oranı % 0.5							
1K1Ç1	80	0.603	66.00	50.1	0.119	0.066	0.093
1K1Ç2	60	0.862	45.09	69.7	0.182	0.127	0.159
1K1Ç3	40	1.226	30.67	87.6	0.248	0.218	0.254
1K1Ç4	20	1.458	20.13	103.8	0.339	0.352	0.393
1K1A1	80	0.507	72.07	43.5	0.124	0.054	0.086
1K1A2	60	0.700	51.85	61.7	0.183	0.113	0.134
1K1A3	40	0.928	36.14	75.4	0.228	0.172	0.189
1K1A4	20	1.052	23.57	86.9	0.364	0.235	0.245
Ağırlıklı reçine oranı % 1							
1K2Ç1	80	0.553	66.92	44.4	0.123	0.060	0.092
1K2Ç2	60	0.796	46.59	61.0	0.188	0.115	0.158
1K2Ç3	40	1.068	32.57	77.7	0.263	0.205	0.240
1K2Ç4	20	1.291	22.32	95.7	0.336	0.322	0.354
1K2A1	80	0.498	73.46	41.1	0.124	0.051	0.085
1K2A2	60	0.671	54.29	58.7	0.173	0.102	0.134
1K2A3	40	0.888	39.39	72.6	0.227	0.165	0.178
1K2A4	20	1.015	27.48	83.4	0.347	0.213	0.232
Ağırlıklı reçine oranı % 1.5							
1K3Ç1	80	0.529	68.87	38.6	0.129	0.058	0.090
1K3Ç2	60	0.726	49.78	54.4	0.211	0.115	0.156
1K3Ç3	40	0.969	36.61	69.0	0.270	0.186	0.215
1K3Ç4	20	1.158	26.98	88.4	0.328	0.290	0.308
1K3A1	80	0.491	74.61	36.8	0.130	0.048	0.084
1K3A2	60	0.610	56.29	55.6	0.170	0.095	0.132
1K3A3	40	0.820	42.05	67.8	0.221	0.150	0.163
1K3A4	20	0.981	30.67	78.9	0.348	0.194	0.210

Tablo 6.10. EPS tane çapı 0-6 mm olan kayısı ağacı reçineli numunelerin ısı özellikleri

EPS tane çapı 0-6 mm, Reçine cinsi: Kayısı							
Kod	EPS oranı (%)	Yoğunluk ρ (g/cm ³)	Porozite ϕ (%)	Hac. özgül ısı kap. C_p (J/m ³ K)*10 ⁴	Isıl yayılma*10 ⁻⁶	Deneysel k (W/mK)	Kuramsal k (W/mK)
Ağırlıklı reçine oranı % 0.5							
2K1Ç1	80	0.575	66.30	44.6	0.125	0.062	0.091
2K1Ç2	60	0.801	45.27	63.1	0.174	0.113	0.162
2K1Ç3	40	1.038	30.77	82.2	0.253	0.208	0.252
2K1Ç4	20	1.289	20.17	98.4	0.326	0.331	0.371
2K1A1	80	0.499	72.39	42.6	0.086	0.048	0.085
2K1A2	60	0.650	52.06	56.8	0.142	0.092	0.134
2K1A3	40	0.846	36.26	70.1	0.228	0.160	0.187
2K1A4	20	0.989	23.63	85.0	0.352	0.232	0.244
Ağırlıklı reçine oranı % 1							
2K2Ç1	80	0.522	67.20	41.1	0.121	0.058	0.090
2K2Ç2	60	0.749	46.77	59.3	0.170	0.108	0.160
2K2Ç3	40	0.865	32.67	76.5	0.250	0.192	0.237
2K2Ç4	20	1.182	22.36	89.6	0.334	0.307	0.352
2K2A1	80	0.483	73.79	40.7	0.088	0.046	0.084
2K2A2	60	0.601	54.50	53.2	0.129	0.081	0.132
2K2A3	40	0.809	39.52	65.3	0.196	0.131	0.176
2K2A4	20	0.933	27.53	78.1	0.326	0.208	0.231
Ağırlıklı reçine oranı % 1.5							
2K3Ç1	80	0.501	69.17	36.1	0.130	0.053	0.089
2K3Ç2	60	0.648	49.96	53.9	0.166	0.101	0.155
2K3Ç3	40	0.857	36.71	70.2	0.249	0.175	0.213
2K3Ç4	20	1.054	27.03	83.0	0.342	0.284	0.306
2K3A1	80	0.448	74.93	35.5	0.078	0.043	0.083
2K3A2	60	0.542	56.50	49.4	0.121	0.070	0.131
2K3A3	40	0.741	42.18	61.2	0.179	0.115	0.162
2K3A4	20	0.895	30.73	72.5	0.324	0.190	0.208

Tablo 6.11. EPS tane çapı 0-3 mm olan kitre reçineli numunelerin mekanik özellikleri

EPS tane çapı 0-3 mm, Reçine cinsi: Kitre					
Kod	EPS oranı (%)	Basınç dayanımı (MPa)	Çekme dayanımı (MPa)	Su emme oranı (%)	Kuruma oranı (%)
Reçine katkısız numuneler					
1G0Ç1	80	1.82	0.48	16.6	8.32
1G0Ç2	60	4.34	0.73	19.55	11.66
1G0Ç3	40	11.93	1.21	22.06	14.10
1G0Ç4	20	21.87	1.64	23.41	16.83
1G0A1	80	0.62	0.28	30.19	13.53
1G0A2	60	0.80	0.32	35.44	15.73
1G0A3	40	2.10	0.51	42.86	19.26
1G0A4	20	4.29	0.73	44.32	24.41
Ağırlıklı reçine oranı % 0.5					
1G1Ç1	80	1.12	0.37	19.26	9.42
1G1Ç2	60	2.58	0.57	22.05	13.06
1G1Ç3	40	7.95	0.99	24.89	15.98
1G1Ç4	20	16.6	1.43	25.03	19.12
1G1A1	80	0.51	0.25	31.79	14.90
1G1A2	60	0.64	0.28	39.06	18.88
1G1A3	40	1.78	0.47	44.14	22.11
1G1A4	20	3.68	0.67	45.61	25.36
Ağırlıklı reçine oranı % 1					
1G2Ç1	80	0.89	0.33	21.78	11.81
1G2Ç2	60	1.61	0.45	24.16	14.24
1G2Ç3	40	5.07	0.79	25.96	17.52
1G2Ç4	20	10.85	1.15	26.80	21.65
1G2A1	80	0.44	0.23	34.56	15.93
1G2A2	60	0.56	0.26	41.75	19.89
1G2A3	40	1.40	0.41	46.37	26.19
1G2A4	20	3.05	0.61	47.97	28.52
Ağırlıklı reçine oranı % 1.5					
1G3Ç1	80	0.46	0.24	23.64	12.73
1G3Ç2	60	0.73	0.30	26.49	15.40
1G3Ç3	40	2.78	0.58	28.58	18.99
1G3Ç4	20	5.87	0.85	29.41	23.24
1G3A1	80	0.35	0.21	36.74	19.09
1G3A2	60	0.46	0.24	45.89	23.01
1G3A3	40	1.11	0.37	49.41	27.12
1G3A4	20	2.20	0.52	50.00	29.14

Tablo 6.12. EPS tane çapı 0-6 mm olan kitre reçineli numunelerin mekanik özellikleri

EPS tane çapı 0-6 mm, Reçine cinsi: Kitre					
Kod	EPS oranı (%)	Basınç dayanımı (MPa)	Çekme dayanımı (MPa)	Su emme oranı (%)	Kuruma oranı (%)
Reçine katkısız numuneler					
2G0Ç1	80	1.24	0.39	14.60	9.87
2G0Ç2	60	2.86	0.59	17.55	14.84
2G0Ç3	40	6.95	0.92	20.06	16.58
2G0Ç4	20	12.32	1.23	21.38	18.01
2G0A1	80	0.50	0.25	28.41	14.16
2G0A2	60	0.58	0.27	31.95	16.11
2G0A3	40	1.25	0.39	34.55	20.52
2G0A4	20	3.12	0.62	36.48	25.06
Ağırlıklı reçine oranı % 0.5					
2G1Ç1	80	0.66	0.28	16.70	10.05
2G1Ç2	60	1.58	0.44	20.26	15.03
2G1Ç3	40	4.5	0.75	22.72	17.69
2G1Ç4	20	8.56	1.04	24.30	20.43
2G1A1	80	0.45	0.23	29.58	16.04
2G1A2	60	0.51	0.25	34.46	19.86
2G1A3	40	0.94	0.34	38.50	24.08
2G1A4	20	2.65	0.57	39.43	26.44
Ağırlıklı reçine oranı % 1					
2G2Ç1	80	0.57	0.26	19.41	10.93
2G2Ç2	60	1.12	0.37	22.17	16.12
2G2Ç3	40	2.86	0.59	25.48	19.55
2G2Ç4	20	5.33	0.81	26.60	21.58
2G2A1	80	0.39	0.22	32.73	17.67
2G2A2	60	0.43	0.23	37.82	21.51
2G2A3	40	0.71	0.29	39.54	25.58
2G2A4	20	2.10	0.51	42.45	28.64
Ağırlıklı reçine oranı % 1.5					
2G3Ç1	80	0.35	0.21	21.23	12.77
2G3Ç2	60	0.51	0.25	25.66	17.34
2G3Ç3	40	1.71	0.46	27.00	20.53
2G3Ç4	20	3.17	0.62	28.37	23.52
2G3A1	80	0.30	0.19	34.71	20.80
2G3A2	60	0.35	0.21	42.58	22.88
2G3A3	40	0.66	0.29	43.54	27.31
2G3A4	20	1.86	0.48	45.58	29.37

Tablo 6.13. EPS tane çapı 0-3 mm olan kayısı ağacı reçineli numunelerin mekanik özellikleri

EPS tane çapı 0-3 mm,		Reçine cinsi: Kayısı ağacı			
Kod	EPS oranı (%)	Basınç dayanımı (MPa)	Çekme dayanımı (MPa)	Su emme oranı (%)	Kuruma oranı (%)
Ağırlıklı reçine oranı % 0.5					
1K1Ç1	80	1.64	0.45	18.52	9.38
1K1Ç2	60	4.50	0.74	21.05	12.58
1K1Ç3	40	9.53	1.08	23.23	14.77
1K1Ç4	20	18.75	1.52	24.08	17.90
1K1A1	80	0.56	0.26	30.68	14.41
1K1A2	60	0.72	0.30	37.50	17.89
1K1A3	40	1.85	0.48	43.23	22.99
1K1A4	20	3.75	0.68	46.46	28.78
Ağırlıklı reçine oranı % 1					
1K2Ç1	80	1.50	0.43	20.42	11.21
1K2Ç2	60	4.3	0.73	23.65	13.74
1K2Ç3	40	6.43	0.89	26.00	16.91
1K2Ç4	20	13.05	1.26	27.44	20.53
1K2A1	80	0.47	0.24	33.06	17.28
1K2A2	60	0.65	0.28	40.54	21.75
1K2A3	40	1.48	0.43	45.21	24.76
1K2A4	20	3.18	0.63	47.81	31.49
Ağırlıklı reçine oranı % 1.5					
1K3Ç1	80	0.54	0.26	22.64	13.77
1K3Ç2	60	1.29	0.40	25.49	15.41
1K3Ç3	40	4.25	0.72	28.64	18.96
1K3Ç4	20	9.21	1.06	30.04	22.21
1K3A1	80	0.40	0.22	34.14	19.63
1K3A2	60	0.59	0.27	43.89	23.70
1K3A3	40	1.28	0.40	46.49	26.46
1K3A4	20	2.31	0.53	48.70	32.80

Tablo 6.14. EPS tane çapı 0-6 mm olan kayısı ağacı reçineli numunelerin mekanik özellikleri

EPS tane çapı 0-6 mm,		Reçine cinsi: Kayısı ağacı			
Kod	EPS oranı (%)	Basınç dayanımı (MPa)	Çekme dayanımı (MPa)	Su emme oranı (%)	Kuruma oranı (%)
Ağırlıklı reçine oranı % 0.5					
2K1Ç1	80	0.7	0.29	16.00	11.70
2K1Ç2	60	2.03	0.50	20.06	15.64
2K1Ç3	40	5.58	0.83	22.11	18.56
2K1Ç4	20	9.88	1.10	23.58	19.46
2K1A1	80	0.48	0.24	29.21	15.15
2K1A2	60	0.61	0.27	33.49	19.11
2K1A3	40	1.10	0.37	36.50	23.61
2K1A4	20	2.75	0.58	38.43	26.13
Ağırlıklı reçine oranı % 1					
2K2Ç1	80	0.61	0.27	19.11	12.48
2K2Ç2	60	1.50	0.43	21.06	16.81
2K2Ç3	40	3.89	0.69	24.48	19.08
2K2Ç4	20	7.1	0.93	25.23	21.34
2K2A1	80	0.42	0.23	30.63	18.90
2K2A2	60	0.50	0.25	35.82	22.06
2K2A3	40	1.05	0.36	39.57	25.33
2K2A4	20	2.22	0.52	40.44	27.60
Ağırlıklı reçine oranı % 1.5					
2K3Ç1	80	0.40	0.22	21.36	14.80
2K3Ç2	60	0.77	0.31	23.11	19.38
2K3Ç3	40	2.40	0.54	27.32	20.62
2K3Ç4	20	4.86	0.77	29.54	23.41
2K3A1	80	0.30	0.20	33.48	21.06
2K3A2	60	0.46	0.24	40.71	25.44
2K3A3	40	0.95	0.34	42.09	27.85
2K3A4	20	1.94	0.49	43.28	29.82

7. BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, tane çapları farklı iki EPS grubun her birine farklı oranlarda çimento veya alçı bağlayıcılar ile bunlara reçine karıştırılarak farklı kombinasyonlarda 112 adet numune hazırlanmıştır. Deneyler için her numuneden 4 tane üretilerek toplam 448 tane numune hazırlanmıştır. Karşılaştırma yapabilmek amacıyla aynı karışım oranlarında içerisine reçine katılmamış numunelerde hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelere uygulanan testler sonucu elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir.

7.1. Isı İletim Katsayısı

7.1.1. EPS tane boyutu, reçine cins ve katılım oranlarına göre ısı iletim katsayısı değişimi

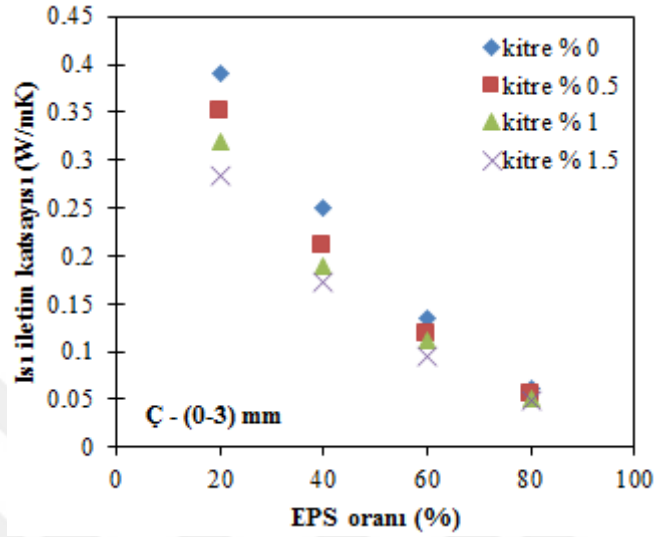
Tablo 6.7'den Tablo 6.10'a kadar olan tabloların incelenmesi halinde numunelerin ısı iletim katsayıları için aşağıdaki bulgular saptanmıştır.

Yapılan ölçümlerde en küçük ısı iletim katsayıları %1.5 kitre katkılı, 0-3 mm tane çaplı ve %80 EPS oranlı çimentolu numunelerde 0.055 W/mK alçılı numunelerde ise 0.047 W/mK olarak ölçülürken aynı oranlı fakat kayısı ağacı reçineli çimentolu numunelerde 0.058 W/mK, alçılı numunelerde 0.048 W/mK olarak ölçülmüştür. En büyük ısı iletim katsayıları ise reçine katkısız, %20 EPS katkılı ve 0-3 mm tane çaplı çimentolu numunelerde 0.390 W/mK, alçılı numunelerde ise 0.260 W/mK olarak ölçülmüştür.

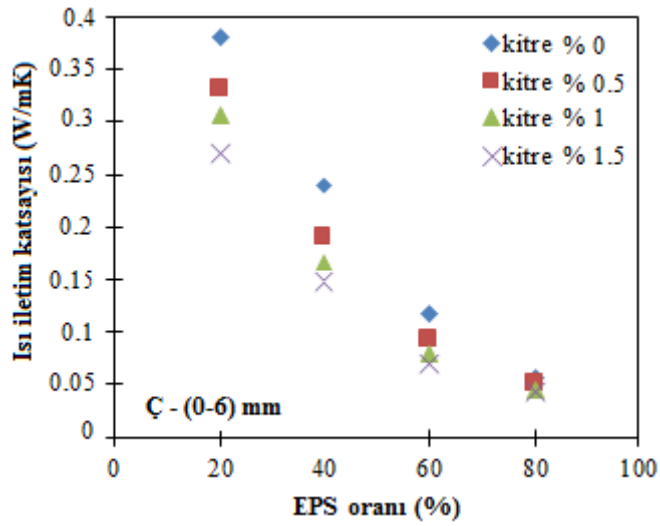
0-6 mm tane çaplı aynı oranlı numunelerde ise en küçük ısı iletim katsayıları %1.5 kitre katkılı çimentolu numunelerde 0.050 W/mK, alçılı numunelerde 0.041 W/mK olarak ölçülürken %1.5 kayısı ağacı reçineli çimentolu numunelerde 0.053 W/mK alçılı numunelerde ise 0.043 W/mK olarak ölçülmüştür. En büyük ısı iletim katsayıları ise %20 EPS oranlı reçine katkısız çimentolu numunelerde 0.380 W/mK alçılı numunelerde ise 0.255 W/mK olarak ölçülmüştür.

Gerek kitre ve gerekse kayısı reçine katkılı numunelerde, 0-6 mm tane çaplı numunelerin ısı iletim katsayıları 0-3 mm tane çaplı numunelerin ısı iletim katsayılarından daha küçük çıkmıştır. Çünkü bünye hacminin %98 ni durgun hava teşkil eden EPS lerin

parçalanma sırasında tanecik boyutları küçüldükçe gözeneklilik oranı azalır, yoğunluk artar ve ısı iletim katsayıları da büyür.

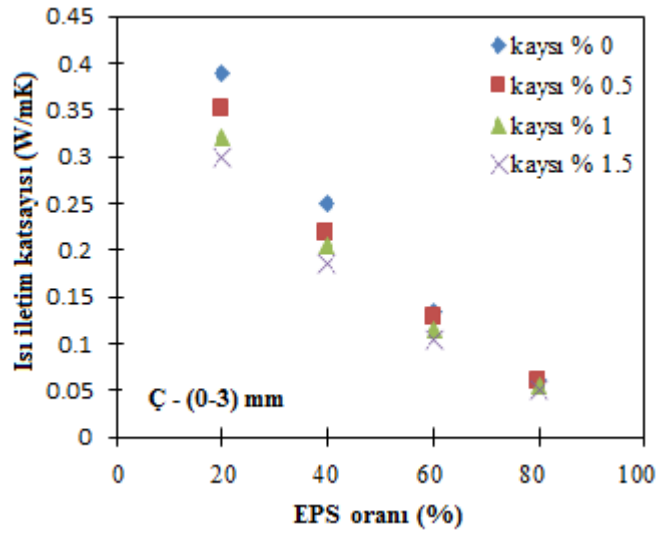


a)

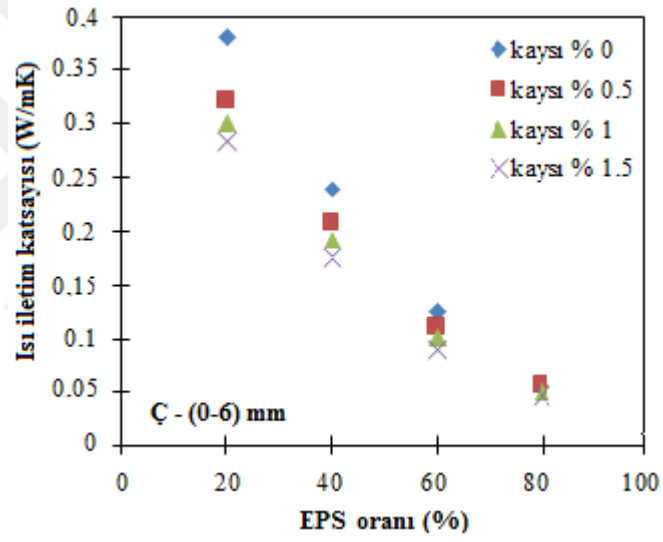


b)

Şekil 7.1. Çimento + kitre karışımı numunelerde ısı iletim katsayısının EPS oranı ile değişimi
a) 0-3 mm tane çaplı, b) 0-6 mm tane çaplı

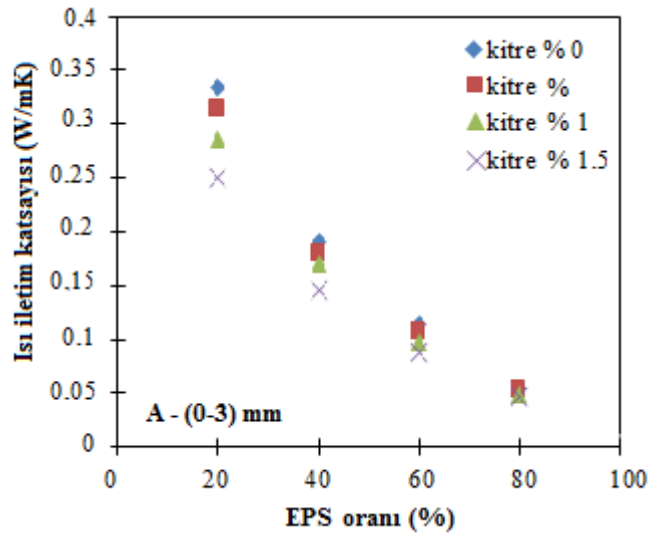


a)

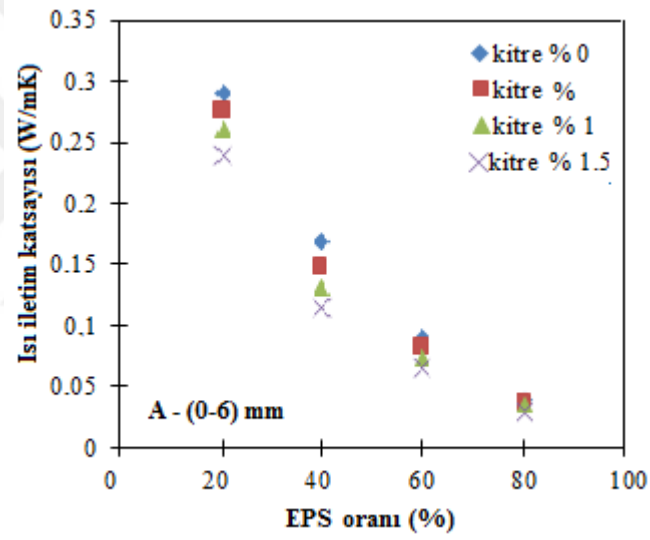


b)

Şekil 7.2. Çimento + kayısı karışımli numunelerde ısı iletim katsayısının EPS oranı ile değişimi
a) 0-3 mm tane çaplı, b) 0-6 mm tane çaplı

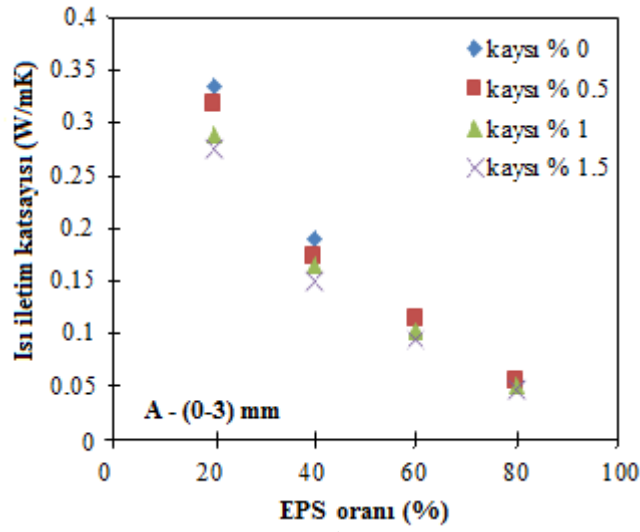


a)

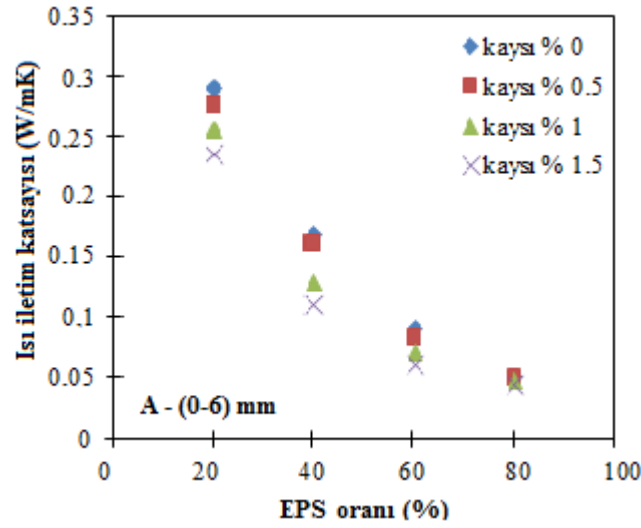


b)

Şekil 7.3. Alçı + kitre karışımli numunelerde ısı iletim katsayısının EPS oranı ile değişimi
a) 0-3 mm tane çaplı, b) 0-6 mm tane çaplı



a)

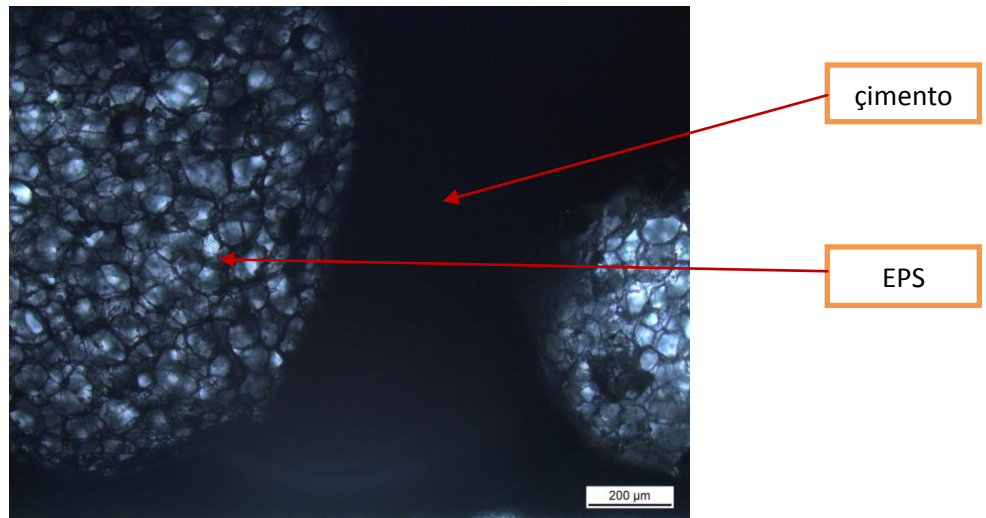
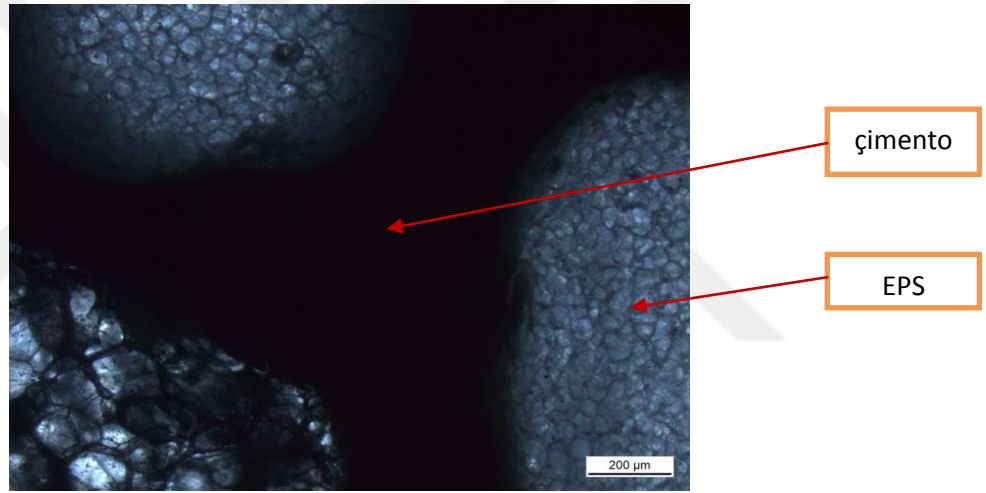


b)

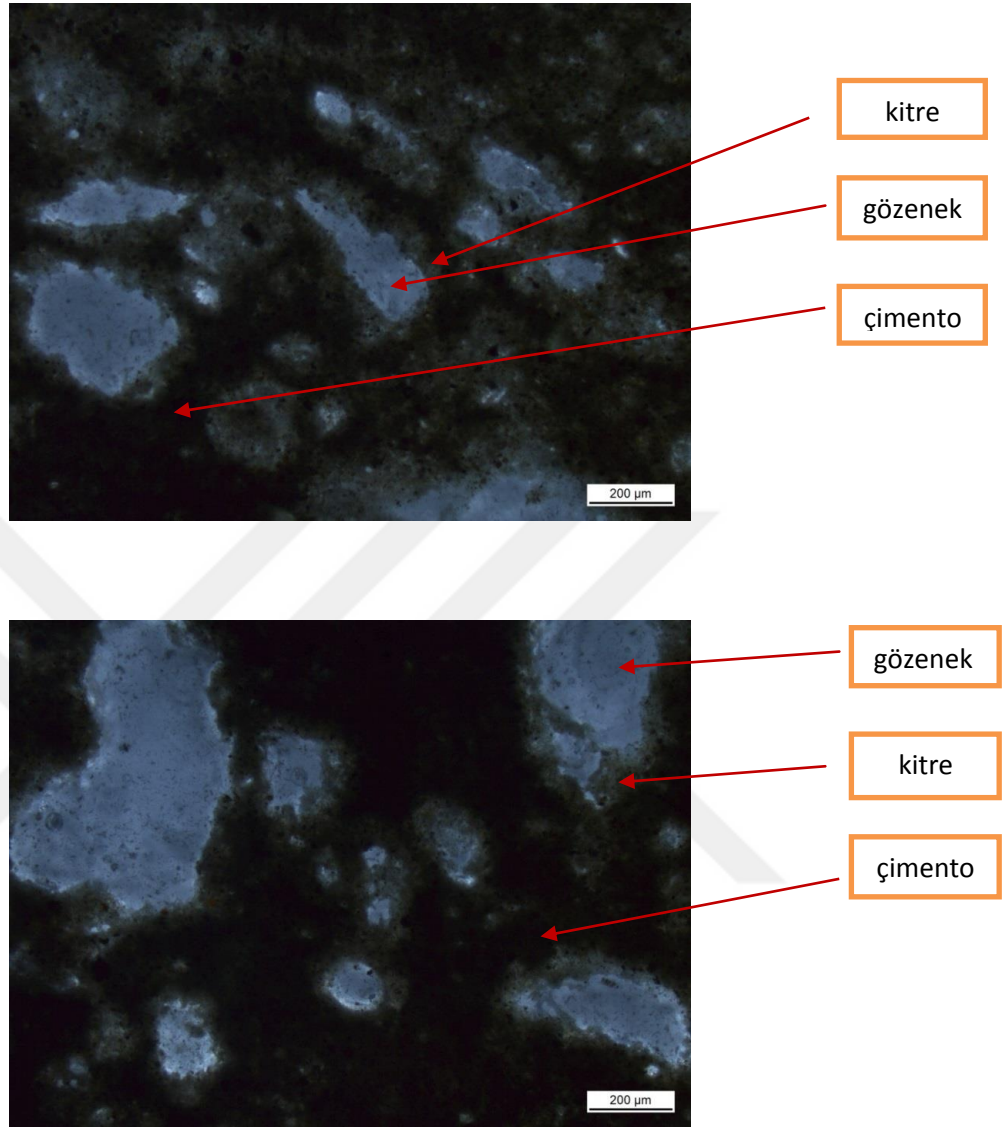
Şekil 7.4. Alçı + kayısı karışımlı numunelerde ısı iletim katsayısının EPS oranı ile değişimi
a) 0-3 mm tane çaplı, b) 0-6 mm tane çaplı

Şekil 7.1-4'de EPS ve reçine katılım oranlarına göre numunelerin ısı iletim katsayılarındaki değişimler görülmektedir. Gerek kitrenin ve gerekse kayısı ağacı reçinesinin katılım yüzdeler arttıkça ısı iletim katsayıları küçülmektedir. Bu küçülme; numunelerin 28 günlük kuruma sürecinde bünyesindeki absorbe ederek aldığı suyu kaybetmesinden ileri gelmektedir ayrıca kaybedilen su hacmi kadar, malzeme yapısında EPS gözenekleri dışında yapay mikro gözeneklerin oluştuğu ve bu gözenekler sayesinde, numunelerin hesaplanan gözeneklilik oranlarından daha yüksek gerçek gözeneklilik oranlarına sahip olmaktadır (Şekil 7.5 ve Şekil 7.6). Bu nedenle reçine oranına bağlı olarak

ısı iletim katsayıları küçülmektedir. Grafiklerin incelenmesi halinde en küçük ısı iletim katsayıları %1.5 oranında reçine katkılı numunelerde olduğu görülmektedir. Yukarıda belirtilen Tablo ve grafiklerin incelenmesinden aynı EPS ve reçine katılım oranlarında kitre katkılı numunelerin ısı iletim katsayıları, kayısı reçineli numunelerin ısı iletim katsayılarından azda olsa küçük çıktığı görülmektedir. Bunun nedeni, kitrenin gözeneksiz kuru haldeki ısı iletim katsayısının kayısı ağacı reçinesinin ısı iletim katsayısından daha küçük olmasından kaynaklandığı söylenebilir. Yapılan ölçümlerde kitrenin gözeneksiz kuru haldeki ısı iletim katsayısı 0.150 W/mK ve kayısı ağacı reçinesinin ise 0.163 W/mK olarak ölçülmüştür.



Şekil 7.5. 0-3 mm tane çaplı, çimentolu, reçinesiz (1G0Ç4 kodlu) numunenin mikroskop altı kesit görünümü



Şekil 7.6. 0-3 mm tane çaplı, çimentolu, kitre oranı %1.5 (1G3Ç4 kodlu) numunenin mikroskop altı kesit görünümü

7.1.2. Bağlayıcı cinsine göre ısı iletim katsayısının değişimi

Çalışmada kullanılan KPÇ 325 çimentonun yoğunluğu 3.0 g/cm^3 ve alçının yoğunluğu ise 2.25 g/cm^3 olarak belirlenirken, çimento betonunu ısı iletim katsayısı 0.751 W/mK ve alçı blokunun ise 0.439 W/mK olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlardan Şekil 7.7-10'da görüldüğü gibi çimentolu numunelerin ısı iletim katsayıları, alçılı numunelerin ısı iletim katsayılarından büyük çıkmıştır. Bu grafiklerin incelenmesinden: Kitre karışıklı numunelerde;

- En küçük ısı iletim katsayısı %1.5 kitle katkılı, 0-3 mm EPS tane çaplı çimentolu numunede 0.055 W/mK olarak ölçülürken, aynı karışımli, 0-6 mm EPS tane çaplı, %1.5 kitle katkılı numunede 0.050 W/mK olarak ölçülmüştür.

- Alçı + kitle karışımli numunelerde ise en küçük ısı iletim katsayıları, 0-3 mm EPS tane çaplı, %1.5 kitle katkılı numunede 0.047 W/mK, 0-6 mm EPS tane çaplı numunede 0.041 W/mK olarak ölçülmüştür.

Kayısı reçine karışımli numunelerde;

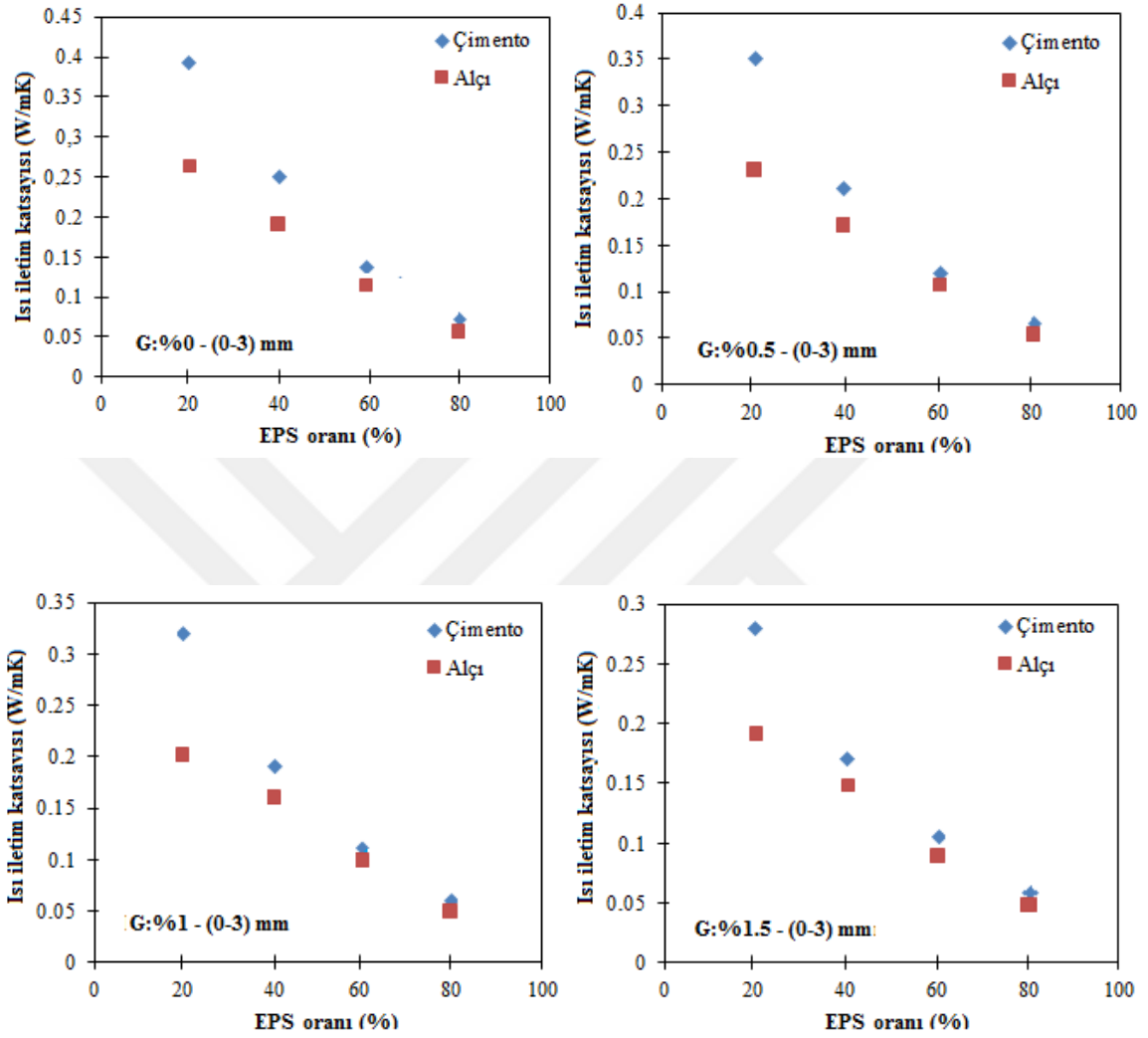
- %1.5 kayısı katkılı ve 0-3 mm EPS tane çaplı çimentolu numunenin ısı iletim katsayısı 0.058 W/mK değeri ölçülürken aynı oranlarda 0-6 mm EPS tane çaplı numunenin değeri 0.053 W/mK olarak ölçülmüştür.

- Alçı + %1.5 kayısı reçinesi katkılı ve 0-3 mm EPS tane çaplı numunede en küçük ısı iletim katsayısı 0.048 W/mK olarak ölçülürken, alçı + kayısı reçineli 0-6 mm tane çaplı numunenin ısı iletim katsayısı 0.043 W/mK olarak ölçülmüştür.

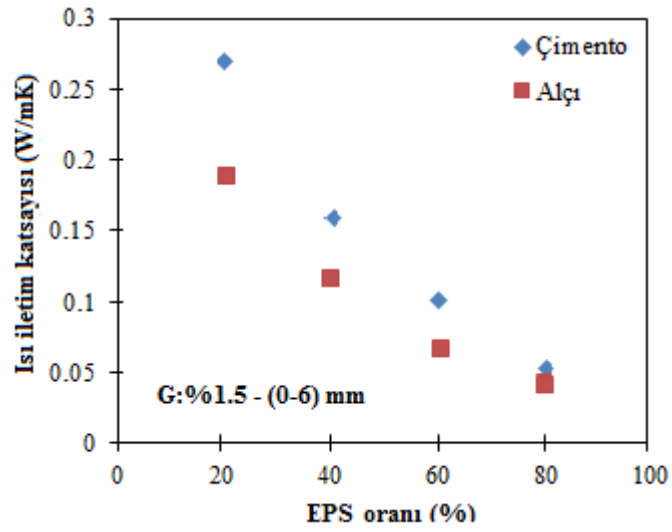
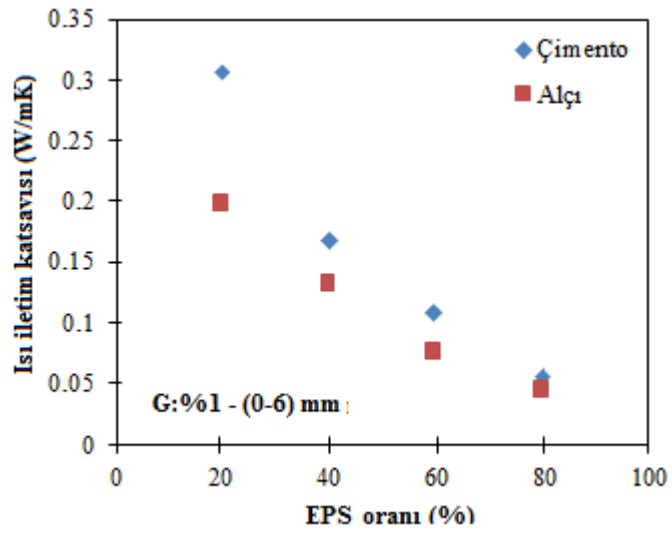
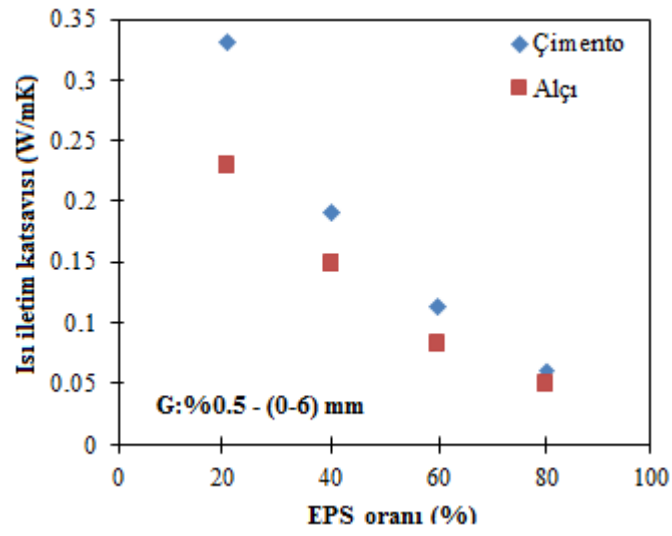
Gerek 0-3 mm ve gerekse 0-6 mm tane çaplı EPS agregalı reçineli veya reçinesiz grub çimentolu numunelerin ısı iletim katsayıları EK 5 de verilen geleneksel kum agregalı beton, tuğla, dış ve iç sıvalara göre daha küçük çıktığı görülmektedir. Aynı şekilde %40, %60 ve %80 EPS li alçılı numunelerinde ısı iletim katsayıları ise geleneksel alçılı sıvaların katsayılarından küçük çıkmıştır. EK 6 nın incelenmesi durumunda bu çalışma ile sunulan malzemelerin ısı iletim katsayıları, benzer çalışmaların ısı iletim katsayılarında küçük çıktığı görülmektedir. Bunun en önemli sebebi EPS lerin gözenekli yapısı ve bağlayıcılara katılan reçinelerdir [103], [104], [105] ve [100].

Çalışmaya benzer olarak, Demirboğa ve Kan [29], geleneksel agrega kısmen EPS ile değiştirilerek üretilen betonun ısı iletkenliği 0.60 W/mK olarak belirlemişlerdir. Şengül vd. [30], geleneksel agreganın %60 perlite yer değiştirerek betonda 0.35 W/mK ısı iletkenlik değeri elde etmiştir. Kim vd. [31], EPS ve vermokolit karışımli düşük yoğunluklu betonların ısı iletkenliğini, normal betona göre 7 kat küçük çıktığını göstermişlerdir. Bu çalışmada %65 hafif agrega ihtiva eden betonun ısı iletkenliği %55 hafif agregalı betonun ısı iletkenliğinden daha küçük çıkmıştır. Kısmi vd. [32], kısmen geleneksel agrega yerine genleştirilmiş kil ve polistiren karışımı kullanarak, düşük ısı iletkenlik değerleri elde etmişlerdir. Shafigh vd. [33], yapmış oldukları çalışma ile düşük yoğunluklu betonun ısı iletkenliğinin normal betonun yarı değerine kadar küçüldüğünü

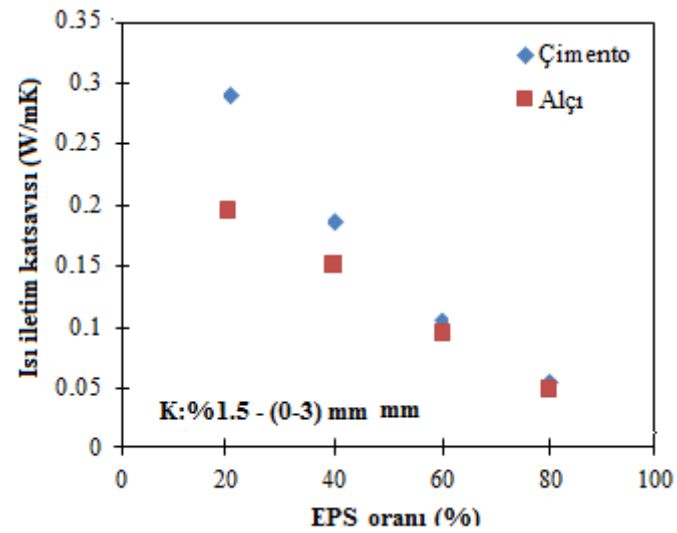
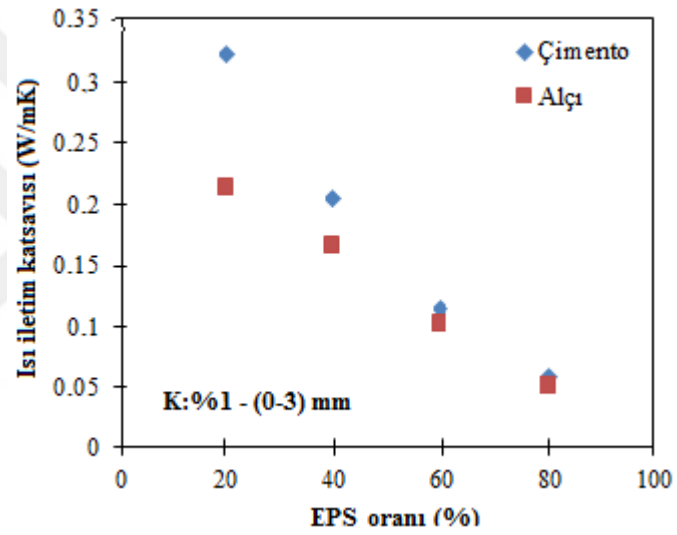
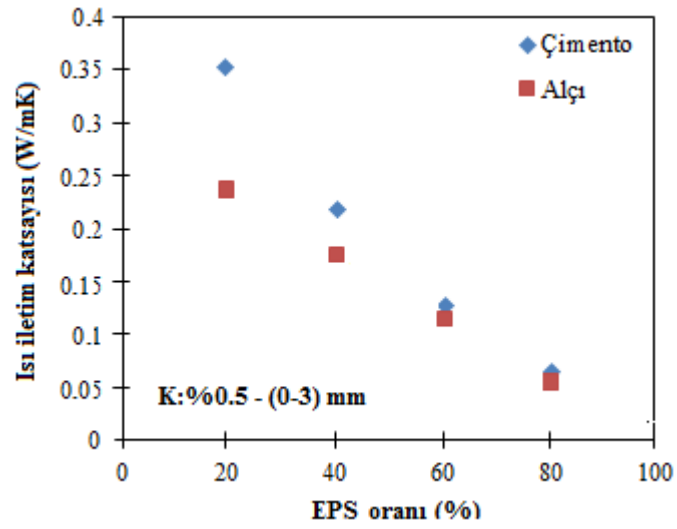
göstermişlerdir. Sarıışk ve Sarıışk [34], EPSli betonda ısı iletkenliği 0.33 W/mK olarak elde etmiştir.



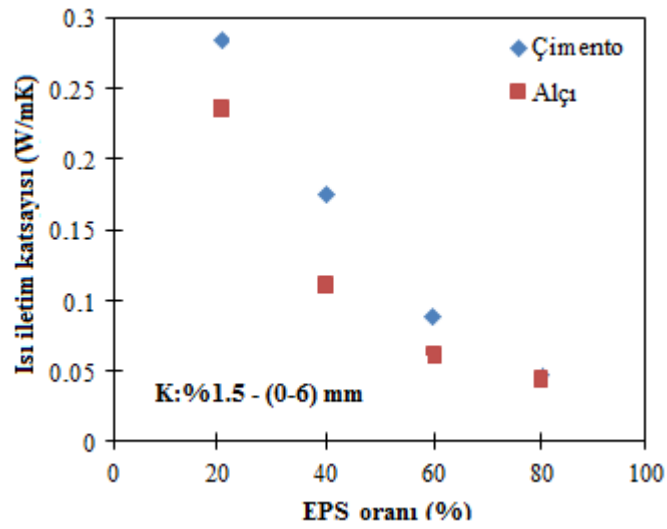
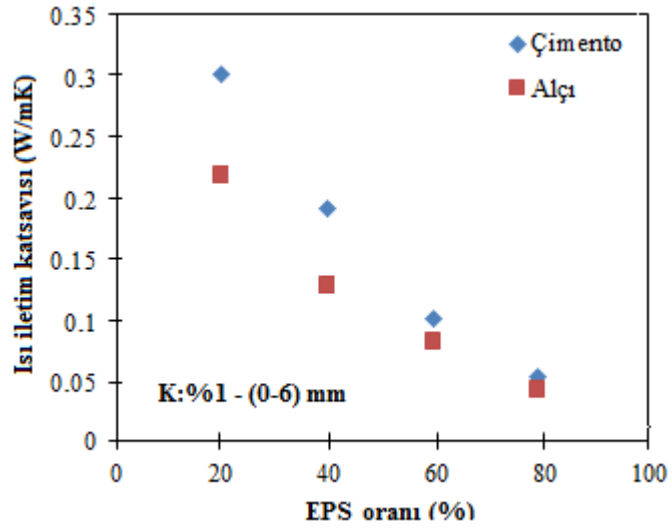
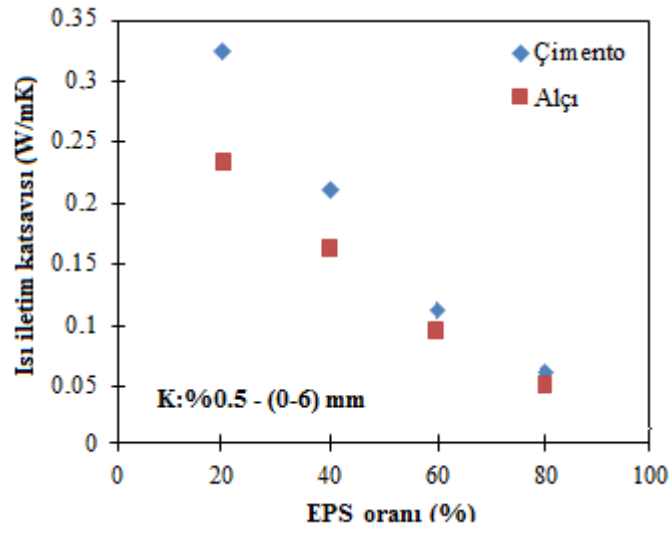
Şekil 7.7. Çimento veya alçı + kitle bağlayıcı numunelerin ısı iletim katsayısının 0-3 mm tane çaplı EPS oranı ile değişimi



Şekil 7.8. Çimento veya alçı + kitle bağlayıcı numunelerin ısı iletim katsayısının 0-6 mm tane çaplı EPS oranı ile değişimi



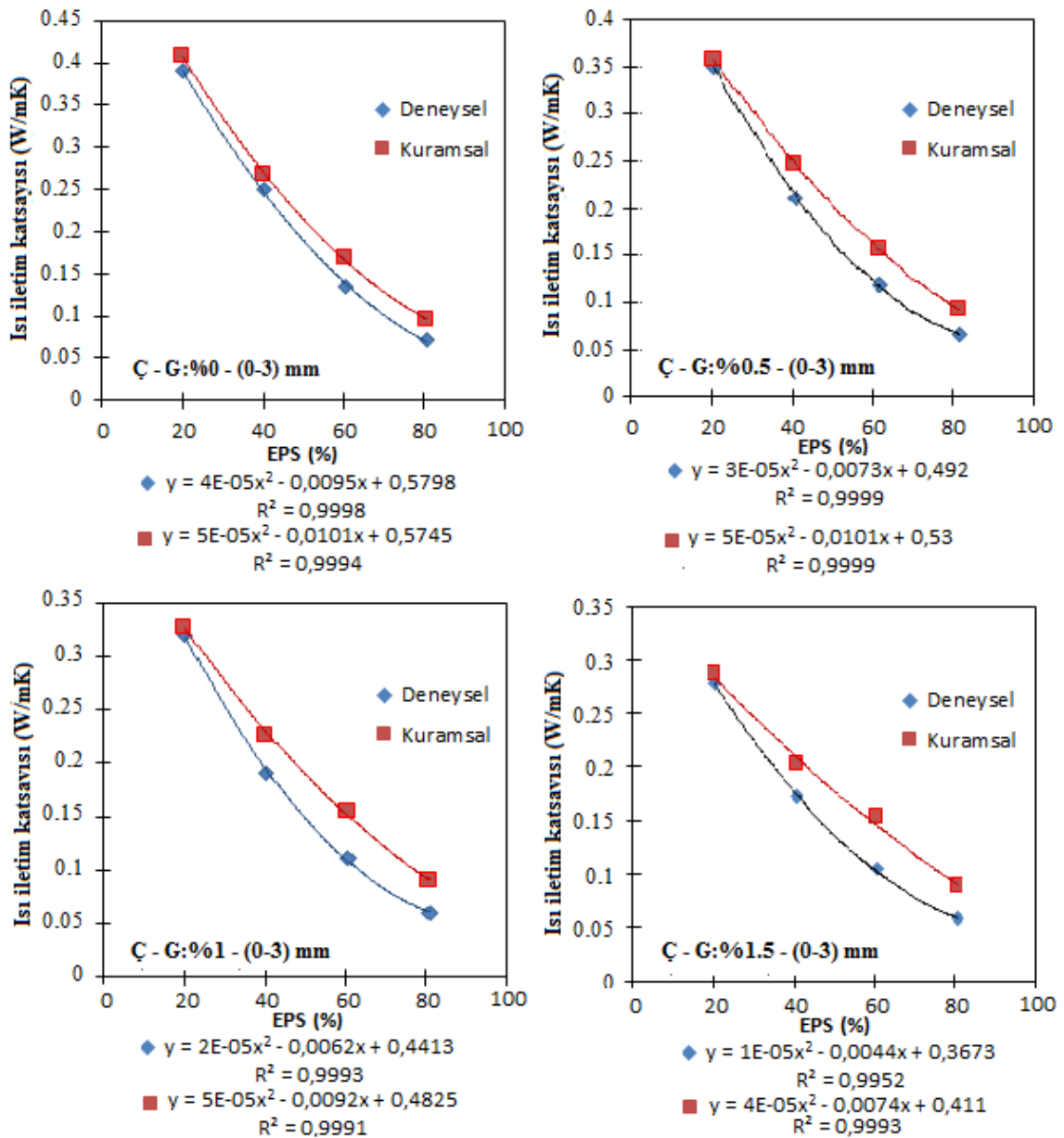
Şekil 7.9. Çimento veya alçı + kayısı bağlayıcı numunelerin ısı iletim katsayısının 0-3 mm tane çaplı EPS oranı ile değişim



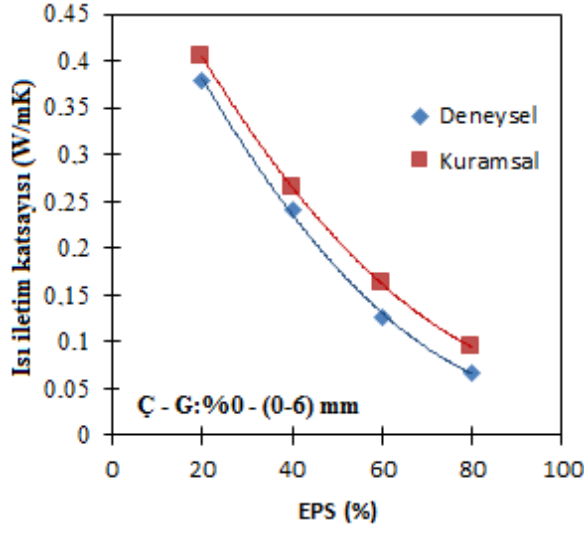
Şekil 7.10. Çimento veya alçı + kayısı bağlayıcı numunelerin ısı iletim katsayısının 0-6 mm tane çaplı EPS oranı ile değişimi

7.1.3. Kuramsal ve deneysel ısı iletim katsayılarının birlikte değerlendirilmesi

Heterojen yapıdaki gözenekli katı malzemelerin ısı iletim katsayılarının hesaplanmasında kullanılmak üzere (6.16) cebirsel denklemi kurulmuştur. Yapılan kabuller sonucunda geliştirilen denklem sonuçları ile deneysel sonuçlar birlikte değerlendirilmiştir. Tablo 6.7-10 incelendiğinde, deneysel ve kuramsal ısı iletim katsayı değerleri özellikle %70 EPS oranına kadar oldukça uyum göstermektedir.



Şekil 7.11. Çimento + kitle bağlayıcı, 0-3 mm tane çaplı EPS agregalı numunelerin ısı iletim katsayısının deneysel ve kuramsal değişim eğrileri, denklem ve R-kare değerleri

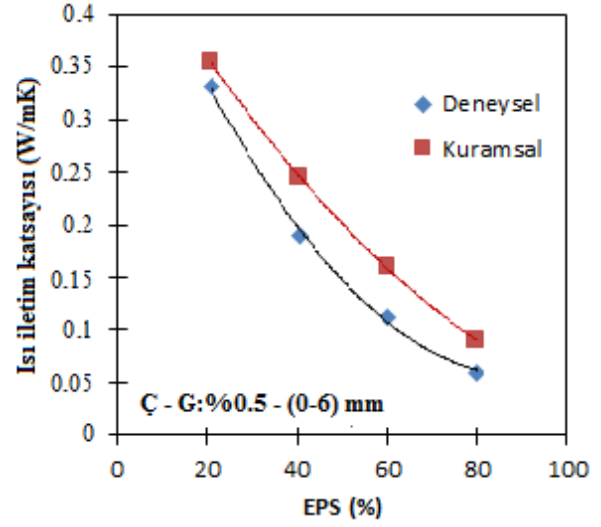


$$\diamond y = 4E-05x^2 - 0,0097x + 0,58$$

$$R^2 = 0,9999$$

$$\blacksquare y = 5E-05x^2 - 0,0103x + 0,5665$$

$$R^2 = 0,9994$$

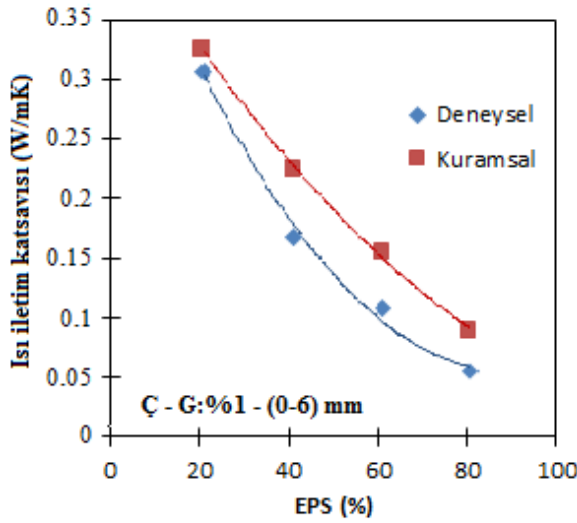


$$\diamond y = 3E-05x^2 - 0,007x + 0,4833$$

$$R^2 = 0,9998$$

$$\blacksquare y = 5E-05x^2 - 0,0099x + 0,506$$

$$R^2 = 0,9981$$

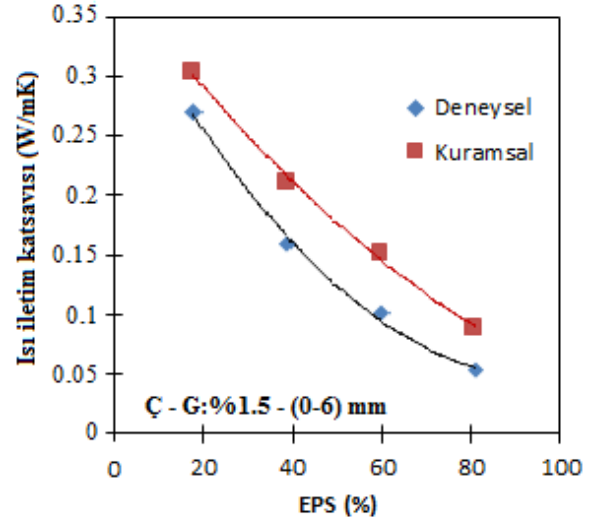


$$\diamond y = 2E-05x^2 - 0,0061x + 0,4363$$

$$R^2 = 0,9986$$

$$\blacksquare y = 5E-05x^2 - 0,0095x + 0,4715$$

$$R^2 = 0,9927$$



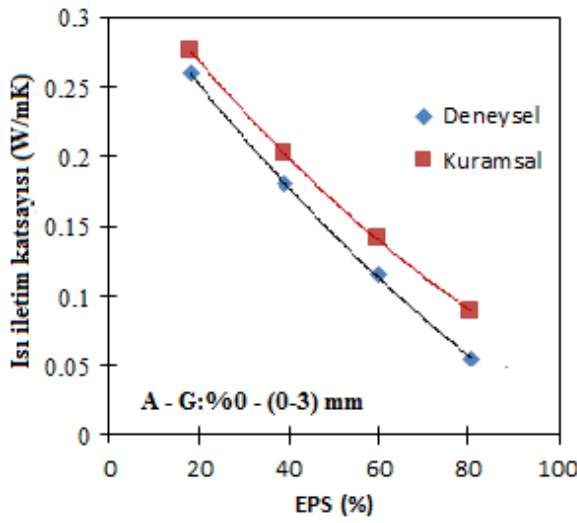
$$\diamond y = 2E-05x^2 - 0,0053x + 0,4008$$

$$R^2 = 0,9976$$

$$\blacksquare y = 4E-05x^2 - 0,0075x + 0,4018$$

$$R^2 = 0,9965$$

Şekil 7.12. Çimento + kitle bağlayıcılı, 0-6 mm tane çaplı EPS agregalı numunelerin ısı iletim katsayısının deneysel ve kuramsal değişim eğrileri, denklem ve R-kare değerleri

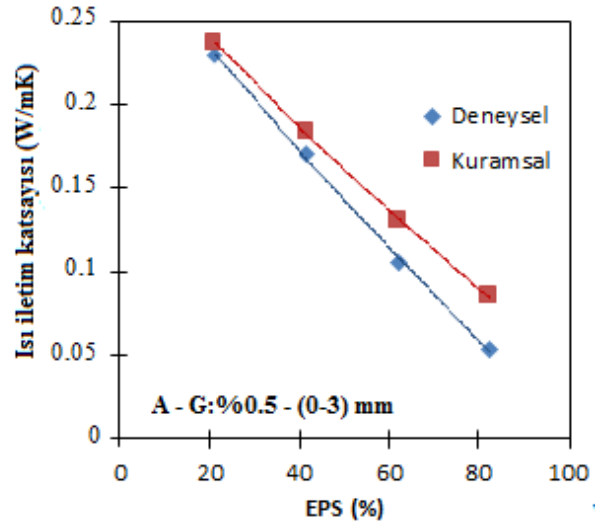


$$\diamond y = 1E-05x^2 - 0,0045x + 0,36$$

$$R^2 = 1$$

$$\blacksquare y = 1E-05x^2 - 0,0047x + 0,3475$$

$$R^2 = 0,9998$$

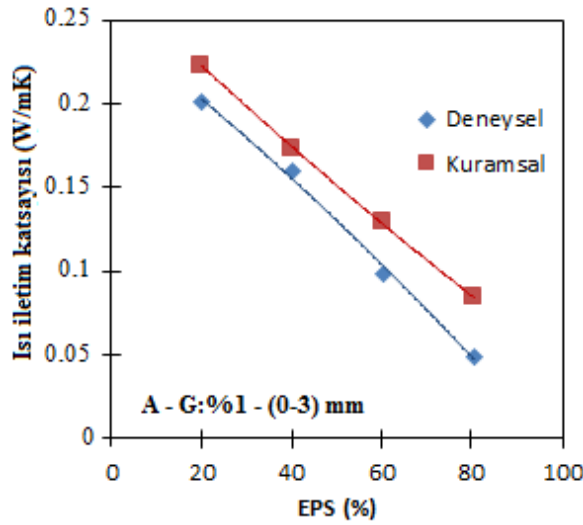


$$\diamond y = 5E-06x^2 - 0,0031x + 0,2965$$

$$R^2 = 0,9996$$

$$\blacksquare y = 4E-06x^2 - 0,0034x + 0,2973$$

$$R^2 = 0,9994$$

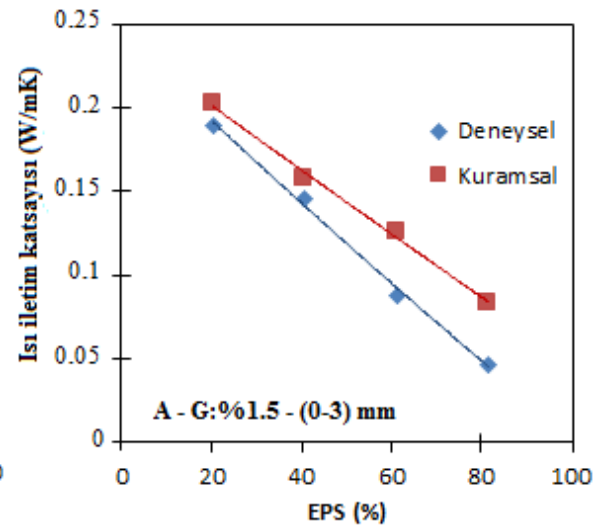


$$\diamond y = 3E-06x^2 - 0,0026x + 0,2738$$

$$R^2 = 0,9998$$

$$\blacksquare y = -5E-06x^2 - 0,0021x + 0,2465$$

$$R^2 = 0,9957$$



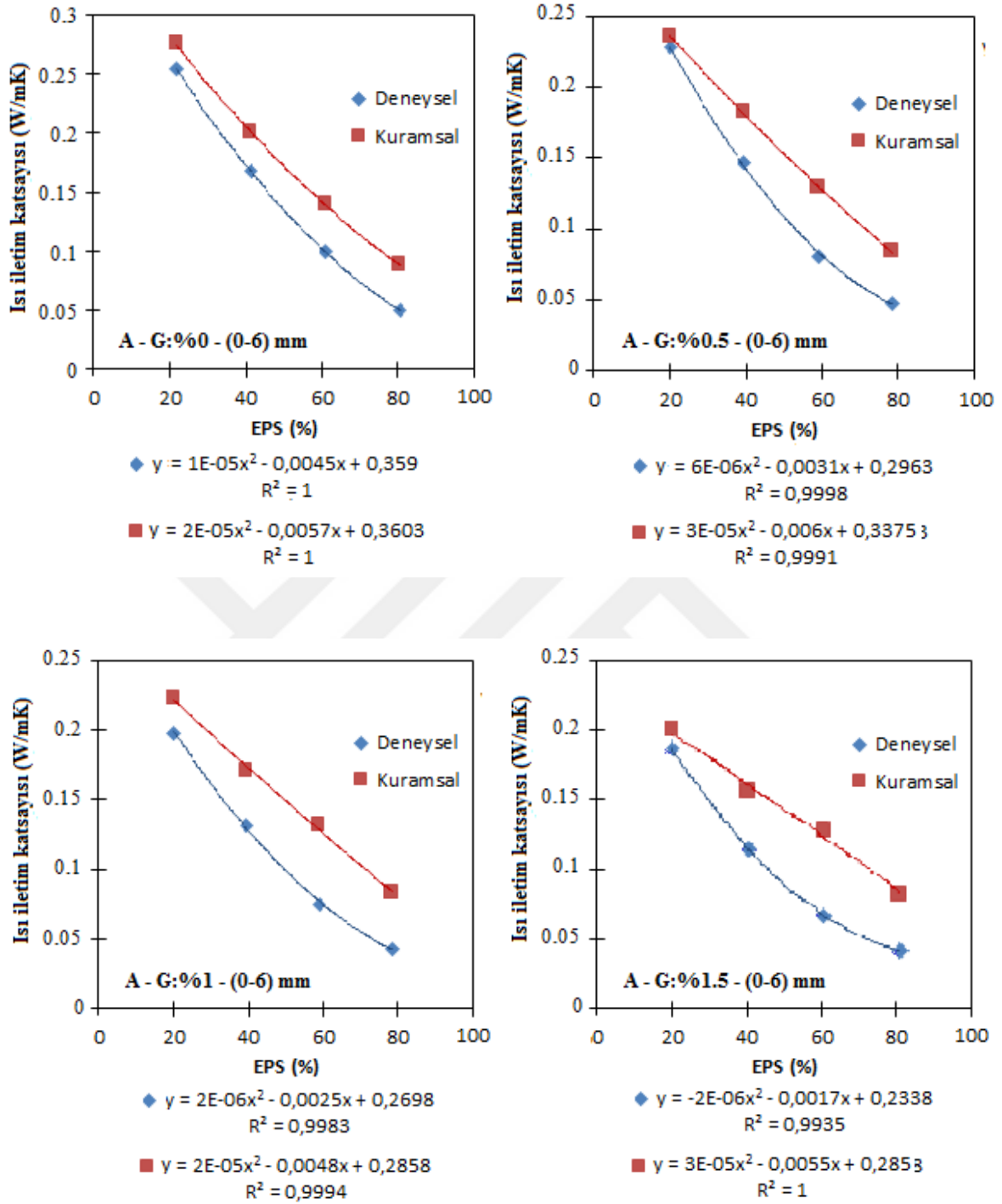
$$\diamond y = 6E-07x^2 - 0,002x + 0,24088$$

$$R^2 = 0,9965$$

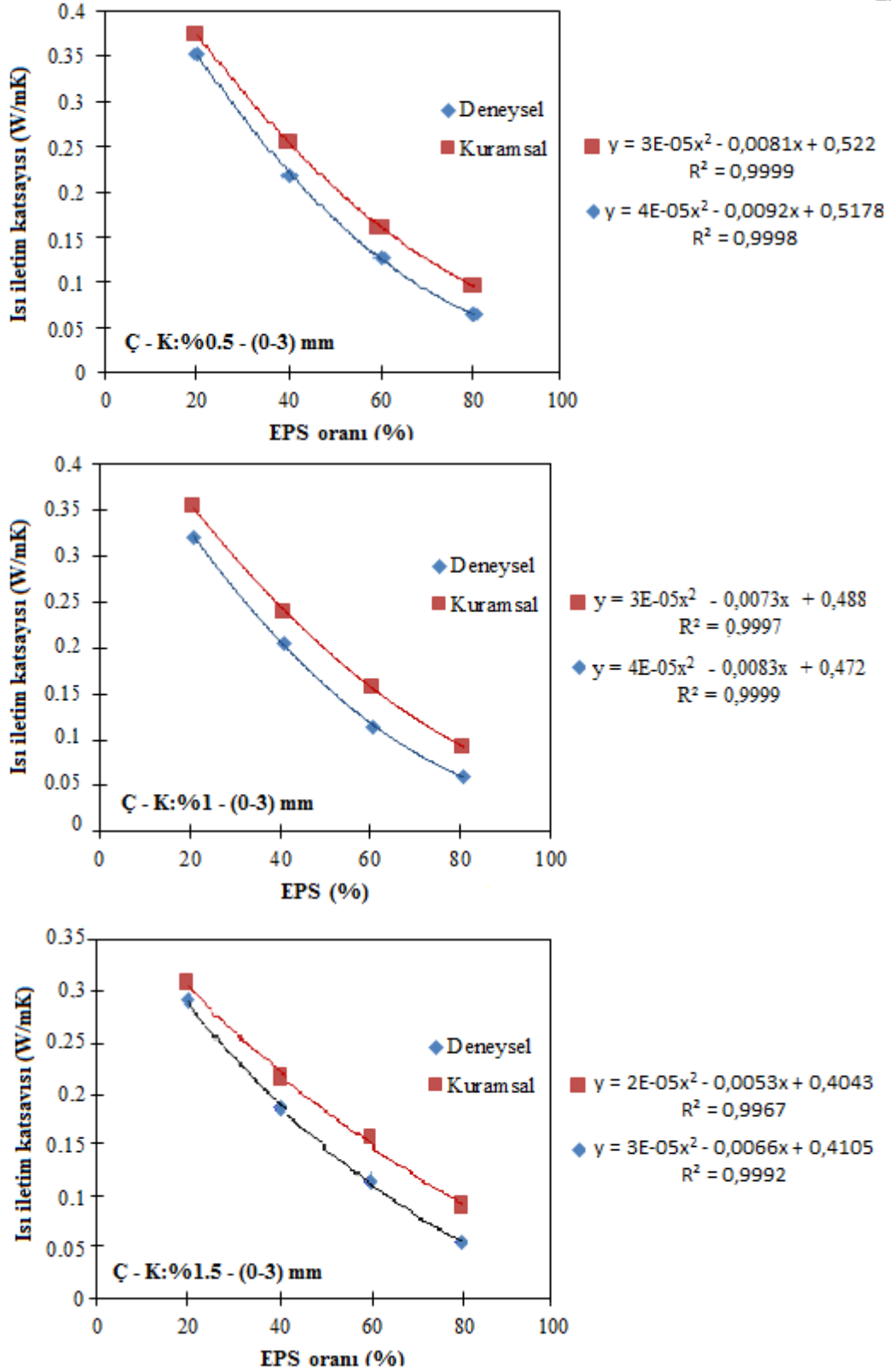
$$\blacksquare y = 2E-06x^2 - 0,0026x + 0,2433$$

$$R^2 = 0,996$$

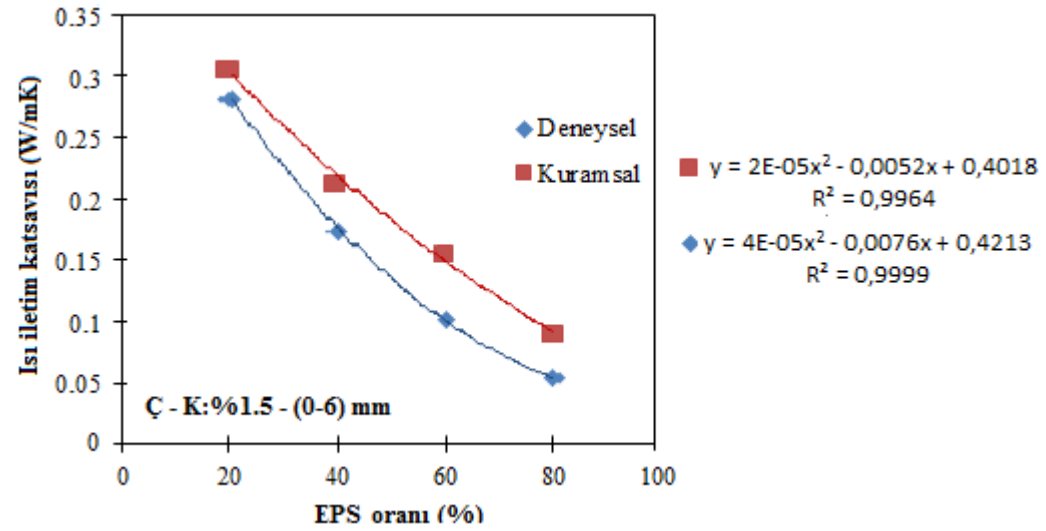
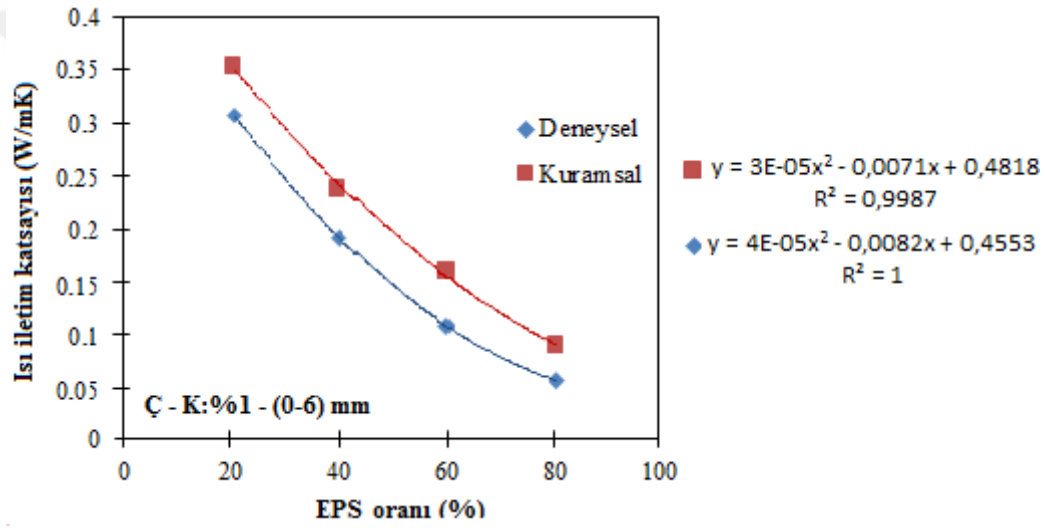
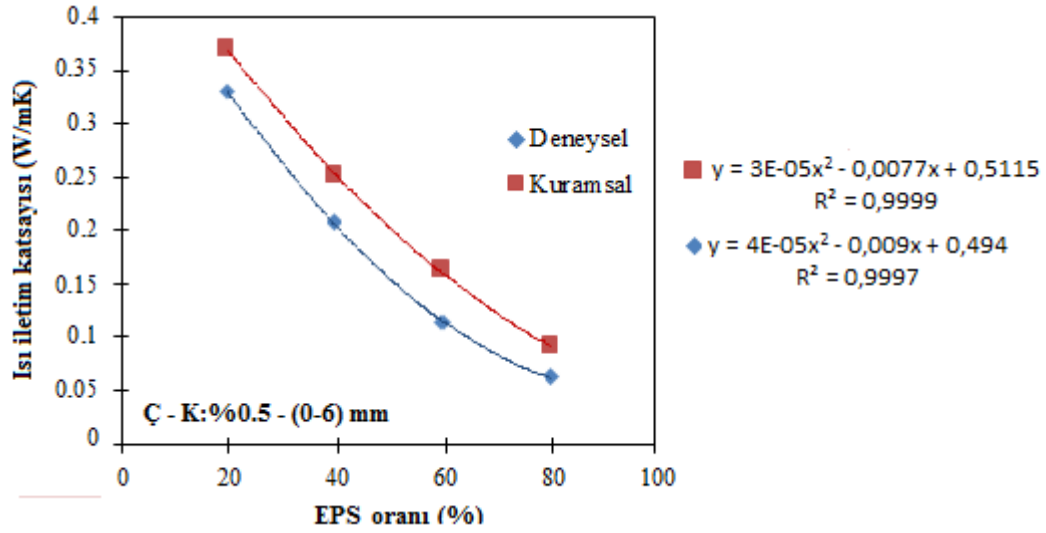
Şekil 7.13. Alçı + kitle bağlayıcılı, 0-3 mm tane çaplı EPS agregalı numunelerin ısı iletim katsayısının deneysel ve kuramsal değişim eğrileri, denklem ve R-kare değerleri



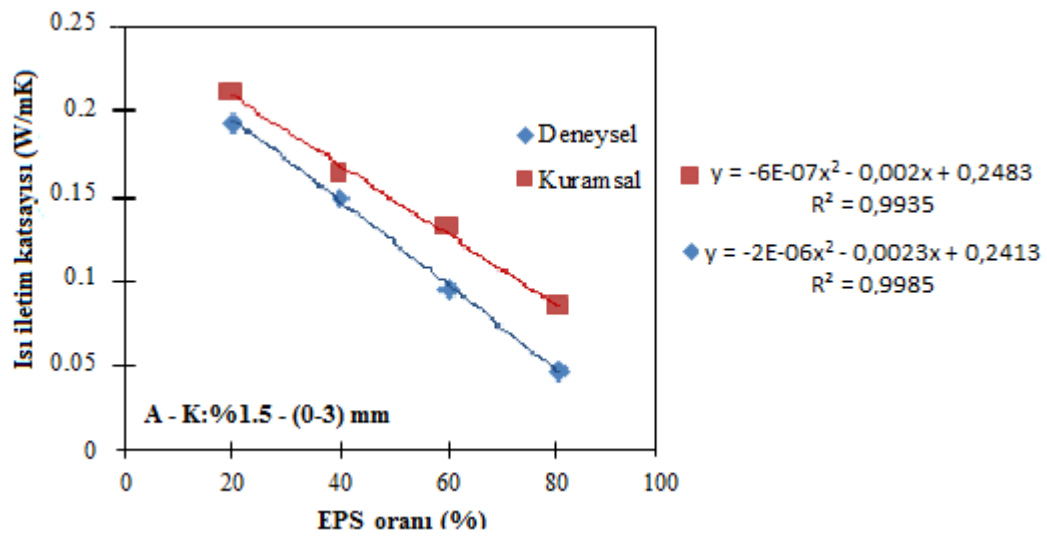
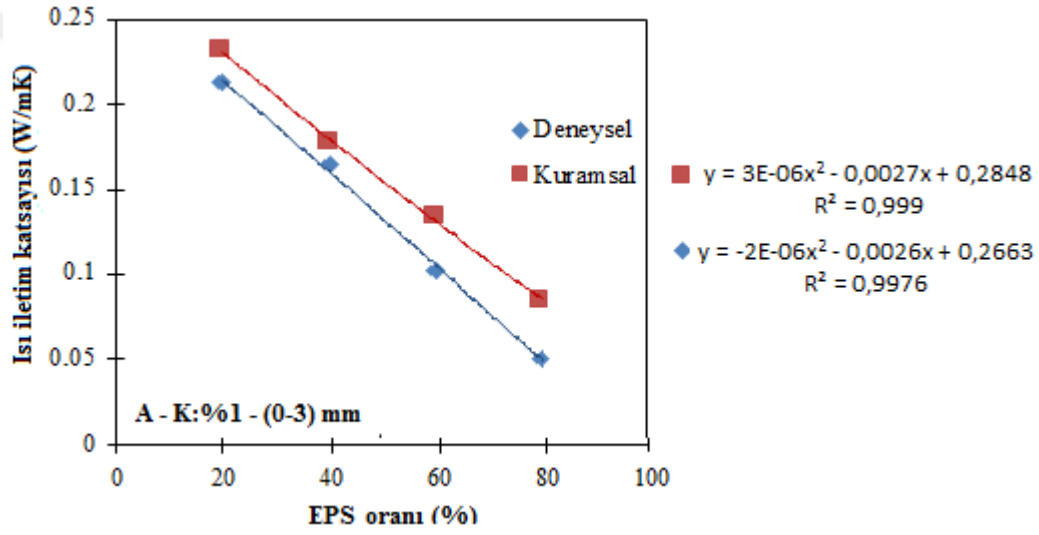
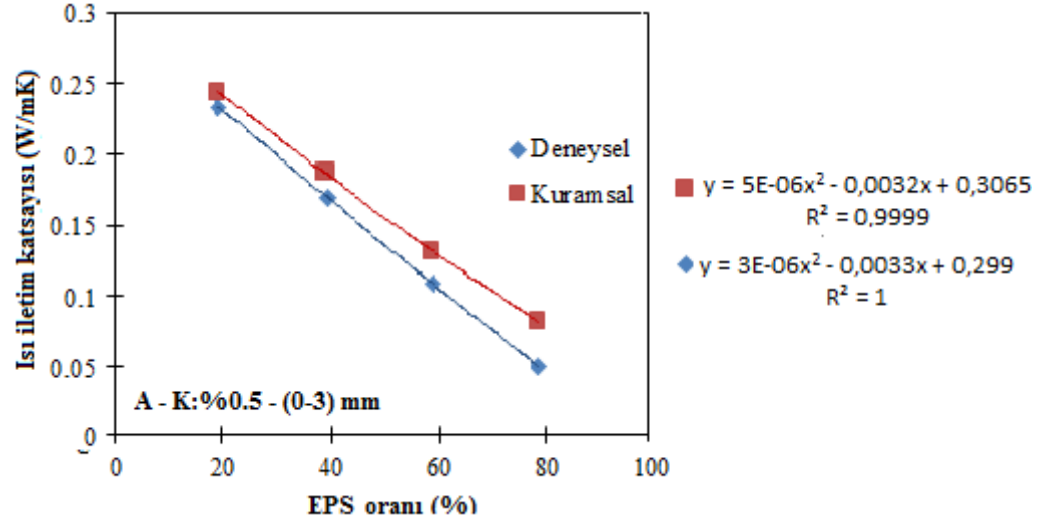
Şekil 7.14. Alçı + kitre bağlayıcılı, 0-6 mm tane çaplı EPS agregalı numunelerin ısı iletim katsayısının deneysel ve kuramsal değişim eğrileri, denklem ve R-kare değerleri



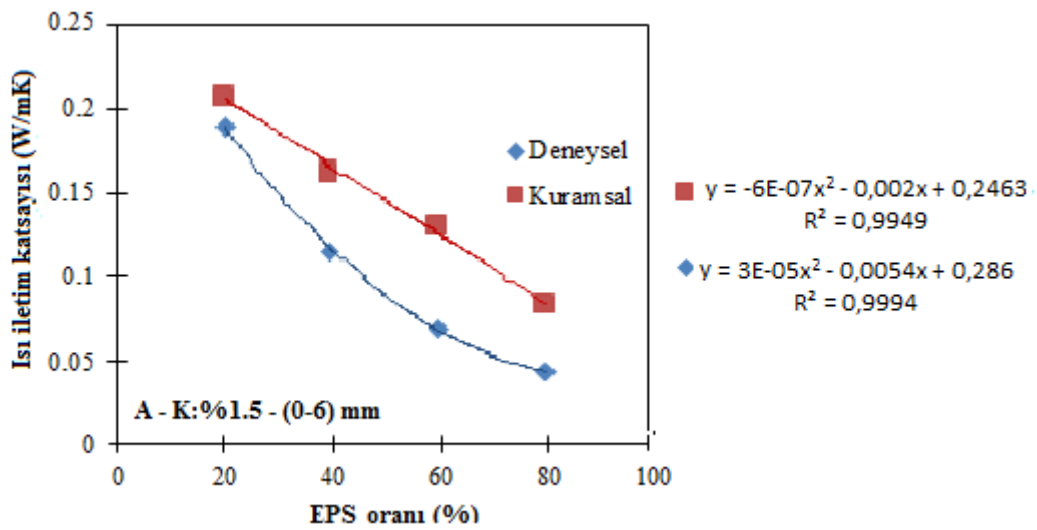
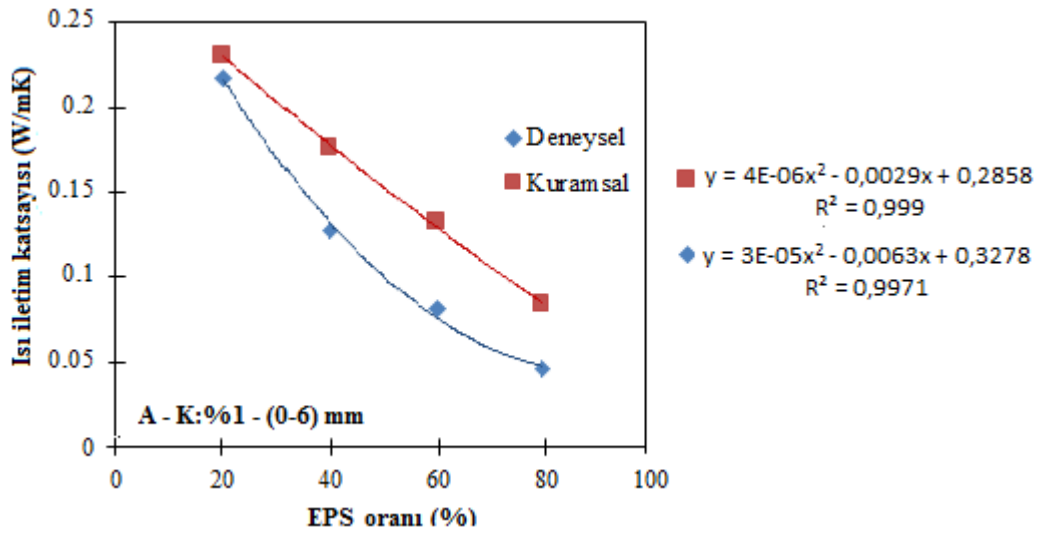
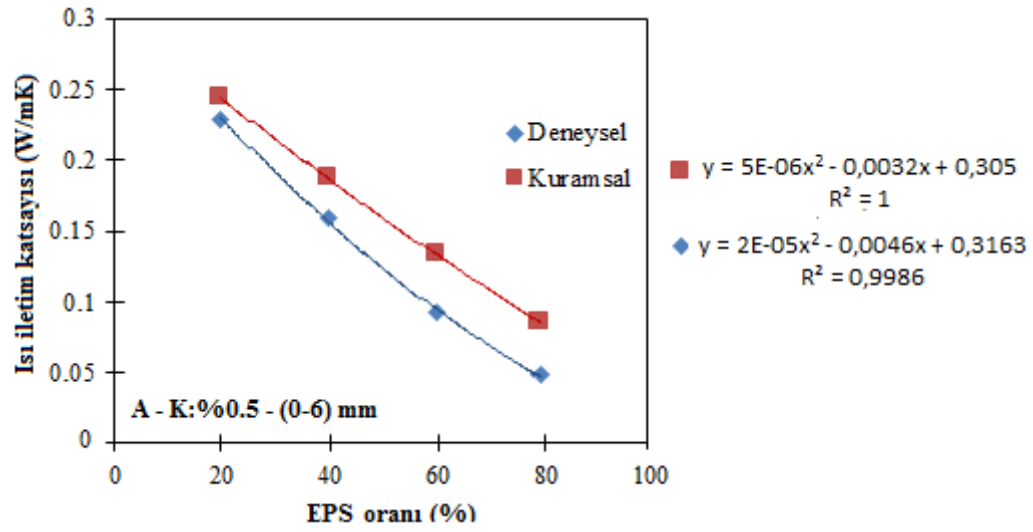
Şekil 7.15. Çimento + kayısı bağlayıcılı, 0-3 mm tane çaplı EPS agregalı numunelerin ısı iletim katsayısının deneysel ve kuramsal değişim eğrileri, denklem ve R-kare değerleri



Şekil 7.16. Çimento + kayısı bağlayıcılı, 0-6 mm tane çaplı EPS agregalı numunelerin ısı iletim katsayısının deneysel ve kuramsal değişim eğrileri, denklem ve R-kare değerleri



Şekil 7.17. Alçı + kayısı bağlayıcılı, 0-3 mm tane çaplı EPS agregalı numunelerin ısı iletim katsayısının deneysel ve kuramsal değişim eğrileri, denklem ve R-kare değerleri



Şekil 7.18. Alçı + kayısı bağlayıcılı, 0-6 mm tane çaplı EPS agregalı numunelerin ısı iletim katsayısının deneysel ve kuramsal değişim eğrileri, denklem ve R-kare değerleri

Şekil 7.11-18'in incelenmesi sonucu cebirsel denklem sonuçlarının deneysel sonuçlardan büyük çıktığı görülmüştür. Bunun nedeni;

- Cebirsel denklemin kuruluşunda yapılan kabullerden,

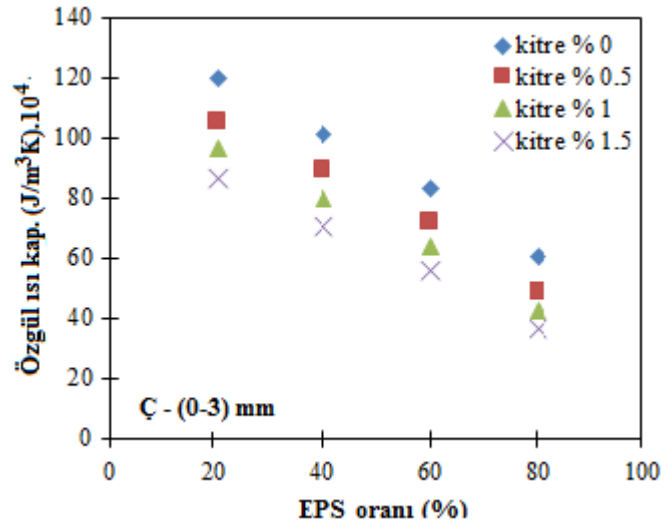
- Karışımlarda kullanılan reçineler, kuruma sürecinde, kuruyarak numune içerisinde mikro yapıda yapay gözeneklerin oluşmasına neden olur. Bu da numunenin gerçekte hesaplanan gözeneklilik oranından daha büyük gözeneklilik oranına sahip olması ve dolayısıyla ısı iletim katsayısının daha da küçülmesi anlamına gelir.

Bu nedenlerden dolayı deneysel ısı iletim katsayıları kuramsal olarak bulunan ısı iletim katsayılarından daha küçük çıkmaktadır.

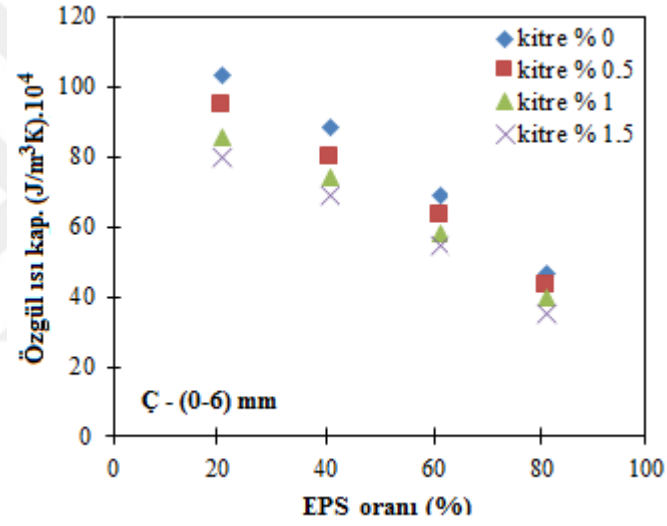
7.2. Hacimsel Özgül Isı Kapasitesi

Bir maddenin öz ısısı, birim kütlenin sıcaklığını 1°C yükseltmek için gerekli olan ısı miktarıdır. Bu parametre yapıda ısısal konfor hesaplamaları ve bina ısı yalıtım analizlerinde önemlidir. Çünkü bir mekanın ısı etkilerinden korunması, mekanı çevreleyen yapı bileşenlerinin ısı depolama niteliğine bağlıdır. Genelde arzu edilen olgu, numunelerin özgül ısı kapasitesi değerinin düşük olması gerektiğidir [98]. Bu nedenle özgül ısı kapasitesinin büyüklüğü veya küçüklüğü ısıtma veya soğutma işleminin gerçekleşme hızını gösterecektir.

Tablo 6.7-10 incelendiğinde, EPS oranı büyüdükçe hacimsel özgül ısı değerinin küçüldüğü görülmektedir. Deneylerde, 0-3 mm tane çaplı blok EPS nin hacimsel özgül ısı kapasitesi $0.034 \times 10^6 \text{ J/m}^3\text{K}$ ve 0-6 mm tane çaplı blok EPS nin hacimsel özgül ısı kapasitesi $0.024 \times 10^6 \text{ J/m}^3\text{K}$ olarak ölçülmüştür. Beton için ise hacimsel özgül ısı kapasitesi literatürde $1.34 \times 10^6 \text{ J/m}^3\text{K}$ olarak verilmektedir (EK Tablo 7) [101,107].

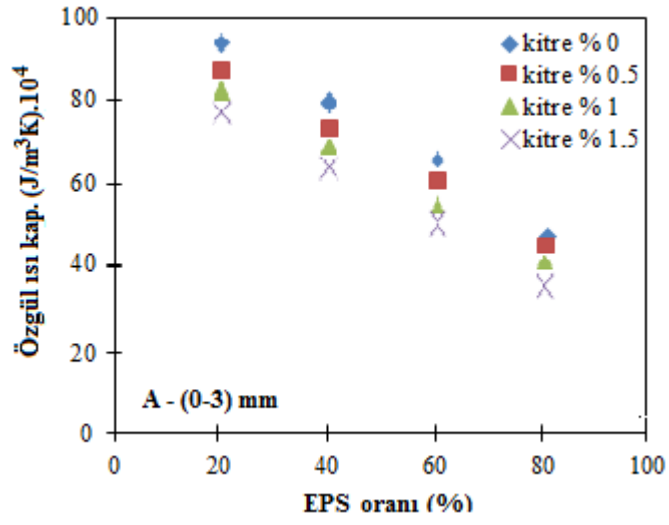


a)

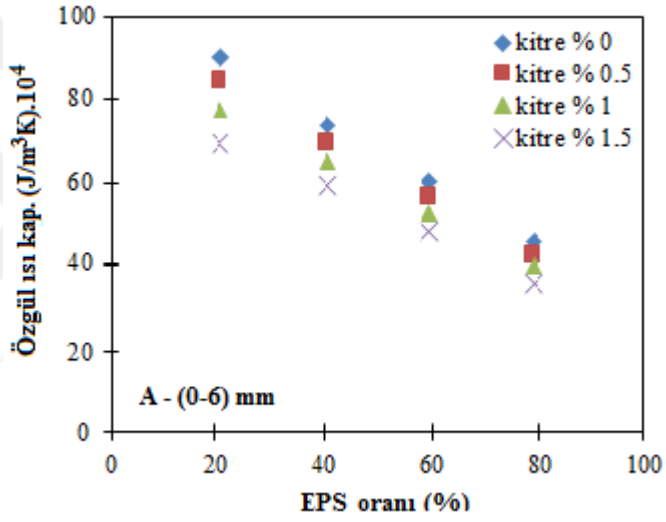


b)

Şekil 7.19. Çimento+ kitre bağlayıcılı numunelerde EPS oranı ve kitre katılım oranına bağlı olarak hacimsel özgül ısı kapasitesi değişimi a) EPS tane çapı 0-3 mm b) EPS tane çapı 0-6 mm

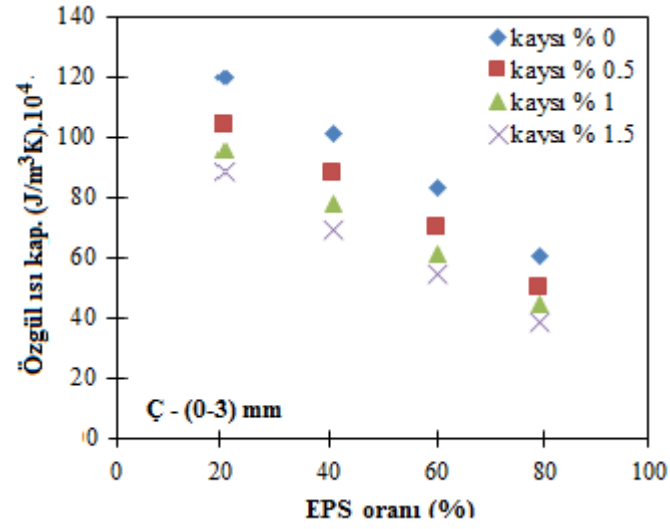


a)

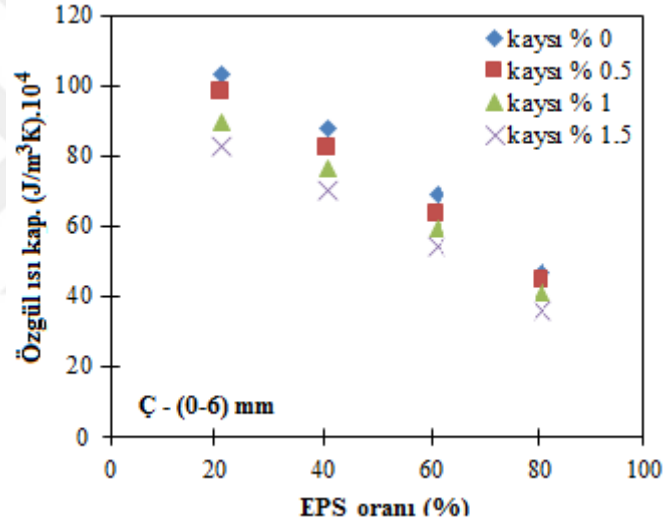


b)

Şekil 7.20. Alçı+ kitre bağlayıcılı numunelerde EPS oranı ve kitre katılım oranına bağlı olarak hacimsel özgül ısı kapasitesi değişimi a) EPS tane çapı 0-3 mm b) EPS tane çapı 0-6 mm

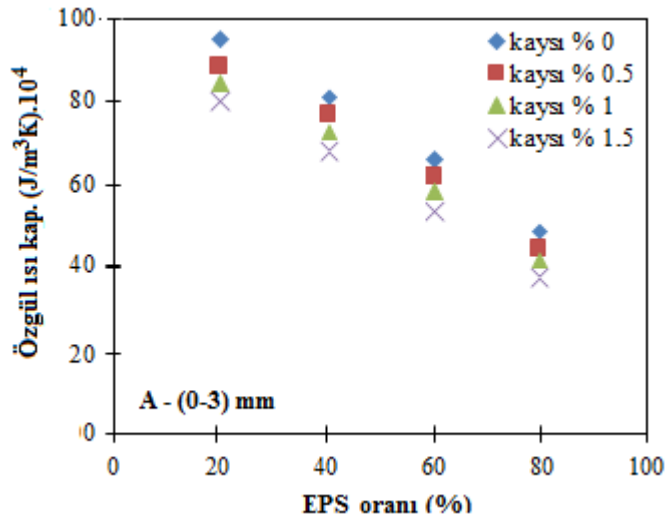


a)

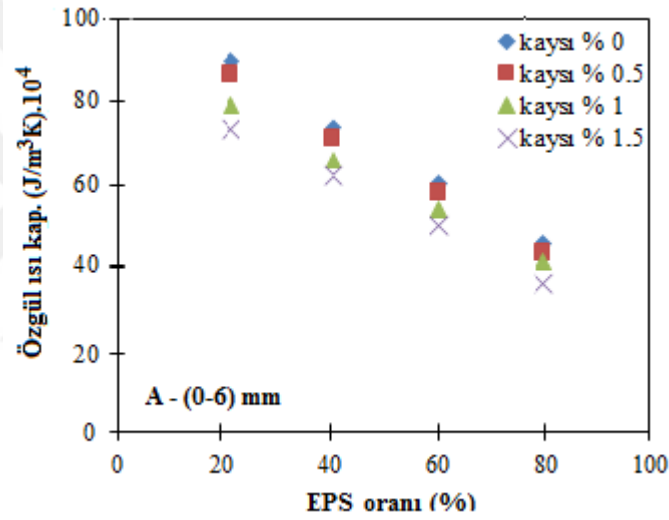


b)

Şekil 7.21. Çimento + kayısı bağlayıcılı numunelerde EPS oranı ve kayısı reçinesi katılım oranına bağlı olarak hacimsel özgül ısı kapasitesi değişimi a) EPS tane çapı 0-3 mm b) EPS tane çapı 0-6 mm



a)



b)

Şekil 7.22. Alçı+ kayısı bağlayıcılı numunelerde EPS oranı ve kayısı reçinesi katılım oranına bağlı olarak hacimsel özgül ısı kapasitesi değişimi a) EPS tane çapı 0-3 mm b) EPS tane çapı 0-6 mm

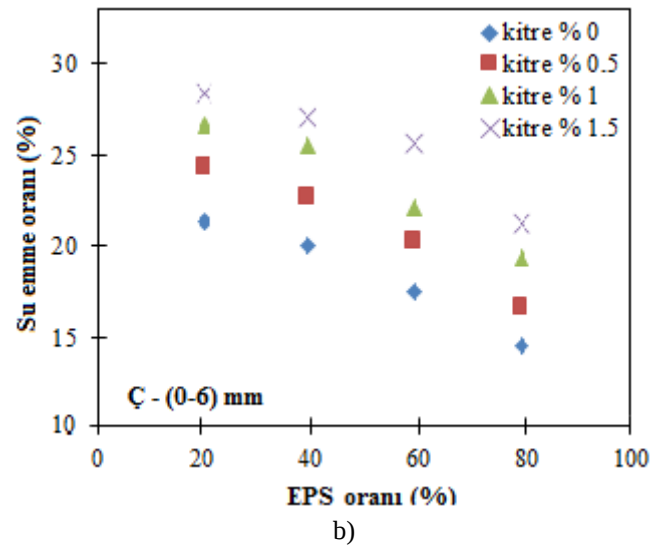
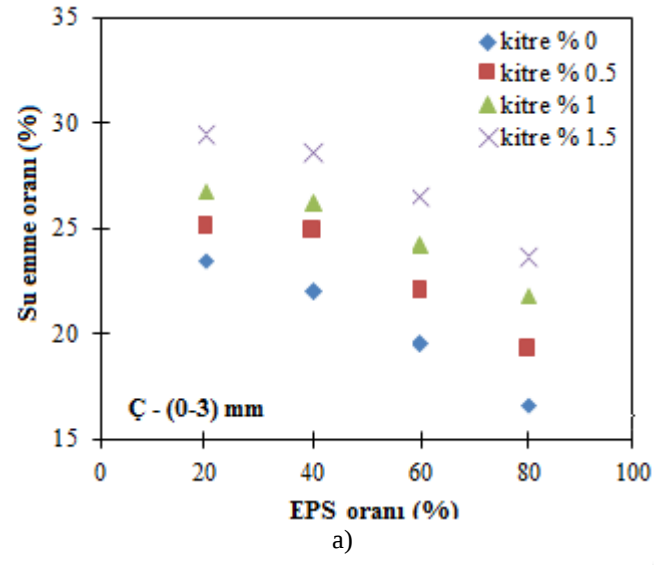
Şekil 7.19-22 incelendiğinde, reçine katılım oranları arttıkça özgül ısı kapasitelerinin küçüldüğü görülmektedir. Sonuçta EPS ve reçine katılım oranlarının artması numunelerin hacimsel özgül ısı kapasitesinin küçülmesine neden olmaktadır. Bir mekanın ısı etkilerinden korunması, mekanı çevreleyen yapı bileşenlerinin ısı depolama niteliğine bağlıdır. Genelde arzu edilen, numunelerin özgül ısı kapasitesi değerinin küçük olmasıdır. Bu küçüklük betona verdiği bir avantajdır [98]. Küçülme nedeni ise EPS nin gözenekli yapısı ve reçinelerden kaynaklanan ilave gözeneklerdir. EPS ve reçine oranının artması ile, ısı geçişine karşı direnç artacak ve özgül ısı kapasitesi de küçülecektir. Şekil

7.19-22 ve Tablo 6.7-10 incelendiğinde, en küçük özgül ısı kapasitesi $35.0 \cdot 10^4$ (J/m³.K) değeri ile 0-6 mm tane çaplı ve % 80 EPS katılım oranlı, %1.5 kitle katkılı alçılı numunede tespit edilirken, en büyük özgül ısı kapasitesi de $120 \cdot 10^4$ (J/m³.K) değeri ile 0-3 mm tane çaplı ve % 20 EPS katılım oranlı reçinesiz çimentolu numunede tespit edilmiştir.

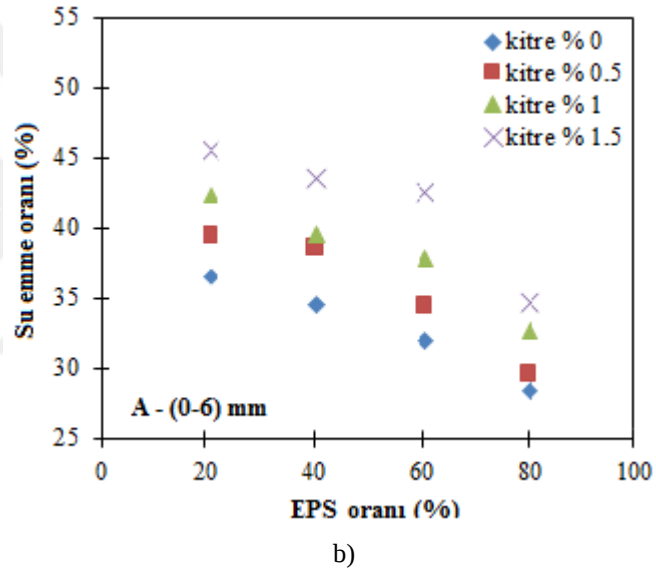
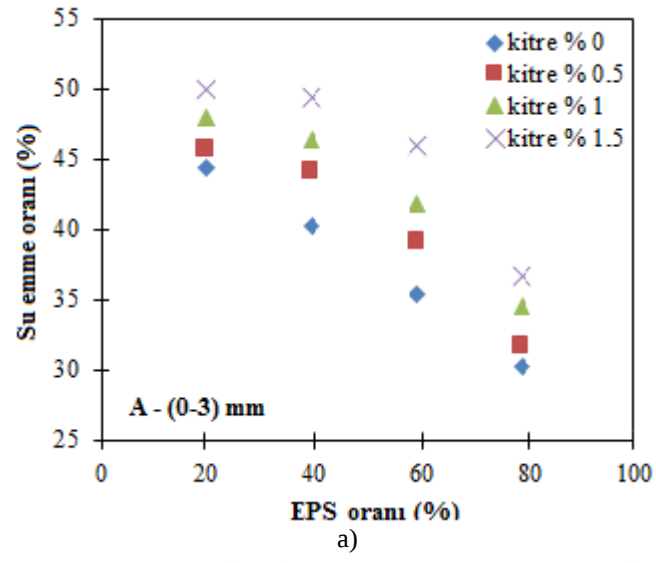
Dış duvarlarda yazın depolanan güneş ısı, gece iç ve dış ortama geri dönecektir. Kışın ise dış ortam sıcaklığı önemli ölçüde iç ortam sıcaklığından düşük olup ısınn önemli miktarı dış ortama kaçmaktadır. Bu açıdan dış duvarın yüksek ısı depolama özelliğinde olması gereksiz bir enerji sarfiyatına neden olur. Bu nedenle EPS oranındaki artış ile özgül ısı kapasitesindeki küçülme arzu edilen bir olgu olacaktır.

7.3. Su Emme Deneyi

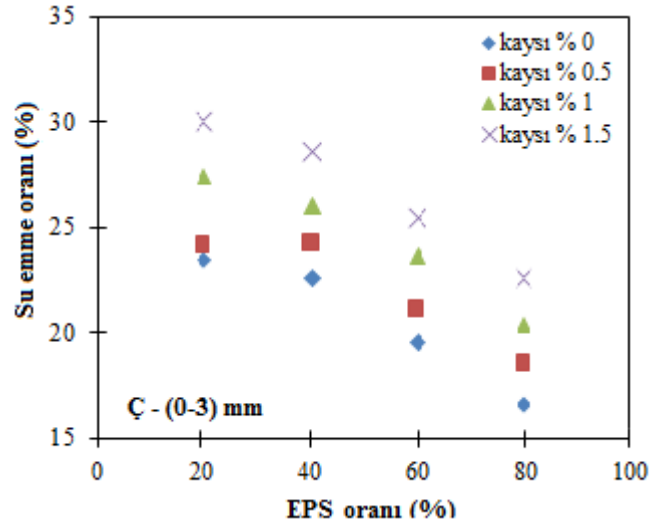
Numunelerin 24 saatlik su içerisinde bekletilme sürecinde (6.28) eşitliği ile hesaplanan su emme oranları, Tablo 6.11-14’de verilmiştir. Bu tabloların incelenmesi halinde, numunelerde EPS oranı arttıkça su emme oranları küçüldüğü görülmektedir. Bunun nedeni EPS’nin kapalı gözenekli, ıslanmaz ve suyu itici bir özelliğe sahip (hydrofobic) olmasından kaynaklanmaktadır [98]. Su emme deneyi sonucu elde edilen veriler Şekil 7.23-26 ‘da verilmiştir.



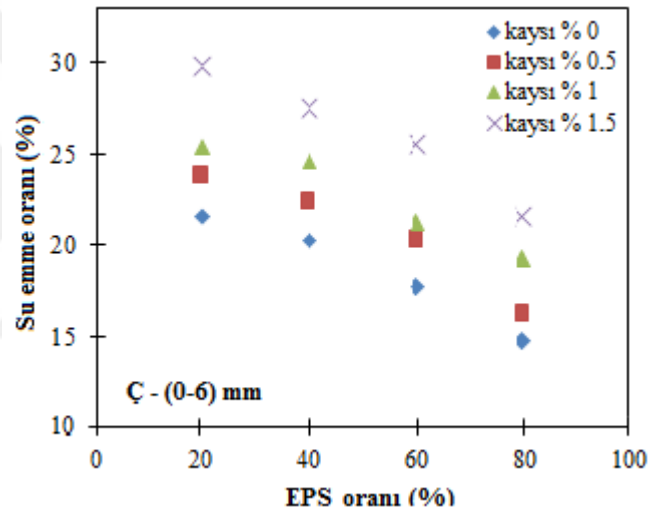
Şekil 7.23. Çimento + kitre bağlayıcı numunelerde su emme oranlarının EPS oranı ile değişimi
a) 0-3 mm EPS tane çaplı, b) 0-6 mm EPS tane çaplı



Şekil 7.24. Alçı + kitre bağlayıcı numunelerde su emme oranlarının EPS oranı ile değişimi
a) 0-3 mm EPS tane çaplı, b) 0-6 mm EPS tane çaplı

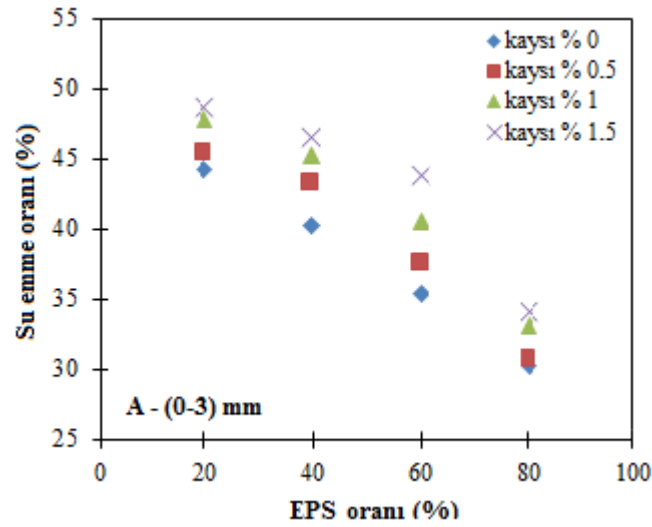


a)

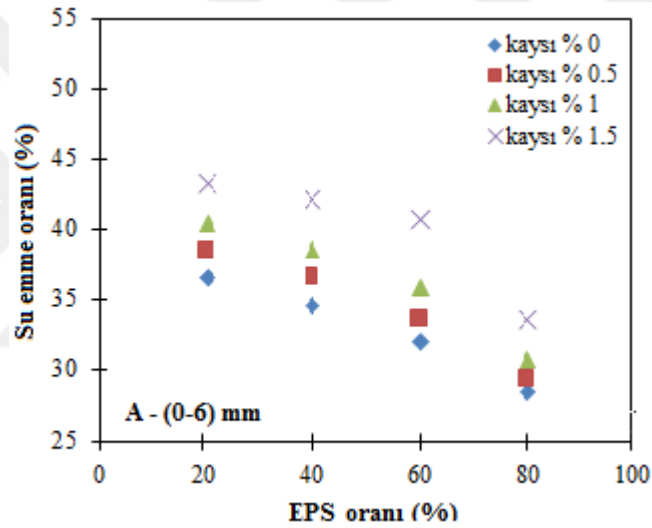


b)

Şekil 7.25. Çimento + kayısı bağlayıcı numunelerde su emme oranlarının EPS oranı ile değişimi
a) 0-3 mm EPS tane çaplı, b) 0-6 mm EPS tane çaplı



a)

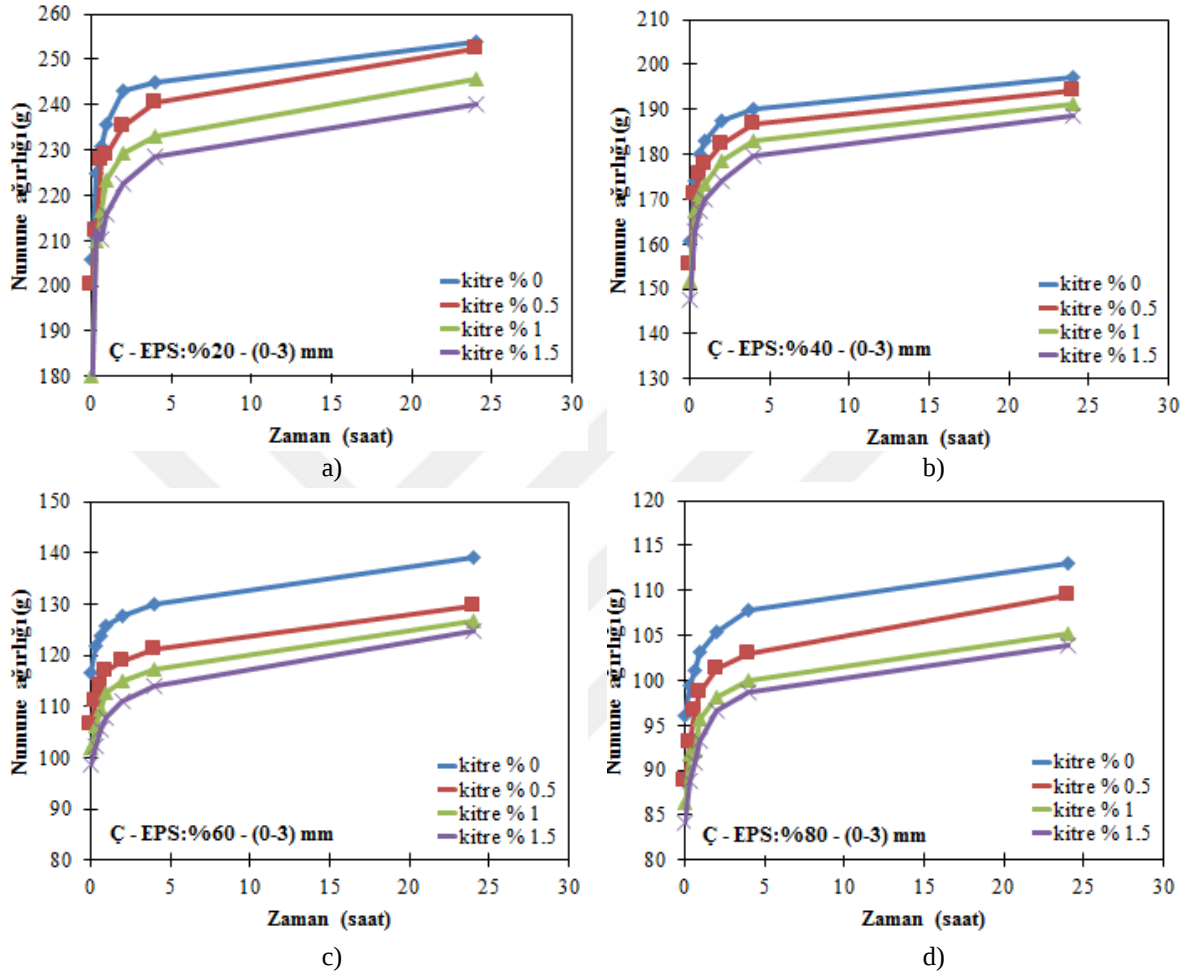


b)

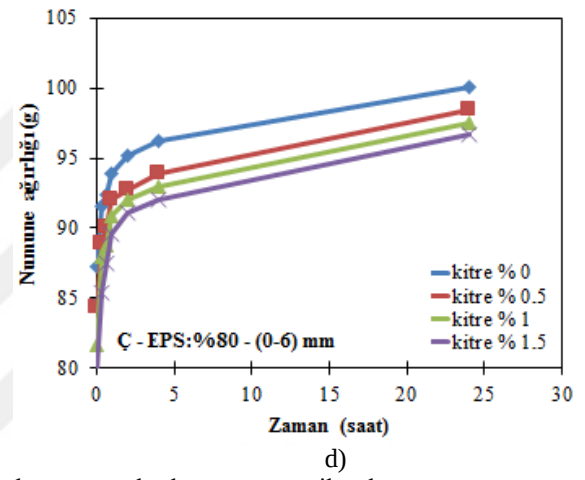
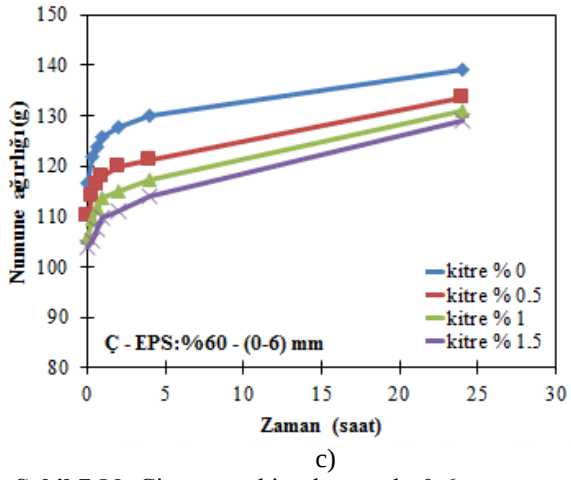
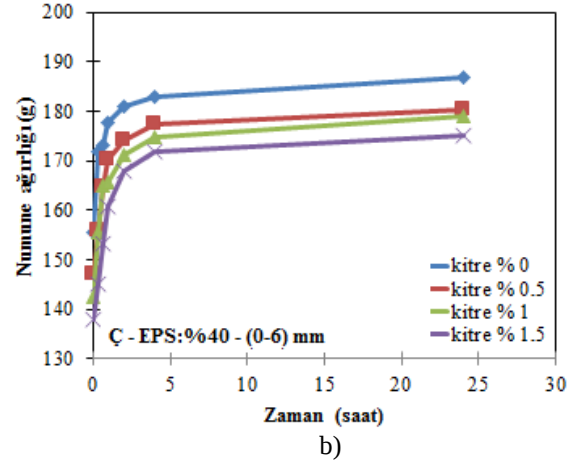
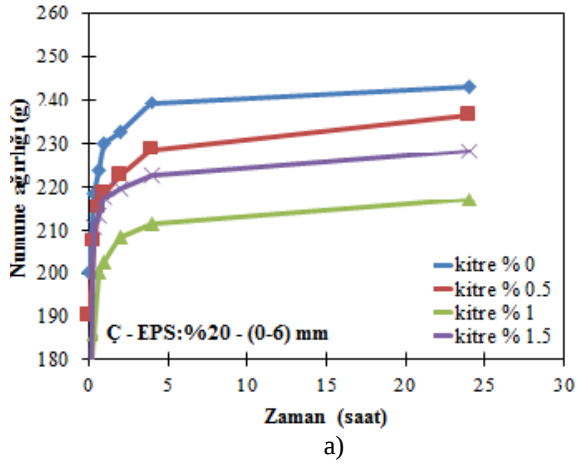
Şekil 7.26. Alçı + kayısı bağlayıcı numunelerde su emme oranlarının EPS oranı ile değişimi
a) 0-3 mm EPS tane çaplı, b) 0-6 mm EPS tane çaplı

Gerek kitre katkı ve gerekse kayısı ağacı reçinesi katkıli çimentolu numunelerin su emme oranı %30 değerinin altında çıkmıştır. Dolayısıyla bu tür reçine katkıli çimento betonlarının su ile direkt ilişkili yerlerde kullanılabileceği ve 0°C altındaki sıcaklıklarda donma, çatlama ve dağılma risklerinin olmayacağını gösterir. Alçılı numunelerde ise tamamına yakını %30 değerinden büyük çıkmıştır. Dolayısıyla su ile direkt ilişkili yerlerde örneğin dış sıva olarak, donma riski taşıması nedeniyle kullanılmamalı bu tür yerlerde çimentolu karışımlar tercih edilmelidir. Alçılı karışımlar iç sıva, dekorasyon malzemesi çatı altı yalıtım sıvası gibi yerlerde ise rahatça kullanılabilir durumdadır.

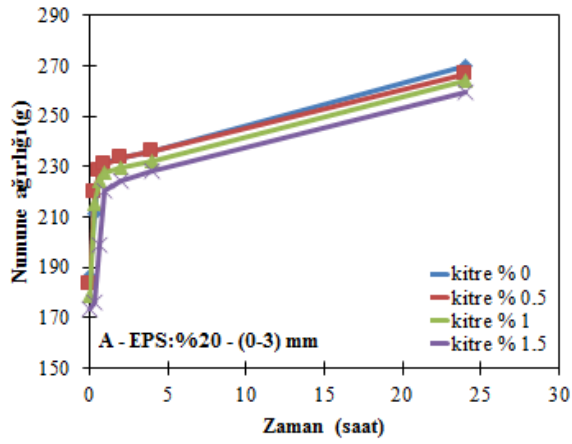
Şekil 7.27-34'de, çimento ve alçılı numunelerin su havuzunda 24 saatlik bekleme sürecinde su emme miktarlarının zamana göre değişimi grafikleri verilmiştir.



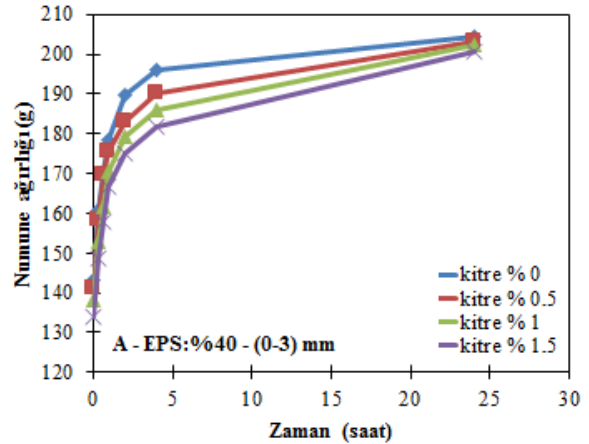
Şekil 7.27. Çimento + kitre karışımı, 0-3 mm tane çaplı numunelerde su emme miktarlarının zamana göre değişimi a) EPS oranı %20, b) EPS oranı %40, c) EPS oranı %60, d) EPS oranı %80



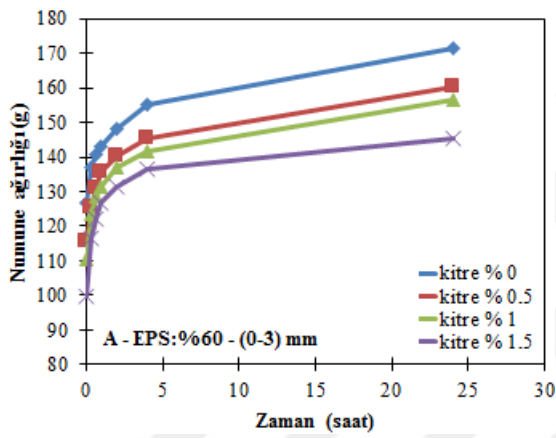
Şekil 7.28. Çimento + kitre karışıklı, 0-6 mm tane çaplı numunelerde su emme miktarlarının zamana göre değişimi a) EPS oranı %20, b) EPS oranı %40, c) EPS oranı %60, d) EPS oranı %80



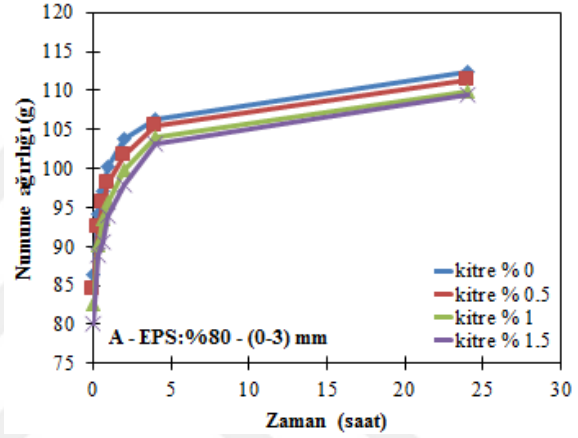
a)



b)

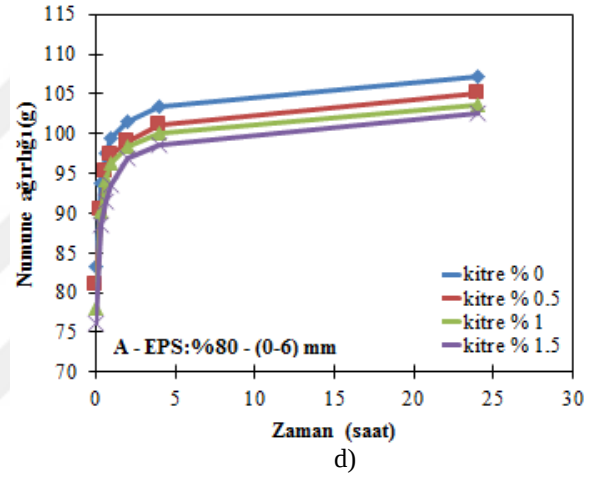
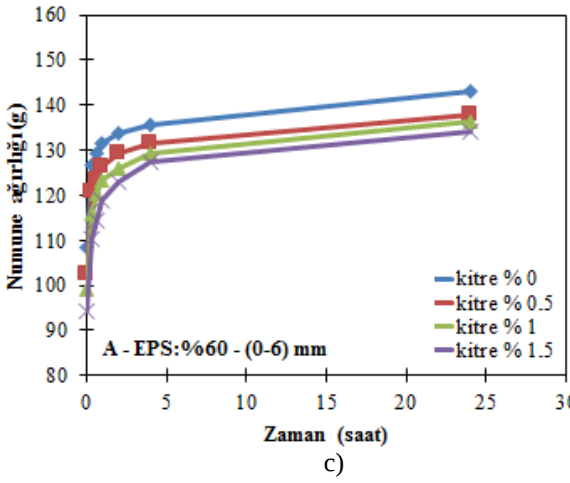
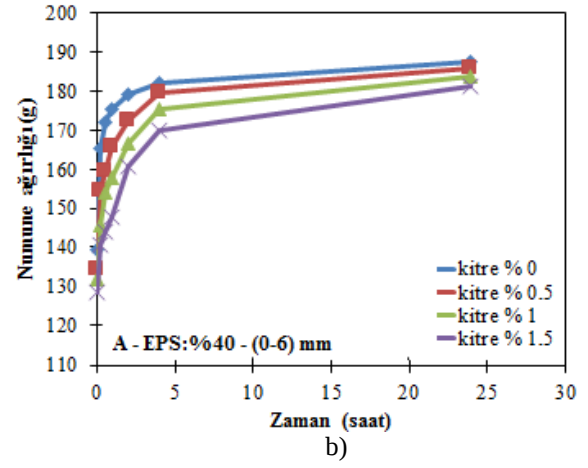
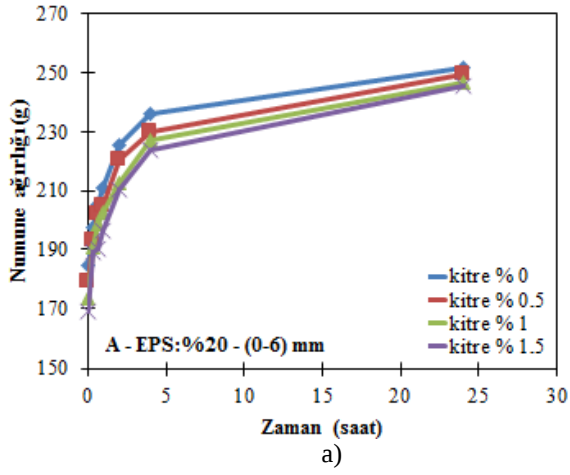


c)

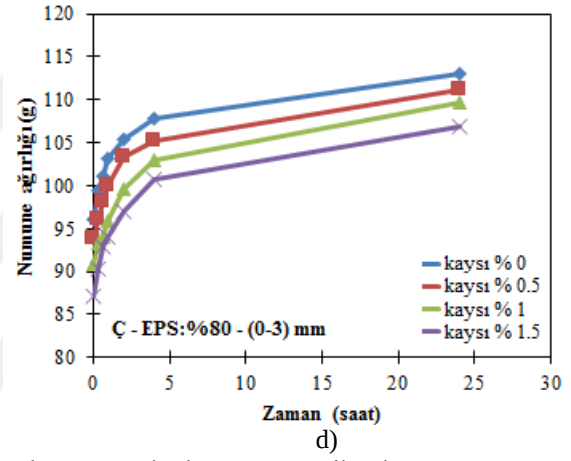
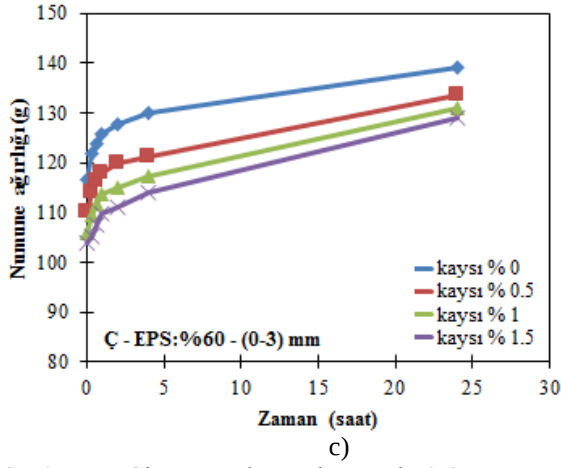
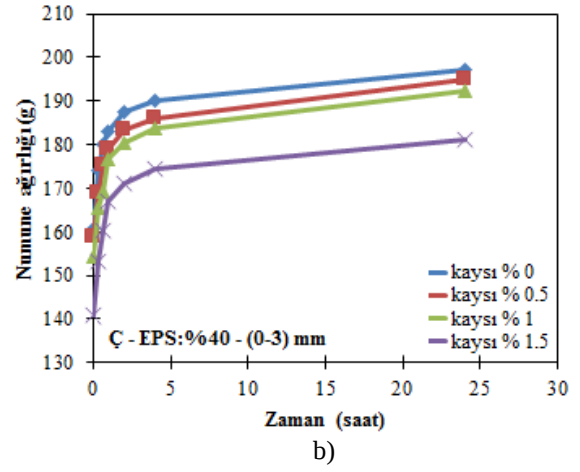
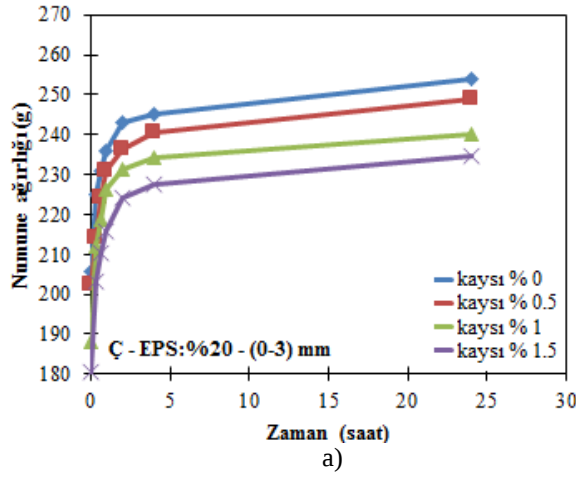


d)

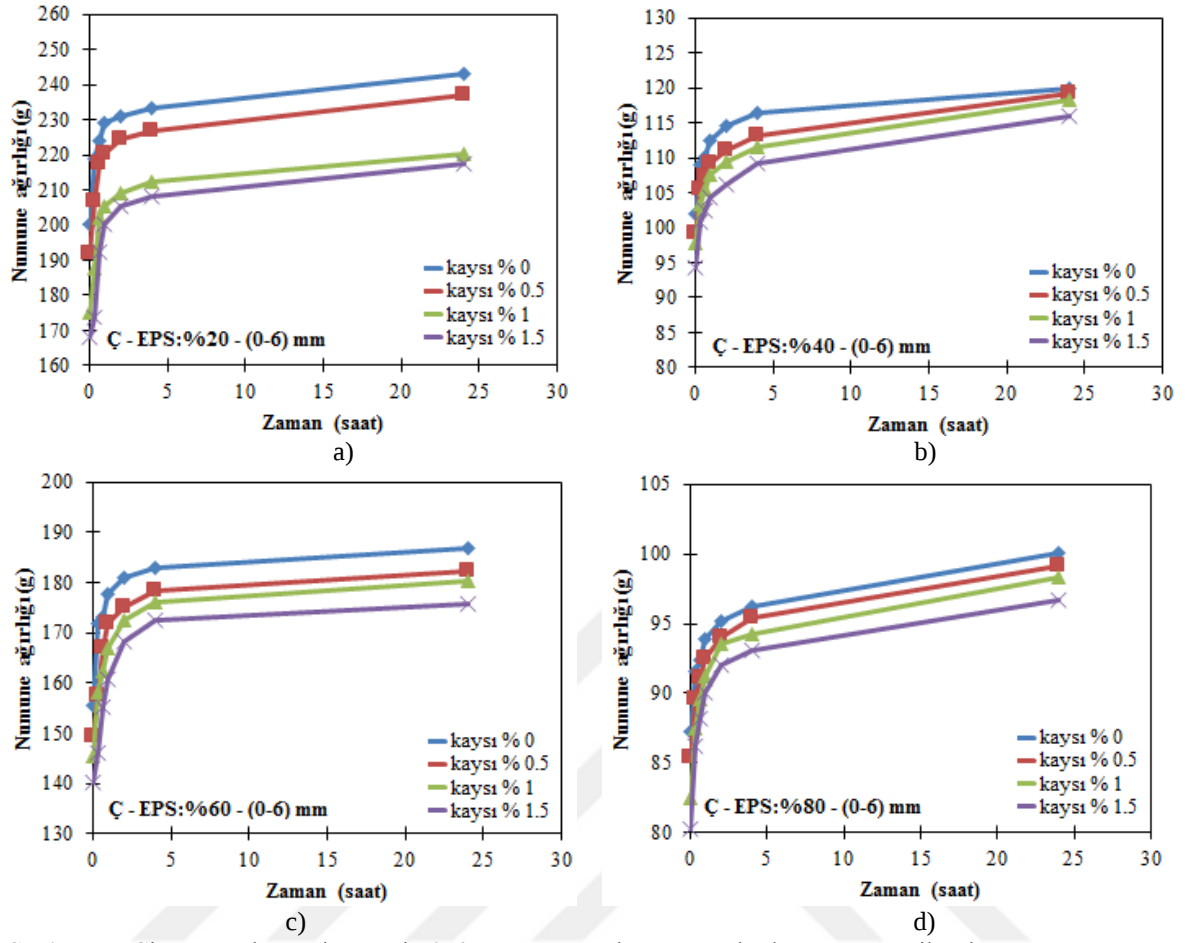
Şekil 7.29. Alçı + kitre karışımı, 0-3 mm tane çaplı numunelerde su emme miktarlarının zamana göre değişimi a) EPS oranı %20, b) EPS oranı %40, c) EPS oranı %60, d) EPS oranı %80



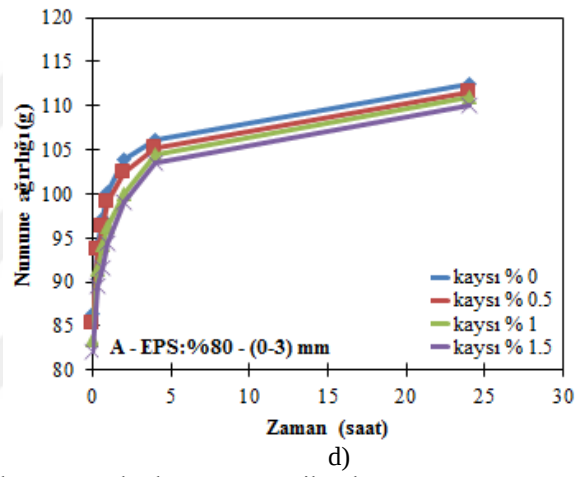
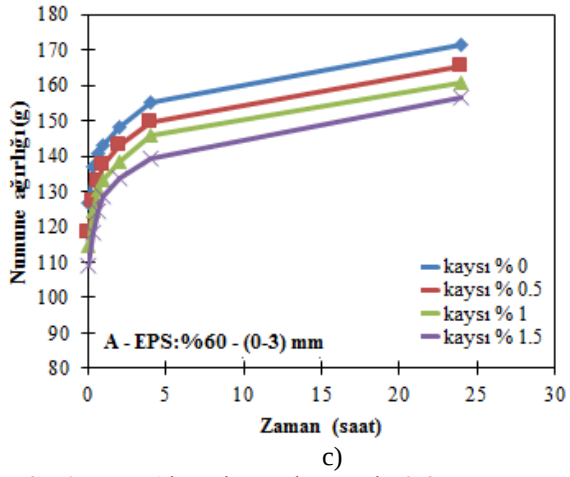
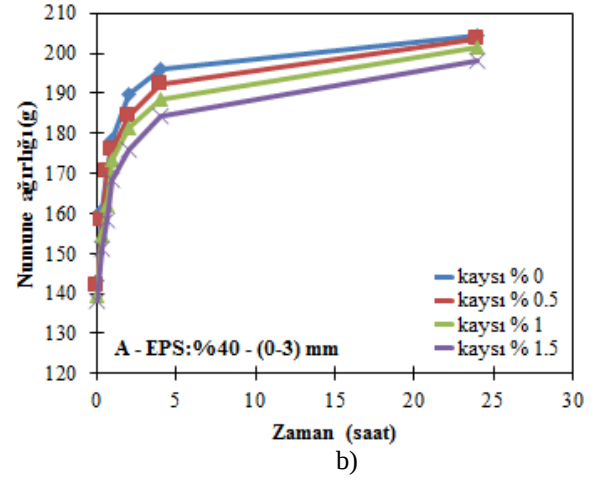
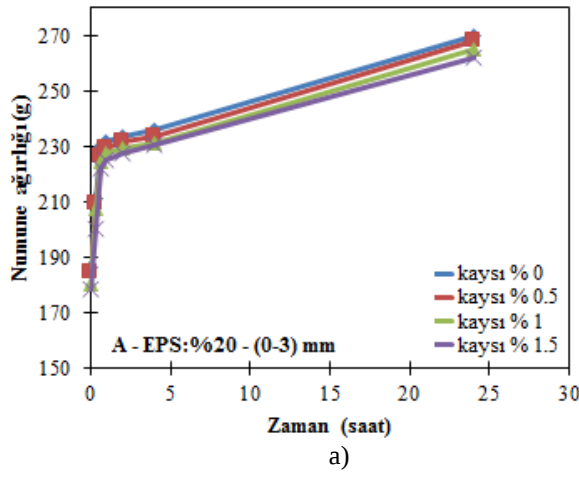
Şekil 7.30. Alçı + kitre karışımı, 0-6 mm tane çaplı numunelerde su emme miktarlarının zamana göre değişimi a) EPS oranı %20, b) EPS oranı %40, c) EPS oranı %60, d) EPS oranı %80



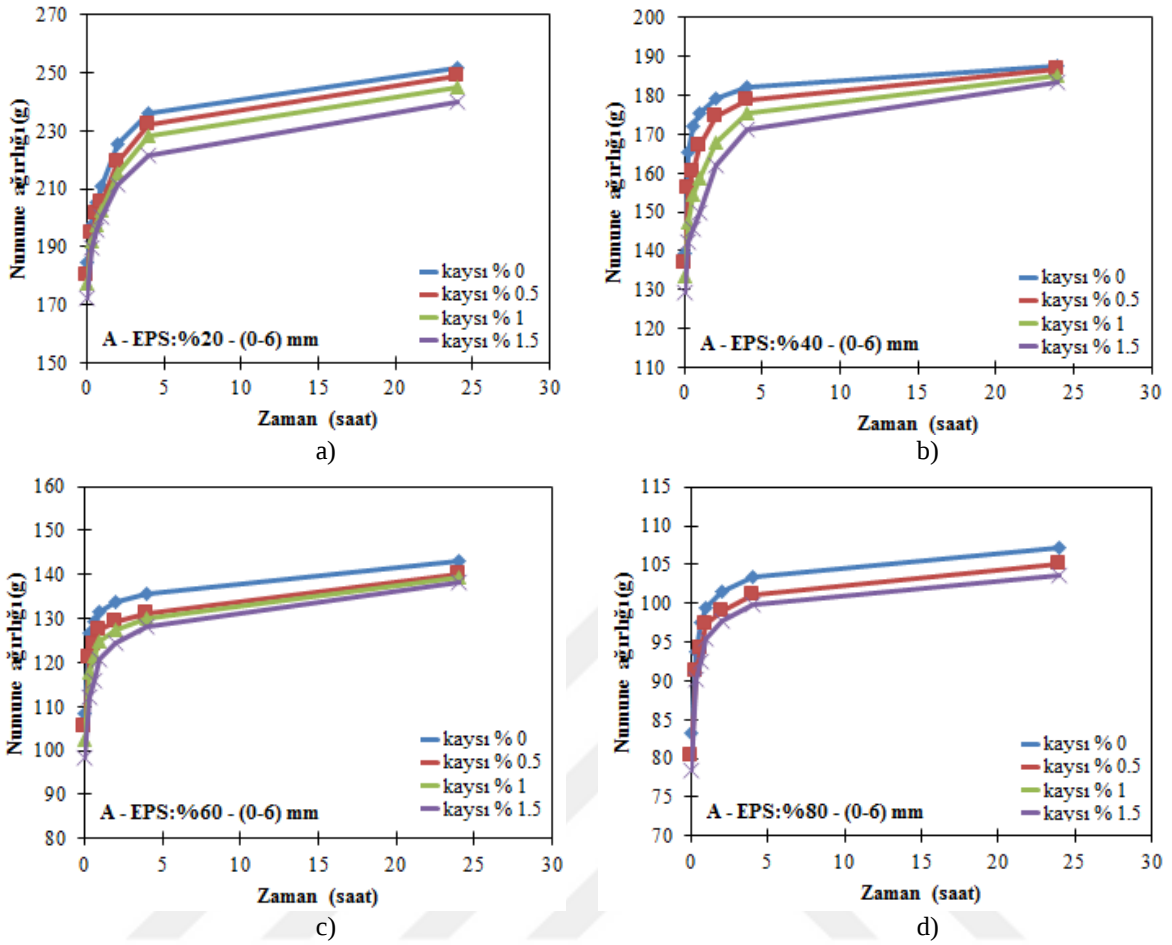
Şekil 7.31. Çimento + kaysı karışımı, 0-3 mm tane çaplı numunelerde su emme miktarlarının zamana göre değişimi a) EPS oranı %20, b) EPS oranı %40, c) EPS oranı %60, d) EPS oranı %80



Şekil 7.32. Çimento + kayısı karışımı, 0-6 mm tane çaplı numunelerde su emme miktarlarının zamana göre değişimi a) EPS oranı %20, b) EPS oranı %40, c) EPS oranı %60, d) EPS oranı %80



Şekil 7.33. Alçı + kaysı karışımı, 0-3 mm tane çaplı numunelerde su emme miktarlarının zamana göre değişimi a) EPS oranı %20, b) EPS oranı %40, c) EPS oranı %60, d) EPS oranı %80

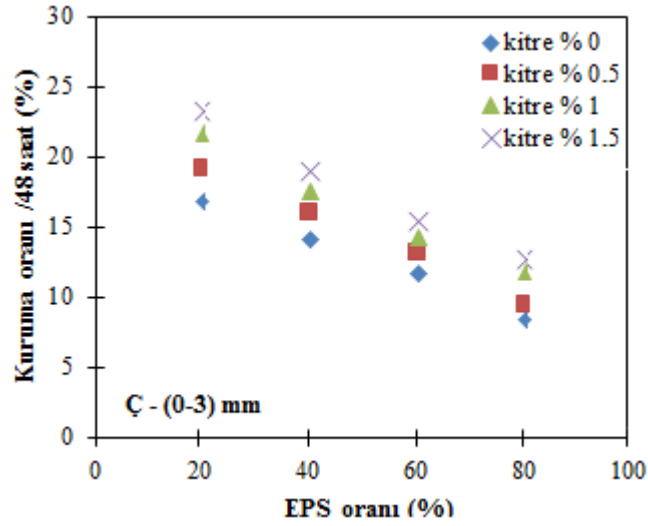


Şekil 7.34. Alçı + kaysı karışımı, 0-6 mm tane çaplı numunelerde su emme miktarlarının zamana göre değişimi a) EPS oranı %20, b) EPS oranı %40, c) EPS oranı %60, d) EPS oranı %80

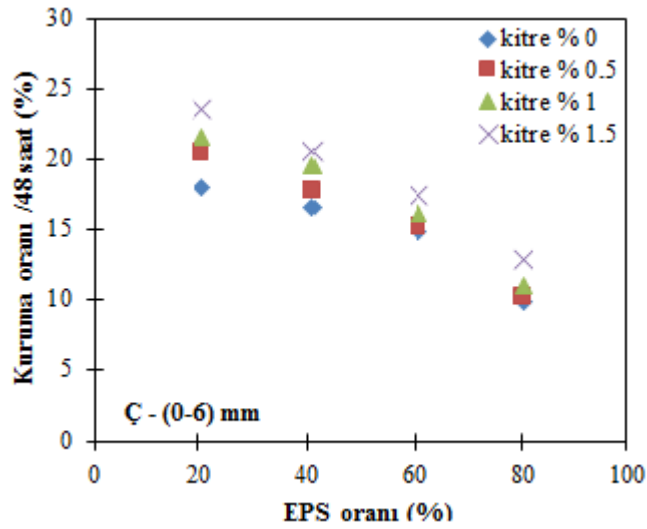
Bu grafiklerden birinci saatte, numunelerin su emme hızlarının daha yüksek olduğu daha sonraki saatlerde kademeli olarak azaldığı, alçılı numunelerin su emme hızlarının çimentolu numunelere göre daha hızlı olduğu görülmektedir. Numunelerin bünyesine su kılcal kanallar vasıtasıyla emilir. Başlangıç anında tamamen kuru olan numune, su ile teması sağlandığında, hızlı bir şekilde suyu emerek ağırlığının artacaktır. Sonra süreç ilerledikçe numune suya doyacağı için su emme hızı yavaşlayacaktır [92,93]. Alçılı numunelerde bu kılcal kanalların daha yaygın olması nedeniyle su emme daha hızlıdır. Subaşı [102] yapmış olduğu çalışmada, genleştirilmiş kil agregalı betonlarda su emme oranlarını %12-25 olarak belirlemiştir.

7.4. Kuruma Oranı Deneyi

Numunelerin teneffüs kabiliyeti mevcudiyetinin araştırılması amacıyla yapılan deneylerin sonuçları Şekil 7.35-38’de verilmiştir. Sonuçlar EPS oranına karşılık, numunelerin 48 saatteki kuruma oranlarının değişimini göstermektedir.



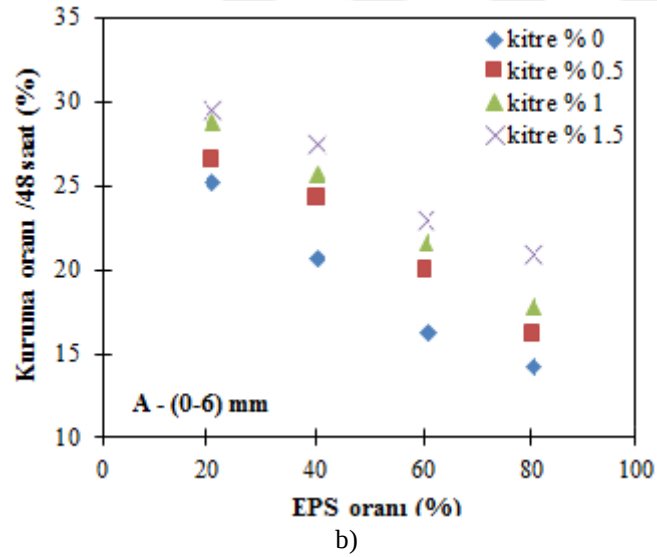
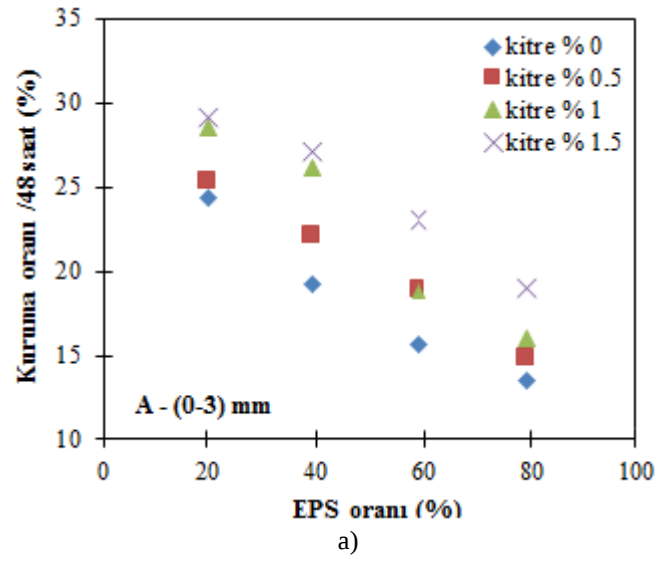
a)



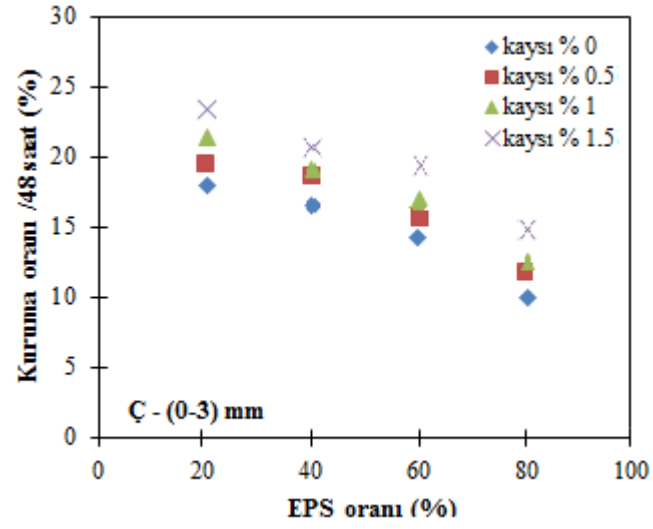
b)

Şekil 7.35. Çimento + kitre bağlayıcı numunelerde kuruma oranlarının EPS oranı ile değişimi

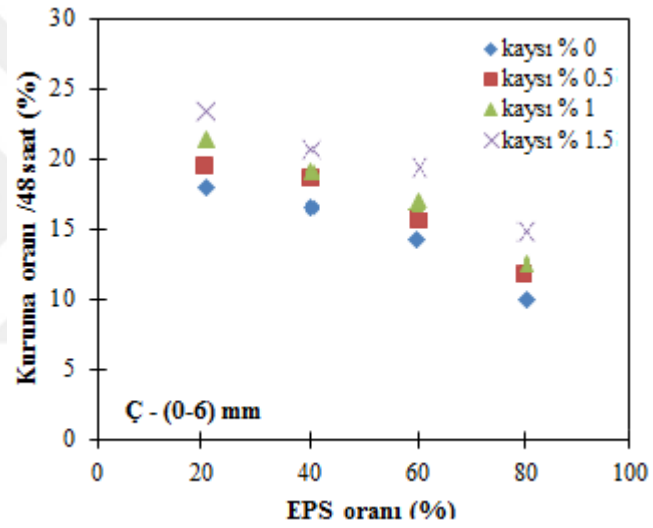
a) 0-3 mm EPS tane çaplı, b) 0-6 mm EPS tane çaplı



Şekil 7.36. Alçı + kitre bağlayıcı numunelerde kuruma oranlarının EPS oranı ile değişimi
a) 0-3 mm EPS tane çaplı, b) 0-6 mm EPS tane çaplı

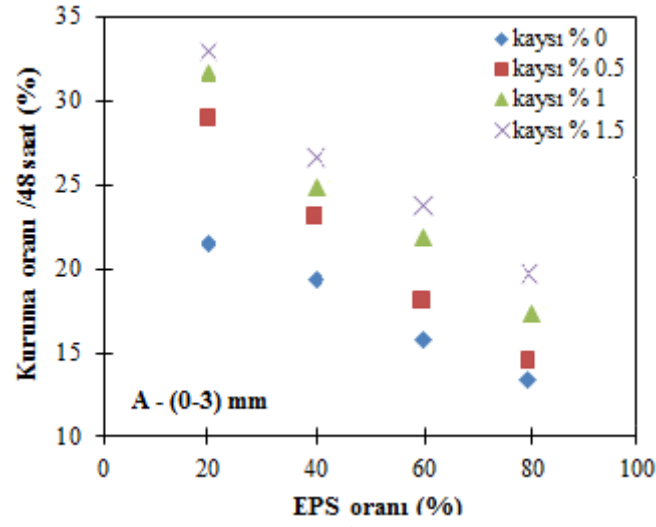


a)

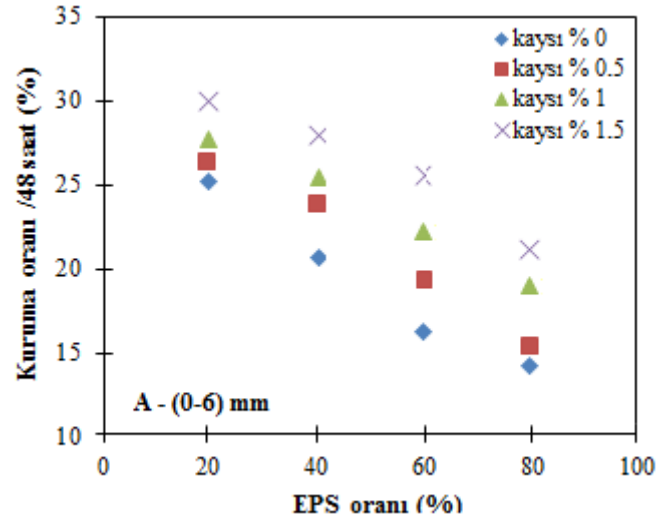


b)

Şekil 7.37. Çimento + kayısı bağlayıcı numunelerde kuruma oranlarının EPS oranı ile değişimi
a) 0-3 mm EPS tane çaplı, b) 0-6 mm EPS tane çaplı



a)

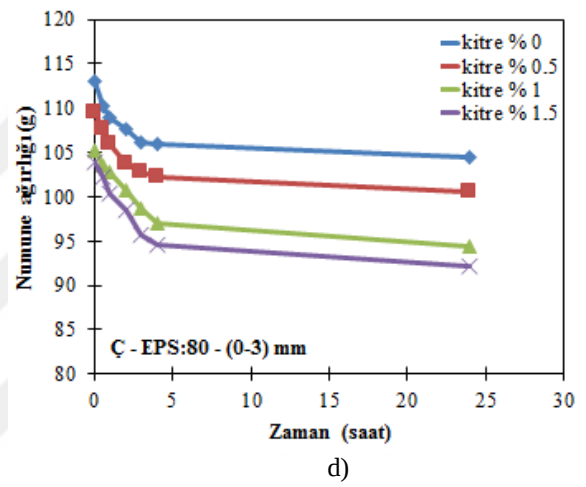
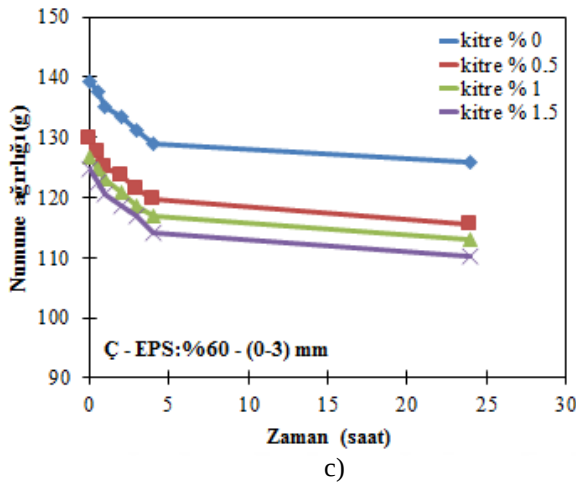
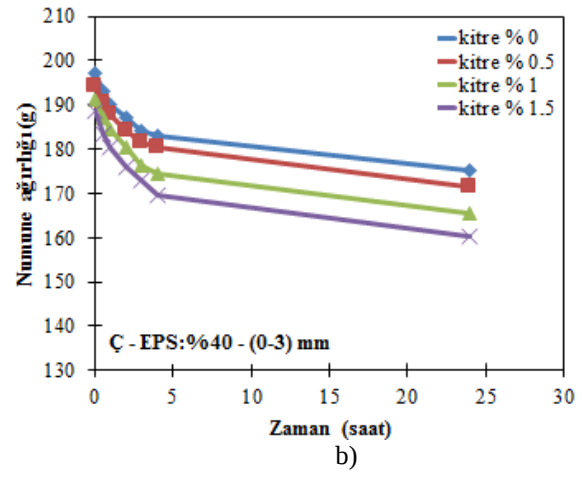
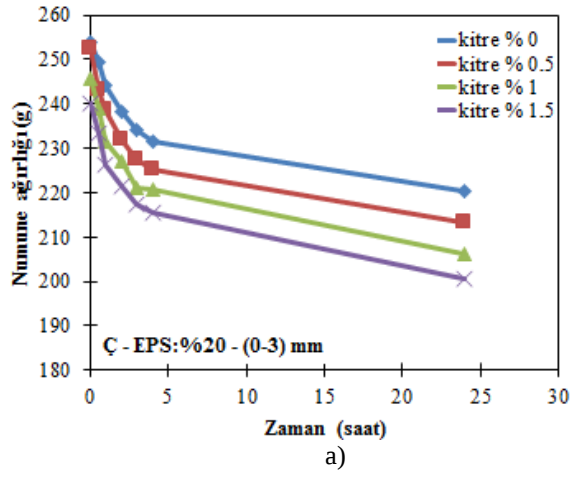


b)

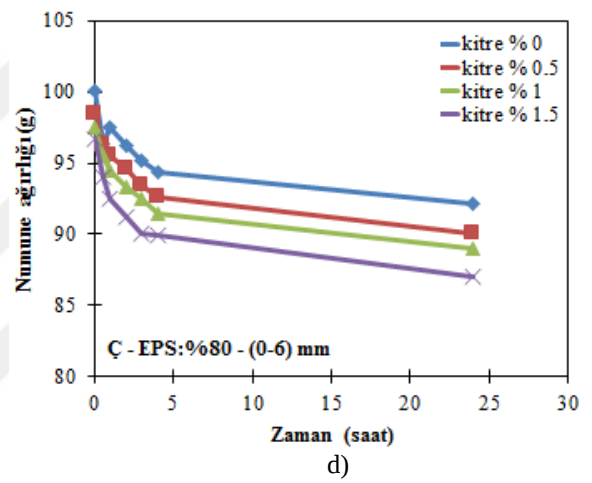
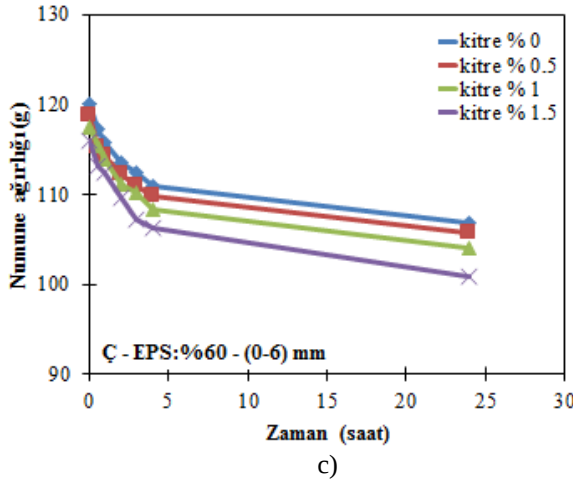
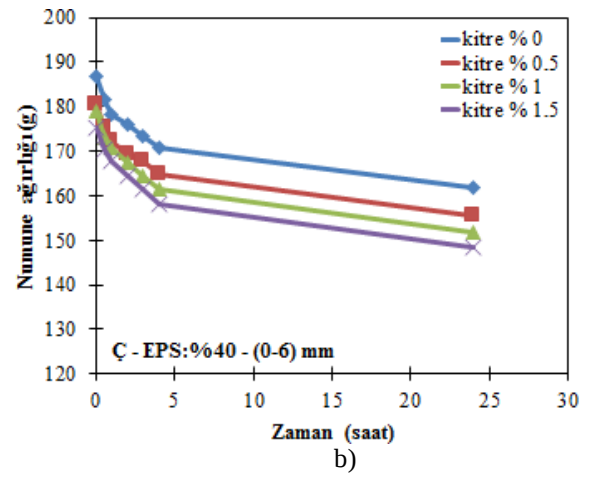
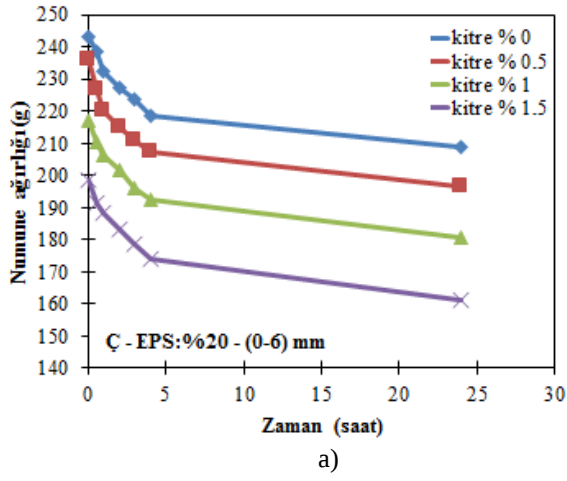
Şekil 7.38. Alçı+ kayısı bağlayıcı numunelerde kuruma oranlarının EPS oranı ile değişimi

a) 0-3 mm EPS tane çaplı, b) 0-6 mm EPS tane çaplı

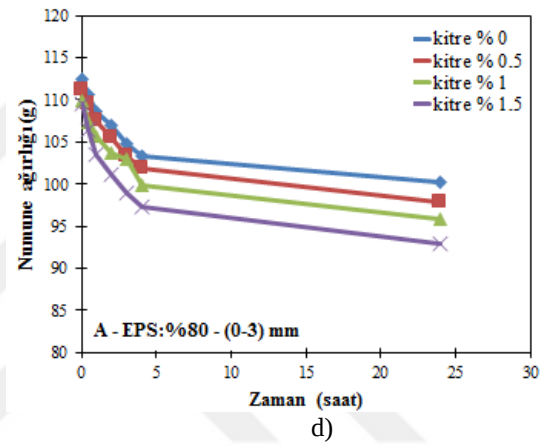
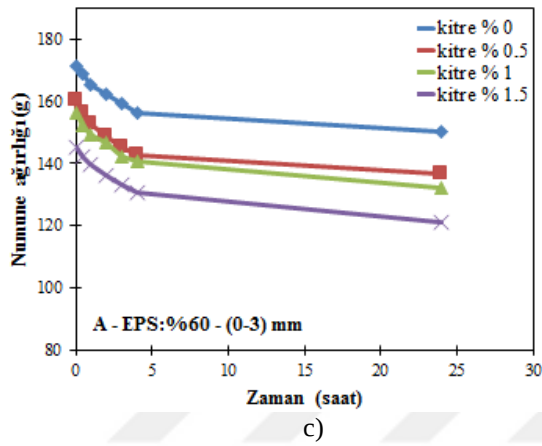
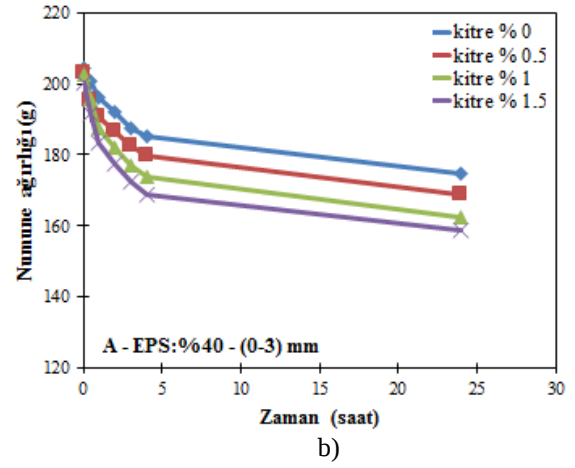
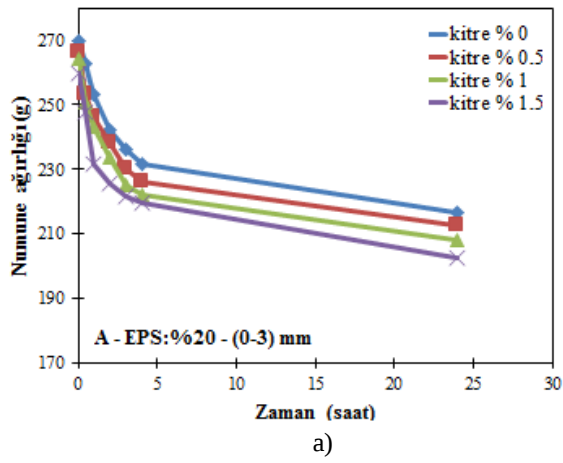
Şekillerin incelenmesi halinde, farklı karışımlarla hazırlanan numunelerin EPS taneciklerinin katılım oranları arttıkça kuruma oranları küçüldüğü görülmektedir. Çünkü EPS nin su emme kabiliyeti yoktur. Bünyesindeki su, sadece bağlayıcı bölgede olup, bu nedenle EPS oranı arttıkça bağlayıcı oranı küçülme ve uzaklaşabilecek su oranı azaldığından kuruma oranı da düşmektedir. Şekil 7.39-46 numunelerin 24 saatlik zaman içerisindeki ağırlık değişimini göstermektedir.



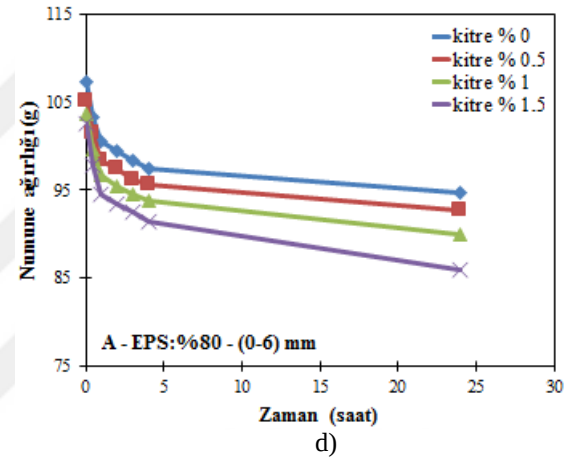
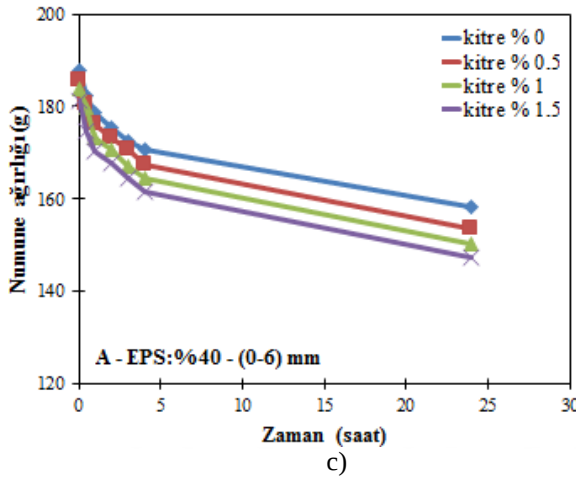
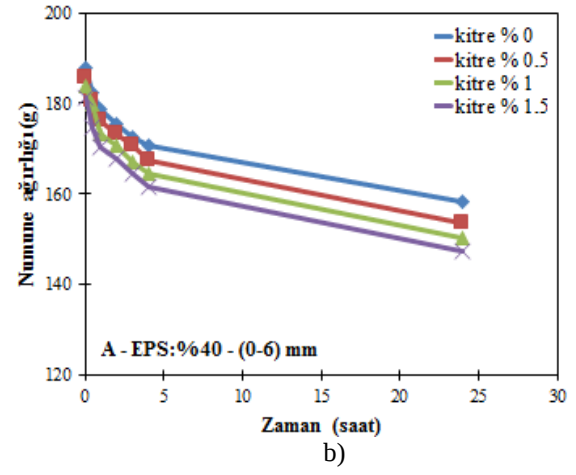
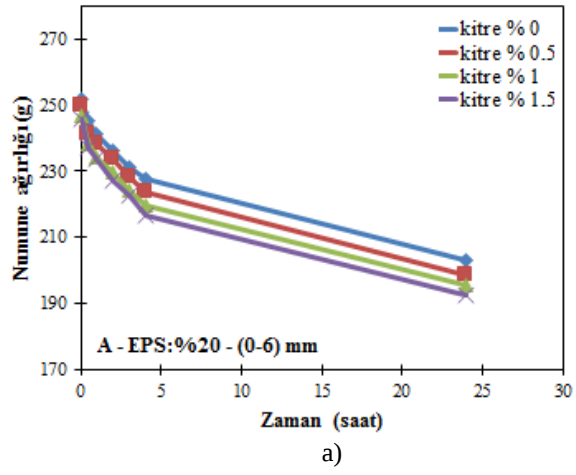
Şekil 7.39. Çimento+ kitre bağlayıcı, 0-3 mm tane çaplı numunelerin 24 saatteki kuruma grafiği
a) EPS oranı %20, b) EPS oranı %40, c) EPS oranı %60, d) EPS oranı %80



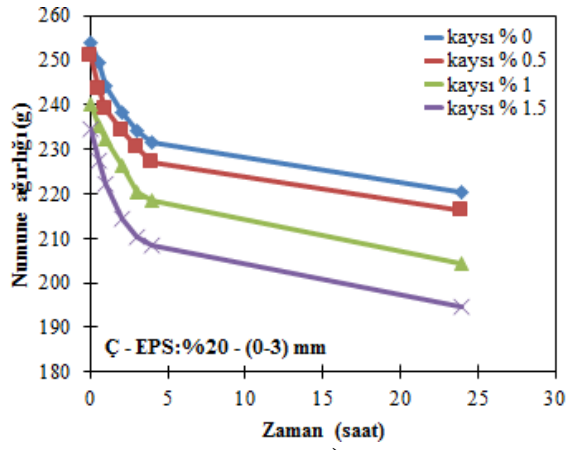
Şekil 7.40. Çimento + kitre bağlayıcı, 0-6 mm tane çaplı numunelerin 24 saatteki kuruma grafiği
a) EPS oranı %20, b) EPS oranı %40, c) EPS oranı %60, d) EPS oranı %80



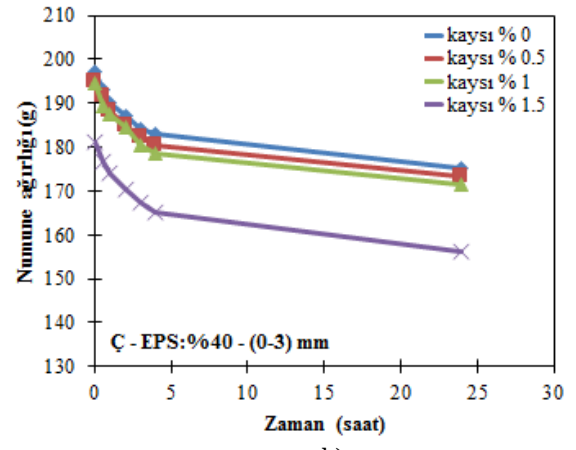
Şekil 7.41. Alçı+ kitre bağlayıcı, 0-3 mm tane çaplı numunelerin 24 saatteki kuruma grafiği
a) EPS oranı %20, b) EPS oranı %40, c) EPS oranı %60, d) EPS oranı %80



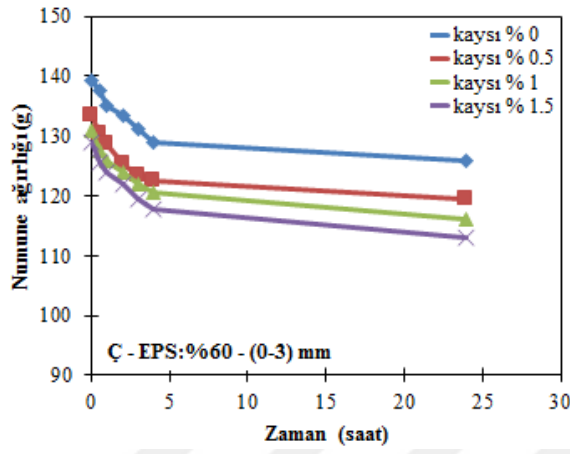
Şekil 7.42. Alçı+ kitre bağlayıcı, 0-6 mm tane çaplı numunelerin 24 saatteki kuruma grafiği
a) EPS oranı %20, b) EPS oranı %40, c) EPS oranı %60, d) EPS oranı %80



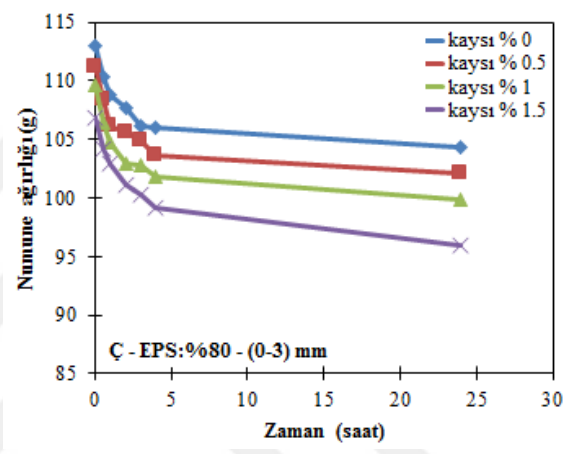
a)



b)

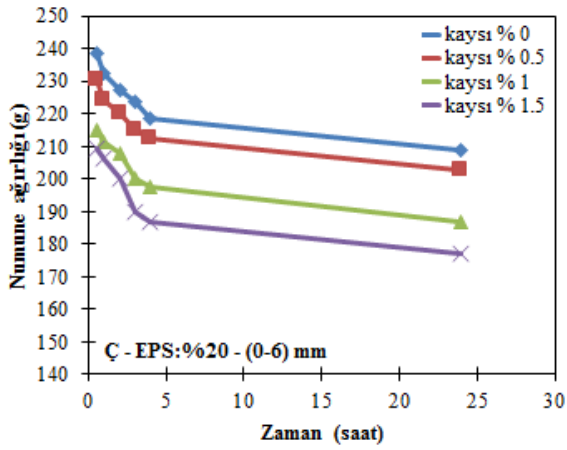


c)

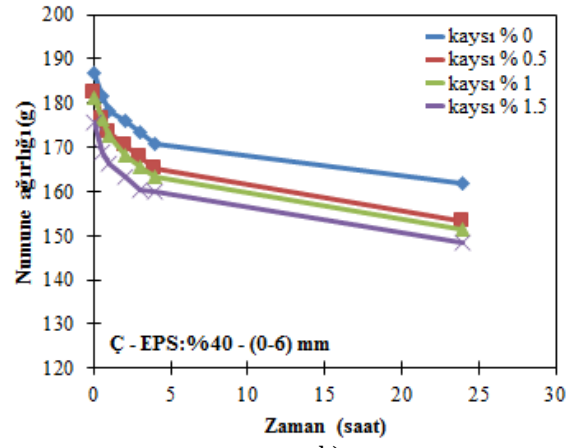


d)

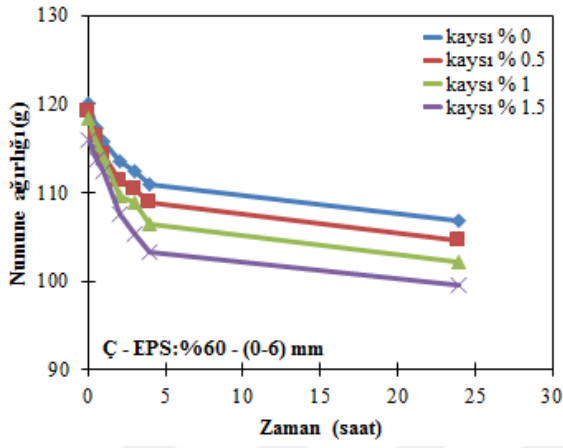
Şekil 7.43. Çimento+ kaysı bağlayıcı, 0-3 mm tane çaplı numunelerin 24 saatteki kuruma grafiği
a) EPS oranı %20, b) EPS oranı %40, c) EPS oranı %60, d) EPS oranı %80



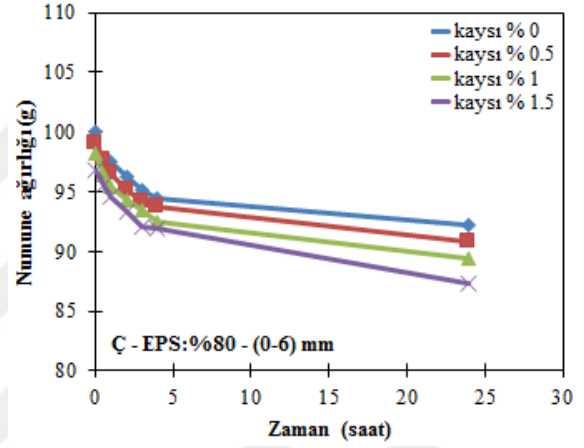
a)



b)

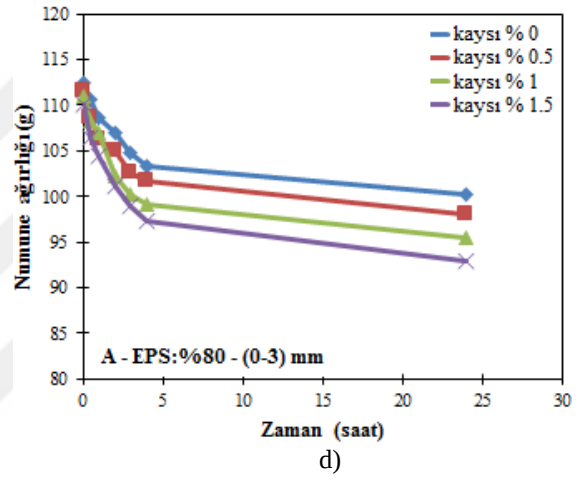
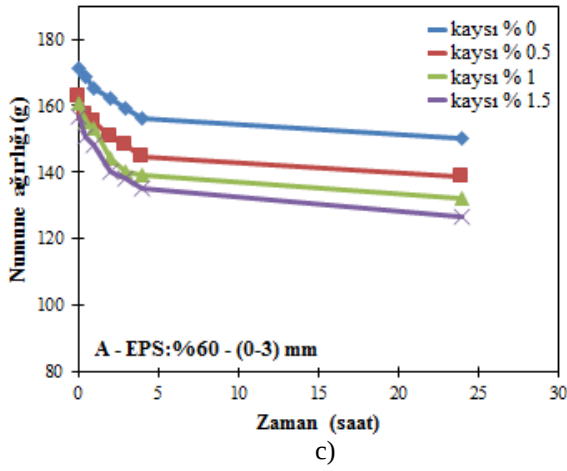
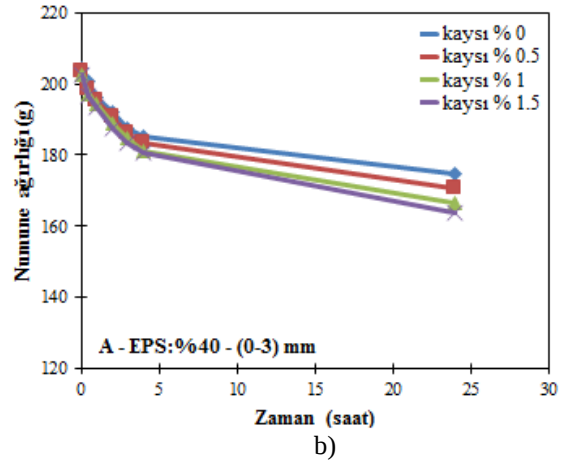
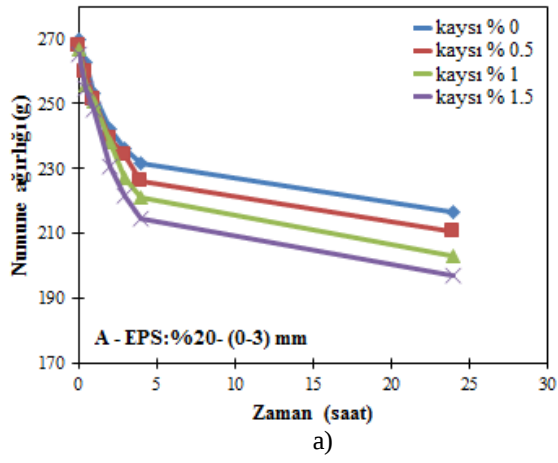


c)

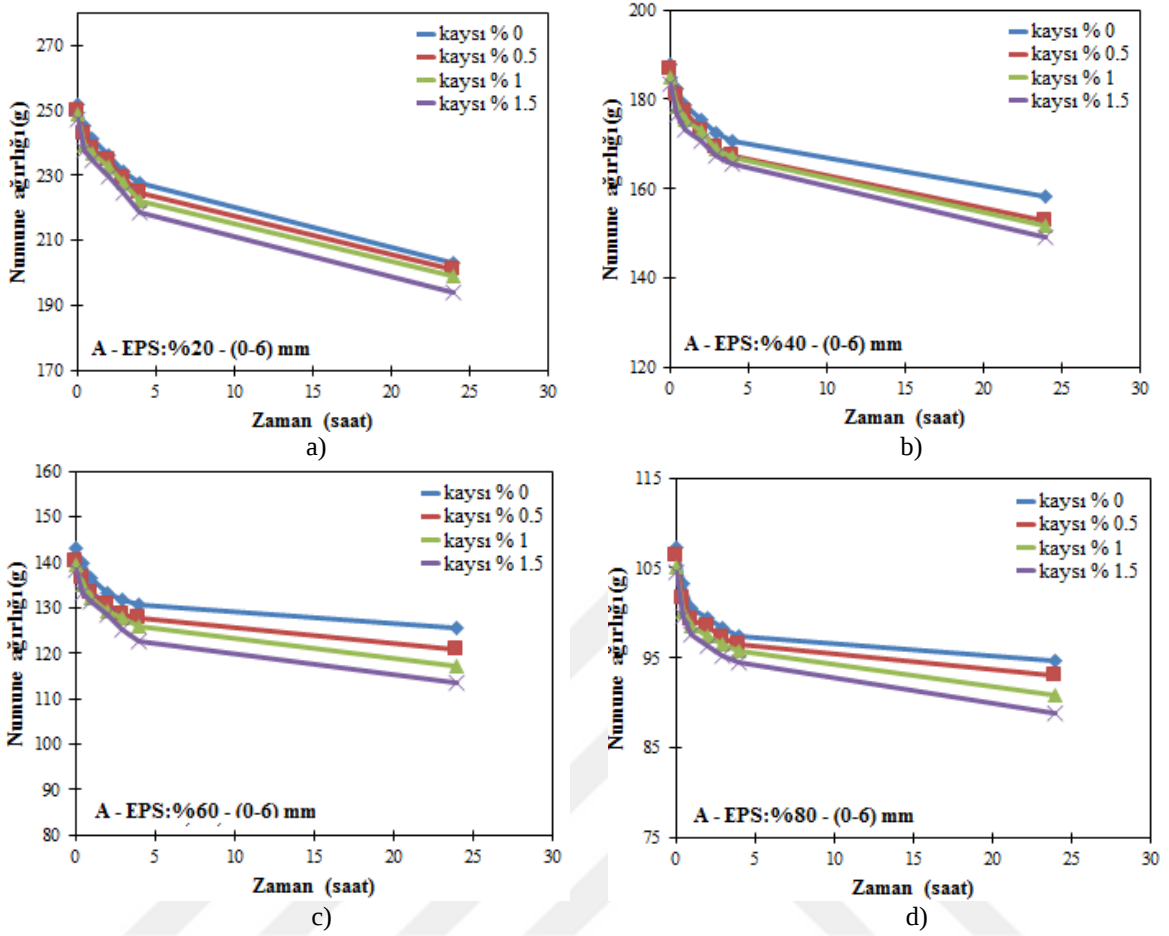


d)

Şekil 7.44. Çimento+ kayısı bağlayıcı, 0-6 mm tane çaplı numunelerin 24 saatteki kuruma grafiği
a) EPS oranı %20, b) EPS oranı %40, c) EPS oranı %60, d) EPS oranı %80



Şekil 7.45. Alçı + kaysı bağlayıcı, 0-3 mm tane çaplı numunelerin 24 saatteki kuruma grafiği
a) EPS oranı %20, b) EPS oranı %40, c) EPS oranı %60, d) EPS oranı %80

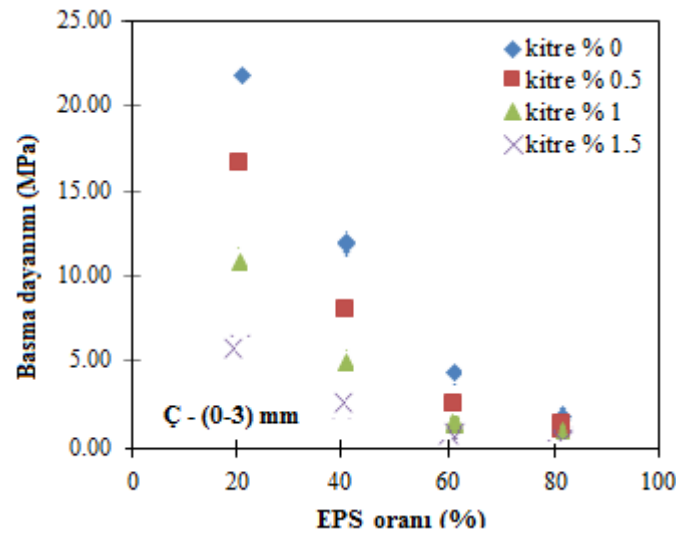


Şekil 7.46. Alçı + kayısı bağlayıcı, 0-6 mm tane çaplı numunelerin 24 saatteki kuruma grafiği
a) EPS oranı %20, b) EPS oranı %40, c) EPS oranı %60, d) EPS oranı %80

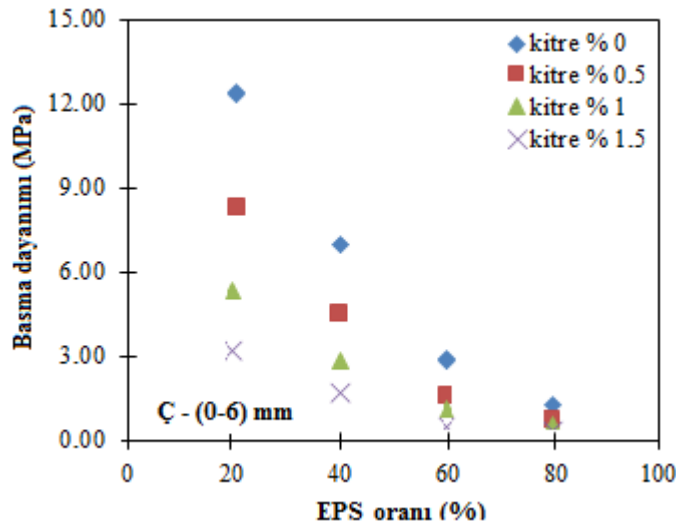
Numunelerin zaman-ağırlık değişimi (kitre veya kayısı reçineli numunelerin 24 saatteki kuruma grafikleri) grafikleri incelendiğinde; kılcal kanallar vasıtasıyla numune yüzeyine doğru gerçekleşen su kaybının EPS taneciklerin yüzeyleri sayesinde daha hızlı gerçekleştiği görülmektedir. EPS oranı arttıkça tanecik yüzeyleri artacağından kuruma daha hızlı gerçekleşecektir. Bu numunelerin az da olsa teneffüs kabiliyetine sahip olduğunu göstermektedir.

7.5. Basma Dayanımı

Tane çapı büyük, EPS ve reçine oranı yüksek olan numunelerde basma mukavemetleri düşük olduğu basma mukavemeti eğrilerinden görülmektedir. Yani reçinelerin katılması ve EPS oranı ve tane çaplarının büyük olması numunelerin basınç dayanımını azalttığı söylenebilir. Bu iki nedene bağlanabilir. Birincisi EPS oranı ve tane çapının büyümesi ile bağlayıcı oranının küçülmesi, ikinci nedeni ise malzemenin bağlayıcı bölgesinde reçinenin oluşturduğu yapay gözeneklerden kaynaklanmaktadır.

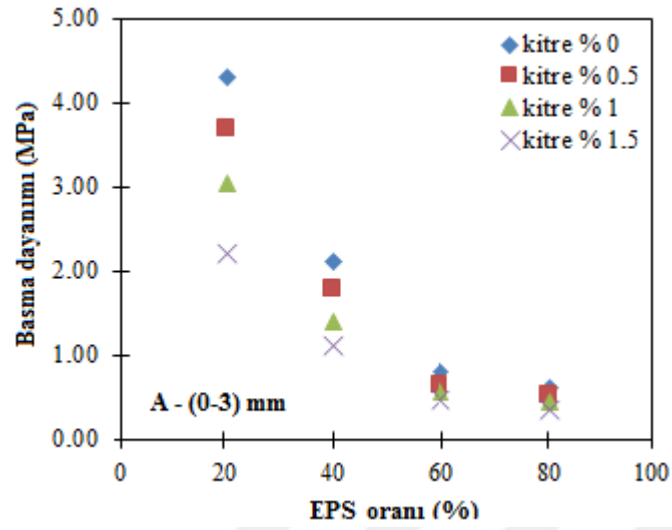


a)

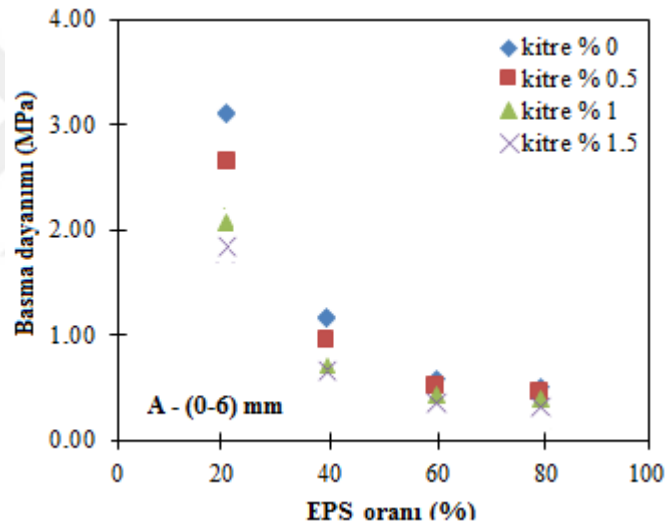


b)

Şekil 7.47. Çimento+ kitre bağlayıcı numunelerde basınç dayanımının EPS oranı ile değişimi
a) 0-3 mm EPS tane çaplı, b) 0-6 mm EPS tane çaplı

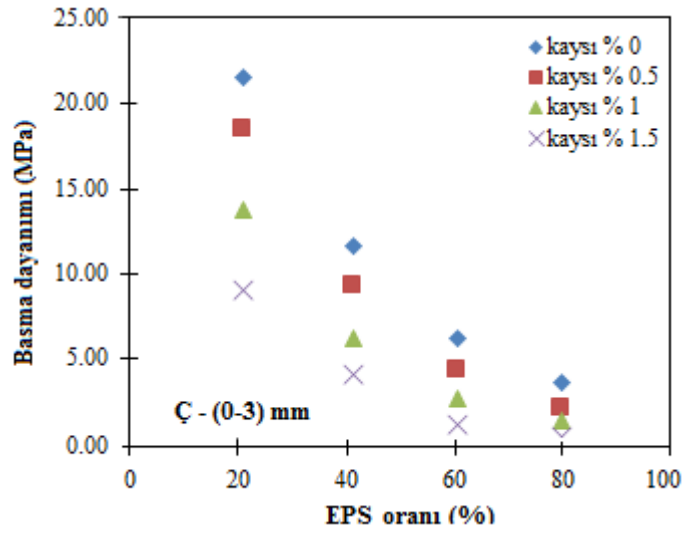


a)

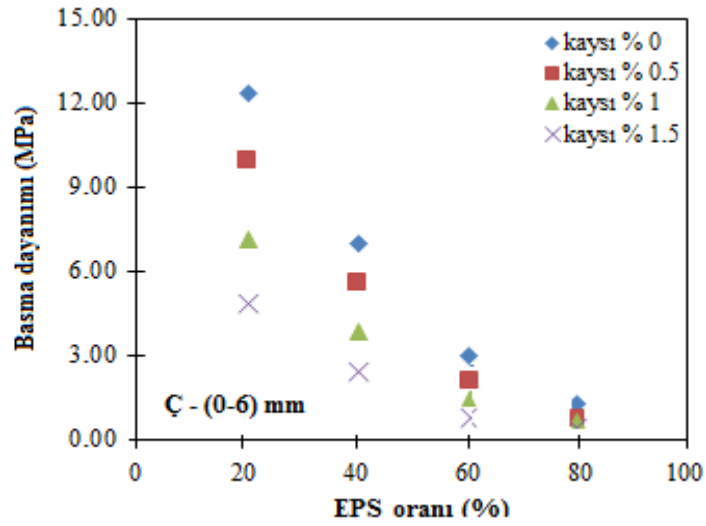


b)

Şekil 7.48. Alçı+ kitre bağlayıcı numunelerde basınç dayanımının EPS oranı ile değişimi
a) 0-3 mm EPS tane çaplı, b) 0-6 mm EPS tane çaplı

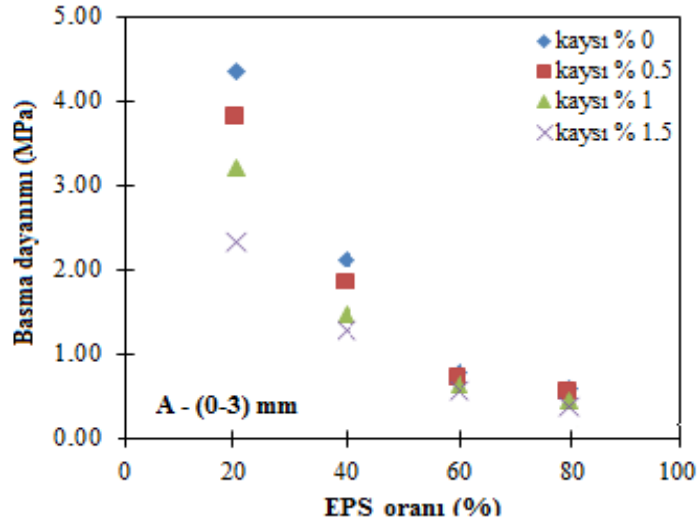


a)

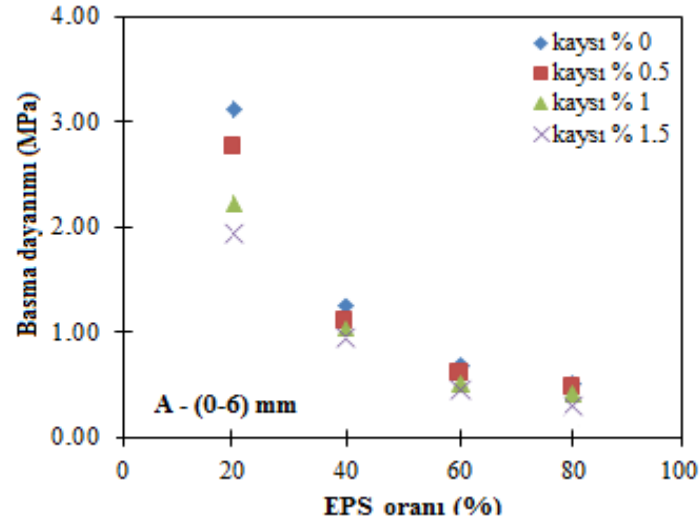


b)

Şekil 7.49. Çimento+ kaysı bağlayıcı numunelerde basınç dayanımının EPS oranı ile değişimi
a) 0-3 mm EPS tane çaplı, b) 0-6 mm EPS tane çaplı



a)



b)

Şekil 7.50. Alçı+ kayısı bağlayıcı numunelerde basınç dayanımının EPS oranı ile değişimi
a) 0-3 mm EPS tane çaplı, b) 0-6 mm EPS tane çaplı

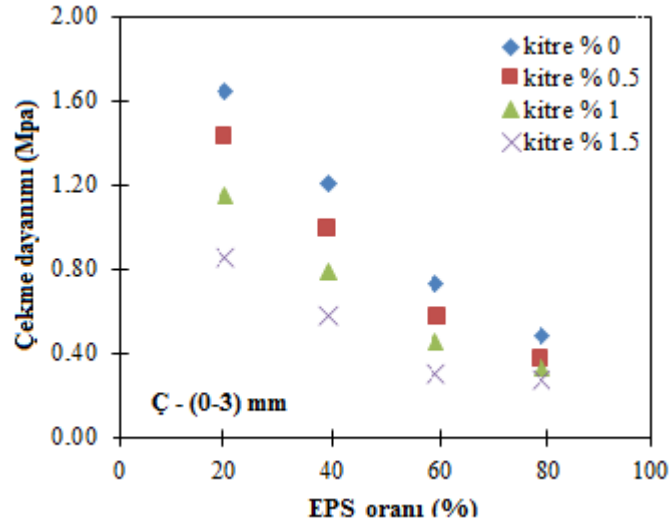
Tablo 6.11-14 ve Şekil 8.47-50 incelendiğinde; çimento bağlayıcılı numunelerden en büyük basınç dayanımının %20 EPS oranlı ve 0-3 mm tane çaplı ve reçine katkısız numunede 21.87 MPa olarak ölçüldüğü, en küçük dayanımın ise % 80 EPS oranlı ve %1.5 kitre katkılı 0-6 mm tane çaplı numunede 0.46 MPa olarak ölçüldüğü görülmüştür .Alçılı numunelerde ise en büyük basınç dayanımı %20 EPS oranlı, reçinesiz, 0-3 mm tane çaplı, reçine katkısız numunede 4.29 MPa ve en küçük basınç dayanımı ise % 80 EPS katkılı, 0-6 mm tane çaplı, %1.5 kitre katkılı numunede 0.30 MPa olarak bulunmuştur. Söz konusu grafiklerden görüldüğü gibi reçine oranları arttıkça basma dayanımları küçülmektedir. Benzeri çalışmalardan, Subaşı [102], genleştirilmiş kil agregası ile çimento karışımlarında,

sırasıyla 1.370, 1.560, 1.700 g/cm³ yoğunluk değerlerine karşılık 16.67, 23.27, 41.27 MPa basma dayanımı değerleri elde etmiştir. Benazzouk vd. [103], çimentoya sırasıyla %30, 40, 50 oranında lastik parçaları karıştırılarak hazırlanan numunelerde 0.625, 0.516, 0.470 g/cm³ yoğunluk ve 23.30, 16.00, 10.50 MPa basınç dayanımı değerleri elde etmişlerdir. Khedari vd. [104], çimento ile %30 ve %20 oranında Hindistas cevizi fiberi ile karıştırarak 0.770, 1.106 g/cm³ yoğunluk ve 1.97, 2.53 MPa basınç dayanım değerleri elde etmişlerdir. Rim vd. [106], çimento ile sırasıyla %10, 20, 30 odun talaşı karışımli numunelerle 1.010, 0.870, 0.700 g/cm³ yoğunluk ve 2.67, 2.35, 1.35 MPa basınç dayanımı elde etmişlerdir

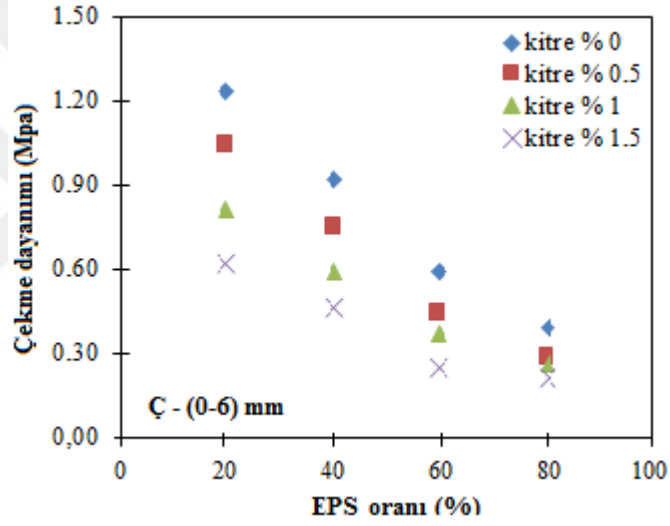
Tablo ve şekillerden görüleceği gibi %0.5, %1 ve %1.5 oranında reçine etkisi ile 0-3 mm EPS tane çaplı, çimentolu kayısı reçine katkıli numunelerde, basma dayanımı sırası ile 18.75 MPa, 13.05 MPa ve 9.21 MPa elde edilirken kitre katkıli numunelerde 16.6 MPa, 10.85 MPa ve 5.87 MPa değerleri ölçülmüştür. Yani kayısı reçinesi katkıli numunelerin basma dayanımları kitre katkıli numunelerin basma dayanımlarından daha büyük çıkmıştır. 0-6 mm tane çaplı çimentolu ve alçılı numuneler ile alçılı numunelerde de aynı durum görülmektedir. Bunun nedeni kayısı ağacı reçinesinin EPS tanelerinin yüzeylerine daha iyi yapışmasından kaynaklanmaktadır.

7.6. Çekme Dayanımı

Numunelere ait çekme dayanımı değerleri, (6.30) denklemi ile hesaplanarak Tablo 7.11-14'de verilmiştir. Şekil 7.51-54'de ise, çekme dayanımı ile EPS ve reçine miktarının değişimleri görülmektedir.

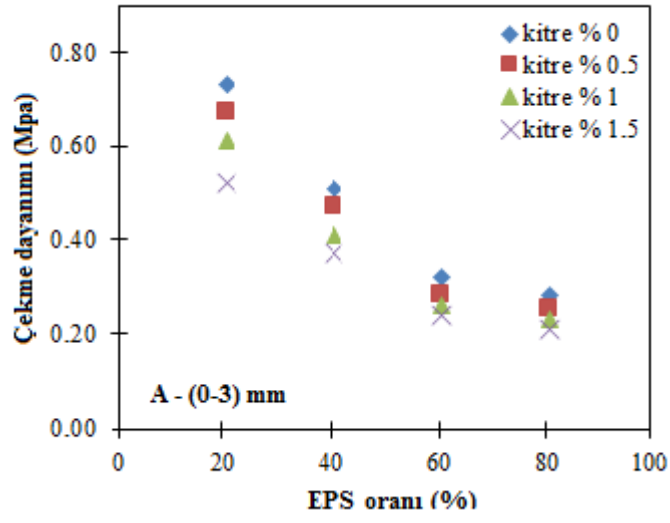


a)

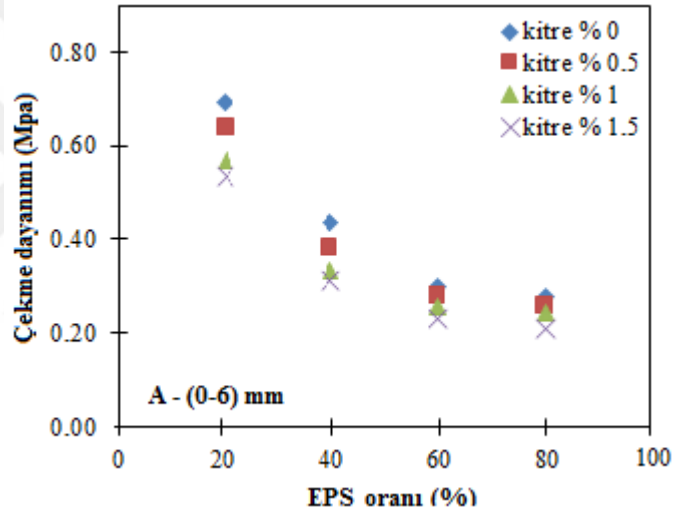


b)

Şekil7.51. Çimento + kitre bağlayıcı numunelerde çekme dayanımı EPS oranı ile değişimi
a) 0-3 mm EPS tane çaplı, b) 0-6 mm EPS tane çaplı

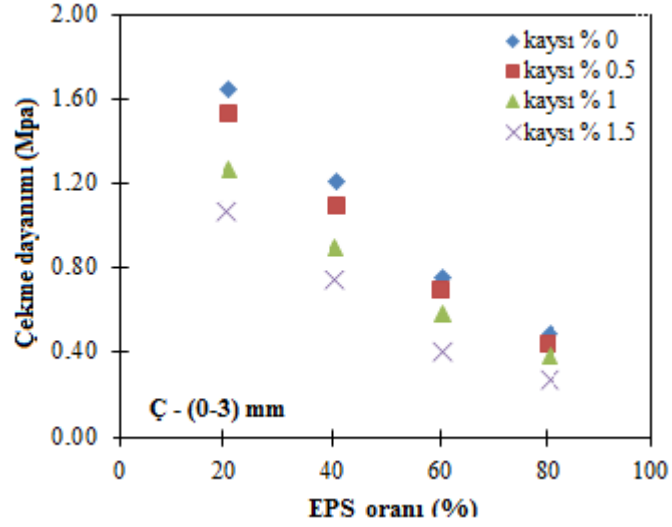


a)

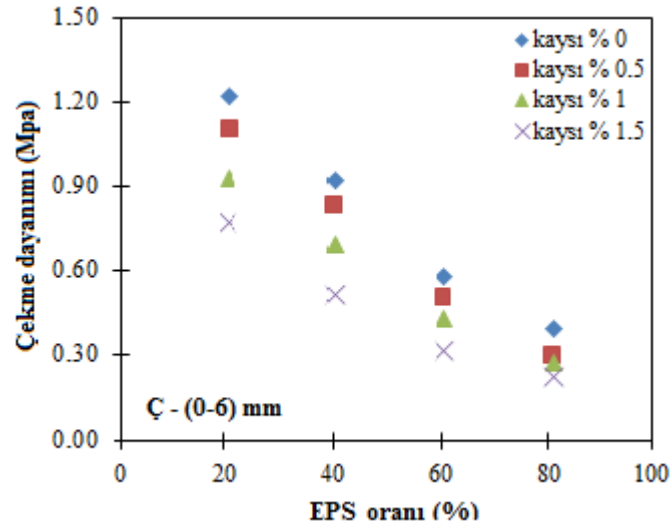


b)

Şekil 7.52. Alçı+ kitre bağlayıcı numunelerde çekme dayanımının EPS oranı ile değişimi
a) 0-3 mm EPS tane çaplı, b) 0-6 mm EPS tane çaplı

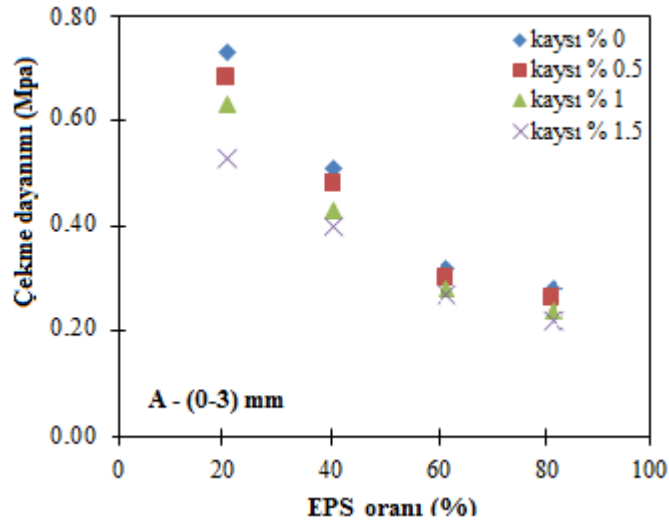


a)

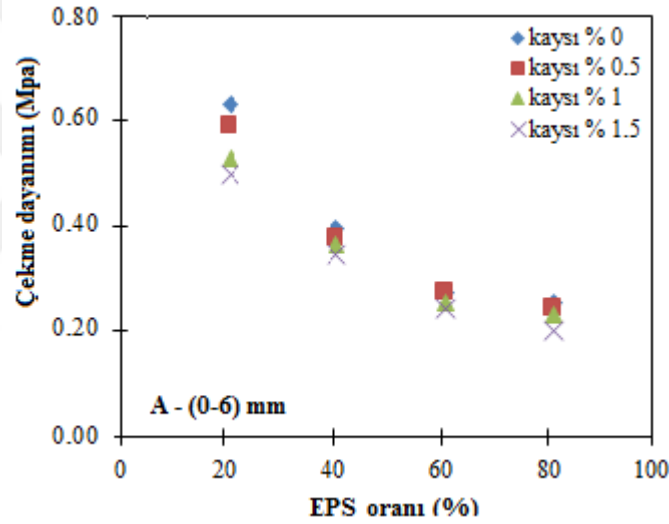


b)

Şekil 7.53. Çimento + kayısı bağlayıcı numunelerde çekme dayanımının EPS oranı ile değişimi
a) 0-3 mm EPS tane çaplı, b) 0-6 mm EPS tane çaplı



a)



b)

Şekil 7.54. Alçı + kayısı bağlayıcı numunelerde çekme dayanımının EPS oranı ile değişimi
a) 0-3 mm EPS tane çaplı, b) 0-6 mm EPS tane çaplı

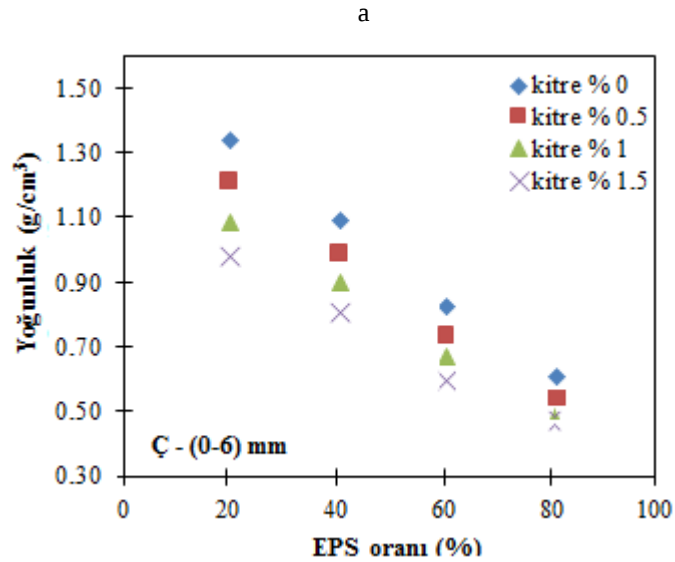
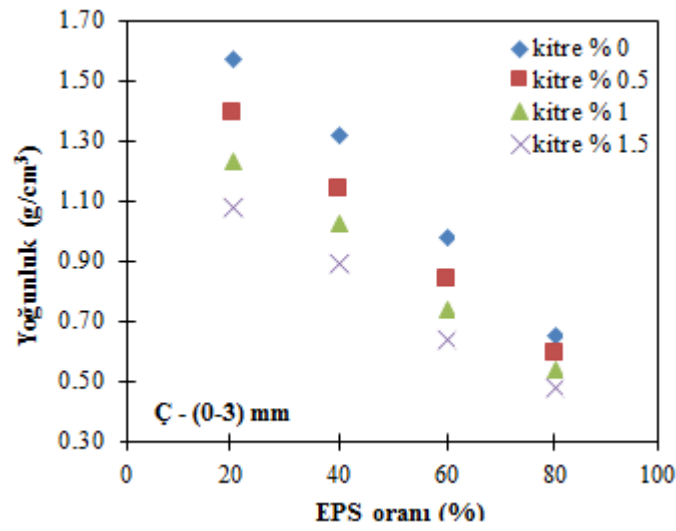
Eğrilerden görüldüğü gibi EPS ve reçine miktarı arttıkça çekme dayanımları azalmaktadır. Çekme dayanımları, basma dayanımından formülle elde edildiği için, basma dayanımı eğrilerine paralellik göstermesi beklenen bir durumdur. Dolayısıyla çekme dayanımlarının EPS oranı ve çapa bağlı olarak küçülmesi, basma gerilmesi küçülmesi gibi aynı nedenlerden kaynaklanmaktadır.

Basma ve çekme dayanımları sonuçları ile EPS agregalı ve reçine katkılı çimentolu betonların yük taşıyıcılığı yerler olan kolon ve kirişlerde kullanılmaması gerektiği anlaşılmaktadır. Bunun yerine döşeme, tavan ve panel duvar olarak kullanılmak suretiyle,

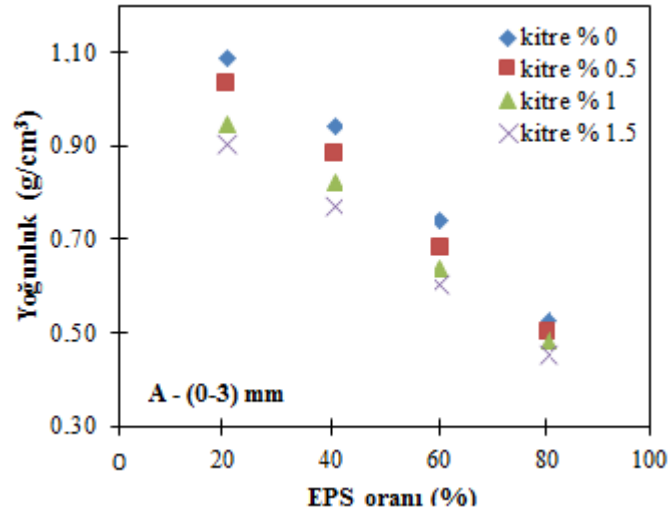
bina yükünün hafifleterek olası bir deprem hasarını azaltması sağlanabilir. Alçılı numuneler ise yüksek basınç dayanımına gerek olmayan bina içi yalıtım sıvası ve dekorasyon malzemesi olarak kullanılması mümkün olacaktır.

7.7. Yoğunluk Değişimi

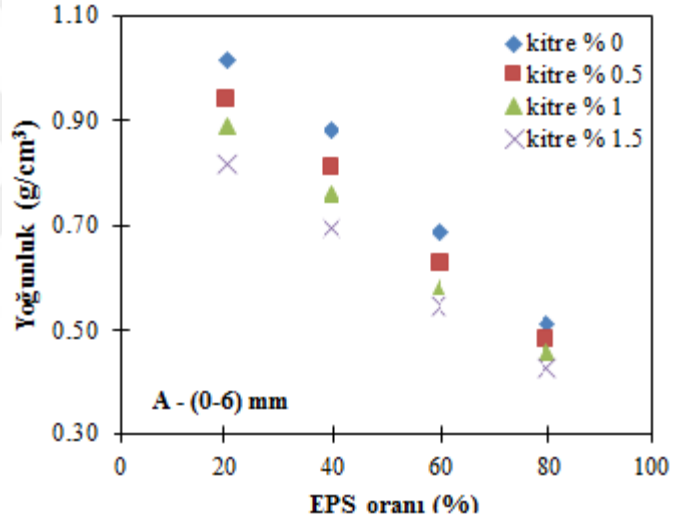
Şekil 7.55-58’de yoğunluğun EPS oranıyla değişimi görülmektedir



Şekil 7.55. Çimento + kitre bağlayıcı numunelerde yoğunluğun EPS oranı ile değişimi
a) 0-3 mm EPS tane çaplı, b) 0-6 mm EPS tane çaplı

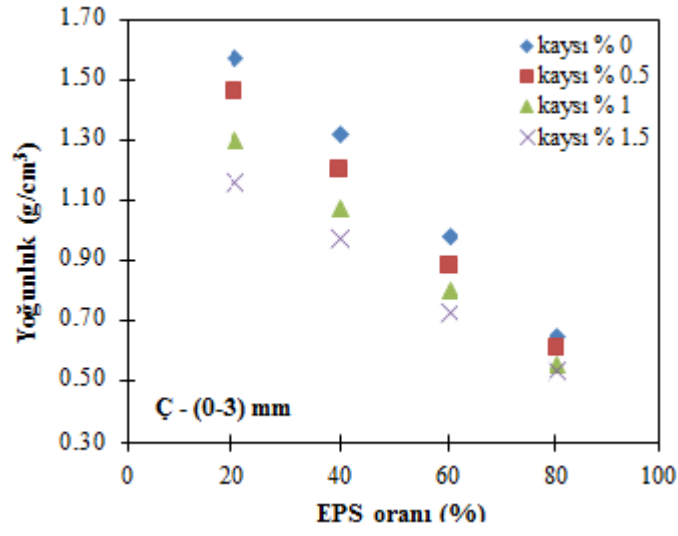


a)

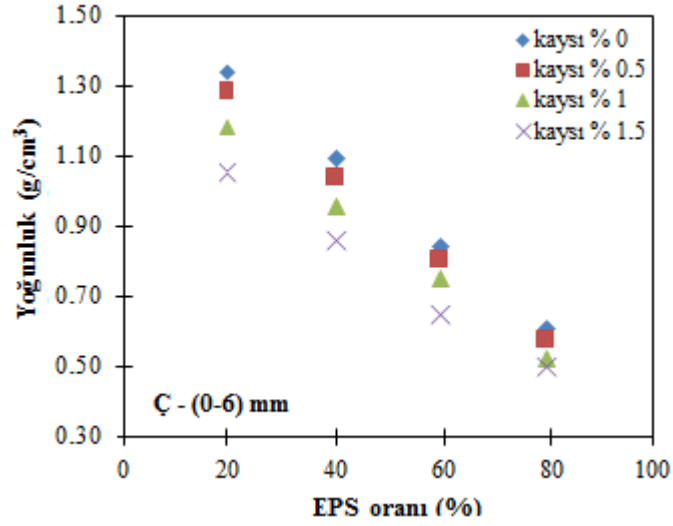


b)

Şekil 7.56. Alçı + kitre bağlayıcı numunelerde yoğunluğun EPS oranı ile değişimi
a) 0-3 mm EPS tane çaplı, b) 0-6 mm EPS tane çaplı

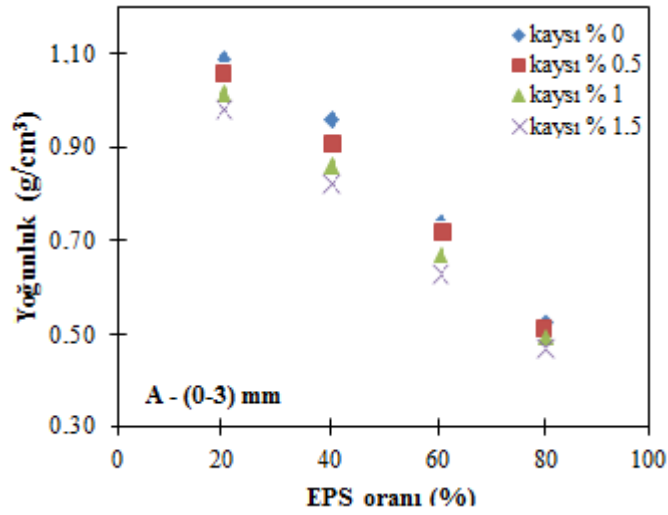


a)

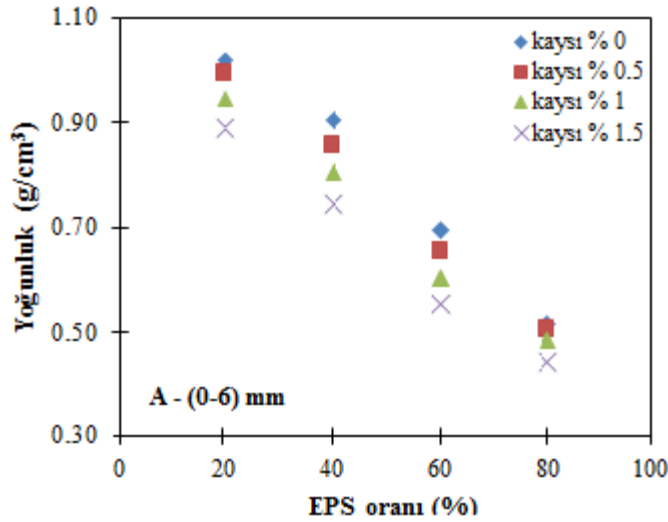


b)

Şekil 7.57. Çimento + kaysı bağlayıcı numunelerde yoğunluğun EPS oranı ile değişimi
a) 0-3 mm EPS tane çaplı, b) 0-6 mm EPS tane çaplı



a)



b)

Şekil 7.58. Alçı+ kaysı bağlayıcı numunelerde yoğunluğun EPS oranı ile değişimi
a) 0-3 mm EPS tane çaplı, b) 0-6 mm EPS tane çaplı

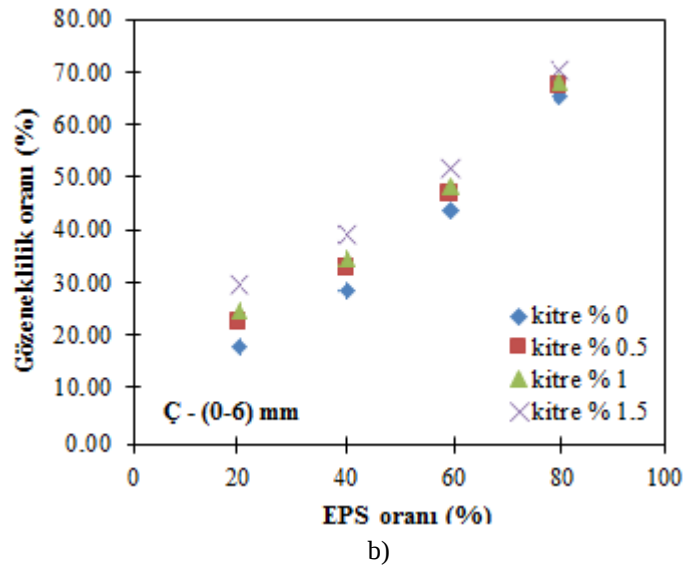
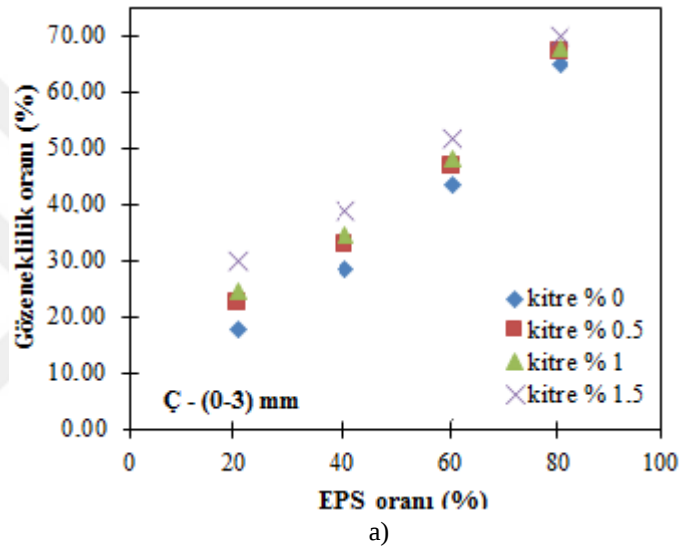
Şekillerin incelenmesi halinde, EPS oranının arttıkça yoğunluk değerlerinin küçüldüğü görülmektedir. Bu küçülme EPS nin yoğunluğu ile direk ilgilidir. Yapılan yoğunluk ölçümlerinde görüldüğü gibi tane çapı 0-3 mm olan EPS grubunun yoğunluğu 0.01267 g/cm^3 olarak ölçülürken, 0-6 mm tane çaplı EPS grubunun yoğunluğu 0.00628 g/cm^3 olarak belirlenmiştir

Gerek kitre ve gerekse kaysı reçinesinin katılım oranları arttıkça yoğunluk değerlerinin azaldığı görülmektedir. Bunun nedeni çözelti halinde numune içerisine katılan reçinenin kuruma sürecinde yapay boşlukların oluşumuna neden olmasıdır.

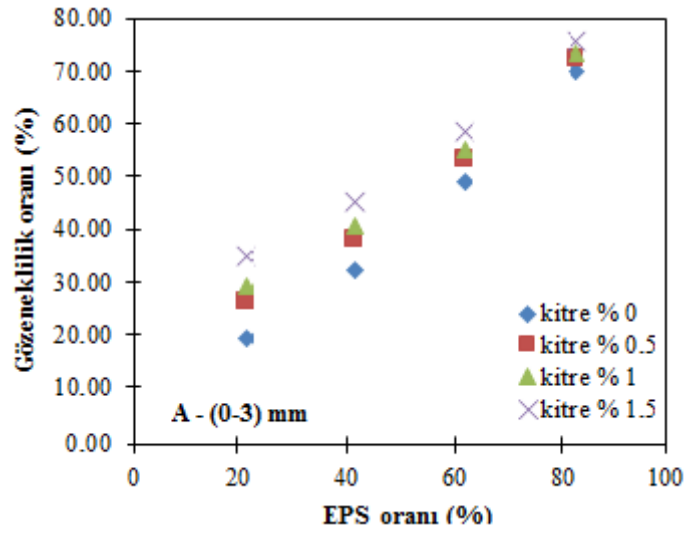
Dolayısıyla reçine oranını artışına karşılık yoğunluk değerleri daha da küçülmektedir. Yoğunluk değerleri çimentolu numunelerin alçılı numunelere göre doğal olarak daha yüksek çıkmaktadır.

7.8. Gözeneklilik

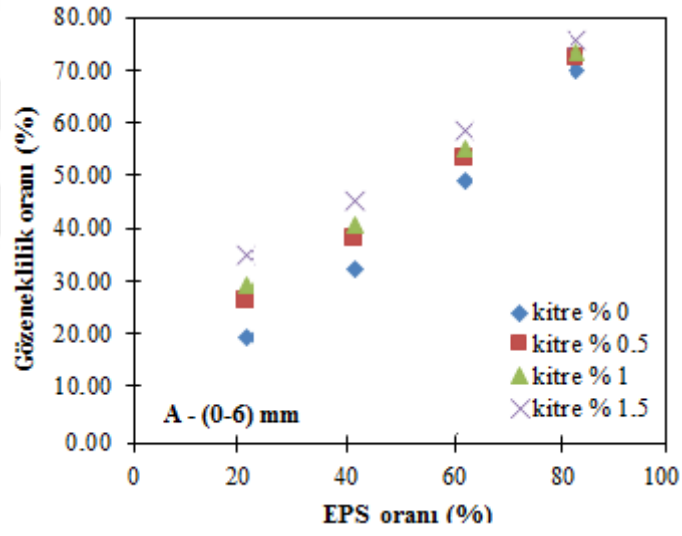
Denklem 6.26 ile hesaplanan numunelerin gözeneklilik oranları Tablo 6.7-10'da verilmiştir. Şekil 7.59-62'de ise gözeneklilik oranının EPS oranı ile değişimi österilmiştir.



Şekil 7.59. Çimento + kitre bağlayıcı numunelerde gözeneklilik oranının EPS oranı ile değişimi
0-3 mm EPS tane çaplı, b) 0-6 mm EPS tane çaplı

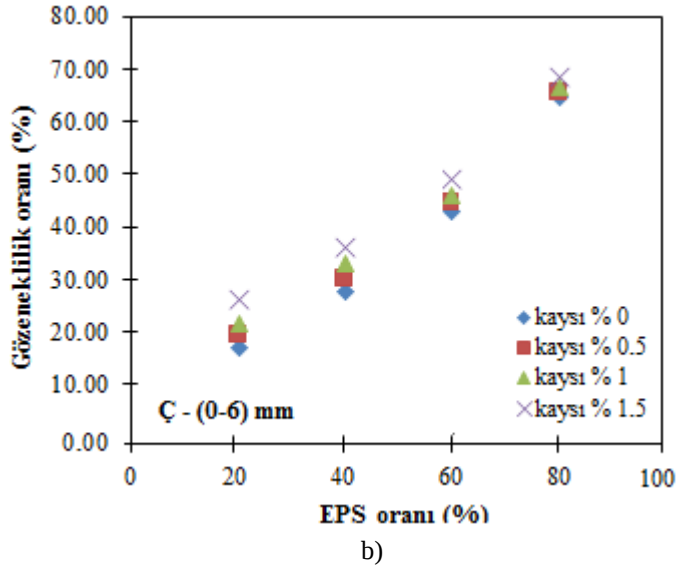
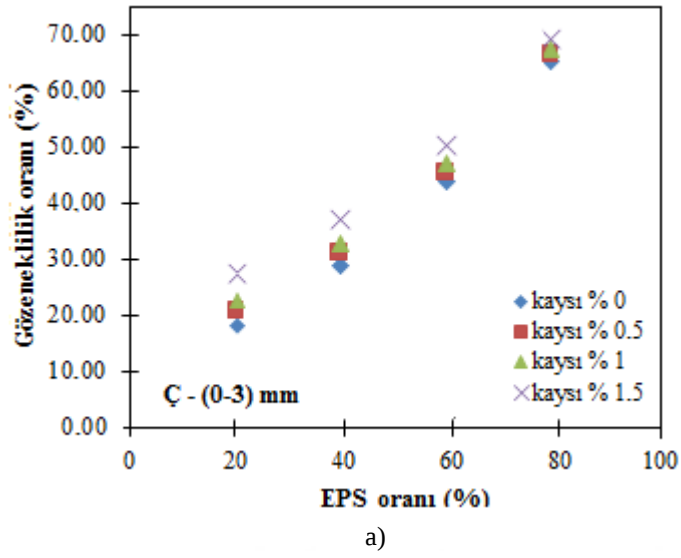


a)

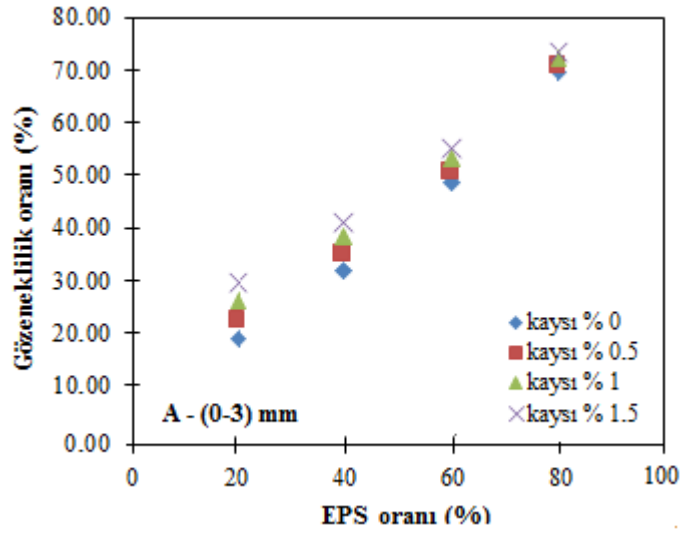


b)

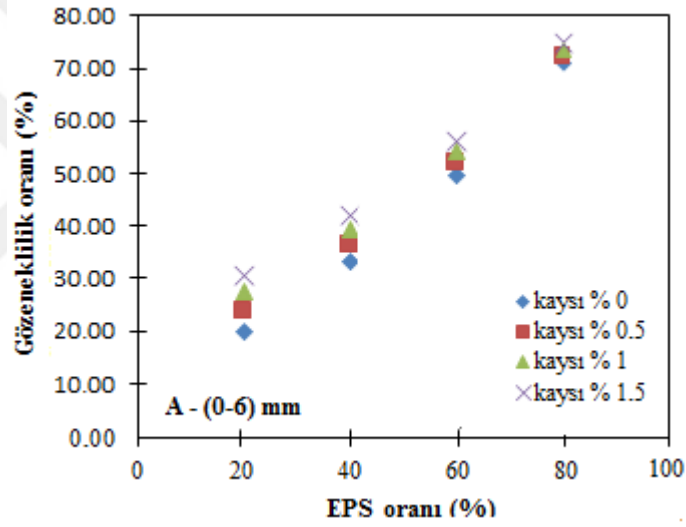
Şekil 7.60. Alçı + kitre bağlayıcı numunelerde gözeneklilik oranının EPS oranı ile değişimi
0-3 mm EPS tane çaplı, b) 0-6 mm EPS tane çaplı



Şekil 7.61. Çimento + kayısı bağlayıcı numunelerde gözeneklilik oranının EPS oranı ile değişimi
a) 0-3 mm EPS tane çaplı, b) 0-6 mm EPS tane çaplı



a)



b)

Şekil 7.62. Alçı + kayısı bağlayıcı numunelerde gözeneklilik oranının EPS oranı ile değişimi
a) 0-3 mm EPS tane çaplı, b) 0-6 mm EPS tane çaplı

Bu şekillerin incelenmesi halinde, gözeneklilik oranının EPS katılım oranı ile doğrusala yakın bir değişim gösterdiği görülmektedir. Bu gözeneklilik oranları kuramsal olarak hesaplamalar sonucu elde edilen değerler olup malzemenin toplam gözeneklilik oranını vermektedir. Gerçekte şekillerde görüleceği gibi reçinelerin etkisi ile sonradan oluşan mikro gözeneklerden dolayı gerçek gözeneklilik oranları az da olsa daha yüksektir. En büyük gözeneklilik oranı kitre katkılı numunelerde 0-6 mm tane çaplı alçı bağlayıcılı ve %80 EPS agregalı numunede %76.71, en küçük ise %17.70 olarak reçine katkısız ve %20 EPS oranlı çimentolu numunede tespit edilmiştir. Kayısı reçine katkılı numunelerde ise en

büyük değer, alçı bağlayıcılı ve %80 EPS agregalı numunede %74.93 olarak tespit edilmiştir. Aynı boyut grubunda EPS oranı arttıkça numunelerin gözeneklilik oranları büyümekte ve doğal olarak ısı iletim katsayıları da küçülmektedir.

EPS oranı küçüldükçe, reçinenin gözeneklilik oranına olan etkisi daha fazla olacaktır. Şekillerin incelenmesi halinde reçine etkisi %20 EPS li numunelerde daha net görülmektedir. Bunun nedeni bağlayıcı miktarı arttıkça numune harmanına katılacak reçine oranıda artacak ve bu artış reçineden kaynaklanan mikro gözenek sayısında artmasına neden olacaktır. Dolayısıyla numunelerin toplam gözeneklilik oranları gerçekte daha yüksek olacaktır. Luikov vd. [78], gözeneklilik oranı %35-98, Dulnev [79], gözeneklilik oranı %50 den küçük olan seramik malzemeler için kuramsal ve deneysel çalışmışlardır.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Atık EPS agregası ile doğal polimer olan kitre veya kayısı ağacı reçinesi katkılı çimento veya alçı bağlayıcıdan oluşan hafif beton veya alçı bloklar değerlendirilmeye çalışılmıştır. Yapılan bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar ortaya konmuştur.

✓ Günümüzde atık EPS'ler, bir taraftan çevre kirliliğine neden olurken diğer taraftan ekonomiye olumsuz etki eder. Bu çalışma ile soruna bir çözüm olarak, atık EPS'lerin yeniden değerlendirilmesi konusunda farklı bir uygulama alanı önerilmiştir.

✓ EPS oranı arttıkça, numunelerin ısı iletim katsayıları küçülmektedir. (0-6) mm EPS tane çaplı numunelerin ısı iletim katsayıları, (0-3) mm tane çaplı numunelerin ısı iletim katsayılarından daha küçük çıkmaktadır. Bunlar tamamen EPS'nin yapısından kaynaklanmaktadır.

✓ Numunelere reçine katılımı ile sonradan oluşan mikro gözenekler toplam poroziteyi artırmakta ve ısı iletim katsayılarının daha da küçülmelerine sebep olmaktadır. Reçinelerin, numunelerin ısı iletim katsayısına olan etkisi, EPS katılım oranının artışı ile azalmaktadır. En fazla etkinin, %20 EPS oranlı numunelerde olduğu görülmektedir (Şekil 7.1-4).

✓ EPS agregalı çimento veya alçılı numunelerin ısı iletim katsayıları, geleneksel agregalı benzeri yapı malzemelerin, literatürde verilen ısı iletim katsayılarından küçük çıkmıştır (EK 5 ve 6).

✓ EPS agregalı, reçine katkılı çimento veya alçı bağlayıcılı bu tür çok bileşenli ve heterojen malzemelerin ısı iletim katsayılarının hesaplanması için cebirsel bir denklem kurulmuştur. Bu denklemin kullanılması sonucu, numunelerin ısı iletim katsayılarının hesaplanan değerleri ile ölçülen değerlerinin uyum içerisinde olduğu saptanmıştır. Bu nedenle geliştirilen bu denklemin bu tür heterojen yapı malzemelerin ısı iletim katsayılarının hesaplanmasında kullanılabileceği belirlenmiştir.

✓ Numunelere ait ısı iletim katsayılarının deneysel değerleri, kuramsal değerlerden küçük çıkmaktadır. Bunun sebebi yapılan kabullerden kaynaklanmaktadır. Isı iletim katsayısının EPS oranı ile deneysel ve kuramsal değişim eğrileri, $y=ax^2+bx+c$ şeklinde ikinci dereceden denkleme uygun olduğu ve R-kare değerlerinin 1'e çok yakın olduğu bulunmuştur (Şekil 7.11-18). Deneysel verilerle elde edilen denklem söz konusu aralıkta herhangi bir EPS oranı için ısı iletim katsayısını bulmak için kullanılabilir.

✓ ISO standartlarına göre bir numunenin ısı iletim katsayısı 0.065 W/mK den küçük ise ısı yalıtım malzemesi, bu değerden büyük ise yapı malzemesi olarak değerlendirilir. Buna göre %80 EPS oranlı çalışılan tüm numuneler ısı yalıtım malzemesi grubuna girerken bu alanda değerlendirilebilir. Standartlar hafif beton grubu için ısı iletim katsayısını 0.060-0.610 W/mK olarak belirlemiştir. %20, %40, %60 EPS agregalı çimentolu numuneler hafif beton olarak değerlendirilebilir.

✓ EPS agregalı bu tür malzemeler, yüksek gözeneklilik oranı değerlerine sahip olması nedeniyle, sadece ısı yalıtımı için değil aynı zamanda ses yalıtımı içinde kullanılabilirler. Numune içine katılan reçine miktarıyla toplam gözeneklilik oranı değerleri daha yüksek çıkacağından ses yalıtım özelliğinde de daha fazla iyileşme sağlayacaktır.

✓ EPS oranı ve reçine miktarındaki artış ile basma ve çekme dayanım değerleri küçülmektedir (Şekil 7.47-54). Bu nedenle, bu tür malzemelerin kolon, kiriş gibi taşıyıcı beton elemanı olarak kullanılmamalıdır. Ancak atık EPS lerin doğal agrega ile kısmen yer değiştirilmesi veya modifiye edilmiş EPS agregalı betonların dayanım değerleri artırılarak taşıyıcı beton elemanı olarak kullanılabilecektir.

✓ Yapısında reçine katkılı ve katkısız çimento bağlayıcılı numunelerin tamamına yakını su emme oranının kritik değeri olan %30' un altında kalmıştır (Şekil 7.23 ve 7.25). Bu sebeple bu betonların direk suyla temas eden yerlerde kullanılması mümkün olup dış sıva malzemesi olarak da kullanılabilecektir. Alçılı numuneler ise bu kritik değerin üzerinde çıkmıştır (Şekil 7.24 ve 26). Bu nedenle su ile direk ilişkili yerlerde kullanılması uygun olmayacaktır. Numunelerin su emme hızları ilk 20 dakikada yüksek olup sonraki

süreçte azalmaktadır (Şekil 7.27-34). Kuruma hızlarında ise ilk 3 saatteki hızlar, sonraki sürece göre daha hızlı gerçekleşmiştir (Şekil 7.39-46).

✓ Üretilen deney numuneleri üzerine çeşitli uygulamalar yapılmış ve neticede numunelerin testere ile kesilebildiği, vidalanabildiği, tesisat çalışmaları için kanal açılmasına ve matkapla delinebilme özelliğine sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca üretilen numunelerin boya tutma özelliğinin belirlenebilmesi için çeşitli boyalarla işleme tabi tutulmuş ve sonuçta numunelerin boya tutma özelliğinin son derece iyi olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, bu çalışma ile EPS agregalı ve reçine katkılı çimentolu malzemelerin; düşük yoğunluklu beton, briket, tuğla, panel duvar, bina döşeme ve tavan betonu, çatı altı yalıtım malzemesi olarak kullanılabileceği, alçılı numunelerin ise iç sıva malzemesi, sandviç duvarlarda ara dolgu malzemesi, çatı altı kaplama sıva malzemesi ve dekorasyon malzemesi şeklinde birer potansiyel yapı malzemeleri olduğu ortaya konmuştur.

Bu çalışma sonuçları ile ileride yapılabilecek yeni çalışmalar için;

1- Bu çalışmada reçine olarak kitre ve kayısı ağacı reçineleri kullanılmıştır. Farklı reçine olarak kiraz ağacı, çam ağacı vs. gibi yeni reçineler bağlayıcılara katılarak yeni araştırmalar yapılabilir.

2- Agrega olarak EPS ile birlikte mukavemet artırıcı yeni farklı malzemeler (metal çubuk vs) karışıma eklemek suretiyle başka bir çalışma konusu olabilir.

3- Atık EPS'ler modifiye edilerek farklı yoğunluk değerleri ile mekanik özellikler iyileştirilmiş halde reçineli veya reçinesiz yeni çalışmalar yapılabilir.

4- Kimyasal yöntemler ile geri kazanılmış EPS agregalı, çimento bağlayıcılı, reçine katkılı numunelerin ısı ve mekanik özellikleri incelenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] D. Saradhi Babu, K. G. Babu, T.H. Wee, “Properties of lightweight expanded polystyrene aggregate concretes containing fly ash”, *Cement and Concrete Research*, 35, 1218–1223, 2005.
- [2] D. Saradhi Babu, K. G. Babu, T.H. Wee, “Effect of polystyrene aggregate size on strength and moisture migration characteristics of lightweight concrete”, *Cement & Concrete Composites*, 28, 520 – 527, 2006.
- [3] B. Demirel, “Optimization of the composite brick composed of expanded polystyrene and pumice blocks”, *Construction and Building Materials*, 40, 306-313, 2013.
- [4] F. Kılıç, Atık şişirilmiş polistirenin kimyasal geri kazanımı ”, *Yük. Lis. Tezi*, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- [5] D.G. Ahn, S.H. Lee, D.Y. Yang, “Investigation into thermal characteristics of linear hotwire cutting system for variable lamination manufacturing (VLM) process by using expandable polystyrene foam”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 42, 427-439, 2002.
- [6] S. Doroudiani, H. Omidian, “Environmental, health and safety concerns of decorative mouldings made of expanded polystyrene in buildings”, *Building and Environment*, 45, 647-654, 2010.
- [7] E. Mıhlıyanlar, S. Dilmaç, A. Güner,” Analysis of the effect of production process parameters and density of expanded polystyrene insulation boards on mechanical properties and thermal conductivity”, *Materials and Design*, 29, 344-352, 2008.
- [8] I. Gnip, S. Vejelis, S. Vaitkus, “Thermal conductivity of expanded polystyrene (EPS) at 10°C and its conversion to temperatures within interval from 0 to 50 °C”, *Energy and Buildings*, 52, 107-111, 2012.
- [9] I. Gnip, S. Vejelis, V. Kersulis, S. Vaitkus, “Deformability and tensile strength of expanded polystyrene under short-term loading”, *Polymer Testing*, 26, 886-895, 2007.
- [10] I.Y. Gnip, S. Vaitkus, V. Kersulis, S. Vejelis, “Experiments for the long-term prediction of creep strain of expanded polystyrene under compressive stress”, *Polymer Testing*, 29, 693–700, 2010.
- [11] D. Bouvard, J.M. Chaix, R. Dendievel, A. Fazekas, J.M. Letang, G. Peix, D. Quenard, “Characterization and simulation of microstructure and properties of EPS lightweight concrete”, *Cement and Concrete Research*, 37, 1666-1673, 2007.
- [12] K.G. Babu and D.S Babu “Behavior of lightweight expanded polystyrene concrete containing silica fume”, *Cement and Concrete Research*, 33, 755-762, 2003.

- [13] Z. Taslicukur, C. Balaban, N. Kuskonmaz, "Production of ceramic foam filters for molten metal filtration using expanded polystyrene", *Journal of the European Ceramic Society*, Vol. 27, 2-3, 637-640, 2007.
- [14] H.R. Azimi, M. Rezaei, F. Abbasi, "Thermo-oxidative degradation of MMA-St copolymer and EPS lost foams: Kinetics study", *Thermochimica Acta*, 488, 43-48, 2009.
- [15] U. E. Ozturk, G. Anlas, "Energy absorption calculations in multiple compressive loading of polymeric foams", *Materials and Design*, 30, 15-22, 2009,
- [16] P. Kannan, J. J. Biernacki, D. P. Visco, "A review of physical and kinetic models of thermal degradation of expanded polystyrene foam and their application to the lost foam casting process", *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 78, 162-171, 2007.
- [17] M. Mondello, Y. Hyung-Jin, J. R. Roe, Simulation at the University of Cincinnati. Using the Cray Y-MP at the Ohio Supercomputer Center. <http://mrsec.uchicago.edu/~tten/candidpolymer.html>, 2006.
- [18] B. Özşahin, "EPS bloklu çelik donatılı beton taşıyıcı sistemi", Trakya Üniversitesi - Fen Bilimleri Enstitüsü, *Y. Lisans tezi*, 2004.
- [19] S. Sever, "Uçucu kül-çimento-genleşmiş polistiren köpük daneleri karışımının hafif dolgu malzemesi olarak geoteknik özellikleri", İstanbul Teknik Üniversitesi - Fen Bilimleri Enstitüsü, *Y. Lisans tezi*, 2004.
- [20] E. Mıhlayan, "Genleştirilmiş polistiren sert köpük (EPS) yalıtım levhalarının özelliklerini etkileyen üretim parametrelerinin incelenmesi", *Doktora Tezi*, Trakya Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, 2005.
- [21] T. Cihan, "EPS-bloklu çelik donatılı beton taşıyıcı duvarlı binanın ısı performansı" Trakya Üniversitesi - Fen Bilimleri Enstitüsü, *Y. Lisans tezi*, 2004.
- [22] N. Atay, "Expanded polistiren sert köpük (EPS) malzemesinin kiremit olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi" *Yük. Lisans Tezi*, Bartın Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, 2011.
- [23] U. E. Ozturk, G. Anlas, "Finite element analysis of expanded polystyrene foam under multiple compressive loading and unloading", *Materials and Design*, 32, 773-780, 2011.
- [24] T. Shimizu, K. Matsuzaki, H. Nagai, N. Kanetake, "Production of high porosity metal foams using EPS beads as space holders", *Materials Science & Engineering*, 558, 343-348, 2012.
- [25] P. Mesaros, M. Spisakova, L. Kyjakova and T Mandicak, "Expanded polystyrene as the bearing building material of low energy construction", IOP Conf. Series: *Materials Science and Engineering*, 71, 012002, doi:10.1088/1757-899X/71/1/012002, 2015.
- [26] Y.-S. Jeong, "Experimental study on thermal conductivity of thermal insulation materials used in residential buildings", *Advanced Materials Research*, 1025-1026, 535-

538, 2014.

[27] D. S. Cronin, S. Ouellet, “Low density polyethylene, expanded polystyrene and expanded polypropylene: Strain rate and size effects on mechanical properties”, *Polymer Testing*, 53, 40-50, 2016.

[28] P. Chindapasirt, S. Hiziroglu, C. Waisurasingha, P. Kasemsiri “Properties of wood flour/expanded polystyrene waste composites modified with diammonium phosphate flame retardant”, *Polymer Composites*, 36, 604-609, 2015.

[29] R. Demirboga, A. Kan, “Thermal conductivity and shrinkage properties of modified waste polystyrene aggregate concretes”, *Construction and Building Materials*, 35, 730-734, 2012.

[30] O. Sengul, “Effect of expanded perlite on the mechanical properties and thermal conductivity of lightweight concrete”, *Energy Building*, 43(2-3), 671-676, 2011.

[31] H. K. Kim, J. H. Jeon, H. K. Lee, “Workability and mechanical, acoustic and thermal properties of lightweight aggregate concrete with a high volume of entrained air”, *Construction and Building Materials*, 29, 193-220, 2012.

[32] M. Kismi, P. Poullain, P. Mounanga, “Transient thermal response of lightweight cementitious composites made with polyurethane foam waste”, *Int. J. Thermophys.*, 33(7), 1239-1258, 2012.

[33] P. Shafigh, “Lightweight concrete made from crushed oil palm shell: tensile strength and effect of initial curing on compressive strength”, *Construction and Building Materials*, 27(1), 252-258, 2012.

[34] A. Sariisik, G. Sariisik, “ New production process for insulation blocks composed of EPS and lightweight concrete containing pumice aggregate”, *Mater. Struct.*, 45(9), 1345-1357, 2002.

[35] Y. A. Rossignolo, M.V.C. Agnesini “Mechanical properties of polymer modified lightweight aggregate concrete”, *Cement and Concrete Research*, 32, 329-334, 2002.

[36] B. Chen, J. Liu, “Properties of lightweight expanded polystyrene concrete reinforced with steel fiber”, *Cement and Concrete Research*, 34, 1259–1263, 2004.

[37] C. Esveld, V. Markine, M. Duskov, “Use of expanded polystyrene as a sub-base material in railway track design”. Railway Engineering Group, Delft University of Technology, Stevinweg 1, 2628 CN Delft, The Netherlands, 2002.

[38] K. Miled, K. Sab, R. Le Roy, “Particle size effect on EPS lightweight concrete compressive strength: Experimental investigation and modeling”, *Mechanics of Materials*, 39, 222-240, 2007.

[39] N. W. Choi, Y. Ohama, “Development and testing of polystyrene mortars using waste EPS solution-based binders”, *Construction and Building Materials*, 18, 235-241, 2004.

- [40] R. Demirboğa, A. K. Kan, “Thermal conductivity and shrinkage properties of modified waste polystyrene aggregate concretes”, *Construction and Building Materials*, 35, 730-734, 2012
- [41] I. B. Topcu, ve M. Canbaz, “Properties of concrete containing waste glass”, *Cement and Concrete Research*, 34 (2004) 267-274, 2004.
- [42] N. Saikia, J. Brito, “Use of plastic waste as aggregate in cement mortar and concrete preparation: A review”, *Construction and Building Materials*, 34, 385-401, 2012.
- [43] N. Liu, B. Chen, “Experimental study of the influence of EPS particle size on the mechanical properties of EPS lightweight concrete”, *Construction and Building Materials*, 68, 227-232, 2014.
- [44] A. Schackow, C. Effting, M.V. Folgueras, S. Güths, G. A. Mendes, “Mechanical and thermal properties of lightweight concretes with vermiculite and EPS using air-entraining agent”, *Construction and Building Materials*, 57, 190-197, 2014.
- [45] R. Sancho, A. Castillo, M. E. Macia, R. Corral, “Changes of Mechanical properties of lightweight cement mortar mixed with recycled expanded polystyrene and subjected to high”, *Advanced Materials Research*, 1051, 752-756, 2014.
- [46] Á. Lakatos, F. Kalmár, “Analysis of water sorption and thermal conductivity of expanded polystyrene insulation materials”, *Building Services Engineering Research and Technology*, 34(4), 407-416, 2012.
- [47] R. Yaxian, L. Chaofeng, X. Ying, “Experimental research on physical and mechanical properties of EPS recycled concrete”, *Applied Mechanics and Materials*, 204, 4022-4025, 2012.
- [48] R. Chen, Z. Zeng, K. Zhou, “ A Review on the research of concrete with expanded polystyrene beads as aggregate”, *Advanced Materials Research*, 374-377, 1598-1601, 2012.
- [49] B. Chen, J. Liu, “Properties of lightweight expanded polystyrene concrete reinforced with steel fiber”, *Cement and Concrete Research*, 34, 1259-1263, 2004.
- [50] Y. Xu, L. Jiang, J. Xu, Y. Li, “Mechanical properties of expanded polystyrene lightweight aggregate concrete and brick”, *Construction and Building Materials* 38, 2012.
- [51] A. A. Sayadi, J. V. Tapia, T. R. Neitzert, G. C. Clifton, “Effects of expanded polystyrene (EPS) particles on fire resistance, thermal conductivity and compressive strength of foamed concrete”, *Construction and Building Materials*, 112, 716-724, 2016.
- [52] Y. Liu, D. Ma, Z. Jiang, F. Xiao, X. Huang, Z. Liu, L. Tang, “Dynamic response of expanded polystyrene concrete during low speed impact”, *Construction and Building Materials*, 122, 72-80, 2016.

- [53] M. Lanzon, V. Cnudde, T. Kock, J. Dewanckele, “Microstructural examination and potential application of rendering mortars made of tire rubber and expanded polystyrene wastes”, *Construction and Building Materials*, 94, 817-825, 2015.
- [54] A. Adili, M. Lacheb, A. Brayel, A. Gulzani S. B. Nasrallah, “Estimation of thermophysical properties of lightweight mortars made of wood shavings and expanded polystyrene beads using a hybrid algorithm”, *Energy and Buildings*, 118, 133-141, 2015.
- [55] F. Xue, D. Takeda, T. Kimura, M. Minabe, “Effect of organic peroxides on the thermal decomposition of expanded polystyrene with the addition of c-methylstyrene”, *Polymer Degradation and Stability*, 83, 461-466, 2004.
- [56] A. K. Kan , R.Demirboga, “A new technique of processing for waste-expanded polystyrene foams as aggregates”, *Journal of Materials Processing Technology*, 209, 299-3000, 2009.
- [57] A. K. Kan, “Isıl işlem yöntemiyle modifiye edilmiş atık EPS köpüklerin beton agregası olarak kullanılabilirliğinin araştırılması”, *Doktora Tezi*, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- [58] W. W. Sulkowski, A. Wolinska, B. Szoltysik, W. M. Bajdur, A. Sulkowska “Preparation and properties of flocculants derived from polystyrene waste”, *Polymer Degradation and Stability*, 90, 272-280, 2005.
- [59] R. Thomas, P. Vijayan, Sabu Thomas, “4. Recycling of thermosetting polymers: Their blends and composites”, *Recent Developments in Polymer Recycling*, 121-153, 2011.
- [60] W. Bajdur, J. Pajaczkoeska, B. Makarucha, A. Sulkowska, W. W. Sulkowski, “Effective polyelectrolytes synthesised from expanded polystyrene waste”, *European Polymer Journal*, 38, 299-304, 2002.
- [61] I. B. Abbes, S. Bayoudh, M. Baklouti, “Converting waste polystyrene into adsorbent: potential use in the removal of lead and calcium Ions from aqueous solution”, *Journal of Polymers and the Environment*, Vol. 14 (3), 249-256, 2006.
- [62] C. Shin, “Filtration application from recycled expanded polystyrene”, *Journal of Colloid and Interface Science*, Vol. 302 (1), 267-271, 2006.
- [63] M. Y. Teo, H. Y. Yeong, and S. W. Lye, “Microwave moulding of expandable polystyrene foam with recycled material”, *Journal of Materials Processing Technology*, 63, 514-518, 1997.
- [64] S. Dimitris, S. Achilias, “Recent advances in the chemical recycling of polymers (PP, PS, LDPE, HDPE, PVC, PC, Nylon, PMMA)”, *Material Recycling – Trends and Perspectives*, 1-63, 2007.
- [65] E. Luy, K. B. Varınca, A. Kemirtlek, “Katı atık geri kazanım çalışmaları; İstanbul örneği”, *TÜRKAY 2007 AB Sürecinde Türkiye’de Katı Atık Yönetimi ve Çevre Sorunları Sempozyumu*, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2007.
- [66] “Ambalaj atıklarının kontrol yönetmeliği”, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, *Resmi Gazete Sayı 28035*, 24 Ağustos, 2011.

- [67] E. Emiralioğlu, “Türkiye’de ambalaj atıkları yönetimi” Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü Atık Yönetimi Dairesi Ambalaj Atıkları Yönetimi Şubesi, Ankara, www.haliccevre.com/atik, 24.09.2013, 2005.
- [68] L. Hornberger, “Recycled plastics”, Plastics Recycling Research Laboratory, Santa Clara University Santa Clara, California. <http://webtest.engr.scu.edu>, 2005.
- [69] L. Koester, S. Nemeth, “Thermoforming & die cutting of recycled” / Virgin PET Sheet. VP Marketing & Sales”, lkoester.lavergne.ca., 2005.
- [70] K. Ganesh Babu, D. Saradhi Babu, “Behaviour of lightweight expanded polystyrene concrete containing silica fume”, *Cement and Concrete Research*, 33, 755-762, 2003.
- [71] Noguchi, T., Miyashita M., Inagaki Y., Watanabe H., “A new recycling system for EPS using a natural solvent. Part 1. A New Recycling Technique”, *Packag.Technol. Sci.* 11, 19-27, 1998.
- [72] V. F. Mas, L. A. Sarabia, M. C. Ortiz, C. R. Cheeseman, E. G. Alcocel, “Design of bespoke lightweight cement mortars containing waste expanded polystyrene by experimental statistical methods”, *Materials & Design*, 89, 901-912, 2016.
- [73] M.A. Mohammadifar, S.M. Musavi, A. Kiumarsi, P.Williams, “Solution properties of tragacanthin (water-soluble part of gum tragacanth exudate from *Astragalus gossypinus*), *International Journal of Biological Macromolecules*, 38, 31-39, 2006.
- [74] S. Balaghi, M.A. Mohammadifar, A. Zargaraan, ”Compositional analysis and rheological characterization of gum tragacanth exudates from six species of Iranian *Astragalus*“ *Food Hydrocolloids*, 25, 1775-1784, 2011.
- [75] A. Baytop, T. Gözler, “Türk kitre zımkının menşei ve terkiibi hakkında”, *İstanbul Ecz. Fak. Mecm.* 7: 56, 1971.
- [76] T. Baytop, “Kitre zımkı, Erciyes adağında yapılmakta olan istihsal hakkında”, *T. Eczacıları Birliği Mecm.* 2:7, 1959.
- [77] N. Yüksel, A. Avcı, “Gözenekli malzemelerin etken ısı iletkenlikleri üzerine mevcut çalışmalar”, *Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 25, 331-346, 2010.
- [78] A. V. Luikov, A. G. Shashkov, L. L. Vasiliev, E. Fraiman, “Thermal conductivity of porous systems”, *International Journal Heat and Mass Transfer*, 11, 117-140, 1968.
- [79] G. N. Dulnev, “Heat transfer through solid disperse systems”, *Inzhenerno-Fizicheskii Zhurnal*, 9 (3), 399-404, 1965.
- [80] T. Yıldız, “Uçucu kül ve polipropilen atıklarının değişik kombinasyonlarda kompozit malzeme üretiminde değerlendirilmesi”, *Doktora Tezi*, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 1998.
- [81] A. Benazzouk, O. Douzane, K. Mezreb, B. Laidoudi, M. Queneudec, “Thermal conductivity of cement composites containing rubber waste particles: Experimental study and modeling”, *Construction and Building Materials*, 22, 573-579, 2008.

- [82] D. A. Zumbrunnen, R. Viskanta, F. P. Incropera, "Heat transfer through porous solids with complex internal geometries", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 29, 275-284, 1986.
- [83] V. V. Vysniauskas, A. A. Zikas, A. B. Zaliauskas, "Determination of the thermal conductivity of ceramics by the hot-wire technique", *Heat Transfer Soviet Research*, 20 (1), 137-142, 1988
- [84] Ö. Altun, E. Böke, "Isıl engelleyici kaplamaların etkin ısı iletim katsayısının teorik olarak belirlenmesi", *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22 (2), 139-152, 2009.
- [85] J. Wyrwal, A. Marynowicz, J. Swirska, "Effective thermal conductivity of porous building materials-analysis and verification", *Bauphysik*, 30 (5), 320-327, 2008.
- [86] Wang, J. K. Carson, M. F. North, D. J. Cleland, "A new approach to modelling the effective thermal conductivity of heterogeneous materials", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 49, 3075-3083, 2006.
- [87] K. S. Reddy, P. Karthikeyan, "Estimation of effective thermal conductivity of two phase materials using collacated parameter model", *Heat Transfer Engineering*, 30 (12), 998-1011, 2009.
- [88] <http://www.senapor.com.tr>, (20.09.2013)
- [89] <http://www.chee.iit.edu.org.tr> (25.03.2014)
- [90] <http://www.emlakwebtv.com.tr>, (07.07.2014)
- [91] A. Kaya, F. Kar, "Thermal and Mechanical Properties of concretes with styropor", *Journal of Applied mathematics and physics*, 2(6), 310-315, 2014.
- [92] A. Kaya, F. Kar, An insulation plaster with waste expanded polystyrene, 19th *International Conference on Thermal Engineering and Thermogrammetry (THERMO)*, 7-10 July, Budapest, Hungary, 2015.
- [93] A. Kaya, F. Kar, "Properties of concrete containing waste expanded polystyrene and natural resin" *Construction and Building Materials*, 105, 572-578, 2016.
- [94] <http://www.yapidekor.net/Bilgiler/Genlestirilmis-Polistiren-Sert-Kopuk>, (20.09.2013).
- [95] <http://www.atermit.com/tr/eps> ve çevre (17.09.2013)
- [96] <http://www.pud.org.tr>, (27.09. 2013)
- [97] http://www.tubitak.gov.tr/tubitak_content_files/vizyon2023/csk/EK-4.pdf
- [98] L. Gündüz, İ. Uğur, S. Demirdağ, "Mermer türlerinin özgül ısı kapasite değerleri üzerine teknik bir inceleme" Türkiye III. Mermer Sempozyumu Afyon, 3-5 Mayıs 2001.

- [99] <http://www.sabah.com.tr/YesilEkran/2013/04/10/turkiyenin-3-geri-donusum-isletmesi>
- [100] <http://www.agacler.net/form/meyvelerde-hastalik>. (26.03.2014).
- [101] Y. A. Cengel, "Heat transfer a practical approach (second edition)", *McGraw-Hill*, 2003.
- [102] S. Subaşı, "Genleştirilmiş kil agregası ile taşıyıcı hafif beton üretimi", *Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 24, 559-567, 2009.
- [103] A. Benazzouk, O. Douzane, K. Mezreb, B. Laidoudi, M. Queneudec, "Thermal conductivity of cement composites containing rubber waste particles", Experimental study and modelling, *Construction and Building Materials*, 22, 573-579, 2008.
- [104] J. Khedari, B. Suttisonk, N. Pratinthong, J. Hirunlabh, "New lightweight composite construction materials with low thermal conductivity", *Cement and Concrete Composites*, 23, 65-70, 2001.
- [105] Y. Xu, D. D. L. Chung, "Cement of high specific heat and high thermal conductivity, obtained by using silane and silica fume as admixtures", *Cement and Concrete Research*, 30, 1175-1178, 2000
- [106] A. Rim, K., Ledhem, A., Douzane, O. Dheilily, R. M., Queneudec, "Influence of the proportion of wood on the thermal and mechanical performances of clay-cement-wood composites", *Cement and Concrete Composites*, 21, 269-276, 1999.
- [107] M. Toksoy, "Endüstriyel malzemelerin ısı iletim katsayıları" *TMMOB Mühendis ve Makine Dergisi*, Sayı 347, Sayfa 12-15, 1988.
- [108] H. Günerhan " Duyulur ısı depolama ve bazalt taşı", <http://www.mmo.org.tr>, 20.09.2014

EKLER

EK 1. Poroziteye bağı olarak θ boyutsuz sayısının değişimi bilgisayar programı

```
clear all
clc
SPI=[0
      0.1; 0.2; 0.3; 0.4; 0.5;
      0.6; 0.7; 0.8; 0.9; 1];
HL=zeros(11,1);
x=zeros(11,1);
X=1;
for i=1:11
    for j=1:100
        %Y=(-12*X^2+8*X^3+6*X+(1-SPI(i))); %Denkleminin kökleri:
        C=(1-SPI(i))*64;
        Y=(12*X^2-X^3+C)/48;
        X=Y;
        S=X/8;
        H=S/(.5-S);
        HL(i)=H/(1+H);
    end

    y(i)=(-12*HL(i)^2+8*HL(i)^3+6*HL(i)+(1-SPI(i)));
end
plot(SPI,HL)
```

0,1	0,535841
0,2	0,415196
0,3	0,330567
0,4	0,263194
0,5	0,206299
0,6	0,156567
0,7	0,112096
0,8	0,071682
0,9	0,034511
1	0

EK 2. Hazırlanan örneklerin kodlanma şekli

Örnekler toplam 5 harf ve raya rakamlardan ibarettir.

Birinci rakam: EPS boyutunu gösterir. 1: Tane çapı 0-3 mm, 2: Tane çapı 0-6 mm.

İkinci harf: Reçine cinsidir. G: Kitre, K: Kayısı reçinesini belirtir.

Üçüncü rakam: Reçine katılım oranıdır (%).

Dördüncü harf: Bağlayıcı cinsi. Ç: Çimento, A: Alçı.

Beşinci rakam: Bağlayıcı katılım oranı. 1: %20, 2:%40, 3: %60, 4: %80 gösterir.

Kod	EPS tane çapı (0-3 mm)				
	Reçine cinsi	Reçine oranı (%)	EPS oranı (%)	Çimento oranı (%)	Alçı oranı (%)
1G0Ç1	-	0	80	20	-
1G0Ç2			60	40	-
1G0Ç3			40	60	-
1G0Ç4			20	80	-
1G0A1			80	-	20
1G0A2			60	-	40
1G0A3			40	-	60
1G0A4			20	-	80
1G1Ç1	Kitre	0.5	80	20	-
1G1Ç2			60	40	-
1G1Ç3			40	60	-
1G1Ç4			20	80	-
1G1A1			80	-	20
1G1A2			60	-	40
1G1A3			40	-	60
1G1A4			20	-	80
1G2Ç1	Kitre	1	80	20	-
1G2Ç2			60	40	-
1G2Ç3			40	60	-
1G2Ç4			20	80	-
1G2A1			80	-	20
1G2A2			60	-	40
1G2A3			40	-	60
1G2A4			20	-	80
1G3Ç1	Kitre	1.5	80	20	-
1G3Ç2			60	40	-
1G3Ç3			40	60	-
1G3Ç4			20	80	-
1G3A1			80	-	20
1G3A2			60	-	40
1G3A3			40	-	60
1G3A4			20	-	80

EK 2' in devamı

Kod	EPS tane çapı (0-6 mm)				
	Reçine cinsi	Reçine oranı (%)	EPS oranı (%)	Çimento oranı (%)	Alçı oranı (%)
2G0Ç1	-	0	80	20	-
2G0Ç2			60	40	-
2G0Ç3			40	60	-
2G0Ç4			20	80	-
2G0A1			80	-	20
2G0A2			60	-	40
2G0A3			40	-	60
2G0A4			20	-	80
2G1Ç1	Kitre	0.5	80	20	-
2G1Ç2			60	40	-
2G1Ç3			40	60	-
2G1Ç4			20	80	-
2G1A1			80	-	20
2G1A2			60	-	40
2G1A3			40	-	60
2G1A4			20	-	80
2G2Ç1	Kitre	1	80	20	-
2G2Ç2			60	40	-
2G2Ç3			40	60	-
2G2Ç4			20	80	-
2G2A1			80	-	20
2G2A2			60	-	40
2G2A3			40	-	60
2G2A4			20	-	80
2G3Ç1	Kitre	1.5	80	20	-
2G3Ç2			60	40	-
2G3Ç3			40	60	-
2G3Ç4			20	80	-
2G3A1			80	-	20
2G3A2			60	-	40
2G3A3			40	-	60
2G3A4			20	-	80

EK 2' in devamı

Kod	EPS tane çapı (0-3 mm)				
	Reçine cinsi	Reçine oranı (%)	EPS oranı (%)	Çimento oranı (%)	Alçı oranı (%)
1K1Ç1	Kayısı	0.5	80	20	-
1K1Ç2			60	40	-
1K1Ç3			40	60	-
1K1Ç4			20	80	-
1K1A1			80	-	20
1K1A2			60	-	40
1K1A3			40	-	60
1K1A4			20	-	80
1K2Ç1	Kayısı	1	80	20	-
1K2Ç2			60	40	-
1K2Ç3			40	60	-
1K2Ç4			20	80	-
1K2A1			80	-	20
1K2A2			60	-	40
1K2A3			40	-	60
1K2A4			20	-	80
1K3Ç1	Kayısı	1.5	80	20	-
1K3Ç2			60	40	-
1K3Ç3			40	60	-
1K3Ç4			20	80	-
1K3A1			80	-	20
1K3A2			60	-	40
1K3A3			40	-	60
1K3A4			20	-	80

EK 2' in devamı

Kod	EPS tane çapı (0-6 mm)				
	Reçine cinsi	Reçine oranı (%)	EPS oranı (%)	Çimento oranı (%)	Alçı oranı (%)
2K1Ç1	Kayısı	0.5	80	20	-
2K1Ç2			60	40	-
2K1Ç3			40	60	-
2K1Ç4			20	80	-
2K1A1			80	-	20
2K1A2			60	-	40
2K1A3			40	-	60
2K1A4			20	-	80
2K2Ç1	Kayısı	1	80	20	-
2K2Ç2			60	40	-
2K2Ç3			40	60	-
2K2Ç4			20	80	-
2K2A1			80	-	20
2K2A2			60	-	40
2K2A3			40	-	60
2K2A4			20	-	80
2K3Ç1	Kayısı	1.5	80	20	-
2K3Ç2			60	40	-
2K3Ç3			40	60	-
2K3Ç4			20	80	-
2K3A1			80	-	20
2K3A2			60	-	40
2K3A3			40	-	60
2K3A4			20	-	80

EK 3. Numunelerin su emme deneyi sonuçları

EPS tane çapı 0-3 mm, Reçine cinsi: Kitre								
Kod	Kuru ağırlık (g)	1/3 saat	2/3 saat	1 saat	2 saat	4 saat	24 saat	Su emme oranı (%)
Reçine katkısız numuneler								
1G0Ç1	96.01	99.48	101.07	103.12	105.46	107.79	112.95	16.60
1G0Ç2	116.47	121.86	123.94	125.69	127.83	130.13	139.23	19.55
1G0Ç3	160.80	174.06	180.21	183.18	187.65	190.24	197.14	22.06
1G0Ç4	205.80	224.96	230.77	235.70	243.00	245.00	253.97	23.41
1G0A1	86.37	94.22	97.12	100.18	103.85	106.23	112.45	30.19
1G0A2	126.52	137.21	140.68	143.03	148.22	155.16	171.35	35.44
1G0A3	143.12	160.9	170.26	178.48	189.66	196.06	204.46	42.86
1G0A4	186.58	211.18	229.94	231.49	233.35	235.92	269.82	44.32
Ağırlıklı reçine oranı % 0.5 bağlayıcılı numuneler								
1G1Ç1	88.82	93.19	96.60	98.70	101.37	103.04	109.50	19.26
1G1Ç2	106.36	111.22	114.04	117.00	118.78	121.26	129.82	22.05
1G1Ç3	155.55	171.20	175.44	177.95	182.39	186.70	194.26	24.89
1G1Ç4	200.15	212.26	227.67	228.87	235.33	240.56	252.24	25.03
1G1A1	84.46	92.48	95.52	98.03	101.78	105.41	111.24	31.79
1G1A2	115.38	125.19	130.89	135.71	140.41	145.38	160.44	39.06
1G1A3	140.94	158.29	169.42	175.59	183.13	190.02	203.15	44.14
1G1A4	182.97	220.01	228.21	231.04	233.57	235.84	266.42	45.61
Ağırlıklı reçine oranı % 1 bağlayıcılı numuneler								
1G2Ç1	86.33	91.75	92.22	95.77	98.07	99.99	105.13	21.78
1G2Ç2	102.08	106.24	109.48	112.63	115.09	117.26	126.74	24.16
1G2Ç3	151.74	167.56	171.16	173.34	178.57	183.08	191.13	25.96
1G2Ç4	180.08	210.02	216.47	223.21	229.27	233.12	245.88	26.80
1G2A1	82.65	90.17	93.52	95.65	99.83	103.95	109.87	34.56
1G2A2	110.44	123.56	128.51	131.42	136.81	141.46	156.34	41.75
1G2A3	138.28	152.94	161.65	170.43	179.41	186.06	202.40	46.37
1G2A4	178.47	215.32	224.12	227.52	229.25	232.22	264.08	47.97
Ağırlıklı reçine oranı % 1.5 bağlayıcılı numuneler								
1G3Ç1	84.12	88.35	90.89	93.36	96.59	98.68	104.00	23.64
1G3Ç2	98.64	102.15	105.59	107.74	111.16	113.93	124.76	26.49
1G3Ç3	147.52	162.76	167.47	169.85	174.07	179.54	188.68	28.58
1G3Ç4	169.24	211.99	210.40	215.77	222.45	228.72	240.09	29.41
1G3A1	80.07	88.88	90.51	93.89	98.00	103.23	109.48	36.74
1G3A2	99.60	116.26	122.24	126.81	131.46	136.56	145.30	45.89
1G3A3	134.16	148.54	157.86	166.52	174.90	181.96	200.44	49.41
1G3A4	173.17	176.29	198.71	220.17	224.41	228.17	259.76	50.00

EK 3' ün devamı

EPS tane çapı 0-6 mm, Reçine cinsi: Kitre								
Kod	Kuru ağırlık (g)	1/3 saat	2/3 saat	1 saat	2 saat	4 saat	24 saat	Su emme oranı (%)
Reçine katkısız numuneler								
2G0Ç1	87.30	91.58	92.35	93.88	95.13	96.26	100.04	14.60
2G0Ç2	102.07	108.86	110.14	112.46	114.56	116.41	119.98	17.55
2G0Ç3	155.61	171.76	173.14	177.75	180.82	182.91	186.82	20.06
2G0Ç4	200.16	218.64	223.79	229.90	232.82	294.24	242.95	21.38
2G0A1	83.31	93.79	97.48	99.44	101.49	103.41	107.23	28.41
2G0A2	108.51	126.63	129.49	131.60	133.67	135.56	143.22	31.95
2G0A3	139.48	165.54	172.02	175.25	179.12	181.95	187.67	34.55
2G0A4	184.45	197.26	205.44	210.91	225.46	236.17	251.73	36.48
Ağırlıklı reçine oranı % 0.5 bağlayıcılı numuneler								
2G1Ç1	84.37	88.85	90.06	91.98	92.78	93.85	98.45	16.70
2G1Ç2	98.79	103.66	105.38	109.63	110.12	112.32	118.80	20.26
2G1Ç3	146.99	155.78	164.58	170.27	174.02	177.51	180.39	22.72
2G1Ç4	190.04	207.29	215.01	218.66	222.61	224.63	236.22	24.30
2G1A1	81.05	90.30	95.17	97.25	99.00	101.15	105.02	29.58
2G1A2	102.64	120.78	123.45	126.21	129.41	131.56	138.00	34.46
2G1A3	134.14	154.52	159.69	165.91	172.47	179.58	185.78	38.50
2G1A4	179.04	192.83	202.10	205.05	220.42	230.21	249.64	39.43
Ağırlıklı reçine oranı % 1 bağlayıcılı numuneler								
2G2Ç1	81.69	87.91	88.82	90.82	92.01	93.00	97.55	19.41
2G2Ç2	96.06	101.15	102.17	104.37	106.24	108.28	117.38	22.17
2G2Ç3	142.55	155.51	165.51	165.91	171.05	174.81	178.87	25.48
2G2Ç4	171.48	185.61	200.06	202.33	208.28	211.35	217.10	26.60
2G2A1	78.10	90.14	94.26	96.30	98.41	100.11	103.66	32.73
2G2A2	99.06	116.03	120.33	123.18	126.00	129.38	136.52	37.82
2G2A3	131.86	145.63	153.94	157.85	166.73	175.46	184.00	39.54
2G2A4	173.19	190.86	198.65	202.58	212.41	227.25	246.62	42.45
Ağırlıklı reçine oranı % 1.5 bağlayıcılı numuneler								
2G3Ç1	79.81	85.34	87.52	89.57	91.12	92.00	96.75	21.23
2G3Ç2	92.38	96.95	98.48	100.66	103.41	105.14	116.00	25.66
2G3Ç3	138.00	145.08	153.30	160.75	168.00	171.91	175.26	27.00
2G3Ç4	154.26	210.65	213.29	217.51	219.68	222.78	198.36	28.37
2G3A1	76.16	88.42	91.52	93.56	96.84	98.57	102.59	34.71
2G3A2	94.16	110.12	114.45	119.03	123.00	127.51	134.25	42.58
2G3A3	128.33	140.43	144.05	147.62	160.91	170.08	181.15	43.54
2G3A4	168.87	188.87	190.45	196.65	210.64	223.58	245.84	45.58

EK 3' ün devamı

EPS tane çapı 0-3 mm, Reçine cinsi: Kayısı ağacı								
Kod	Kuru ağırlık (g)	1/3 saat	2/3 saat	1 saat	2 saat	4 saat	24 saat	Su emme oranı (%)
Ağırlıklı reçine oranı % 0.5 bağlayıcılı numuneler								
1K1Ç1	93.78	96.06	98.05	100.07	103.37	105.24	111.12	18.52
1K1Ç2	110.03	114.04	116.40	118.00	119.78	121.26	133.46	21.05
1K1Ç3	158.89	169.01	175.33	178.98	183.32	186.07	195.08	23.23
1K1Ç4	202.15	214.26	224.17	230.87	236.43	240.62	250.82	24.08
1K1A1	85.33	93.57	96.29	99.05	102.41	105.28	111.51	30.68
1K1A2	118.26	127.42	132.59	137.46	143.12	149.38	162.60	37.50
1K1A3	142.06	158.29	170.38	175.89	184.22	192.24	203.47	43.23
1K1A4	184.26	221.01	230.12	232.28	234.54	237.35	268.02	45.46
Ağırlıklı reçine oranı % 1 bağlayıcılı numuneler								
1K2Ç1	90.93	93.38	94.06	95.88	99.57	102.99	109.68	20.42
1K2Ç2	105.97	109.48	111.84	113.63	115.00	117.26	131.03	23.65
1K2Ç3	154.31	165.57	169.30	176.68	180.57	183.68	194.43	26.00
1K2Ç4	188.05	212.20	218.54	226.30	231.21	234.12	240.22	27.44
1K2A1	83.41	91.38	94.26	96.34	100.00	104.41	110.98	33.06
1K2A2	114.44	124.57	130.32	133.27	138.21	145.66	160.83	40.54
1K2A3	139.40	154.41	162.26	173.55	181.42	188.35	202.42	45.21
1K2A4	180.51	217.29	226.38	227.45	229.58	233.36	266.81	47.81
Ağırlıklı reçine oranı % 1.5 bağlayıcılı numuneler								
1K3Ç1	87.12	90.35	92.89	94.06	96.99	100.68	106.84	22.64
1K3Ç2	102.79	105.15	107.59	109.74	111.16	113.93	128.99	25.49
1K3Ç3	140.82	153.28	160.47	166.85	171.07	174.54	181.15	28.64
1K3Ç4	180.42	203.11	210.40	215.77	224.35	227.72	234.62	30.04
1K3A1	82.10	89.58	91.64	94.37	99.01	103.56	110.10	34.14
1K3A2	108.86	118.18	124.31	128.44	133.56	137.41	156.63	43.89
1K3A3	138.10	151.11	158.44	168.21	175.78	184.32	202.30	46.49
1K3A4	178.31	200.21	222.14	225.23	227.51	230.48	265.20	48.70

EK 3' ün devamı

EPS tane çapı 0-6 mm, Reçine cinsi: Kayısı ağacı								
Kod	Kuru ağırlık (g)	1/3 saat	2/3 saat	1 saat	2 saat	4 saat	24 saat	Su emme oranı (%)
Ağırlıklı reçine oranı % 0.5 bağlayıcılı numuneler								
2K1Ç1	85.45	89.57	91.12	92.45	94.06	95.15	99.12	16.00
2K1Ç2	99.21	105.44	107.42	109.28	111.08	113.24	119.11	20.06
2K1Ç3	149.26	157.48	166.83	171.89	175.16	178.51	182.26	22.11
2K1Ç4	192.04	209.78	217.46	220.31	224.29	226.56	237.32	23.58
2K1A1	82.28	92.11	96.16	98.42	99.88	102.02	106.31	29.21
2K1A2	105.43	121.21	124.00	127.32	129.41	131.03	140.23	33.49
2K1A3	136.82	156.28	160.25	166.98	174.41	178.81	186.75	36.50
2K1A4	180.40	194.52	201.26	205.59	219.23	232.18	249.72	38.43
Ağırlıklı reçine oranı % 1 bağlayıcılı numuneler								
2K2Ç1	82.52	87.48	89.63	91.24	93.55	94.21	98.28	19.11
2K2Ç2	97.75	103.28	105.47	107.53	109.34	111.46	118.33	21.06
2K2Ç3	145.55	158.11	162.42	166.99	172.45	176.21	186.18	24.48
2K2Ç4	175.12	187.64	202.26	205.12	209.03	212.43	220.30	25.23
2K2A1	80.41	91.26	94.14	97.33	99.00	101.01	105.03	30.63
2K2A2	102.56	117.85	121.49	124.85	127.53	130.24	139.29	35.82
2K2A3	133.45	147.38	154.54	158.46	167.85	175.46	184.92	39.57
2K2A4	177.15	191.87	197.65	202.58	215.41	228.25	248.78	40.44
Ağırlıklı reçine oranı % 1.5 bağlayıcılı numuneler								
2K3Ç1	80.22	86.26	88.24	90.01	92.08	93.11	96.75	21.36
2K3Ç2	94.21	100.86	102.53	104.38	106.11	109.14	115.98	23.11
2K3Ç3	140.28	146.13	155.27	160.88	168.24	172.59	175.60	27.32
2K3Ç4	167.98	173.52	192.42	200.23	205.48	208.20	217.34	29.54
2K3A1	78.36	90.13	92.56	95.33	97.65	99.78	104.59	33.48
2K3A2	98.21	112.22	116.05	120.71	124.42	128.15	138.19	40.71
2K3A3	129.16	142.28	145.58	150	161.97	171.08	183.52	42.09
2K3A4	172.58	189.45	195.56	200.47	211.65	213.58	247.27	43.28

EK 4. Numunelerin kuruma deneyi sonuçları

EPS tane çapı 0-3 mm, Reçine cinsi: Kitre									
Kod	Islak ağır. (g)	1/2 saat	1 saat	2 saat	3 saat	4 saat	24 saat	48 saat	Kuruma oranı(%)
Reçine katkısız numuneler									
1G0Ç1	112.95	110.28	108.85	107.67	106.20	105.94	104.38	103.55	8.32
1G0Ç2	139.23	137.55	135.19	133.45	131.28	129.02	125.78	122.99	11.66
1G0Ç3	197.14	193.29	190.20	187.13	184.34	182.88	175.12	169.34	14.10
1G0Ç4	253.97	249.33	244.21	238.19	234.28	231.71	220.35	211.22	16.83
1G0A1	112.45	110.55	108.68	106.96	104.85	103.33	100.25	97.23	13.53
1G0A2	171.35	168.78	165.48	162.05	159.19	156.36	150.19	144.40	15.73
1G0A3	204.46	200.48	196.16	191.88	187.40	184.96	174.88	165.08	19.26
1G0A4	269.82	262.81	253.18	242.22	236.18	231.42	216.46	203.96	24.41
Ağırlıklı reçine oranı % 0.5 bağlayıcılı numuneler									
1G1Ç1	109.50	107.66	105.88	103.79	102.88	102.26	100.58	99.18	9.42
1G1Ç2	129.82	127.48	125.00	123.56	121.33	119.78	115.60	112.86	13.06
1G1Ç3	194.26	190.44	187.89	184.01	181.63	180.58	171.43	163.22	15.98
1G1Ç4	252.24	243.29	238.75	232.00	227.47	225.38	213.26	204.01	19.12
1G1A1	111.24	109.49	107.58	105.44	103.26	101.93	97.82	94.66	14.90
1G1A2	160.44	156.28	152.56	148.93	145.27	142.89	136.39	130.15	18.88
1G1A3	203.15	195.05	190.75	186.63	182.34	179.83	168.72	158.23	22.11
1G1A4	266.42	253.48	246.26	238.38	230.22	226.24	212.41	198.85	25.36
Ağırlıklı reçine oranı % 1 bağlayıcılı numuneler									
1G2Ç1	105.13	103.53	102.88	100.80	98.68	96.97	94.48	92.71	11.81
1G2Ç2	126.74	124.66	122.98	120.74	118.63	116.98	113.08	108.69	14.24
1G2Ç3	191.13	187.26	184.41	180.56	176.41	174.35	165.48	157.64	17.52
1G2Ç4	245.88	238.97	231.59	227.10	221.26	220.58	206.39	192.65	21.65
1G2A1	109.87	107.35	105.78	103.66	102.94	99.85	95.89	92.30	15.99
1G2A2	156.34	152.24	149.40	146.45	142.00	140.79	132.25	125.24	19.89
1G2A3	202.40	195.66	187.39	181.87	176.96	173.88	162.44	149.39	26.19
1G2A4	264.08	250.67	243.35	233.74	225.00	222.06	207.90	188.76	28.52
Ağırlıklı reçine oranı % 1.5 bağlayıcılı numuneler									
1G3Ç1	104.00	102.29	100.36	98.43	95.68	94.57	92.22	90.76	12.73
1G3Ç2	124.76	122.38	120.52	118.59	116.85	114.26	110.16	105.55	15.40
1G3Ç3	188.68	183.27	180.34	176.00	172.00	169.44	160.36	152.84	18.99
1G3Ç4	240.09	233.51	226.22	221.43	217.49	215.38	200.78	184.29	23.24
1G3A1	109.48	106.38	103.47	101.08	99.00	97.28	93.00	88.58	19.09
1G3A2	145.30	142.00	139.62	136.33	133.23	130.84	120.96	111.87	23.01
1G3A3	200.44	191.38	183.52	177.47	172.41	168.56	158.54	146.08	27.12
1G3A4	259.76	247.88	231.57	225.81	221.53	219.49	202.78	184.06	29.14

EK 4' ün devamı

EPS tane çapı 0-6 mm, Reçine cinsi: Kitre									
Kod	Islak ağır. (g)	1/2 saat	1 saat	2 saat	3 saat	4 saat	24 saat	48 saat	Kuruma oranı(%)
Reçine katkısız numuneler									
2Ç1	100.04	96.38	97.45	96.28	95.19	94.41	92.15	90.34	9.87
2Ç2	119.98	117.28	115.86	113.60	112.48	111.00	106.89	102.17	14.84
2Ç3	186.82	181.49	178.41	175.88	173.53	170.79	161.81	155.34	16.58
2Ç4	242.95	238.53	232.42	227.28	223.47	218.46	208.88	199.19	18.01
2A1	107.23	103.29	100.48	99.38	98.41	97.45	94.66	92.05	14.16
2A2	143.22	139.84	136.53	133.38	131.62	130.75	125.46	120.15	16.11
2A3	187.67	182.35	178.58	175.27	172.47	170.60	158.39	149.16	20.52
2A4	251.73	245.45	241.36	236.29	231.30	227.41	202.98	188.65	25.06
Ağırlıklı reçine oranı % 0.5 bağlayıcılı numuneler									
2G1Ç1	98.45	96.25	95.53	94.55	93.46	92.58	90.10	88.56	10.05
2G1Ç2	118.80	115.24	114.28	112.24	110.93	109.88	105.66	100.94	15.03
2G1Ç3	180.39	175.38	172.46	169.38	167.65	164.68	155.44	148.48	17.69
2G1Ç4	236.22	226.57	220.29	215.21	211.11	207.28	196.69	187.96	20.43
2G1A1	105.02	101.41	98.35	97.47	96.22	95.68	92.65	88.17	16.04
2G1A2	138.00	134.31	131.43	129.29	126.62	124.54	116.74	110.59	19.86
2G1A3	185.78	180.49	176.21	173.33	170.56	167.44	153.55	141.05	24.08
2G1A4	249.64	241.26	238.18	233.42	228.02	223.49	198.70	183.63	26.44
Ağırlıklı reçine oranı % 1 bağlayıcılı numuneler									
2G2Ç1	97.55	95.55	94.46	93.27	92.46	91.48	88.97	86.89	10.93
2G2Ç2	117.38	115.42	113.83	111.09	110.18	108.38	104.01	98.46	16.12
2G2Ç3	178.87	173.00	170.63	167.30	164.44	161.52	151.69	143.90	19.55
2G2Ç4	217.10	210.38	206.44	201.61	196.23	192.56	180.87	170.25	21.58
2G2A1	103.66	99.65	96.65	95.48	94.44	93.81	89.88	85.34	17.67
2G2A2	136.52	132.54	129.76	127.26	125.24	123.28	114.49	107.15	21.51
2G2A3	184.00	179.64	173.37	170.78	167.19	164.33	150.23	133.93	25.58
2G2A4	246.62	238.22	234.13	229.89	224.04	219.51	195.33	175.98	28.64
Ağırlıklı reçine oranı % 1.5 bağlayıcılı numuneler									
2G3Ç1	96.75	94.02	92.53	91.26	90.01	89.88	87.06	84.40	12.77
2G3Ç2	116.00	113.15	112.48	109.63	107.24	106.35	100.81	95.89	17.34
2G3Ç3	175.26	170.36	167.85	164.65	161.58	158.28	148.48	139.28	20.53
2G3Ç4	198.36	191.57	188.17	183.19	178.49	173.87	161.05	151.70	23.52
2G3A1	102.59	97.77	94.53	93.35	92.41	91.42	85.88	81.25	20.80
2G3A2	134.25	129.79	126.86	124.42	122.56	120.88	111.52	103.53	22.88
2G3A3	181.15	174.58	170.38	167.63	164.42	161.58	147.31	131.68	27.31
2G3A4	245.84	237.30	233.58	227.11	222.86	216.78	192.48	173.64	29.37

EK 4' ün devamı

EPS tane çapı 0-3 mm, Reçine cinsi: Kayısı ağacı									
Kod	Islak ağır. (g)	1/2 saat	1 saat	2 saat	3 saat	4 saat	24 saat	48 saat	Kuruma oranı(%)
Ağırlıklı reçine oranı % 0.5 bağlayıcılı numuneler									
1K1Ç1	111.12	108.34	106.18	105.58	104.83	103.58	102.09	100.70	9.38
1K1Ç2	133.46	130.36	128.59	125.38	123.46	122.63	119.35	116.67	12.58
1K1Ç3	195.08	191.66	188.41	185.00	182.48	180.41	173.23	166.26	14.77
1K1Ç4	250.82	243.58	238.96	234.00	230.47	227.00	216.26	206.42	17.70
1K1A1	111.51	108.71	106.24	104.89	102.66	101.66	98.13	95.44	14.41
1K1A2	162.60	157.30	155.25	150.87	147.97	144.86	138.49	133.51	17.89
1K1A3	203.47	198.26	195.01	190.63	186.28	183.41	170.56	156.69	22.99
1K1A4	268.02	259.61	251.26	239.38	234.02	226.24	210.41	190.88	28.78
Ağırlıklı reçine oranı % 1 bağlayıcılı numuneler									
1K2Ç1	109.68	106.48	104.81	103.00	102.78	101.78	99.89	97.38	11.21
1K2Ç2	131.03	127.63	125.95	123.79	121.88	120.67	116.00	113.03	13.74
1K2Ç3	194.43	189.52	187.41	184.36	180.36	178.58	171.41	161.55	16.91
1K2Ç4	240.22	235.14	232.37	226.32	220.48	218.46	204.37	190.90	20.53
1K2A1	110.98	108.29	106.97	102.15	100.14	99.05	95.48	91.80	17.28
1K2A2	160.83	155.17	153.02	144.14	140.34	139.35	131.93	125.85	21.75
1K2A3	202.42	197.06	194.39	188.87	184.78	181.08	166.44	152.30	24.76
1K2A4	266.81	255.61	250.88	237.95	227.28	221.06	203.09	182.79	31.49
Ağırlıklı reçine oranı % 1.5 bağlayıcılı numuneler									
1K3Ç1	106.84	104.21	103.00	101.16	100.24	99.18	95.88	92.13	13.77
1K3Ç2	128.99	125.60	123.98	121.85	119.38	117.65	113.00	109.11	15.41
1K3Ç3	181.15	176.84	173.99	170.54	167.33	165.12	156.17	146.80	18.96
1K3Ç4	234.62	227.53	222.22	214.40	210.33	208.37	194.78	182.51	22.21
1K3A1	110.10	106.41	104.47	101.08	99.00	97.28	92.88	88.49	19.63
1K3A2	156.63	150.81	147.97	140.39	137.98	135.35	126.44	119.51	23.70
1K3A3	202.30	196.45	193.52	187.47	183.41	180.65	163.58	148.77	26.46
1K3A4	265.20	254.54	248.37	230.81	221.53	214.49	196.78	178.21	32.80

EK 4' ün devamı

EPS tane çapı 0-6 mm, Reçine cinsi: Kayısı ağacı									
Kod	Islak ağır. (g)	1/2 saat	1 saat	2 saat	3 saat	4 saat	24 saat	48 saat	Kuruma oranı(%)
Ağırlıklı reçine oranı % 0.5 bağlayıcı numuneler									
2K1Ç1	99.12	97.59	96.55	95.18	94.11	93.69	90.78	87.52	11.70
2K1Ç2	119.11	116.41	114.28	111.24	110.33	108.88	104.66	100.48	15.64
2K1Ç3	182.26	176.39	173.46	170.38	167.65	165.28	153.33	148.44	18.56
2K1Ç4	237.32	230.27	226.29	220.21	215.11	212.28	202.69	191.14	19.46
2K1A1	106.31	101.58	99.32	98.47	97.22	96.42	93.06	90.20	15.15
2K1A2	140.23	136.63	133.33	130.76	128.41	127.88	120.89	113.43	19.11
2K1A3	186.75	180.91	177.37	172.78	169.19	167.33	152.80	142.66	23.61
2K1A4	249.72	242.53	238.18	234.42	229.28	224.49	201.01	184.47	26.13
Ağırlıklı reçine oranı % 1 bağlayıcı numuneler									
2K2Ç1	98.28	96.38	95.35	94.24	93.46	92.49	89.36	86.01	12.48
2K2Ç2	118.33	115.46	113.83	109.59	108.88	106.38	102.21	98.44	16.81
2K2Ç3	181.18	176.33	172.63	168.30	165.44	163.52	151.41	146.61	19.08
2K2Ç4	220.30	214.77	211.21	207.61	200.06	197.50	186.89	173.29	21.34
2K2A1	105.03	100.22	98.56	97.48	96.44	95.81	90.80	85.18	18.90
2K2A2	139.29	135.18	132.18	129.26	127.59	126.11	117.21	108.56	22.06
2K2A3	184.92	178.39	175.37	172.78	169.00	167.03	151.75	138.08	25.33
2K2A4	248.78	239.42	236.45	232.89	227.40	222.19	198.98	180.12	27.60
Ağırlıklı reçine oranı % 1.5 bağlayıcı numuneler									
2K3Ç1	96.75	95.62	94.53	93.26	92.01	91.88	87.26	82.43	14.80
2K3Ç2	115.98	113.64	112.48	107.63	105.26	103.35	99.48	93.50	19.38
2K3Ç3	175.60	169.11	166.48	163.36	160.48	159.89	148.28	139.39	20.62
2K3Ç4	217.34	209.13	206.17	200.19	189.79	186.87	176.86	166.46	23.41
2K3A1	104.59	99.67	97.53	96.41	95.31	94.42	88.88	82.56	21.06
2K3A2	138.19	133.23	131.36	128.32	125.06	122.79	113.53	103.03	25.44
2K3A3	183.52	176.41	173.38	170.63	167.42	165.58	149.31	132.41	27.85
2K3A4	247.27	237.77	234.58	229.89	224.45	218.56	194.25	173.53	29.82

EK 5. Literatür ile çalışma sonuçların karşılaştırılması

Numuneler	Yoğunluk (g/cm ³)	Isıl iletkenlik (W/mK)	Basınç Dayanımı (Mpa)	Kaynaklar
Çim.+%20 EPS, (0-3)mm, kitre %0	1.567	0.390	21.87	Bu çalışma
Çim.+%80 EPS, (0-3)mm, kitre %0	0.648	0.061	1.82	
Çim.+%20 EPS, (0-3)mm, kitre%0.5	1.390	0.350	16.6	
Çim.+%80 EPS, (0-3)mm, kitre%0.5	0.593	0.056	1.12	
Çim.+%20 EPS, (0-3)mm, kitre %1	1.232	0.320	10.85	
Çim.+%80 EPS, (0-3)mm, kitre %1	0.536	0.050	0.89	
Çim.+%20 EPS, (0-3)mm, kitre%1.5	1.033	0.284	5.87	
Çim.+%80 EPS, (0-3)mm, kitre%1.5	0.482	0.048	0.46	
Çim.+%20 EPS, (0-6)mm, kitre %0	1.339	0.380	21.87	Bu çalışma
Çim.+%80 EPS, (0-6)mm, kitre %0	0.605	0.057	1.82	
Çim.+%20 EPS, (0-6)mm kitre%0.5	1.211	0.331	16.6	
Çim.+%80 EPS, (0-6)mm,kitre%0.5	0.548	0.042	1.12	
Çim.+%20 EPS, (0-6)mm, kitre %1	1.082	0.307	10.85	
Çim.+%80 EPS, (0-6)mm, kitre %1	0.502	0.038	0.89	
Çim.+%20 EPS,(0-6)mm, kitre%1.5	0.979	0.270	5.87	
Çim.+%80 EPS,(0-6)mm, kitre%1.5	0.473	0.032	0.46	
Çimento dozajı 350 kg/m ³	1.370	-	16.67	[102]
Çimento dozajı 400 kg/m ³	1.560	-	23.27	
Çimento dozajı 450 kg/m ³	1.700	-	41.27	
Hacimce lastik oranı %30	1.473	0.625	23.30	[103]
Hacimce lastik oranı %40	1.300	0.516	16.00	
Hacimce lastik oranı %50	1.150	0.470	10.50	
%30 hindistan cevizi fiberi	0.770	0.175	1.97	[104]
%20 hindistan cevizi fiberi	1.106	0.429	2.53	
%30 durian fiberi	0.950	0.189	0.20	
%25 durian fiberi	1.180	0.252	0.20	
%15 silis dumanı %0 silan	1.980	0.403	65.00	[105]
%15 silis dumanı %0.5 silan	2.060	0.649	78.10	
%15 silis dumanı %1 silan	2.080	0.688	82.30	
%15 silis dumanı %1.5 silan	2.070	0.697	81.00	
%10 odun talaşı	1.010	0.220	2.67	[106]
%20 odun talaşı	0.870	0.160	2.35	
%30 odun talaşı	0.700	0.140	1.35	

EK 6. Ölçülen değişik malzemelerin ısı iletkenliği ve literatür değerleri [107].

Malzeme	Ölçülen değerler		Literatürdeki değerler	
	Yoğunluk (g/cm ³)	Isıl iletkenlik (W/mK)	Yoğunluk (g/cm ³)	Isıl iletkenlik (W/mK)
Dış sıva harcı	1.856	1.173	1.600	0.930
İç sıva harcı	1.763	1.163	1.680	0.779
Alçılı ince sıva	0.465	0.244	0.40-0.50	0.139-0.162
Alçılı kaba sıva	0.465	0.168	0.40-0.50	0.139-0.162
Çimentolu sıva	0.672	0.173	0.700	0.244
Alçılı blok	1.047	0.372	0.900	0.221
Çimentolu blok	0.427	0.292	0.105	0.300
Beton	2.500	1.420	2.272	1.512
Seramik toprak	1.077	0.214	2.000	0.988
Gazbeton	0.617	0.180	0.800	0.383
Cam yünü	0.150	0.034	0.200	0.037
Tuğla duvar	2.093	1.148	1.8-2.0	0.972
EPS (0-3)mm	0.01267	0.0298		
EPS (0-6)mm	0.00628	0.00223		
1G0Ç1	0.65	0.071		
1G0Ç4	1.57	0.390		
2G0Ç1	0.605	0.067		
2G0Ç4	1.339	0.380		
1G3Ç1	0.482	0.054		
1G3Ç4	1.083	0.279		
2G3Ç1	0.473	0.050		
2G3Ç4	0.979	0.270		
1G0A1	0.527	0.055		
1G0A4	1.088	0.260		
2G0A1	0.512	0.050		
2G0A4	1.015	0.255		
1G3A1	0.451	0.047		
1G3A4	0.903	0.190		
2G3A1	0.429	0.041		
2G3A4	0.816	0.188		
1K3A1	0.491	0.048		
1K3A4	0.981	0.194		
2K3A1	0.448	0.041		
2K3A4	0.895	0.190		

EK 7. Bazı depolama malzemelerinin 300 K sıcaklığındaki özellikleri [108].

Malzeme	Yoğunluk (kg/m³)	Isı iletim kat. (W/mK)	Özgül ısı (J/kgK)	Isı yayılım kat. (10⁻⁶ m²/s)	Isı kapasitesi (10⁶ J/m³K)
Odun	721	0.159	1260	0.17	0.91
Beton	1600	0.790	840	0.59	1.34
Ateş Tuğlası	1920	0.900	790	0.59	1.52
Cam	2710	0.760	837	0.33	2.27
Alüminyum	2702	237.000	903	97.13	2.44
Karbon Çeliği (Mn<%1,Si<%0.1)	7854	60.500	434	17.75	3.41
Saf Demir	7870	80.200	447	22.80	3.52
Çakıl Taşı	2050	1.730	1840	0.46	3.77
Su	996	0.615	4178	0.15	4.16

ÖZGEÇMİŞ

1984 Elazığ doğumluyum. ilk, orta, lise tahsilimi Elazığ da yaptım. 2006 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümünden bölüm birincisi olarak mezun oldum. 2007 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim dalı Temel İşlemler ve Termodinamik Bilim Dalı'nda yüksek lisans çalışmasına başladım. 2009 yılında Yüksek Lisans çalışmamı tamamlayıp aynı yıl doktora çalışmasına başladım. 2010 yılında Temel İşlemler ve Termodinamik Bilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi olarak atandım.Yabancı dilim İngilizce dir.

