

**KİTRE BAĞLAYICILI TERMİK SANTRAL UÇUCU
KÜLLERİNİN YENİ BİR YAPI MALZEMESİ
OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ**

Yük. Müh. Şerif YILMAZ

DOKTORA TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Yaşar BİÇER

EKİM-2010

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

**KİTRE BAĞLAYICILI TERMİK SANTRAL UÇUCU KÜLLERİNİN YENİ
BİR YAPI MALZEMESİ OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

Yük. Müh. Şerif YILMAZ

(07120203)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 20 Eylül 2010

Tezin Savunulduğu Tarih : 20 Ekim 2010

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Yaşar BİÇER (F.Ü)

Üye: Prof. Dr. Suat CANBAZOĞLU (İ.Ü)

Üye: Doç. Dr. İhsan DAĞTEKİN (F.Ü)

Üye: Doç. Dr. Ebru KAVAK AKPINAR (F.Ü)

Üye: Doç. Dr. Mehmet ESEN (F.Ü)

EKİM-2010

ÖNSÖZ

İnsanlığın en temel gereksinimi sağlıklı bir yaşam ve kalkınmadır. Gerek sanayileşme gerekse bireylerin daha iyi yaşam istekleri günümüzde enerji tüketimini önemli ölçüde arttırmaktadır. Enerji tüketimimizin büyük bir kısmı ısıtma için kullanılmaktadır. Bu sebeple ısı yalıtımı önem arz etmektedir. Isı yalıtım önlemlerinin alınması ile kullanıcıya sağlıklı, konforlu ve ekonomik mekanlar sunabilmek mümkündür. Isı yalıtımı uygulamaları ile konfor koşullarının oluşturulmasında kullanılan enerji miktarının azalması, küresel ısınma ve hava kirliliğinin artmasını önlemekte ve yapılarda kurallara uygun şekilde gerçekleştirilen ısı yalıtımı bireyler ve ülkeler açısından pek çok yarar sağlamaktadır. Bunların en önemlisi ısı yalıtımının enerji tasarrufuna olan katkısıdır. Bu amaçla, bağlayıcı olarak kitre kullanılarak, farklı oranlarda karıştırılmış kitre ve kül karışımlarından oluşan yalıtım özellikli mukavemet kazandırılmış kompozit türü yeni bir yapı malzemesi üretilmiştir.

Doktora çalışmam süresince maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen çok değerli aileme, çalışmalarında kendilerinden çok istifade ettiğim ve bu tezi hazırlamamda bana yardımcı olan değerli danışman hocam Prof. Dr. Yaşar BİÇER' e teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim. Ayrıca, İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünden Prof. Dr. İsmail Hakkı Tavman'a, Isı Laboratuvarı görevlilerine, Fırat Üniversitesi Makine Mühendisliği ve Yapı Eğitimi Laboratuvar görevlilerine çok teşekkür ederim.

Şerif YILMAZ
ELAZIĞ-2010

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	V
SUMMARY.....	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VII
TABLolar LİSTESİ.....	IX
SEMBOLLER LİSTESİ.....	X
1. GİRİŞ.....	1
2. AFŞİN ELBİSTAN TERMİK SANTRAL KÜLÜ.....	7
2.1. Uçucu Kül.....	7
2.1.1 Uçucu Küllerin Sınıflandırılması.....	8
2.1.2 Uçucu Küllerin Fiziksel Özellikleri.....	9
2.1.3 Uçucu Küllerin Kimyasal Özellikleri.....	11
2.1.4 Uçucu Küllerin Mineralojik Yapıları.....	12
2.1.5 Uçucu Küllerin Puzolanik Özelliği.....	14
2.1.6. Uçucu Küllerin Kullanım Alanları.....	14
2.1.6.1 Çimentoda Uçucu Kül Kullanımı.....	15
2.1.6.2 Yapı Malzemesi Üretiminde Uçucu Kül Kullanımı	16
2.1.6.3 Agrega Olarak Uçucu Kül Kullanımı	17
2.1.6.4 Betonda Uçucu Kül Kullanımı	17
2.1.6.5 Kerpiç ve Tuğla Yapımında Uçucu Kül Kullanımı	18
2.1.6.6 Yüzey Kaplayıcı veya Su Uzaklaştırıcı Olarak Uçucu Kül Kullanımı	18
2.1.6.7 Geoteknik Çalışmalarda Uçucu Kül Kullanımı	18
3. KİTRE.....	19
3.1 Türk Kitresi (Astragalus Gummifer)	19
3.2 Türkiye'de Yetişen Geven Türleri	20
3.3. Kitre Zamkının Elde Edilmesi	22
3.3.1 Yaprak Kitre	23
3.3.2 Tragakanton veya Firde	23

3.4	Kitrenin Bileşimi	23
3.5	Kitrenin Kullanım Alanları	23
4.	GÖZENEKLİ MALZEMEDE ISI İLETİMİ.....	24
4.1	Gözenekli Katı Malzemelerde Isıl İletkenliğin İncelenmesi	25
4.2.	Modeldeki Parametrelerin Deneysel veya Kurumsal Yöntemlerle Tesbiti.....	32
4.2.1	Porozite Tayini	32
4.2.2	Kül-Bağlayıcı Karışımlarında Hacimsel ve Ağırlık Oranları İlişkisi	34
4.2.3	Bağlayıcı ve Kül Karışımı Katı Fazı Isıl İletkenlik (k_s) Değerlerinin Tesbiti...	35
4.2.4	Gazların Isı İletkenlik Değerleri	36
4.2.5	Deney Numunelerinin Isı İletkenliğinin Sayısal Çözümü	37
5.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	39
5.1	Kitrenin Hazırlanması	39
5.2	Deney Numunelerinin Hazırlanması	40
5.3.	Isıl İletkenlik Deneyi	42
5.3.1	Isıl İletkenlik Ölçme Aleti ve Çalışma Yöntemi	43
5.4	Basma Mukavemeti Deneyi	47
5.5	Su Emme ve Kuruma Hızı Deneyi	50
5.6	İşlenebilme Özelliği	55
6.	BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞMA	58
6.1.	Isı iletkenlik Sonuçlarının Değerlendirilmesi	58
6.1.1	Afşin-Elbistan Termik Santral Külü İle Üretilen Çimento-Kitre Bağlayıcılı Numunelerde Kitrenin Isı iletkenlik Üzerine Etkisinin İncelenmesi	75
6.2	Su Emme Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi	77
6.3	Mekanik Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	84
7.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	89
KAYNAKLAR.....		92
ÖZGEÇMİŞ		

ÖZET

Bu çalışma ile, Termik santrallerde kömürün yüksek sıcaklıkta yanması sırasında oluşan ve gözenekli bir yapıya sahip küller kullanılarak düşük yoğunlukta yapı elemanı üretilebileceği düşünülmüş ve bu yapı elemanının yalıtım malzemesi olarak değerlendirilebilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada termik santral külleri eleme işlemine tabi tutulmadan uçucu kül ve taban külü olarak ele alınmış ve bağlayıcı olarak çimentonun yanı sıra yapıştırma özelliğine sahip kitre kullanılmıştır. Bu amaçla uçucu kül-kitre, taban külü-kitre ve uçucu kül-kitre-çimento, taban külü-kitre-çimento kullanılarak yalıtım özellikli mukavemet kazandırılmış kompozit türü yapı malzemesi üretilmiştir.

Deneylerde kullanılan uçucu ve taban külü, Afşin-Elbistan termik santralinden temin edilmiştir. Bağlayıcı olarak kitre ve kitre-portland çimentosu (KPÇ 325) karışımı kullanılmıştır. Bağlayıcıların cins ve yüzdelere göre 48 adet değişik numune hazırlanmıştır. Numuneler ısı iletim katsayısı, basma, çekme, su emme, kuruma hızı, işlenebilme özellikleri, kütle ve yoğunluk değerlerinin tayini için deneylere tabi tutulmuştur.

Numunelerin ısı iletim katsayılarının hesaplanmasında kullanılmak üzere cebirsel bir denklem geliştirilmiş ve bu denklemin verdiği sonuçlarla ölçüm sonuçlarının uyum içerisinde olduğu görülmüştür.

Kullanılan kitre miktarındaki artışa bağlı olarak ısı iletim katsayıları 0.142 W/mK değerine kadar küçülmüştür. Buna karşılık basınç ve çekme dayanım değerleri kitre oranının % 1 değerine kadar artarken % 1.5 değerinde ise kısmi bir düşüş göstermiştir.

Üretilen numunelerin su emme oranı T.S.E normlarında verilen % 30 değerinin üzerinde elde edilmiştir. Bu nedenle üretilen sıva tipi yapı malzemesinin dış sıvalarda ve su ile direkt temas edecek yüzeylerde kullanılamayacağı, buna karşılık iç sıva, çatı altı kaplama sıvası veya sandviç duvarlarda ara dolgu malzemesi olarak kullanılabileceği tespit edilmiştir.

Uçucu küllerle yapılacak iç sıvaların soluma kabiliyetine sahip olduğu, testere ile kesilebildiği, vidalanabildiği, tesisat çalışmaları için kanal açılmasına müsait olduğu ve matkapla delinebildiği görülmüştür. Ayrıca numuneler farklı boyalarla işleme tabi tutulmuş ve sonuçta numunelerin boya tutma özelliğinin son derece iyi olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kül, Kitre, Çimento, Kompozit Malzeme, Isı İletkenlik Katsayısı,

SUMMARY

Evaluation of Thermal Power Plant Ash in Tragacanth Binder Combinations as a New Construction Material

As a result of coal being burned in high temperature, small pores occur in the structure of ash. By using this feature of thermal power station ash was thought that low density construction element can be produced, and it was aimed that this construction element can be evaluated as isolation material. In this study, thermal power station ashes as fly ash and bottom ash without the process of sieving was subjected and cement as well as adhesive tragacanth was used as a binder. For this purpose, the composite construction material with the feature of isolation and strength were produced by using fly ash-tragacanth, bottom ash-tragacanth and fly ash-tragacanth-cement, bottom ash-tragacanth-cement.

The fly and bottom ash used in the experiments was supplied from Afşin-Elbistan Thermal Power Station. Tragacanth and a mixture of tragacanth and portland cement (KPC 325) was used as binding and 48 specimens were prepared depending on the kind and percentage of cement. The new productions were subjected to some tests to find out their detailed properties such as thermal conductivity coefficient, strain, tension, sucking capability of water, rate of drying, mass and density.

For calculate the thermal conductivity coefficients of the samples, an algebraic equation was developed. And it was found that the results of equation had a good agreement with the experimental results.

Depending on the amount of tragacanth increased the thermal conductivity coefficient had been decreased until 0.142 W/mK. On the other hand the compression and shrinking resistance increased until rate of tragacanth % 1, but when the amount of tragacanth was increased to the rate of % 1.5, it had been found partial reduction.

The rate of water absorption of samples produced is over the rate % 30 which is given by T.S.E (Turkish Standarts Institution). So stucco type building material can not be used for the outer stucco, and in areas which are exposed to water, but can be used for the inner stucco that doesn't have direct contact with water, and can be used in subroof covering, or in sandwich walls as a stuffing material.

It has been seen that samples -the air passage capacity with inner liquids which will made from fly ash- can be cut with saws, can be screwed, are suitable for opening channels in installation works, and can be drilled. Moreover, samples were subjected to different kind of colours, and as a result it has been confirmed that colour holding characteristic of the samples are extremely good.

Keywords: Ash, Gum-Tragacanth, Cement, Composite Material, Thermal Conductivity Coefficient

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Kuru halde kitre görünümü.....	3
Şekil 2.1. İngiltere’deki termik santrallerden elde edilen UK’lerin kullanım alanları.....	15
Şekil 3.1. Geven bitkisi	20
Şekil 4.1. Gözenekli malzemenin fiziksel modeli	26
Şekil 4.2. Elemanter hücre yapısı	26
Şekil 4.3. Elemanter hücreye ait dikey ve yatay kesit resmi	27
Şekil 4.4. Dirençlerin paralel ve seri bağlanması	28
Sekil 5.1. Kitrenin görünümü ((a) Eritilme safhasındaki, (b) Süzüldükten sonraki)	40
Sekil 5.2. Uçucu kül ile hazırlanan deney numuneleri	41
Sekil 5.3. Taban külü ile hazırlanan deney numuneleri	42
Şekil 5.4. Isıl iletkenlik ölçme aleti	43
Şekil 5.5. Basma mukavemeti deneyi cihazı	47
Şekil 5.6. Numunelerin matkapla delinebilirliği	55
Şekil 5.7. Boyama işlemine tabi tutulmuş numuneler	57
Şekil 6.1. Uçucu küllü numunelerde kitre ve çimentoya bağlı ısı iletim ilişkisi	61
Şekil 6.2. Taban küllü numunelerde kitre ve çimentoya bağlı ısı iletim ilişkisi	61
Şekil 6.3. Uçucu küllü numunelerin kitre ve çimentoya bağlı kuramsal ve deneysel açıdan ısı iletim katsayılarının karşılaştırılması	63
Şekil 6.4. Taban küllü numunelerin kitre ve çimentoya bağlı kuramsal ve deneysel açıdan ısı iletim katsayılarının karşılaştırılması	65
Şekil 6.5. Uçucu ve taban küllü numunelerin kitre ve çimentoya bağlı olarak ısı iletim katsayılarının karşılaştırılması	68
Şekil 6.6. Uçucu kül numunelerinin ısı iletim katsayısının aynı karışım oranlarına sahip taban külü numunelerinin ısı iletim katsayısından % olarak farkı	69
Şekil 6.7. Uçucu küllü numunelerde ısı iletim katsayısı porozite ilişkisi	70
Şekil 6.8. Taban küllü numunelerde ısı iletim katsayısı porozite ilişkisi	70
Şekil 6.9. Uçucu küllü numunelerde ısı iletim katsayısı yoğunluk ilişkisi	72
Şekil 6.10. Taban küllü numunelerde ısı iletim katsayısı yoğunluk ilişkisi	74
Şekil 6.11. Afşin-Elbistan termik santrali uçucu kül çimento bağlayıcılı numunelerde kitre kullanımına bağlı olarak ısı iletkenlikteki düşüş	76

Şekil 6.12. Afşin-Elbistan termik santrali taban külü çimento bağlayıcılı numunelerde kitre kullanımına bağlı olarak ısı iletkenlikteki düşüş.....	76
Şekil 6.13. Afşin-Elbistan termik santrali uçucu ve taban külü kitre-çimento bağlayıcılı numunelerde su emme kapasitesi.....	78
Şekil 6.14. Afşin-Elbistan termik santrali uçucu ve taban külü kitre-çimento bağlayıcılı numunelerde su emme hızı	82
Şekil 6.15. Afşin-Elbistan termik santrali uçucu ve taban külü kitre-çimento bağlayıcılı numunelerde kuruma hızı	83
Şekil 6.16. Afşin-Elbistan termik santrali uçucu ve taban külü kitre-çimento bağlayıcılı numunelerde basma mukavemeti	85
Şekil 6.17. Afşin-Elbistan termik santrali uçucu ve taban külü kitre-çimento bağlayıcılı numunelerde çekme mukavemeti.....	86
Şekil 6.18. Uçucu kül çimento bağlayıcılı numunelerde kitre kullanımına bağlı olarak basma mukavemetindeki artış	87
Şekil 6.19. Taban külü çimento bağlayıcılı numunelerde kitre kullanımına bağlı olarak basma mukavemetindeki artış	87

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1. Türkiye’de kömürle çalışan termik santraller	8
Tablo 2.2. Uçucu ve taban küllerinin fiziksel özellikleri	10
Tablo 2.3. Türkiye’deki bazı UK’lerin kimyasal kompozisyonları	11
Tablo 2.4. Afşin Elbistan termik santrali uçucu külü kimyasal bileşimi	12
Tablo 2.5. Uçucu külde bulunan başlıca elementler	13
Tablo 4.1. Kül ve bağlayıcılara ait yoğunluk değerleri (g/cm ³)	34
Tablo 4.2. Afşin-Elbistan termik santrali uçucu ve taban külüne ait kül matrisleri yoğunluk değerleri tayin tablosu	34
Tablo 4.3. Sıfır poroziteli kül ve bağlayıcıların ısı iletkenlik değerleri	36
Tablo 4.4. 300 K sıcaklığında muhtelif gazlara ait ısı iletkenlik değerleri	36
Tablo 5.1. Afşin-Elbistan termik santrali uçucu kül numunelerine ait özellikler	45
Tablo 5.2. Afşin-Elbistan termik santrali taban külü numunelerine ait özellikler	46
Tablo 5.3. Afşin-Elb.T.Sant. külü numunelerine ait basma mukavemeti değerleri	48
Tablo 5.4. Afşin-Elb.T.Sant. külü numunelerine ait çekme mukavemeti değerleri ...	49
Tablo 5.5. Afşin-Elb.T.Sant. uçucu külü numunelerine ait su emme deneyi	51
Tablo 5.6. Afşin-Elb.T.Sant. taban külü numunelerine ait su emme deneyi	52
Tablo 5.7. Afşin-Elb.T.Sant. uçucu külü numunelerine ait kuruma hızı deneyi	53
Tablo 5.8. Afşin-Elb.T.Sant. taban külü numunelerine ait kuruma hızı deneyi.....	54
Tablo 6.1. Shoterm QTM ölçme cihazı ile değişik malzemelerin ısı iletkenlik değerleri tesbiti	59

SEMBOLLER LİSTESİ

Gr	: Grashof sayısı, $((g.\beta.(T_1-T_2).D^3)/\nu^2)$
I	: Isıtıcı telden geçen akım, (A)
K, H	: Ölçme cihazına ait sabitler,
$k_{bağ}$	: Bağlayıcı malzeme ısı iletim katsayısı, (W/mK)
$k_{efeş}$	: Numunenin efektif ısı iletim katsayısı, (W/mK)
k_g	: Gözenek içi gazın ısı iletim katsayısı, (W/mK)
$k_{kül}$	: Sıfır poroziteli külün ısı iletim katsayısı, (W/mK)
k_s	: Numunenin katı fazının ısı iletim katsayısı, (W/mK)
Pr	: Prandtl sayısı, (ν/α)
Q	: Isıtıcı tele verilen ısı akısı, (kcal/m ² h)
R	: Elektriksel direnç, (m ² K/W)
Ra	: Rayleigh sayısı, (Gr.Pr)
t	: Isıtma süresi, (h)
T	: Sıcaklık, (K)
Y	: Ağırlıklı kül yüzdesi, (%)
Z	: Hacimsel kül yüzdesi, (%)
1-Y	: Ağırlıklı bağlayıcı yüzdesi, (%)
1-Z	: Hacimsel bağlayıcı yüzdesi, (%)
α	: Isı yayınma katsayısı, (m ² /s)
ε	: Siyah cismin ışıyım katsayısı
ρ	: Yoğunluk, (g/cm ³)
ρ_B	: Gözenekli numune yoğunluğu, (g/cm ³)
$\rho_{bağ}$	: Bağlayıcı yoğunluğu, (g/cm ³)
ρ_k	: Gözeneksiz numune yoğunluğu, (g/cm ³)
$\rho_{kül}$	: Gözenekli kül yoğunluğu, (g/cm ³)
$\rho_{kül \text{ matrisi}}$	: Sıfır poroziteli kül yoğunluğu, (g/cm ³)
σ	: Stefan-Boltzman sabiti, $(5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4)$
σ_b	: Numunenin basma mukavemeti, (kgf/cm ²)
σ_{ϕ}	: Numunenin çekme mukavemeti, (kgf/cm ²)
ν	: Kinematik viskozite, (m ² /s)
ϕ	: Gözeneklilik oranı (Porozite), (%)

KISALTMALAR

AE	: Afşin-Elbistan Termik Santrali
Ç	: Çimento
K	: Kitre
T	: Taban külü
TKÇ	: Taban külü, kitre-çimento bağlayıcılı numune
U	: Uçucu kül
UKÇ	: Uçucu kül, kitre-çimento bağlayıcılı numune

1. GİRİŞ

Dünya enerji gereksinimi hızla büyümektedir. Toplamların gelişmesi ve ilerlemesinde, nicelik ve nitelik yönünden en yüksek verimle değerlendirilmesinin büyük önem taşıdığı enerji, çağımız insanının vazgeçilmez ihtiyaçlarından biridir. Enerji kullanımı ile ilgili alanların başlıcaları, ısıtma, sanayi, ulaşım, enerji dağıtımı, tarımsal süreç teknolojisi olarak adlandırılabilir. Gereksinim duyulan enerjinin hangi kaynaktan sağlanacağı sorunu, yani kullanılacak enerji kaynaklarının ve kullanım oranlarının belirlenmesi, ülkelerin enerji politikasının temelini oluşturmaktadır. Sürdürülebilir bir kalkınmanın olabilmesi için kullanılacak enerji kaynaklarının çevreye zarar vermemesi de büyük önem taşımaktadır.

Ülkemizde elektrik enerjisinin bir kısmı kömüre dayalı termik santrallerden ve hidroelektrik santrallerinden elde edilmektedir. Son yıllarda artan enerji ihtiyacı termik santrallerin yaygınlaşmasını kaçınılmaz hale getirmiştir. Düşük kalorili linyit kömürlerin yakıldığı termik santrallerde, elektrik üretimi sırasında kömürün yanması sonucu baca gazları ile sürüklenen ve elektrostatik filtreler yardımı ile tutularak atmosfere çıkışı önlenen mikron boyutunda kül tanecikleri meydana gelmektedir. Endüstriyel bir atık olan bu küllere, uçucu kül (UK) adı verilmektedir. Bu işlem esnasında daha iri taneli olan ve baca gazları ile birlikte atmosfere sürüklenemeyerek kazan tabanına düşen küller de taban külü olarak adlandırılır.

Türkiye’de bulunan termik santrallerde yaklaşık 55 milyon ton/yıl düşük kalite linyit kömürü yakılmakta ve ortalama 15 milyon ton/yıl kül üretilmektedir. Elde edilen bu küller, civardaki boş arazilere dökülmekte ve hemen hemen hiç değerlendirilmemektedir. Külün bu şekilde atılması hem kaynak israfına yol açmakta hem de gerek atacak yer bulmak gerekse çevre kirlenmesine neden olması açısından Termik Santral İşletmeleri için sorun teşkil etmektedir. Bu küller, endüstriyel atık olarak geri kazanılmaya elverişli bir malzeme olup değişik sektörlerde değerlendirme olanakları vardır. Bu atığın değerlendirilmesi çevresel, teknik ve ekonomik yönden büyük faydalar sağlayacak ayrıca Termik Santral İşletmelerinin önemli bir problemine çözüm getirecektir.

Yapı üretiminde kaynaklara dayalı malzemelerin kullanım oranlarının artması, mevcut kaynakların akılcı kullanımının yanında ekonomik ve nitelikli malzeme üretimine gidilmesini gerektirmektedir. Günümüzde, ısı konforun sağlanması için, yapılarda duvar, döşeme ve tavan bölümlerinin ısı yalıtımı amaçlı birçok değişik yapay veya doğal malzemeler kullanılmaktadır. Burada, ısı yalıtım amaçlı olarak kullanılan malzemenin ne derece ısı yalıtımını sağlayabildiği, uzun bir süre kullanıma dayanıklılığının tespiti ve sağlık koşullarına ne derece uygun olduğu önem arz eder. Bu kapsamda, mevcut kaynakların ve enerjinin kullanımını azaltmaya yönelik alternatif malzeme kullanımı ile ilgili araştırmalar devam etmektedir. Çimento üretim sürecinde harcanan enerjinin en az % 40'ının öğütme ve pişirmede tüketildiği düşünülecek olursa çimentonun çevre ve ekonomiye verdiği zarar küçümsenmeyecek kadar önemli olmaktadır [1]. Günümüzde çimento çeşitli puzolanik malzemelerle yer değiştirilerek daha ekonomik ve kaliteli malzeme üretilmesi mümkün olmaktadır [2]. Bu çalışmada bu durum göz önünde bulundurularak kullanılan çimento miktarını azaltmak için yapay puzolan olan uçucu kül ve yapıştırıcı özellik taşıyan kitre tercih edilmiştir.

Puzolan; tek başına bağlayıcılık özelliği olmayan ancak ince öğütülüp normal sıcaklıktaki sulu ortamda kalsiyum hidroksitle reaksiyona girerek bağlayıcılık özelliği gösteren malzeme olarak tanımlanır [3]. En yaygın puzolan uçucu küldür. Taneleri genellikle küresel olup çapları 1 ile 150 µm arasında değişir [4]. Uçucu külün kimyasal bileşimi ve özellikleri kullanılan kömürün yapısı ve bileşimine ve külün oluştuğu yakılma işlemine bağlı olarak değişir [5]. Dünyadaki uçucu kül üretimi yıllık yaklaşık 450 milyon ton olup, ancak bunun sadece % 6'sı çimento ve beton endüstrisinde kullanılmaktadır [6]. Türkiye'deki uçucu kül üretimi ise yıllık yaklaşık 15 milyon tondur ve endüstride kullanımı oldukça düşüktür [7].

Uçucu kül küresel yapısı nedeniyle betonun işlenebilme özelliğini iyileştirmekte, taze betonda su kusmayı (terleme) azaltmakta, betonun hidratasyon ısını azaltarak sıcak havalarda kütle betonu dökümüne imkân tanımakta, puzolanik reaksiyon sayesinde betonun uzun dönemli mukavemetine katkıda bulunmakta, betonun geçirimsizliğini azaltmakta, gözenekli yapısından ötürü yalıtım sağlamakta ve betonun iç ve dış kaynaklı yıpratıcı etkilere dayanıklılığını arttırmaktadır. Bu yararlı özellikleri uçucu külün yaygın olarak kullanımına ve araştırmaların bu konu üzerinde yoğunlaşmasına yol açmıştır [8].

Bu çalışmada bağlayıcı olarak çimento ile birlikte düşünülen kitre, ülkemizin güney ve güneydoğu bölgelerinde kırlarda yetişen geven bitkisinin gövdesinde açılan yaralardan sızan bir tür zamktır. 0.5–3 mm kalınlığında, 1–3 cm çapında yuvarlak plakalar ya da değişik biçimlerde parçalar halindedir. Beyaz ya da açık sarı renkli olup kokusuzdur. Eczacılıkta tablet, pastil gibi ilaçların hazırlanmasında, kâğıt, dokuma ve boya sanayinde kullanılır. Ayrıca "ebru" sanatında da yararlanılır.



Şekil 1.1. Kuru halde kitre görünümü

Bugüne kadar uçucu küllerle ilgili gerek yurt içinde gerekse yurt dışında bir çok çalışmalar yapılmıştır. Bu araştırmaları özetle üç grupta toplanmak mümkündür. Birinci grup uçucu külün çimento ve betona katkı maddesi olarak kullanılabilirliği üzerinedir. İkinci grupta ki çalışmalar uçucu küllerin kimyasal ve mineralojik yapısı ile ilgilidir. Üçüncü grupta ise uçucu külün hafif agrega olarak, gaz beton yapımında ve yalıtım malzemesi gibi yeni yapı malzemeleri üretiminde kullanımı ile ilgili çalışmalardır. Üçüncü grupla ilgili çalışmaların bir kısmı, gözenekli kül taneciklerinin, çimento, kireç, polimerler gibi bağlayıcı malzemelerle birlikte kullanılarak yalıtım özellikli kompozit türü yapı malzemesi üretimi çalışmalarıdır [9]. Bu çalışmalardan bir kısmı aşağıdaki gibi özetlenebilir.

Biçer [10] tarafından termik santral uçucu külleri ile çeşitli bağlayıcılar kullanarak yapay gözenekli malzemeler üretilmiş ve deney sonuçları ile geliştirilen matematiksel model sonuçlarının mukayesesini yapmıştır.

Terrier ve Moreau [11], uçucu küllerin fiziki özellikleri konusunda çalışmalarda bulunmuş, tane şekillerinin küre, yuvarlak, yassı ve uzun olmalarını göz önüne alarak gerekli incelemeleri mukayeseli yapmışlardır.

Watt ve Thorne [12], uçucu kül tanecik yüzeyi ile puzolanik aktivitesi arasında yakın bir ilgi olduğunu çalışmalarında göstermiştir.

Davis vd. [13], çimentoya belirli oranlarda uçucu kül katılarak dökülen betonların işlenebilirlik kabiliyetinin arttığını göstermiştir.

Stingley ve Peyton [14], uçucu külün betonda kullanılması halinde beton mukavemetinin tedricen arttığını, özellikle 1-10 yıl süreli kırış deneylerinde uçucu külsüz betonların dayanımının bir yılda maksimum değere ulaştığı buna mukabil uçucu küllü betonların 3-4 yıl sonra maksimum değere ulaştığı ve bu değerinde uçucu külsüz betondan 70 kg/cm² fazla olduğunu göstermişlerdir.

Sümer [15], uçucu külün beton üretiminde kullanılabilirliğini incelemiş ve uçucu kül katkılı betonların basınç dayanımları karışımdaki uçucu kül miktarına bağlı olarak azalma eğilimi gösterdiğini ayrıca endüstriyel atık olan uçucu külün % 20 oranında çimento yerine kullanılmasının beton basma mukavemeti açısından olumlu sonuçlar verdiğini ortaya çıkarmıştır.

Davis vd. [13], uçucu külün betonun hidrotasyon ısısına etkisi konusunda çalışarak çimentoya uçucu kül katılması durumunda 28 gün sonunda hidrotasyon ısısında azalma olduğunu, bu azalmadan istifade edilerek uçucu külün beton baraj inşaatlarında kullanılarak sıcaklık değişimleri sonucu oluşabilecek çatlakların asgariye indirilebileceğini göstermişlerdir.

Gül [16], uçucu külün betonda kısmen çimento yerine kullanıldığı zaman, çimentonun ancak yarısı kadar hidrotasyon ısısı yaydığını tespit etmiştir.

Kefelioğlu [17], Türkiye uçucu küllerinin özelliklerini, kullanma imkânlarını araştırmış ve Türkiye uçucu küllerinin, çimento katkı maddesi olarak değerlendirilmesi, hafif agrega ve beton yapımında kullanılması, su yapıları ve inşaatlarında yararlanılmasını önermiştir.

Ayrıca gözenekli malzemelerde ısı transferi ile ilgili olarak yapılan çalışmaların bir kısmı aşağıda verilmiştir.

Biçer vd. [18], Türkiye'nin birçok yöresinde yapı malzemesi olarak kullanılan doğal taşlarla deneysel çalışmalar yapmışlar ve deney sonuçlarını yayınlamışlardır.

Tavman [19], farklı gözenek ve tane büyüklüğündeki yapı kumlarının, hot-wire yöntemini kullanarak ısı iletkenliklerini deneysel olarak incelemiştir.

Yine Tavman [20] tarafından, çeşitli buğday türlerinin, geliştirilmiş hot-wire yöntemi ile ısı iletkenlikleri ölçülmüştür. Sonuçlar geliştirilen bir matematiksel model sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Esen [21], gözenekli cisimlerde ısı geçişini inceleyerek analizini yapmıştır.

İğci [22], poroz ortamlarda ısı geçişini incelemiş, sıkıştırılmış küresel yataklar için bir dispersiyon modeli kurarak dispersiyon etkilerini araştırmıştır.

Luikov, Shashkov, Vasiliev ve Fraiman [23], gözenekli malzemelerin ısı iletim katsayıları konusunda çalışmalar yapmış olup, özellikle iç yapının boş küreciklerden oluştuğunu, bu küreciklerin birbiri ile temas halinde ve tetrahedral şeklinde dizildiğini kabul ederek gözenekli toz malzemeler için ısı iletkenlik katsayısı ifadesini,

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

denklemini vermişlerdir.

Burada A, iki partikülün temas yerinde, temas ve gaz boşluğundan transfer edilen ısıyı belirtir. Yazarlar bu denklem sonuçlarının, 300 ile 400 K sıcaklık aralığında, % 35-98 gözeneklilik derecesinde, k_s / k_g oranının 10–300 değerlerinde, gözenek çaplarının 4–5 mm yi geçmeyen, gözenek içindeki gazların su buharı ve hava karışımı olduğu, metal olmayan

gözenekli malzemeler için deneysel çalışma sonuçlarıyla uyum içinde olduğunu göstermişlerdir.

Dunlev [24], katı bitişik gözenekli, iki bileşenli sistemler için ısı iletkenlik denklemini,

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

şeklinde vermiştir. Yazar, denklem sonuçlarının, geniş bir sıcaklık aralığında, gözeneklilik oranı % 50'nin altında ve $2-5.10^{-6}$ m gözenek çapındaki seramik malzemeler için deneysel sonuçlarla uyum içinde olduğunu göstermiştir.

Buonanno ve Carotenuto [25], gözenekli katılarda iki fazlı sistem gibi kabul ederek efektif ısı iletim katsayısının hesaplanması için bir metot geliştirmişlerdir.

Peng, Mizukami ve Liu [26], gözenekli malzemelerin kurutulmasında ısı ve kütle transferini incelemişler, bu konuda matematiksel bir model geliştirmişlerdir.

Kim [27], gözenekli malzemelerde ısı transfer katsayısının bulunması ile ilgili çalışmalar yapmıştır.

Bu çalışmada, termik santral külleri eleme işlemine tabi tutmadan uçucu kül ve taban külü olarak ele alınıp, bağlayıcı olarak çimento ile birlikte zambk özelliği taşıyan kitre kullanılmıştır. Bu amaçla uçucu kül-kitre, taban külü-kitre ve uçucu kül-kitre-çimento, taban külü-kitre-çimento kullanılarak yalıtım özellikli mukavemet kazandırılmış kompozit türü yeni bir yapı malzemesi üretilmiştir.

2. AFŞİN ELBİSTAN TERMİK SANTRAL KÜLÜ

2.1. Uçucu Kül

Termik santrallerde en önemli atık malzeme; kömürün yüksek sıcaklıklarda (1100–1600 °C) yanmasıyla meydana gelen, baca gazlarıyla sürüklenen çok ince kül parçacıklarıdır. Bu ince kül parçacıkları elektrostatik yöntemlerle elektro filtrelerde ve siklonlarda yakalanmakta ve baca gazları ile atmosfere çıkışları önlenmektedir. Uçucu kül tanecikleri genellikle küresel yapıda olup büyüklükleri 1–150 µm arasında değişmektedir. Uçucu küllerin tane boyutları termik santraldeki kül toplama yöntem ve ekipmanlarına bağlıdır. Siklonlarda toplanan küller, elektro filtrelerde toplananlardan daha iri tanelidirler. Uçucu küllerin renkleri açık bejden kahverengiye, griden siyaha kadar değişik tonlarda olabilir. İçindeki yanmamış karbon miktarı artıkça uçucu küllerin rengi koyulaşır.

Uçucu kül üretimini; santral tipi, işletim biçimi, yakılan kömürün cinsi, yanma biçimi gibi çeşitli faktörler etkilemekle birlikte genel olarak elektrik enerjisi üreten termik santrallerde kullanılan taş kömürünün % 10-15'i, linyit kömürünün ise % 20-50'si uçucu kül olarak ortaya çıkmaktadır [28].

Kazan alevindeki yüksek sıcaklık koşulları altındaki partiküller üzerinde bir dizi fizikokimyasal değişiklikler oluşur. Partiküller yüzey gerilim kuvvetlerinin etkisi ile çok çabuk olarak küresel şekiller alabilmektedir. Oldukça küçük boyutlu tanecikler atık gazlar ile birlikte (CO₂, CO, H₂O, SO₂) bacadan çıkış esnasında çok kısa sürede düşük sıcaklık etkisi altına girerek amorf katı durumda soğurlar. Soğuma şiddeti büyük ölçüde tanecik boyutu ile ilgilidir. Büyük tanecikler yavaş soğuma sonucu kristaller oluştururken, küçük partiküller ise hızlı soğuma sonucu camsı formda gelişirler.

Uçucu ve taban küllerinin fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikleri çeşitli etkenlere bağlıdır.

- a) Külün kaynağını oluşturan kömürün türü ve değişkenliğine,
- b) Kömürün yakılmadan önceki öğütülme (pulvarizasyon) derecesine,
- c) Kazan türüne,

- d) Yakma sıcaklığı ve diğer işletme parametrelerine,
- e) Kül toplama ve uzaklaştırma sistemlerinin özellikleri ve işleyişine,
- f) Çevre korunması amacıyla kömüre ilave edilen katkı maddeleri gibi faktörlerden ve faktörlerin de zamana göre değişebilmelerinden kaynaklanan özelliklere bağlıdır [17].

Türkiye’de halen kömür ile çalışan 15 tane termik santral faaliyet göstermektedir. Bu santrallere ait bilgiler alfabetik olarak Tablo 2.1’de verilmiştir [29].

Tablo 2.1. Türkiye’de kömürle çalışan termik santraller

No	Santral Adı	Yakıt Cinsi	Kurulu Güç (MW)	Bulunduğu İl
1	Afşin-Elbistan A	Linyit	1355	Kahramanmaraş
2	Afşin-Elbistan B	Linyit	1440	Kahramanmaraş
3	Çan	Linyit	320	Çanakkale
4	Çatalağzı	Taşkömürü	300	Zonguldak
5	Çayırhan Park	Linyit	620	Ankara
6	Çolakoglu 2	Taşkömürü	190	Kocaeli
7	Kangal	Linyit	457	Sivas
8	Kemerköy	Linyit	630	Muğla
9	Orhaneli	Linyit	210	Bursa
10	Seyitömer	Linyit	600	Kütahya
11	Soma A-B	Linyit	1034	Manisa
12	Sugözü-İskenderun	İthal Kömür	1210	Adana
13	Tunçbilek A-B	Linyit	429	Kütahya
14	Yatağan	Linyit	630	Muğla
15	Yeniköy	Linyit	420	Muğla

2.1.1 Uçucu Küllerin Sınıflandırılması

Uçucu küller kimyasal kompozisyonlarına göre değişik şekillerde sınıflandırılmaktadır.

- a) UK’ler, içerdiği CaO miktarı bakımından;

- CaO miktarı % 10’dan az olanlara düşük kireçli/kalsiyumlu UK,

- CaO miktarı % 10'dan fazla olanlara yüksek kireçli/kalsiyumlu UK,
olmak üzere ikiye ayrılmaktadır [30].

b) UK, yapısındaki kireç ve SO₃ miktarına göre ise üç grupta toplanmaktadır. Bunlar;

- Esas yapısı siliko aluminatlardan meydana gelen,

SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃ (S+A+F) toplamı % 70'in üzerinde olan ve genellikle taşkömüründen elde edilen siliko alüminalı UK,

- Genellikle linyit kömüründen elde edilen, S+A+F toplamı % 50 ile % 70 arasında olan ve kireç ile silika miktarı yüksek olan siliko kalsik UK,

- Genellikle linyit kömüründen elde edilen, S+A+F toplamı % 50'in üzerinde olan ve diğerlerine göre daha fazla SO₃ ve CaO ihtiva eden sülfü kalsik UK'lerdir [31].

c) ASTM C618'e göre uçucu küller iki geniş kategoriye ayrılmaktadır.

- F sınıfı uçucu küller bitümlü kömürlerden elde edilip;

SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ > % 70 şartını sağlayan küllerdir.

- C sınıfı küller ise genelde linyitler ve yarı bitümlü kömürlerden elde edilip;

SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ > % 50 şartını sağlayan küllerdir.

2.1.2 Uçucu Küllerin Fiziksel Özellikleri

Uçucu kül partikülleri çoğunlukla küresel şekilli çok küçük tane boyutuna sahiptirler. Uçucu küllere ait fiziksel özellikler Tablo 2.2'de görülmektedir. Yanma sürecinin bitiminde çabuk soğuma sonucu uçucu kül partikülleri küresel formlarda şekillenirler, içi boş küresel partiküllere senosfer, daha küçük boyutlu, ince duvarlı ve içi daha küçük partiküller ile dolu (iç içe geçmiş) parçacıklara ise plerosfer ismi verilmektedir. Morfolojik olarak bu iki tür partikül, uçucu küllerin % 67-95'ni oluşturmaktadır [32].

Tablo 2.2. Uçucu ve taban küllerinin fiziksel özellikleri [32]

Fiziksel Özellik	Uçucu Kül	Taban Külü
Partikül Çapı (μm)	20 – 80	500 – 7000
Özgül Ağırlık (g/cm^3)	1.59 – 3.1	2.17 – 2.78
Özgül Yüzey Alanı (cm^2/g)	2000 – 10600	4000
Geçirgenlik Katsayısı	5.10 – 9 / 1.10 – 6	2.5 – 9.4
Uniformity Katsayısı	2 – 9.8	8.2 – 8.8

Uçucu külün fiziksel özellikleri, genel olarak termik santralde yakılan kömürün özelliklerine ve yanma sistemine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. UK'lerin temel özellikleri;

- a) UK, genellikle gri renktedir ve rengi, içindeki yanmamış karbon miktarı arttıkça daha koyu bir hal almaktadır [33].
- b) UK, % 60–90 camsı bileşen ihtiva eden çok ince taneciklerden meydana gelmektedir [34].
- c) UK'ün tane şekli, yuvarlaktır ve çapları, 1–200 μm arasında değişir [35]. Taneciklerin yaklaşık % 75'inin çapı 45 μm 'den, % 50'den çoğu ise 20 μm 'den daha küçüktür [36].
- d) UK'ün yoğunluğu, 2–2.7 g/cm^3 dolayındadır [36].
- e) UK'ün özgül yüzeyi, çimento inceliğine yakın olup öğütme yapılmadan kullanılabileceğini göstermektedir [37].
- f) UK'ün mekanik dayanımı bünyesindeki boşluklu malzeme yüzdesine bağlı olarak değişmektedir [37].
- g) UK'ün bünyesinde bulunan SO_2 ve toprak alkali metal bileşiklerin büyük bir çoğunluğu saf suda çözünür [37].
- h) UK'ün ergime sıcaklığı, elde edildiği şartlara, uygulanan prosesin maksimum ve minimum sıcaklıklarına bağlı olarak değişir [37].

2.1.3 Uçucu Küllerin Kimyasal Özellikleri

Uçucu küllerde $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ toplamının, genellikle % 70 değerinden fazla olduğu ve ASTM C 618'deki şartın sağlandığı görülmektedir. Kullanılan kömür cinsine bağlı olarak bazı UK'lerde önemli oranda CaO bulunmaktadır. CaO miktarı % 10'un altında olan UK'ler, düşük kireçli veya düşük kalsiyumlu, % 10'un üstünde olanlar ise yüksek kireçli veya yüksek kalsiyumlu UK olarak adlandırılmaktadır. ASTM C 618'e göre UK'ler, S+A+F toplamı % 70'in üzerinde ise F sınıfı UK, S+A+F toplamı % 50'nin üzerinde ise C sınıfı UK olarak gruplandırılmaktadır [30]. Türkiye'de elde edilen bazı UK'lerin kimyasal kompozisyonları, TS 639 ve ASTM C 618 sınır değerleri ile birlikte Tablo 2.3'de verilmiştir [38,39,40]. Bu çalışmada kullanılan Afşin Elbistan Termik Santrali UK'nün kimyasal bileşimi Tablo 2.4'de ayrıntılı olarak verilmiştir.

Tablo 2.3. Türkiye'deki bazı UK'lerin kimyasal kompozisyonları

Bileşim (%)	Afşin-Elbistan	Çatalağzı	Tunçbilek	Çayırhan	TS 639 Sınırları	ASTM C 618 Sınırları	
						F	C
SiO_2	27.4	56.8	58.59	49.13	-	-	-
Al_2O_3	12.8	24.1	21.89	15.04	-	-	-
Fe_2O_3	5.5	6.8	9.31	8.25	-	-	-
S+A+F	45.7	87.7	89.79	72.42	>70	>70	>70
CaO	47.0	1.4	4.43	13.2	-	-	-
MgO	2.5	2.4	1.41	4.76	<5	<5	<5
Na_2O	(N+K) 0.3	(N+K) 3.0	0.24	2.2	-	<1.5	<1.5
K_2O	-	-	1.81	1.76	-	-	-
SO_3	6.2	2.9	0.41	3.84	<5	<5	<5
K.K	2.4	0.6	1.39	0.72	<10	<12	<6

Tablo 2.4. Afşin Elbistan Termik Santralı uçucu külü kimyasal bileşimi [41]

Afşin Elbistan Uçucu Külü Kimyasal Bileşimi			
Element/Element Oksit(% Kuru Ağ.)	Taban Uçucu Kül	Orta Bölüm Uçucu Kül	Üst Bölüm Uçucu Kül
Al ₂ O ₃	12.30-23.10	6.23-11.40	1.80-9.10
CaO	6.20-20.60	2.51-50.85	48.10-74.70
Cl	0.006-0.01	0.003-0.007	0.006-0.01
Cr ₂ O ₃	0.05-0.07	0.09-0.11	0.06-0.07
Fe ₂ O ₃	9.50-25.79	3.50-6.85	1.75-4.96
K ₂ O	0.24-0.82	0.20-0.49	0.11-0.55
MgO	2.19-4.20	1.57-4.00	1.27-3.10
MnO ₂	0.06-1.10	0.12-0.24	0.02-0.09
MoO ₂	0.01-0.02	-	-
Na ₂ O	0.20-0.83	1.10-0.49	0.10-0.25
NiO	0.03-0.04	-	-
P ₂ O ₅	0.25-0.41	0.46-0.49	0.53-0.62
SO ₃	5.75-17.21	12.32-24.20	6.60-19.00
SiO ₂	27.70-46.60	14.00-30.00	6.91-20.40
SrO	0.05-0.071	0.05-0.06	0.03-0.05
TiO ₂	0.26-2.33	0.20-0.51	0.23-0.55
V ₂ O ₅	0.00-0.09	0.10-0.11	0.06-0.08
ZrO ₂	0.13-0.18	-	-
CO ₂	0.30-0.35	0.60-0.75	1.20-1.90
LOI	1.29-1.34	0.64-3.56	2.46-4.94

2.1.4 Uçucu Küllerin Mineralojik Yapıları

Uçucu küller genel olarak camsı yapıdaki alüminyum silikatlardan oluşurlar. Ana bileşenleri SiO₂, Al₂O₃, CaO ve Fe₂O₃'tür. Mineralojik analizlerde genel olarak uçucu kül içindeki silisin bir kısmının kuvars kristalleri halinde, diğer bir kısmının ise alüminyumla birleşerek Mullit'e (2SiO₂.3Al₂O₃) dönüştüğü, geri kalanının ise camsı yapıda olduğu

saptanmıştır. Demirin kısmen manyetit (Fe_2O_4) ve hematit (Fe_2O_3), geri kalanının da camı fazda olduğu görülür. Genellikle ideal şartlarda elde edilen uçucu küllerin % 66-88'i camı yapıda olmakta ve içerisindeki SiO_2 ve Al_2O_3 toplamı % 70–88 geri kalan kısmi Fe, Ca, Mg, Na, K ve Ti'dan meydana gelmektedir. UK'de bulunan başlıca elementler Tablo 2.5 de verilmiştir [42].

Tablo 2.5. Uçucu külde bulunan başlıca elementler [42].

Uçucu Kül (mg/l)					
Element	Min	Max	Element	Min	Max
Antimon (Sb)	0.8	1000.0	Kobalt (Co)	6.0	1500.0
Arsenik (As)	2.3	1700.0	Bakır (Cu)	30.0	3020.0
Baryum (Ba)	96.0	13900.0	Flor (F)	0.4	624.0
Berilyum (Be)	1.0	1000.0	Galyum (Ga)	10.0	10000.0
Bizmut (Bi)	10.0	30.0	Germanyum (Ge)	<10.0	11000.0
Bor (B)	<10.0	3000.0	Altın (Au)	0.004	0.5
Brom (Br)	0.3	670.0	Demir (Fe)	7800.0	289000.0
Kadmiyum (Cd)	0.1	250.0	Kurşun (Pb)	3.1	1600.0
Kalsiyum (Ca)	5400.0	177000.0	Lityum (Li)	77.0	120.0
Seryum (Ce)	28.0	320.0	Magnezyum (Mg)	4900.0	60800.0
Klor (Cl)	13.0	25000.0	Mangan (Mn)	31.0	4400.0
Krom (Cr)	11.0	7400.0	Civa (Hg)	0.01	22.0
Fosfor (P)	600.0	2500.0	Molibden (Mo)	6.5	500.0
Platin (Pt)	0.7	-	Nikel (Ni)	1.8	8000.0
Potasyum (K)	1534.0	34700.0	Gümüş (Ag)	1.0	50.0
Selenyum (Se)	1.2	<500.0	Sodyum (Na)	1180.0	20300.0
Silisyum (Si)	196000.0	271000.0	Tellür (Te)	0.11	10.0
Titan (Ti)	400.0	15900.0	Toryum (Th)	1.8	68.0
Tungsten (W)	2.9	42.0	Kalay (Sn)	<3.0	4250.0
Uranyum (U)	0.8	30.1			

2.1.5 Uçucu Küllerin Puzolanik Özelliği

Puzolan; tek başına bağlayıcılık özelliği olmayan ancak ince öğütülüp normal sıcaklıktaki nemli ortamda kalsiyum hidroksitle kimyasal reaksiyona girerek bağlayıcılık özelliği gösteren malzeme olarak tanımlanır. En yaygın puzolan uçucu küldür. Uçucu külün kimyasal bileşimi ve özellikleri kullanılan kömürün yapısı ve bileşimine ve külün oluştuğu yakılma işlemine bağlı olarak değişir.

Uçucu kül inceliği puzolanik aktiviteyi önemli ölçüde etkiler. İnceliğini arttırmak için uçucu kül elenebilir, hava kullanılarak iri ve ince taneler ayrılabilir veya öğütme yapılabilir. Puzolanik reaksiyon uçucu kül tanesinin yüzeyinde başlar. İncelik arttırılırsa puzolanik aktivite de artar, ayrıca; betonda en zayıf halka olan agrega-çimento hamuru ara yüzeyinin özelliklerinin iyileştirilmesi için de uçucu kül inceliği önemlidir.

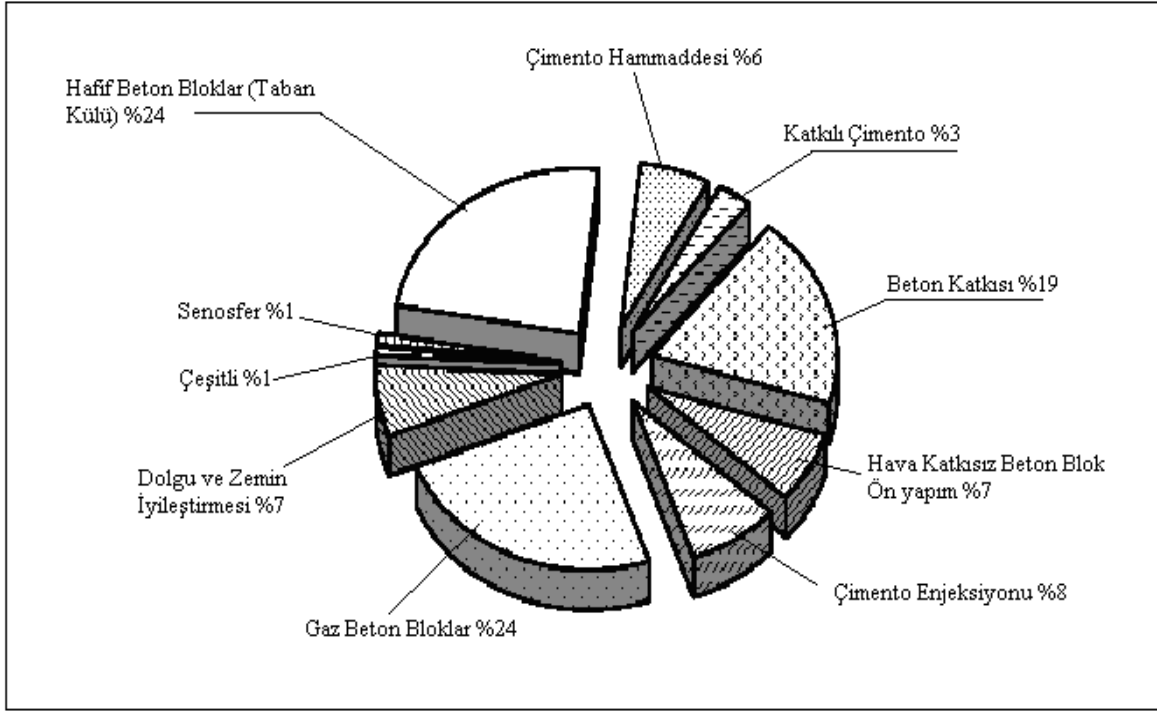
2.1.6. Uçucu Küllerin Kullanım Alanları

Uçucu kül üzerinde yapılan araştırmalar son yıllarda büyük yoğunluk kazanmıştır. Çeşitli nedenlerle uçucu külün yapısı ve özellikleri zamana ve yere göre büyük değişkenlik gösterdiğinden, birçok gelişmiş ülke külün farklı alanlarda kullanılmasını geçerli kılacak standartlara ihtiyaç duymuştur. Bu nedenle uçucu külle ilgili standartların belirlenmesi için yoğun çalışmalar yapılmıştır. Ülkemizde bu konuda Türk Standartları Enstitüsü tarafından TS-639 "Uçucu Küller" ve TS-640 "Uçucu Küllü Çimento" standartları çıkarılmıştır [43].

Uçucu küller dünyada, çimento ve beton olarak baraj duvarları, köprü ayakları, maden ve diğer yapıların dolgu enjeksiyonlarında ve diğer pek çok inşaat yapılarında; tarımda çatı bahçesi ve ağaçlandırma çalışmalarında; agrega olarak otoyol, köprü, yol ve briket yapımında, endüstride hafif mineral dolgu maddesi, asfalt içinde dolgu maddesi, yol drenaj işlemlerinde kullanılmaktadır.

Bütün dünyada bir yılda üretilen toplam UK'ün ancak % 25'den daha azı değerlendirilmektedir. Bununla birlikte Almanya, Hollanda ve Belçika'da üretilen toplam UK'ün % 95'den fazlası, İngiltere'de ise yaklaşık % 50'si kullanılmaktadır [44]. Diğer taraftan büyük miktarlarda UK üretilen A.B.D. ve Çin'de sırasıyla yaklaşık % 32 ve % 40

oranında UK kullanıldığı görülmektedir [45]. 1990 yılı verilerine göre Türkiye’de UK kullanım oranı, % 1’den daha azdır. Son yıllara ait yeni veriler ise elde edilememiştir. Türkiye’de UK kullanımına ait detaylı veriler bulunmamakla birlikte genellikle çimento ve tuğla üretimi ile baraj yapımında kullanıldığı görülmektedir [39]. Avrupa’da UK kullanımına örnek olarak İngiltere’deki durum Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. İngiltere’deki termik santrallerden elde edilen UK’lerin kullanım alanları [46]

İngiltere’de UK’ün ağırlıklı olarak beton, hafif beton blok ve gaz beton blok üretiminde kullanıldığı görülmektedir.

2.1.6.1 Çimentoda Uçucu Kül Kullanımı

Uçucu külün yaygın olarak kullanıldığı alanların başında çimento sanayisi gelmektedir. 1980’li yıllardan itibaren Türkiye’de katkılı çimentoların çimento üretimindeki payı, % 90’ların üstüne çıkmıştır [47]. UK’lerin çimentoda;

- a) Hammadde,
- b) Katkı maddesi,
- c) İkame malzemesi

olarak kullanıldığı görülmektedir [36,39].

Uçucu kül, çimentonun ana hammaddeleri olan kil ve kalkere hammadde olarak karıştırılarak klinker üretiminde kullanılmaktadır. UK, çimentoda katkı olarak kullanıldığında enerji tasarrufu sağlanmakta ve daha ucuz çimento elde edilmektedir. Yine UK'ün, ikame malzemesi olarak çimentoda kullanılması durumunda da ekonomi sağlanmaktadır. Türkiye'deki UK'ler ile ilgili olarak yapılan deneysel bir çalışmada, Afşin-Elbistan, Çatalağzı, Çayırhan, Orhaneli, Soma ve Tunçbilek UK'lerine ait özgül yüzey değerleri, çimento standartlarında aranan en az 2800 cm²/g değerinden büyük veya yaklaşık eşit olarak bulunmuştur [38]. Elde edilen bu sonuçlar, UK'lerin öğütme işlemi yapılmadan doğrudan çimento üretiminde veya üretim sonrası ikame metodu ile çimentonun bir bölümü yerine kullanılabileceğini göstermektedir.

2.1.6.2 Yapı Malzemesi Üretiminde Uçucu Kül Kullanımı

Uçucu küller, gaz beton, yalıtım malzemesi, duvar, beton boru, harç, cam gibi yapı malzeme ve elemanlarının üretiminde kullanılmaktadır [36,38]. UK kireç karışımı, Çin'de 1950'li yıllardan beri blok üretiminde kullanılmaktadır [48]. UK'ler, harç karışımlarında da karışımın bir elemanı olarak kullanılmaktadır [49]. UK'ün duvar yapımında kullanılan hafif yapı malzemesi, yük taşımayan panel ve blok üretiminde kullanılabileceği deneysel çalışmalarla belirlenmiştir [48]. Başka bir çalışmada UK, silis kaynağı olarak gaz beton üretiminde hammaddeye karıştırılarak kullanılmıştır [50]. UK'ün, plastik ve boya üretiminde filler olarak da kullanıldığı görülmektedir [51]. UK, seramik kaplama malzemesi üretiminde kullanılmış ve üretilen seramiklerin eğilme dayanımları, döşeme seramikleri için standartta belirtilen değerin 6 katı olarak bulunmuştur [52]. Öte yandan UK, cam yapıcı ana oksitlere sahip olması nedeniyle cam-seramik üretiminde de kullanılmaktadır [53]. Yapılan çalışmalar, UK'lerin hammadde olarak cam-seramik malzemelerin üretiminde kullanılabileceğini ortaya koymuştur [54]. İki farklı UK'ün % 50 oranında diğer atıklarla birlikte kullanıldığı bir çalışmada, UK'den cam ve cam-seramik üretimi başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir [51]. Düşük maliyetli yapı malzemesi üretiminin amaçlandığı başka bir araştırmada, UK kullanılarak bu malzemenin üretilabileceği ve hem üreticiye hem de tüketiciye büyük oranda tasarruf sağlayacağı belirtilmektedir [55].

2.1.6.3 Agrega Olarak Uçucu Kül Kullanımı

Uçucu kül, Türk, Amerikan ve İngiliz standartlarında beton ve duvar elemanları için yapay hafif agregası olarak kabul edilmektedir [56]. Betonda UK kullanımı; ince agregası, sinterleme sonrası yapay hafif agregası ve UK ile bir miktar PÇ karıştırılarak elde edilen iri hafif agregası olmak üzere üç şekilde yapılmaktadır. Ülkemizde yapılan bir çalışmada, sinterlenmiş UK hafif agregası üretimi laboratuvar şartlarında gerçekleştirilmiş ve bu malzemenin inşaat sektöründe başta agregası olmak üzere birçok alanda kullanılabileceği önerilmiştir [57]. Sinterlenmiş UK hafif agregasının geleneksel agregası yerine betonda içi dolu veya boş blok üretimi için kullanılabileceği ve çok katlı binalarda ölü yükü azaltacağı belirtilmektedir [58].

Uçucu külün agregası olarak kullanımı ile ilgili çalışmalar özellikle son yıllarda hız kazanmıştır. Beton karışımına ince agregasının bir kısmı yerine UK kullanılarak yapılan çalışmalarda olumlu sonuçlar elde edilmiş ve UK'nun ince agregasının bir bölümü yerine kullanılabileceği tespit edilmiştir [59]. İngiltere'de inşa edilen nükleer bir santral inşaatında 1300 ton sinterlenmiş UK, hafif agregası olarak beton içinde kullanılmıştır [60].

2.1.6.4 Betonda Uçucu Kül Kullanımı

Uçucu kül, hem normal ve hafif betonda hem de giderek kullanımı yaygınlaşan hazır beton üretiminde gerek katkı gerekse ikame malzemesi olarak kullanılmaktadır [61]. Bundan başka UK, ön üretim ve ön gerilmeli beton elemanların yapımında da kullanılmaktadır [62]. Diğer taraftan UK'nun, betonda su tutucu katkı maddesi olarak da kullanılabileceği önerilmektedir [63]. Beton karışımında UK kullanıldığında, betonun hem dayanım hem de dayanıklılığında artışlar elde edilmektedir [64]. Yüksek miktarda C sınıfı UK'nun kullanıldığı bir çalışmada, daha iyi kalitede ve düşük maliyetli beton üretimi gerçekleştirilmiştir [65]. Beton karışımında UK kullanılması durumunda betonarmede donatı korozyonunun azaldığı deneysel olarak belirlenmiştir [66]. Diğer taraftan UK, betonun hidratasyon ısını düşürmek amacıyla Türkiye'de ve Dünyada birçok barajın yapımında da kullanılmıştır [67].

2.1.6.5 Kerpiç ve Tuğla Yapımında Uçucu Kül Kullanımı

Kerpiç, dayanımı düşük ve suya karşı da dayanıksız olan geleneksel bir yapı malzemesidir. Kerpiciin dayanımını ve dayanıklılığını artırmaya yönelik çeşitli araştırmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalar UK'ün kerpiç özelliklerini olumlu yönde etkilediğini, dolayısıyla kerpiç üretiminde bağlayıcı malzeme olarak UK'ün kullanılabileceğini göstermektedir. [67].

Türkiye'de tuğla üretiminde UK kullanımı, 1967 yılında başladığı halde daha sonra kesintiye uğramıştır. Ayrıca 1973 ve 1979 yıllarında ateş tuğlası üretiminde UK kullanıldığı görülmektedir [39]. UK'ün belirli oranlarda çeşitli malzemelerle birlikte tuğla üretiminde kullanılabileceği yapılan çalışmalarla belirlenmiştir [68].

2.1.6.6 Yüzey Kaplayıcı ve Su Uzaklaştırıcı Olarak Uçucu Kül Kullanımı

Uçucu küllerin yüzey kaplayıcı ve su uzaklaştırıcı malzeme olarak kullanımı 1950 de Birleşik Krallıkta başlamış ve hâlihazırda uygun olduğu noktalarda otoyol kaplama projelerinde alternatifsiz bir şekilde kullanılmaktadır. Uçucu küller, yüzey kaplayıcısı ya da su uzaklaştırıcı madde olarak Amerika Birleşik Devletlerinin çeşitli noktalarındaki otoyol yapım projelerinde de başarılı bir şekilde kullanılmaktadır [63]. Afşin-Elbistan UK'ünün kullanıldığı deneysel olarak yapılan çalışmalarda, bu külün kireç ile birlikte yol stabilizasyonunda ve bitümlü sıcak karışımlarda dolgu malzemesi olarak kullanılabileceği belirtilmektedir [69].

2.1.6.7 Geoteknik Çalışmalarda Uçucu Kül Kullanımı

Geoteknik uygulamalarda UK, dolgu yapmak, zemin stabilizasyonu sağlamak ve bent yapmak amacıyla kullanılmaktadır [52]. Bunun yanı sıra UK'ün, sızdırmazlık sağlamak amacıyla atık depolama sahalarında, yol kaplaması altındaki dolgu tabakası yapımında, donatılı zemin duvarlarda duvarın arka dolgusu olarak ve ayrıca çöp atık sahaları üzerinde yapılan beton kaplama veya döşemelerdeki farklı oturma hasarlarının onarımı için kireç ile birlikte enjeksiyon uygulamasında kullanılmaktadır [70].

3. KİTRE

Kitre, diğ er bir ismiyle geven bitkisi zamk ı, *Astragalus* türlerinden olup çok yıllık, dikenli ve pennat yapraklı bitkilerdir. Çiçekler kelebek biçiminde sar ı, beyaz veya pembe renklidir. Yastık biçiminde kümeler yaparlar. 850–3000 m yüksekliklerde bulunurlar. Kitre elde edilen önemli Geven türleri: Türk kitresi (*astragalus gummifer*), İran kitresi (*astragalus brachycentrus*), Irak kitresi (*astragalus arabicus*), Türkistan kitresi (*astragalus membranaceus*), Anadolu kitresi (*astragalus microcephalus*), Azeri kitresi (*astragalus elymaiticus*) ve Mogul kitresi (*astragalus mongholicus*) en önemlileridir [71].

Türk kitresi olarak bilinen *astragalus gummifer* en çok bilinen ve tanınan tür iken, Anadolu kitresi olarak bilinen *astragalus microcephalus* en kaliteli olandır. Türkistan kitresi olarak bilinen *astragalus membranaceus*  ok farklı şekilde kullanılır. Bu türün zamk ı elde edilmez [71].

3.1 Türk Kitresi (*Astragalus Gummifer*)

30–60 cm boyunda kısmen yükselen kısmen yatay olarak çevresine yayılan ve kümeler halinde topluca yetişen, çok yıllık bir bitkidir. Yaprakları 9–13  ift ve sonda bir tek yapraktan meydana gelen kanat yapraklardır. Yaprakları uzun bir yumurta şeklinde, koyu yeşil renkte 3–10 mm uzunluğunda 2–5 mm genişliğindedir. Çiçekleri ba ak şeklinde yaprak diplerinden çıkan uzun bir sap üzerinde 30–50 çiçekten meydana gelir. Kupa yaprakları  an şeklinde, yeşilimsi sar ı 5x8 mm ve ta  yaprakları 8x12 mm büyüklüğünde sar ı renkli bazen üzerinde kırmızımsı veya morumsu damarlara rastlanır. Tohumları 2x4 mm büyüklüğünde ve oval şekildedir [71].

Anadolu kitresi bu türden farklı olarak 50–150 cm boyunda, yaprakları 11–17 adet uzun yumurta veya oval  eklide 5–10 mm uzunluğunda 2–4 mm enindeki yan yapraklardan meydana gelir. Türkiyenin orta, doğ u ve güney doğ u bölgelerinde yabani olarak yeti ir. Şayet tohumları mera,  imenlik, yol kenarları, bahçe ve tarlalara ekilirse kendiliğ nden oralarda bakıma gerek kalmadan yerleşir ve yayılır [71].



Şekil 3.1. Geven bitkisi

3.2 Türkiye'de Yetişen Geven Türleri [72]

a) Astragalus Angustifolius (Keçi Geveni): Nisan–Ağustos aylarında beyaz çiçekler açan çok yıllık otsu bitkidir. Türkiye'nin batı yarısında (Trakya hariç), 800–2900 m yükseklikteki bozkırlarda, kayalık taşlı kurak yamaçlarda yetişir.

b) Astragalus Anthylloides (Şişik Geven): 17–25 cm boylarında, Mayıs–Ağustos aylarında pembe çiçekler açan çok yıllık endemik bitkidir. Akdeniz, Orta Anadolu ve Batı Karadeniz bölgelerinde, 750–1900 m yükseklikteki bozkırlarda, kayalık taşlı kurak yamaçlarda yetişir.

c) Astragalus Brachypterus (Kısa Kanatlı Geven): 7–15 cm boylarında, Haziran–Ağustos aylarında pembe-mor çiçekler açan çok yıllık otsu endemik bitkidir. Karadeniz, Akdeniz, Orta ve Doğu Anadolu bölgelerinde, 650–2130 m yükseklikteki dağlarda, bozkırlarda, ekili alanlarda yetişir.

d) Astragalus Campylosema (Kıvrık Geven): Mayıs–Haziran aylarında mor çiçekler açan çok yıllık otsu endemik bitkidir. Orta ve Doğu Karadeniz, Marmara, Akdeniz, Orta ve Doğu Anadolu bölgelerinde, 300–2400 m yükseklikteki ormanlarda, çalılıklar ve makilerde, kayalık taşlı kurak yamaçlarda yetişir.

e) Astragalus Glycyphyllos (Meyan Yapraklı Geven): 2 m boyunda, Haziran–Ağustos aylarında sarı çiçekler açan çok yıllık otsu bitkidir. Karadeniz ve Marmara bölgelerinde, 280–1400 m yükseklikteki ormanlarda, bataklık ve sulak alanlarda, kayalık taşlı kurak yamaçlarda yetişir.

f) *Astragalus Hirsutus* (Sert Tüylü Geven): Haziran–Temmuz aylarında sarı çiçekler açan çok yıllık otsu endemik bitkidir. Karadeniz, Marmara, Akdeniz, Orta ve Doğu Anadolu bölgelerinde, 800–3200 m yükseklikteki çayırlar ve yol kenarlarında, kayalık taşlı kurak yamaçlarda yetişir.

g) *Astragalus Hyalolepis* (Şeffaf Pullu Geven): Haziran–Ağustos aylarında eflatun çiçekler açan çok yıllık otsu bitkidir. Doğu Karadeniz ve Doğu Anadolu bölgelerinde, 1600–2400 m yükseklikteki dağlarda, kayalık taşlı kurak yamaçlarda yetişir.

h) *Astragalus Karamasicus* (Kayseri Geveni, Karamas Geveni): 10–20 cm boylarında, Haziran-Temmuz aylarında eflatun veya mor çiçekler açan çok yıllık otsu endemik bitkidir. Batı Karadeniz, Orta Anadolu, Doğu Akdeniz bölgelerinde, 450–2060 m yükseklikteki bozkırlarda, bataklık ve sulak alanlarda yetişir.

ı) *Astragalus Lagurus* (Tavşan Kuyruğumsu Geven): Haziran–Ağustos aylarında sarı çiçekler açan bir veya çok yıllık otsu bitkidir. Doğu Karadeniz ve Doğu Anadolu bölgelerinde, 1200–2890 m yükseklikteki dağlarda, çalılıklar ve makilerde, bozkırlarda, kayalık taşlı kurak yamaçlarda yetişir.

i) *Astragalus Micropterus* (Küçük Kanathı Geven): 15–25 cm boylarında, Haziran-Temmuz aylarında pembe çiçekler açan çok yıllık otsu bitkidir. Batı Karadeniz, Orta Anadolu ve Akdeniz bölgelerinde, 850–1860 m yükseklikteki kayalık taşlı kurak yamaçlarda yetişir.

j) *Astragalus Onobrychis* (Korungamsı Geven): 25–40 cm boylarında, Mayıs-Temmuz aylarında pembe çiçekler açan çok yıllık otsu bitkidir. Marmara (Trakya hariç), Karadeniz, Doğu Anadolu Akdeniz bölgelerinde ve Hatay yöresinde, 975–2400 m yükseklikteki bozkırlarda ve kayalık taşlı kurak yamaçlarda yetişir.

k) *Astragalus Pinetorum* (Çamsı Geven): Haziran–Ağustos aylarında sarı çiçekler açan çok yıllık otsu endemik bitkidir. Karadeniz, Orta ve Doğu Anadolu, Akdeniz bölgelerinde, 1100–3300 m yükseklikteki dağlar, ormanlar, kayalık taşlı kurak yamaçlarda yetişir.

l) Astragalus Ponticus (Laz geveni): 0.75–1.5 m boylarında, Mayıs–Ağustos aylarında sarı çiçekler açan çok yıllık otsu bitkidir. Karadeniz, Orta ve Doğu Anadolu, Batı Akdeniz bölgelerinde, 900–2800 m yükseklikteki bataklık ve sulak alanlarda, ekili alanlarda, bozkırlarda yetişir.

m) Astragalus Ptilodes (Kuş Tüylü Geven): 14–30 cm boylarında, Haziran–Temmuz aylarında beyaz çiçekler açan 1 veya 2 yıllık otsu endemik bitkidir. Marmara, Ege, Akdeniz bölgelerinde, 0–500 m yükseklikteki ormanlarda ve bozkırlarda yetişir.

n) Astragalus Sibthorpius: 10 cm boyunda, Haziran–Ağustos aylarında kırmızı çiçekler açan çok yıllık otsu endemik bitkidir. Marmara bölgesinde (Trakya hariç), 950–2350 m yükseklikteki ormanlarda ve kayalık taşlı kurak yamaçlarda yetişir.

o) Astragalus Strictifolius (Sert Yapraklı Geven): 10–20 cm boylarında, Haziran–Ağustos aylarında mor çiçekler açan çok yıllık otsu bitkidir. Doğu Anadolu bölgesinin doğu ve güneydoğu kısımlarında, 850–1900 m yükseklikteki ormanlarda yetişir.

ö) Astragalus Xylobasis (Tabanı Odunumsu Geven): 20–35 cm boylarında, Mayıs–Temmuz aylarında pembe çiçekler açan çok yıllık otsu endemik bitkidir. Orta ve Doğu Karadeniz, Doğu ve Güneydoğu Anadolu'da, 450–2230 m yükseklikteki ormanlarda, kayalık taşlı kurak yamaçlarda yetişir.

3.3. Kitre Zamkının Elde Edilmesi

Mayıs sonu veya Haziran başında bitkinin kökleri açılır. Temmuz ortalarında gövde veya kökle gövde arasında 2–3 yerden bıçakla çizilerek eğri bir yara açılır. Bu çiziklerden dışarı çıkan bitki özü sertleşerek zamk şeklini alır. Yaralamadan 10 gün sonra toplama işlemi başlar. İlk elde edilen zamk şeffaf renkte ve birinci kalitedir, iki hafta sonra elde edilen zamk sarımsı renkte ve ikinci kalitedir. Toplama el ile yapılır ve bir işçi günde 1–2 kilo kadar kitre toplayabilir. Toplanan mal tüccar tarafından temizlenip kalitesine göre ayrıldıktan sonra ihraç limanlarına sevk edilir. Elde edilen zamkın özellikleri bitkiye, bölgeye ve elde ediliş yöntemine bağlı olarak büyük değişiklik göstermektedir. Halen Türkiye’de iki cins kitre zamkını elde edilmektedir [72].

3.3.1 Yaprak Kitre

1–3 cm uzunlukta, en az 0.5 cm genişlikte, donuk beyaz veya sarımsı renkli şeritler halindedir. Gövdeye yapılan yaralamalar sonucu elde edilir. Piyasada iyi kaliteli kitre olarak kabul edilir [72].

3.3.2 Tragakanton veya Firde

Değişik şekillerde tane, çubuk veya ince şeritler halindedir. Rengi beyaz veya sarımsıdır. Gövde ve dallarda meydana gelen delik veya çatlaklardan dışarı çıkarak katılmış olan zamkın toplanması ile elde edilir. Düşük kaliteli bir ürün olarak kabul edilir ve ancak sanayide (boya, kumaş vs.) kullanılır [72].

3.4 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. Mono-sakkaritler kitrenin elde edildiği bitki türüne göre değişiklik göstermektedir [73].

3.5 Kitrenin Kullanım Alanları

Eczacılık tekniğinde emülsiyon, süspansiyon, pastil ve tablet gibi preparatların yapılmasında, ebru sanatında, boya ve kumaş endüstrisinde kullanılmaktadır. Türkiye'nin ihraç maddesidir [73].

4. GÖZENEKLİ MALZEMEDE ISI İLETİMİ

Gözenekli malzemeler, çeşitli endüstrilerde geniş kullanım alanları nedeniyle üzerinde yoğun çalışmaların yapıldığı bir araştırma alanıdır. Bu malzemeler gerek üretim süreci gerekse kimyasal ve fiziksel özellikleri nedeniyle kapalı veya açık boşluklardan oluşan maddelerdir. Gözenek boyutlarına göre mikro gözenekli, mezo gözenekli ve makro gözenekli malzemeler, malzemenin yapısına göre; katı gözenekli malzemeler, taneli malzemeler ve lifli malzemeler olarak sınıflandırılabilir. Bu çalışmada uçucu küllerin gözenek çapları 1 mm den küçük olduğundan mikro gözenekli katı malzemeler esas alınarak inceleme yapılmıştır.

Gözenekli malzemelerin birim hacim ağırlığı ρ , malzemelerin mekanik dayanımlarında, su ve buhar geçirimsizliğinde ve ısı iletkenliğinde önemli bir göstergedir. Bu fiziksel büyüklük, boşluk miktarı ve sürekli fazın kimyasal yapısı ile ilgilidir. Boşluk oranı porozite (ϕ) arttıkça iletkenlik azalır, dolayısı ile birim hacim ağırlığı azalan malzemenin yalıtkanlık değeri artar, çünkü hareketsiz hava $k_h = 0.023$ W/mK değeri ile çok iyi bir yalıtıcıdır.

Boşluklardaki gazın türüne göre malzemenin ısı iletkenlik katsayısının değiştiği, örneğin poliüretan köpüklerde boşlukların freon-12 gazı ile doldurulması durumunda köpüğün iletkenlik katsayısının, 0.033 W/mK' den 0.016 W/mK değerine düştüğü görülmüştür [74]. Boşluklu malzemelerde sürekli fazı oluşturan maddenin kimyasal bileşimi, serbest elektron bulunması, kristal veya amorf yapılı olması, ısı iletkenliğini etkiler. Örneğin serbest elektron içeren metal ve alaşımları ısıyı çok iyi iletirken, serbest elektron içermeyen seramikler, camlar ve polimerler daha az iletirler. Isı iletkenliğinde bunlardan başka malzemenin sıcaklığı, nem oranı, yüzey özellikleri ve rengi de etkilidir.

4.1 Gözenekli Katı Malzemelerde Isıl İletkenliğin İncelenmesi

Gözenekli katı malzemelere temel hidrodinamik ve termodinamik denklemleri uygulayarak analitik olarak çözüm elde etmek oldukça zordur. Bu sebeple bazı kabuller yapılarak malzemenin herhangi bir elemanter hücre yapısı incelenip malzemenin tümü hakkında fikir edinilebilir. Yapılan kabuller;

1- Gözenekli malzemedan geçen ısı, kondüksiyonla (iletimle), konveksiyonla (taşınım) ve radyasyonla (ışınım) gerçekleşir. Bu çalışmada küllerdeki gözenek çapları 1 mm den küçük olduğu, dolayısıyla $Ra = Gr Pr < 10^3$ olacağından, doğal taşınım oluşmadığı, ısıнын iletim yoluyla geçtiği kabul edilmiştir.

2- Radyasyonla ısı transferi, Stefan-Boltzman kanununa göre $q_r = \varepsilon \sigma (T_1^4 - T_2^4)$ denklemi ile verilir. Gözeneklerin cidar sıcaklıkları birbirine çok yakın olacağından ($T_1 \approx T_2$) radyasyon yoluyla ısı geçişi ihmal edilecektir.

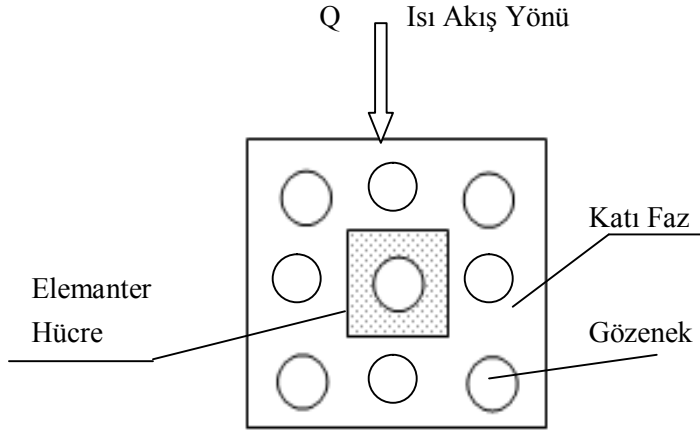
3- Isı geçişi sürekli rejimde ve tek boyutlu olduğundan ayrıca diğer yöndeki ısı geçişleri ihmal edilmiştir. Gözenek şekilleri düzensiz ve kompleks geometrik şekle sahiptir. Isı akışı yönündeki kesiti sabit alabilmek için, gözenek kesitleri kare şeklinde kabul edilmiştir.

4- Malzeme yapısında rutubet olmadığı kabul edilmiştir.

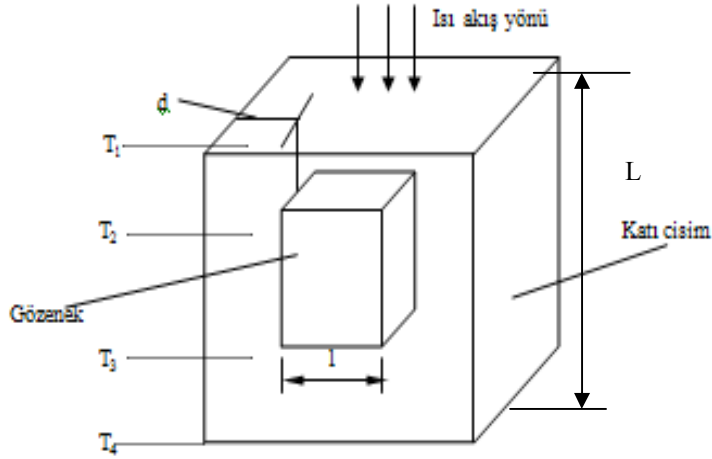
Değişik ısı iletkenlik değerlerine sahip malzemelerden oluşan heterojen bir yapının ortalama ısı iletkenliğine efektif ısı iletkenlik denir. Gözenekli katı malzemelerin efektif ısı iletkenliği, porozite, katı malzemenin ısı iletkenliği, gözenek içi gazın ısı iletkenliği, yoğunluk gibi bir çok parametrenin bir fonksiyonudur.

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

Gözenekli katı malzemelerde genel olarak gözenek şekilleri bilinen geometrik şekillere uymaz. Gözenek şekilleri ne kadar kompleks ise malzemenin porozitesi o kadar büyük çıkar. Gözenekler yapıda genellikle rastgele ve irili ufaklı dağılmış vaziyettedir. Gözenekli yapı için şekildeki gibi fiziksel bir model ve modeldeki bir tek elemanter hücre ele alınabilir.



Şekil 4.1. Gözenekli malzemenin fiziksel modeli



Şekil 4.2. Elemanter hücre yapısı

Isı akış yönü elemanter hücrenin düşey hatlarına paralel kabul edilirse, Fourier kanununa göre tek boyutlu ısı iletim ifadesi:

$$Q = -k A \frac{dT}{dx} \quad (4.1)$$

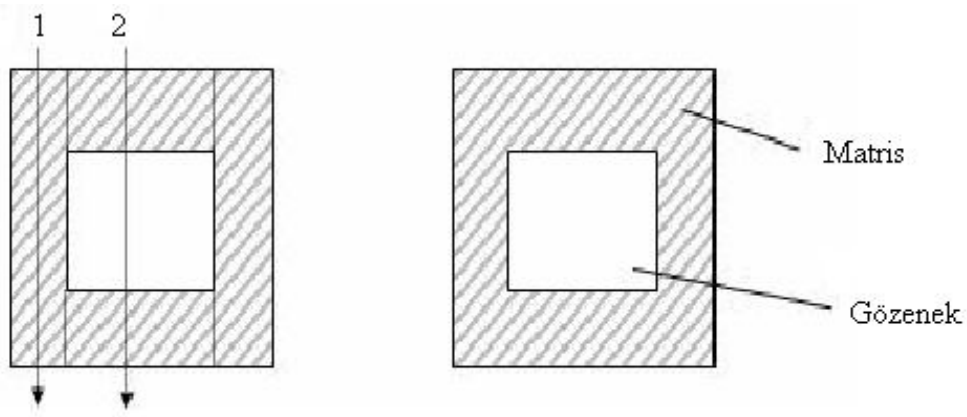
şeklinde verilmektedir. Bu ifadenin integrali alınırsa,

$$Q = \frac{T_{sı} - T_{soğ}}{\frac{1}{k A} L} \quad (4.2)$$

yazılabilir. Burada $\frac{L}{k A}$ ifadesi ısı direnç olup, R ile gösterilirse,

$$Q R = T_{\text{sic}} - T_{\text{soğ}} \quad (4.3)$$

denklemini elde edilir. Şekil 4.2 de görülen elemanter hücreye ait dikey ve yatay kesit resmi Şekil 4.3 de gösterilmiştir. Elemanter hücreye ait dikey kesit incelendiğinde, gözeneğe ait sol ve sağ yan matris tabakaları 1 numaralı eleman, gözenek ile üst ve alt matris tabakaları 2 numaralı eleman olarak düşünülebilir.



Şekil 4.3. Elemanter hücreye ait dikey ve yatay kesit resmi

(4.3) denklemi 1 ve 2 numaralı hücre elemanlarına tatbik edilirse,

1 numaralı hücre elemanı için:

$$T_1 - T_4 = Q_1 R_{1s} = Q_1 R_1 \text{ eş} \quad (4.4)$$

2 numaralı hücre elemanı için (4.3) denklemi yazılıp taraf tarafa toplanırsa;

$$\begin{aligned} T_1 - T_2 &= Q_2 R_{2s} \\ T_2 - T_3 &= Q_2 R_{2g} \\ + \quad T_3 - T_4 &= Q_2 R_{2s} \\ \hline T_1 - T_4 &= Q_2 (R_{2s} + R_{2g} + R_{2s}) = Q_2 R_2 \text{ eş} \end{aligned} \quad (4.5)$$

ifadesi yazılır. Diğer taraftan elemanter hücrenin tümü için,

$$Q = k_{eş} A \frac{(T_1 - T_4)}{L} = \frac{(T_1 - T_4)}{\frac{L}{k_{eş} A}} = \frac{(T_1 - T_4)}{R_{eş}} \quad (4.6)$$

ifadesi yazılır. Şekil 4.3 de görülen hücreden geçen ısı miktarı, bileşenlerinin paralel bağlı olmaları nedeniyle,

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

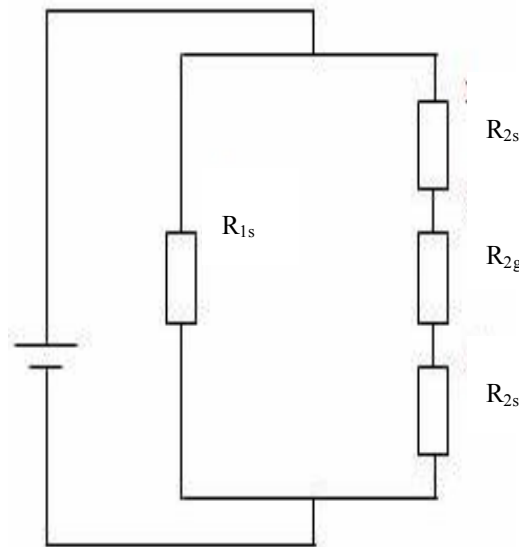
yazılabilir. (4.4) ve (4.5) denklemlerinden Q_1 ve Q_2 çekilip (4.7) denkleminde yerlerine yazılırsa,

$$\frac{T_1 - T_4}{R_{eş}} = \frac{T_1 - T_4}{R_{1eş}} + \frac{T_1 - T_4}{R_{2eş}} \quad (4.8)$$

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

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

ifadesi bulunur. Bu eşitlik Şekil 4.4 de gösterilen ve Şekil 4.2 ye ait hücre yapısının, elektriksel benzeşim devre şemasındaki dirençlerin paralel bağlı ifadesidir.



Şekil 4.4. Dirençlerin paralel ve seri bağlanması

Elektriksel benzeşim devresinin seri bağlı dirençleri toplanarak eşdeğer dirençleri aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$R_{1\text{eşdeğer}} = R_{1s} = \frac{L}{k_s (L^2 - l^2)}$$

$$R_{2s} = \frac{d}{k_s l^2} \quad \text{ve} \quad R_{2g} = \frac{l}{k_g l^2} \quad \text{olmak üzere}$$

$$R_{2\text{eşdeğer}} = 2R_{2s} + R_{2g} = \frac{2d}{k_s l^2} + \frac{l}{k_g l^2}$$

Bu eş değer dirençler (4.9) eşitliğine taşınırsa

$$\frac{1}{R_{\text{eş}}} = \frac{1}{\frac{L}{k_s (L^2 - l^2)}} + \frac{1}{\frac{2d}{k_s l^2} + \frac{l}{k_g l^2}} \quad (4.10)$$

(4.10) eşitliği yazılır. Sadeleştirme yapılarak (4.11) eşitliği elde edilir.

$$\frac{1}{R_{\text{eş}}} = \frac{k_s (L^2 - l^2)}{L} + \frac{k_g k_s l^2}{2k_g d + k_s l} \quad (4.11)$$

Burada,

$L - l = 2d = h$ olup buradan $l = L - h$ yazılarak, denklem (4.11)'e taşınırsa ara işlemler aşağıdaki gibi yapılarak (4.12) eşitliği elde edilir.

$$\frac{1}{R_{\text{eş}}} = \frac{k_s (L^2 - (L - h)^2)}{L} + \frac{k_g k_s (L - h)^2}{2k_g \frac{h}{2} + k_s (L - h)}$$

$$\frac{1}{R_{\text{eş}}} = \frac{k_s (L^2 - L^2 + 2Lh - h^2)}{L} + \frac{k_g k_s (L - h)^2}{k_g h + k_s (L - h)}$$

$$\frac{1}{R_{\text{eş}}} = \frac{k_s (2Lh - h^2)}{L} + \frac{k_g k_s (L - h)^2}{k_g h + k_s (L - h)}$$

$$\frac{1}{R_{eş}} = k_s L \left[\left(2\frac{h}{L} - \frac{h^2}{L^2} \right) + \frac{k_g \frac{(L-h)^2}{L}}{k_g h + k_s (L-h)} \right] \quad (4.12)$$

Öte yandan elemanter hücrenin tümü için,

$$R_{efeş} = \frac{L}{k_{efeş} L^2} = \frac{1}{k_{efeş} L} \quad \text{yazılır ve (4.12) eşitliğine taşınırsa, (4.13)}$$

eşitliği elde edilir.

$$k_{efeş} = k_s \left[\frac{h}{L} \left(2 - \frac{h}{L} \right) + \frac{k_g (L-h)^2}{k_g h L + k_s L (L-h)} \right] \quad (4.13)$$

(4.13) eşitliği, ana işlemlere tabi tutulup gerekli düzenlemeler yapılırsa (4.14) eşitliği şekline dönüşür.

$$k_{efeş} = k_s \left[\frac{h}{L} \left[1 + \left(1 - \frac{h}{L} \right) \right] + \frac{\left(1 - \frac{h}{L} \right)^2}{\frac{k_s}{k_g} \left(1 - \frac{h}{L} \right) - \left(1 - \frac{h}{L} \right) + 1} \right] \quad (4.14)$$

$1 - \frac{h}{L} = X$ denirse $\frac{h}{L} = 1 - X$ şeklinde yazılabilir. Bu ifade (4.14) eşitliğine taşınırsa;

$$k_{efeş} = k_s \left[(1-X)(1+X) + \frac{X^2}{\frac{k_s}{k_g} X - X + 1} \right] \quad \text{şekline dönüşür.}$$

denklem düzenlenirse,

$$k_{efeş} = k_s \left[1 - X^2 + \frac{X^2}{X \left(\frac{k_s}{k_g} - 1 \right) + 1} \right] \quad (4.15)$$

gözenekli katı malzemenin ısı iletkenlik değeri veren denklem elde edilir.

Şekil 4.2 de gösterilen elemanter hücre için,

Toplam hacim $V = L^3$ ve Katı kısım hacmi $V_k = L^3 - l^3$ yazılarak taraf tarafa oranlanırsa, (4.16) eşitliği elde edilir.

$$\frac{V_k}{V} = \frac{L^3 - l^3}{L^3} = 1 - \frac{l^3}{L^3} = 1 - \left(\frac{l}{L}\right)^3 \quad (4.16)$$

$$1 - \frac{h}{L} = X \quad \text{ve} \quad l = L - 2d = L - h \quad \text{ifadeleri kullanılırsa (4.16) eşitliği} \quad (4.17)$$

eşitliğine dönüşür.

$$\frac{V_k}{V} = 1 - \left(\frac{L-h}{L}\right)^3 = 1 - \left(1 - \frac{h}{L}\right)^3 = 1 - X^3 \quad (4.17)$$

Öte taraftan birim elemanter hücrenin hacmi,

$$V = V_g + V_k \quad \text{veya} \quad \frac{V_g}{V} + \frac{V_k}{V} = 1 \quad (4.18)$$

şeklinde yazılabilir.

Burada $\frac{V_g}{V} = \phi$ (porozite) ifadesidir. Bu ifade (4.18) de yerine yazılırsa,

$$\frac{V_k}{V} = 1 - \frac{V_g}{V} = 1 - \phi \quad (4.19)$$

eşitliği elde edilir.

$$\frac{V_k}{V} = 1 - \phi \quad \text{bu ifade (4.17) eşitliğine taşınırsa,}$$

$$1 - X^3 = 1 - \phi \quad \text{olur. Yani} \quad X^3 = \phi \quad \text{olarak elde edilir.}$$

Gözenekli katı malzemenin ısı iletkenlik değeri (4.15) eşitliğinde; X^3 yerine, ϕ taşınırsa,

$$k_{\text{efes}} = k_s \left[1 - \phi^{2/3} + \frac{\phi^{2/3}}{\phi^{1/3} \left(\frac{k_s}{k_g} - 1 \right) + 1} \right] \quad (4.20)$$

eşitliği yazılır. Böylece gözenekli katı malzemenin ısı iletkenlik değeri poroziteye bağlı olarak veren denklem elde edilmiş olur.

4.2. Modeldeki Parametrelerin Deneysel veya Kurumsal Yöntemlerle Tesbiti

4.2.1 Porozite Tayini

Porozite malzeme içindeki toplam boşluk hacminin malzemenin toplam hacmine oranı şeklinde tanımlanır.

$$\phi = \frac{\text{Gözeneklerin Hacmi}}{\text{Toplam Hacim}} = \frac{V_g}{V}$$

Porozite sıfıra yakın veya hemen hemen bire yakın bir değer alabilir. Boyutsuz bir büyüklüktür. Gözenekliliğin mikroskopik olarak ölçülmesi veya farklı malzeme bileşenlerinden oluşan bir ortamda gözenek dağılımının bulunması çok zordur. Gerçek gözeneklilik ölçümü, ışığın veya elektromanyetik gama ışınlarının malzeme içinden geçerken zayıflamasının tespiti ile gerçekleştirilebilir.

Öte taraftan bir nümunenin hacmi,

$$V = V_g + V_k \quad \text{veya} \quad \frac{V_g}{V} + \frac{V_k}{V} = 1$$

şeklinde yazılabilir. Buradan,

$$\frac{V_k}{V} = 1 - \frac{V_g}{V} = 1 - \phi \quad (4.21)$$

eşitliği elde edilir.

Nümunenin kütlesi $M = \rho_k V_k = \rho_B V$ den

$$\frac{\rho_B}{\rho_k} = \frac{V_k}{V}$$

elde edilir. V_k/V oranı yerine, ρ_B/ρ_k oranı yazılıp $\phi = \frac{V_g}{V}$ çekilirse,

$$\phi = 1 - \frac{\rho_B}{\rho_k} \quad (4.22)$$

denklemleri elde edilir. Bu denklemlerde numunelerin bünyesinde kür süresince hidrasyon ürünlerinden kaynaklanan hacim değişimleri ihmal edilerek gözenekli numune yoğunluğu(ρ_B),

$$\rho_B = \frac{\rho_{köl} V_{köl} + \rho_{bağ} V_{bağ}}{V} \quad (4.23)$$

yazılabilir. (4.22) ve (4.23) denklemleri kullanılarak, (4.24) nolu eşitlik elde edilir.

$$\rho_B = \rho_{köl} + (\rho_{bağ} - \rho_{köl}) (1 - Z) (1 - \phi) \quad (4.24)$$

(4.24) nolu eşitlikten (ϕ) çekilirse, porozite değerini veren (4.25) nolu eşitlik bulunur.

$$\phi = \frac{\rho_k - [\rho_{köl} + (\rho_{bağ} - \rho_{köl}) (1 - Z)]}{\rho_k - (\rho_{bağ} - \rho_{köl}) (1 - Z)} \quad (4.25)$$

elde edilir. Tablo 4.1 de Afşin-Elbistan termik santral uçucu külü, taban külü ve bağlayıcıların blok halde gözeneksiz özgül ağırlık değerleri, Tablo 4.2 de ise uçucu ve taban küllerine ait kül matrisleri yoğunluk değerleri tayin tablosu verilmiştir.

Tablo 4.1. Kül ve bağlayıcılara ait yoğunluk değerleri (g/cm³)

Malzemeler	Afşin-Elbistan Uçucu Külü	Afşin-Elbistan Taban Külü	Kitre	Çimento
Yoğunluk (g/cm ³)	2.28	2.52	1.8	3.1

Tablo 4.2. Afşin-Elbistan Termik Santrali uçucu ve taban külüne ait kül matrisleri yoğunluk değerleri tayin tablosu

Bileşen	Bileşen Yoğunluğu (g/cm ³)	Afşin-El. T.S. Uçucu Külü		Afşin-El. T.S. Taban Külü	
		Bileşen Yüzdesi (%)	Bil.Yoğ.x Bil. Yüzdesi [(g/cm ³) x %]	Bileşen Yüzdesi (%)	Bil.Yoğ.x Bil. Yüzdesi [(g/cm ³) x %]
Al ₂ O ₃	4.0	5.2	0.21	15.3	0.61
CaO	3.3	59.5	1.96	11.6	0.38
SiO ₂	2.56	13.2	0.34	32.1	0.82
Fe ₂ O ₃	5.2	3.2	0.17	15.2	0.79
K ₂ O	1.9	0.3	0.01	0.5	0.01
MgO	3.6	2.0	0.07	2.8	0.10
Na ₂ O	2.3	0.2	0.00	0.4	0.01
SO ₃	4.82	12.4	0.60	19.9	0.96
TiO ₂	4.26	0.4	0.02	1.1	0.05
LOI	0.85	3.6	0.03	1.1	0.01
Toplam	----	100	3.403	100	3.742

4.2.2 Kül-Bağlayıcı Karışımlarında Hacimsel ve Ağırlık Oranları İlişkisi

Kül ve bağlayıcı ağırlıkları için,

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

$$W_{bağ} = \rho_{bağ} V_{bağ} \text{ g}$$

eşitlikleri yazılabilir. Bu iki eşitlik taraf tarafa bölünürse;

$$\frac{W_{k\ddot{u}l}}{W_{ba\ddot{g}}} = \frac{\rho_{k\ddot{u}l}}{\rho_{ba\ddot{g}}} \frac{V_{k\ddot{u}l}}{V_{ba\ddot{g}}} \quad (4.26)$$

ifadesi elde edilir. Burada,

$$W_{k\ddot{u}l}/W = Y = \text{Ağırlıklı kül yüzdesi}$$

$$W_{ba\ddot{g}}/W = 1-Y = \text{Ağırlıklı bağlayıcı yüzdesi}$$

$$V_{k\ddot{u}l}/V = Z = \text{Hacimsel kül yüzdesi}$$

$$V_{ba\ddot{g}}/V = 1-Z = \text{Hacimsel bağlayıcı yüzdesi}$$

dönüşümleri yapılarak bu ifadeler (4.26) denkleminde yerlerine konulup Z çözülürse,

$$Z = \frac{\rho_{ba\ddot{g}}}{\rho_{k\ddot{u}l}} \frac{\frac{Y}{1+Y}}{1 + \frac{\rho_{ba\ddot{g}}}{\rho_{k\ddot{u}l}} \frac{Y}{1+Y}} \quad (4.27)$$

ifadesi elde edilir.

4.2.3 Bağlayıcı ve Kül Karışımı Katı Fazı Isıl İletkenlik (k_s) Değerlerinin Tesbiti

Farklı iki veya daha fazla malzemenin istenen özellikleri sağlayacak şekilde belirli şartlar ve oranlarda fiziksel olarak, makro yapıda bir araya getirilmesiyle elde edilen yeni yapı malzemesinin ısı iletkenliği için, Maxwell-Eucken bağıntısını kullanabiliriz. Bu bağıntı kül ve bağlayıcı karışımlarına uygun olarak aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\frac{k_s}{k_{k\ddot{u}l}} = \frac{1 + 2Z_{ba\ddot{g}} \frac{1 - \frac{k_{k\ddot{u}l}}{k_{ba\ddot{g}}}}{2 \frac{k_{k\ddot{u}l}}{k_{ba\ddot{g}}} + 1}}{1 - Z_{ba\ddot{g}} \frac{1 - \frac{k_{k\ddot{u}l}}{k_{ba\ddot{g}}}}{2 \frac{k_{k\ddot{u}l}}{k_{ba\ddot{g}}} + 1}} \quad (4.28)$$

Burada $k_{ba\ddot{g}}$, bağlayıcılara ait ısı iletkenlik değerini, $k_{k\ddot{u}l}$ ise sıfır poroziteli küle ait ısı iletkenlik değerini göstermektedir. Küller ve çimento eriyik kitreye ile karıştırılıp

homojen bir şekilde harç yapıldıktan sonra metal kalıplara dökülüp basınç altında sıkıştırılarak oda sıcaklığında 28 günde kuruması sağlandıktan sonra ısı iletkenlik değerleri ölçülmüştür. Tablo 4.3 de sıfır poroziteli kül-kitre ve çimento-kitre ısı iletkenlik değerleri verilmiştir. Bu numuneler de AE: Afşin Elbistan Termik Santralini, U: Uçucu Külünü, T: Taban Külünü, K: Kitreyi, Ç: Çimentoyu ve 0.5, 1.0, 1.5 değerleri ise numuneler içerisindeki kitre miktarını ağırlık yüzde olarak göstermektedir.

Tablo 4.3. Sıfır poroziteli kül ve bağlayıcıların ısı iletkenlik değerleri

Numuneler	Isı İletkenlik (k) W/mK	Numuneler	Isı İletkenlik (k) W/mK	Numuneler	Isı İletkenlik (k) W/mK
AEU	0.516	AET	0.675	Ç	0.498
AEU-K _{0.5}	0.323	AET-K _{0.5}	0.418	Ç-K _{0.5}	0.318
AEU-K _{1.0}	0.286	AET-K _{1.0}	0.376	Ç-K _{1.0}	0.281
AEU-K _{1.5}	0.255	AET-K _{1.5}	0.345	Ç-K _{1.5}	0.248

4.2.4 Gazların Isı İletkenlik Değerleri

Kömürün yüksek sıcaklıkta yanması sonucunda kül yapısında gözenekler oluşmaktadır. Yapılan baca gazı analizlerinde karbondioksit (CO₂) ve azot (N₂) gazlarının oranı diğer bileşenlere göre fazla olduğundan gözenek içi gazın karbondioksit ve azot gazı olduğu kabul edilmiş ve bu gazların ısı iletkenlik değerlerinin ortalamaları alınarak gözenek içi gazın ısı iletkenlik katsayısı (k_g) kabul edilmiştir. Tablo 4.4’ de muhtelif gazlara ait ısı iletkenlik değerleri verilmiştir [10].

$$k_g = \frac{k_{CO_2} + k_{N_2}}{2} = \frac{0.01666 + 0.0262}{2} = 0.0214 \text{ W/mK} \quad (4.29)$$

Tablo 4.4. 300 K sıcaklığında muhtelif gazlara ait ısı iletkenlik değerleri

Gazlar	CO	CO ₂	N ₂	O ₂	H ₂	SO ₂
Isı İletim Katsayısı (W/mK)	0.0253	0.01666	0.0262	0.0267	0.182	0.072

4.2.5 Deney Numunelerinin Isı İletkenliğinin Sayısal Çözümü

Burada bir numuneye ait örnek sayısal çözüm yapılacak olup diğer sonuçlar tablo halinde verilecektir. Numune bünyesinde kitrenin toplam karışım ağırlığının % 0.5-1-1.5'u kadar kullanılmış olması ve ısı iletkenlik katsayısının matematiksel olarak hesaplanmasında sıfır poroziteli kül-kitre ve çimento-kitre ısı iletkenlik değerleri kullanılacağından kuramsal çözümde kitre, karışım içerisinde ağırlık ve hacim yönünden ihmal edilecektir. Sayısal çözüm için UKÇ 1-1 numunesi ele alınmıştır. Bu numune; Afşin Elbistan Termik Santral uçucu külü olup bağlayıcı olarak kitre ve çimento kullanılmıştır. Numunenin kül ve bağlayıcı oranları aşağıdaki gibidir.

UKÇ 1-1 numunesi için sayısal çözüm;

Karışımın ağırlık yüzdeleri; % 90.9 kül-kitre ve % 9.1 çimento-kitre

Karışımın hacimsel yüzdeleri; % 93.15 kül-kitre ve % 6.85 çimento-kitre

Karışımın porozitesiz ısı iletkenliği (4.28) eşitliğinden hesaplanırsa;

$$\frac{k_s}{0.323} = \frac{1 + 2 \cdot 0.0685 \cdot \frac{1 - \frac{0.323}{0.318}}{2 \cdot \frac{0.323}{0.318} + 1}}{1 - 0.0685 \cdot \frac{1 - \frac{0.323}{0.318}}{2 \cdot \frac{0.323}{0.318} + 1}}$$

$k_s = 0.323$ W/mK olarak bulunur.

Porozite değeri (4.25) denkleminde hesaplanırsa;

$$\phi = \frac{3.403(0.9315) + 3.1(0.0685) - [2.28 + (3.1 - 2.28)(1 - 0.9315)]}{3.403(0.9315) + 3.1(0.0685) - (3.1 - 2.28)(1 - 0.9315)} = 0.3145$$

Porozite esas alınarak;

$$k_{\text{efeş}} = 0.323 \left[1 - 0.3145^{2/3} + \frac{0.3145^{2/3}}{0.3145^{1/3} \left(\frac{0.323}{0.0214} - 1 \right) + 1} \right] = 0.188 \text{ W/mK}$$

bulunur. Benzer şekilde diğer numunelerin efektif ısı iletkenlikleri bilgisayar programı yardımıyla hesaplanarak Tablo 5.1 ve Tablo 5.2’ de verilmiştir. Matematiksel ifadelerden yararlanılarak tesbit edilen bu değerlerle deneysel sonuçlar mukayese edilerek, kuramsal ve deneysel çalışma sonuçlarının uyum içerisinde oldukları tesbit edilmiştir.

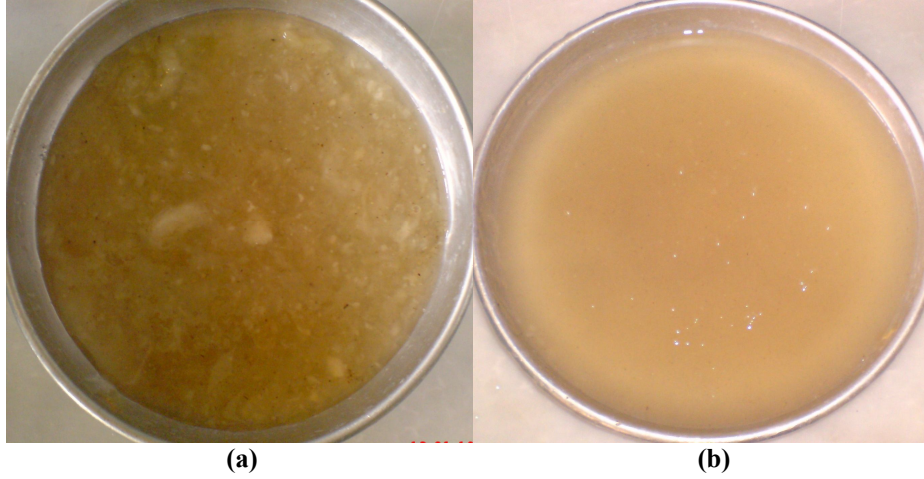
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışma için numunelerin üretilmesinde Afşin-Elbistan Termik Santral atık kül sahasından alınan uçucu kül ve taban külü, bağlayıcı olarak kitre ve KPÇ 325 portland çimentosu, Malatya ili içme suyu ve metal kalıplar kullanılmıştır. Üretilen numuneler; ısı iletkenlik, basma, çekme, su emme ve kuruma hızı tespiti için deneylere tabi tutulmuştur. Ayrıca bu numunelerin boya tutma, matkapla delinebilme gibi işlenebilirlik özellikleri araştırılmıştır.

5.1 Kitrenin Hazırlanması

Deney numunelerinin üretilmesi için ilk olarak kitrenin kullanıma hazır hale getirilmesi gerekmektedir. Kitre, geven bitkisinin gövdesinde açılan yaralardan sızan bir tür reçine olup 0.5-3 mm kalınlığında, 1-2 cm çapında yuvarlak plakalar ya da değişik biçimlerde parçalar halindedir. Kitreyi hazır hale getirmek zaman gerektirir. Hazırlanmak istenen miktara göre kuru kitre hesaplanıp içerisinde çalışılabilecek bir kaba konur ve harç işlemini yapmak için istenen eriyik kitre miktarına uygun su hesaplanır. Hesaplanan suyun 1/5'i kitre üzerine dökülür. 12 saatlik bekleme sonunda bu suyun kitre tarafından tamamen emildiği görülür. Kitre kap içerisinde bütün haldedir. El yardımıyla kitre parçalanır ve üzerine yine hesaplanan suyun 1/5 oranında su dökülür. Yaklaşık 12 saat sonra kitrenin o suyuda emdiği ve adeta denizanası görünümü aldığı görülür. Kitre el ile iyice ezilir ezilmeyen küçük parçacıklar kalabilir. Tekrar üzerine kalan sudan bir miktar dökülür, kitrenin su emme hız ve kapasitesi azaldığından daha fazla beklemek gerekir. Bu durum bulunan ortamın sıcaklığına veya mevsime göre 24 saat dolaylarındadır. Takip işlemi yapılmalı ve kesinlikle suyun tamamen emilmesi beklenmelidir. Eğer acele edilirse ezilmeyen küçük parçacıklar suyu kabulde zorlanır. Erimeye başlamış olan kitre el ile veya plastik bir kepçeyle iyice karıştırılır ve kalan su son olarak üzerine dökülür. Bundan sonra 36 veya 48 saat süresince kitre vakit buldukça karıştırılır. Daha sonra süzme işlemi en az üç sefer yapılır. Süzme işlemi yedi sefere kadar yapılabilir. Süzme işlemi kitrenin içindeki erimeyen parçacıkları kum veya bitkisel artıkları temizlemekten daha çok kitrenin homojen bir hal alması içindir. Süzülen kitre sabunlu su görünümünde olup koyu ayrıran kıvamındadır. Kıvamı birim su içerisinde eritilebilen kitre miktarına göre değişir.

Giriş bölümünde Şekil 1.1’de kuru halde kitrenin görünümü verilmiştir. Ayrıca Şekil 5.1’de kitrenin üzerine dökülen suyu emip el ile ezilerek karıştırıldıktan sonraki görünümü ve kitrenin tamamen erimesi sağlanıp süzme işleminden sonra kullanıma hazır durumu gösterilmiştir. Çalışmada kül-çimento karışım ağırlığının en fazla % 1.5’i kadar kitre kullanılmasının sebebi harç yapmak için gerekli olan suyun içinde bu orandan daha fazla kitrenin eriyememesidir.

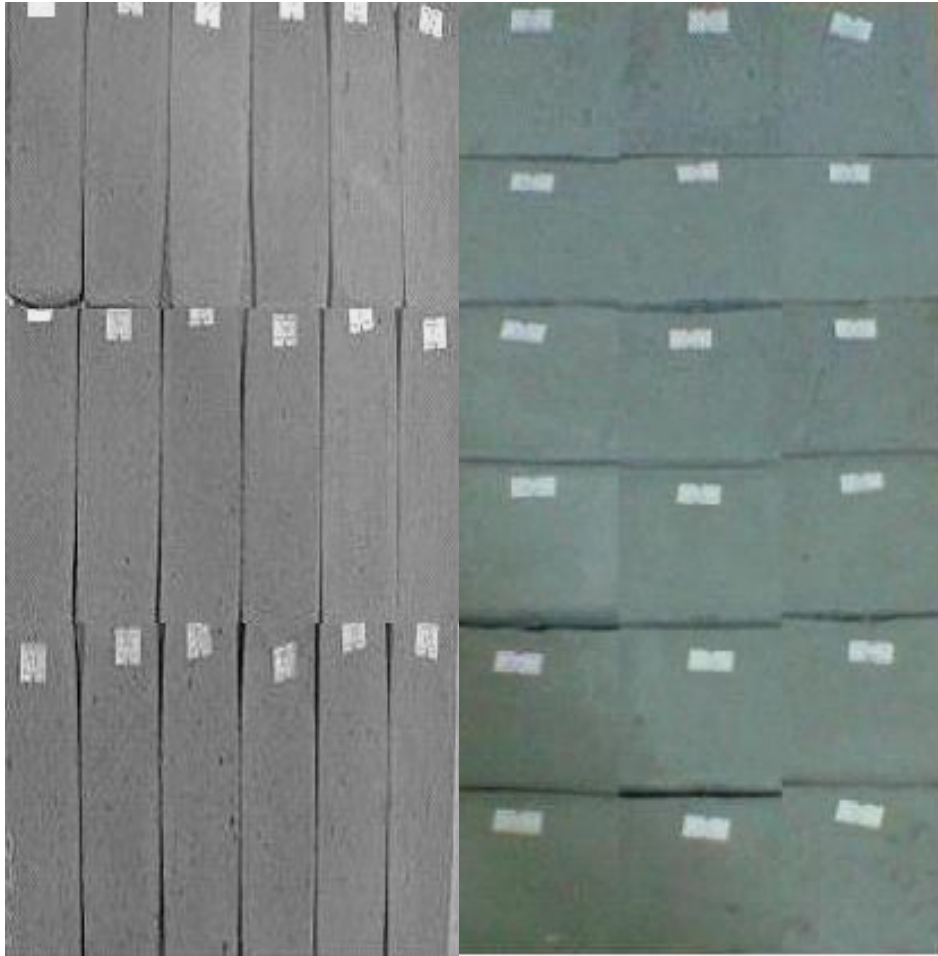


Sekil 5.1. Kitrenin görünümü ((a) Eritilme safhasındaki, (b) Süzildükten sonraki)

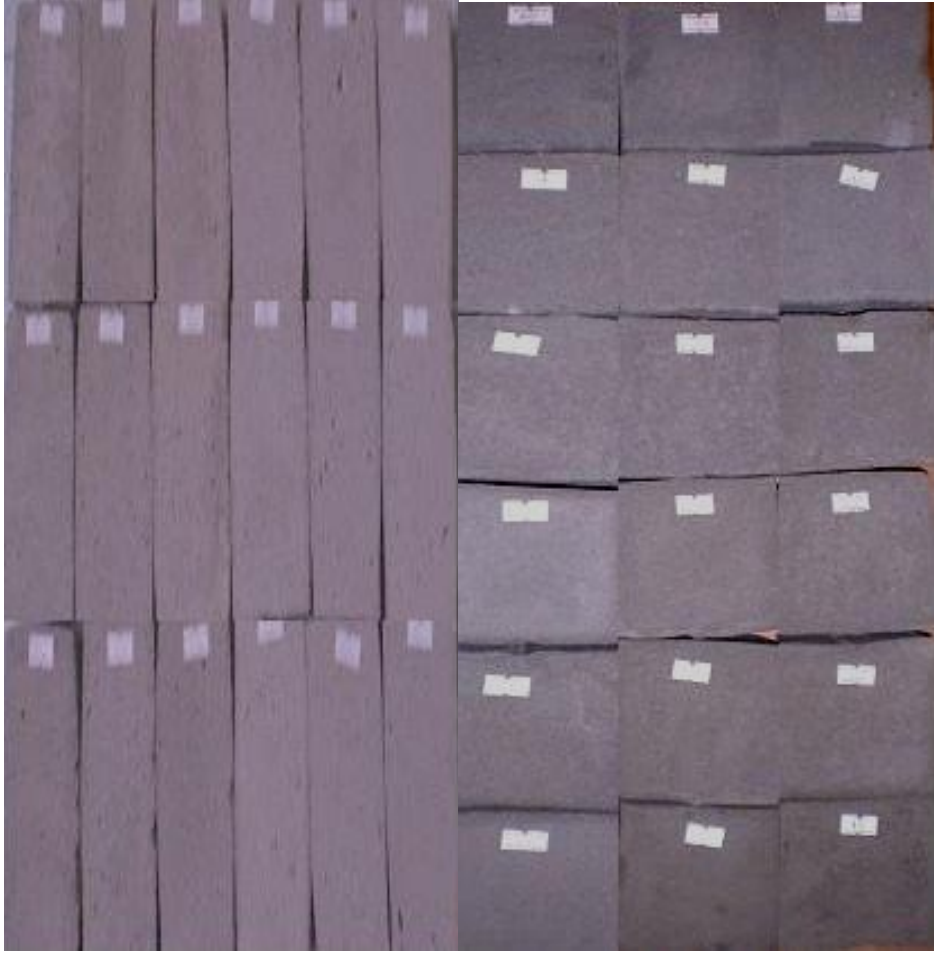
5.2 Deney Numunelerinin Hazırlanması

Afşin-Elbistan Termik Santral uçucu ve taban küllerine % 0.5, % 1, % 1.5 ağırlık oranında kitre, ayrıca uçucu kül-kitre ve taban külü-kitre karışımlarına ilaveten % 10, % 20, % 30, % 40, % 50 ağırlık oranında çimento kullanılarak, kitre ve kitre-çimento bağlayıcılı olmak üzere uçucu ve taban küllerine yönelik ayrı ayrı karışımlar oluşturulmuştur. Kitre malzemesi karışım ağırlığının yaklaşık olarak 2/3 kadar su içerisinde eritilerek kullanılmıştır. Bu karışımlar oda sıcaklığında (20°C) cam plaka üzerindeki ısı iletkenlik ölçme aleti probunun ölçüleri esas alınarak hazırlanmış olan 20x60x150 mm ve 100x100x100 mm ebatlarında ki metal kalıplara dökülmüştür. Bu kalıplar titreşime tabi tutulduktan sonra üst yüzeyler sıvanarak kurumaya bırakılmıştır. İlk grup numuneler 48 saat, 2.grup numuneler ise 72 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.

Bütün numuneler kendisini oluşturan maddelerin tipine ve karışım oranlarına göre harf ve rakamlarla kodlanmıştır. Bu kodlamada; Afşin-Elbistan Termik Santrali uçucu külünü “U”, taban külünü “T”, kitreyi “K”, çimentoyu “Ç” ve sırasıyla iki kül tipi içinde harflerden sonra kodlanan ilk rakam ağırlıklı yüzde olarak kitre miktarını (“0”= % 0 , “1”= % 0.5, “2”= % 1, “3”= % 1.5), ikinci rakam ise küle katılan ağırlıklı yüzde olarak çimento miktarını (“0”= % 0, “1”= % 10, “2”= % 20, “3”= % 30, “4”= % 40, “5”= % 50) göstermektedir. Örneğin; “UKÇ 2-4” kodu, Afşin-Elbistan Termik Santral Uçucu Külüne kül ağırlığının % 40’ı kadar çimento katıldığını ve oluşturulan kül-çimento karışımına % 1 kül-çimento ağırlık oranında kitre ilave edilerek numunenin hazırlandığını göstermektedir. Şekil 5.2’de uçucu kül, Şekil 5.3’de ise taban külü ile hazırlanan deney numuneleri gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Uçucu kül ile hazırlanan deney numuneleri



Şekil 5.3. Taban külü ile hazırlanan deney numuneleri

5.3. Isıl İletkenlik Deneyi

Yapı ve çeşitli ısı yalıtım malzemelerinin ısı iletkenliğinin ölçümü, kararlı durumda ve geçiş durumunda olmak üzere iki yöntemle yapılmaktadır. Alışılmış yöntem, kararlı durumda ısıtılmış plaka yöntemidir. Bu metotla ısıtılmış bir plakanın iki tarafına simetrik olarak yerleştirilen levha biçiminde muayene örneğinin ortalama ısı iletkenliği bulunur. Geçiş durumunda ölçüm yapan cihazlar daha ufak boyutlardaki malzemenin ısı iletkenliğini daha kısa sürede saptayabilmektedir. Geçiş yöntemleri arasında Angstrom yöntemi, Flash yöntemi ve Hot Wire yöntemi başlıcalarıdır.

Numunelerin ısı iletkenlik ölçümleri, aşağıdaki sebeplerden dolayı geçici rejimde ölçme yapan sıcak tel (Hot Wire) yöntemi ile yapılmıştır.

1- Yapı malzemelerinin ısı iletkenlik katsayılarının kolay olarak ölçülebilmesi,

- 2- Numunenin içerisindeki nem derecesinde bir değişiklik meydana getirmeden gerçek ısı iletkenlik katsayılarını lmesi,
- 3- Isı iletkenlik katsayısı ölçülen malzemenin yapısının heterojen olması,
- 4- Isı iletkenliğinin kısa sürede hassas olarak saptanabilmesi.

5.3.1 Isı İletkenlik lme Aleti ve alışma Yöntemi

Malzemelerin ısı iletkenlik değerleri Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Isı Laboratuvarında DIN 51046'ya göre sıcak tel (Hot Wire) yöntemini kullanarak lme yapan cihaz (Shotherm-QTM) kullanılarak ölçülmüştür. Isı iletkenlik lme aleti şekil 5.4'de gösterilmiştir.



şekil 5.4. Isı iletkenlik lme aleti

Cihaz, 0.02–10 W/mK aralığında % 5+1 basamak duyarlılıkla lme yapabilmektedir. Bu bakımdan ölçmeler, çalışmanın amacına uygun hassasiyettedir. Bu yöntemde, ısıtıcı tel (krom-nikel) ve tele orta noktasında dokunacak şekilde lehimlenmiş termoeleman (nikel-krom-nikel) iki örnek arasına yerleştirilir. Üstteki rnek yalıtılmış ve iletkenliği bilinen plaka (prob), alttaki örnek ise ısı iletkenliği bilinmeyen ölçülecek olan numunedir.

Cihazın doğru ölçüm yapıp yapmadığını kontrol etmek için belirli aralıklarla ısı iletkenlik katsayısı bilinen referans plakalardan ölçüm yapılacak aralığa uygun olan biriyle ölçüm yapılır. Ölçüm sonucu elde edilen ısı iletkenlik değeri, referans plakanın ısı iletkenlik değerinin $\pm$ % 5'i içinde ise ölçüm doğru kabul edilir ve sapma miktarı ölçülen ısı iletkenlik katsayılarına ilave edilir.

Bu yöntemde her numune üç ayrı noktadan üçer defa ölçülerek ölçüm sonuçlarının aritmetik ortalaması alınmıştır. Cihaz, hazırlanan numunelerin ısı iletim katsayılarını aşağıdaki formülden hesaplayıp dijital olarak veri sunar.

$$k = K \frac{Q \ln(t_2 / t_1)}{T_2 - T_1} - H \quad (5.1)$$

K, H : Ölçme cihazına ait sabitler,

Q : Isıtıcı tele verilen ısı akısı,

t_1, t_2 : Ölçüm zamanları (saniye),

T_1 : t_1 zamanındaki sıcaklık,

T_2 : t_2 zamanındaki sıcaklık,

Her standart QTM probunun farklı K, H sabitleri vardır. Isı iletim katsayısı cihaz içerisindeki bir mikroişlemci tarafından hesaplanarak, 60 s içinde malzemenin belirli bir sıcaklık değeri için ısı iletim katsayısı dijital olarak ekranda verilir. Afşin-Elbistan Termik Santrali uçucu külüne ait ölçüm sonuçları Tablo 5.1'de, taban külüne ait ölçüm sonuçları ise Tablo 5.2'de gösterilmiş olup her iki kül tipi için de kitre yüzdesi arttıkça numunelere ait ısı iletim katsayıları küçülmektedir.

Tablo 5.1. Afşin-Elbistan termik santrali uçucu kül numunelerine ait özellikler

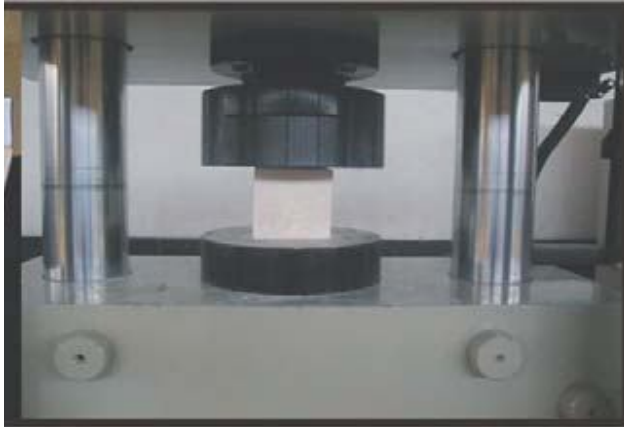
Malzeme Kodu	Ağır.Çimento Oranı % kül	Yoğunluk ρ (g/cm ³)	Porozite ϕ	Deneysel k (W/mK)	Kuramsal k (W/mK)	Sapma %
Kitresiz Numuneler						
UKÇ 0-0	0	1.23	0.33	0.278	0.284	2.16
UKÇ 0-1	10	1.28	0.3145	0.293	0.291	-0.68
UKÇ 0-2	20	1.33	0.3004	0.305	0.297	-2.62
UKÇ 0-3	30	1.39	0.2875	0.315	0.303	-3.81
UKÇ 0-4	40	1.44	0.2757	0.324	0.309	-4.63
UKÇ 0-5	50	1.49	0.2648	0.331	0.314	-5.14
Ağırlıklı Kitre Oranı % 0.5 Bağlayıcılı Numuneler						
UKÇ 1-0	0	1.09	0.33	0.175	0.183	4.57
UKÇ 1-1	10	1.16	0.3145	0.187	0.188	0.53
UKÇ 1-2	20	1.20	0.3004	0.197	0.192	-2.54
UKÇ 1-3	30	1.25	0.2875	0.205	0.195	-4.88
UKÇ 1-4	40	1.30	0.2757	0.211	0.199	-5.69
UKÇ 1-5	50	1.33	0.2648	0.215	0.202	-6.05
Ağırlıklı Kitre Oranı % 1 Bağlayıcılı Numuneler						
UKÇ 2-0	0	0.98	0.33	0.158	0.164	3.80
UKÇ 2-1	10	1.06	0.3145	0.17	0.168	-1.18
UKÇ 2-2	20	1.12	0.3004	0.179	0.171	-4.47
UKÇ 2-3	30	1.17	0.2875	0.187	0.175	-6.42
UKÇ 2-4	40	1.22	0.2757	0.193	0.178	-7.77
UKÇ 2-5	50	1.27	0.2648	0.197	0.181	-8.12
Ağırlıklı Kitre Oranı % 1.5 Bağlayıcılı Numuneler						
UKÇ 3-0	0	0.86	0.33	0.142	0.147	3.52
UKÇ 3-1	10	0.96	0.3145	0.153	0.151	-1.31
UKÇ 3-2	20	1.03	0.3004	0.162	0.155	-4.32
UKÇ 3-3	30	1.09	0.2875	0.169	0.158	-6.51
UKÇ 3-4	40	1.16	0.2757	0.174	0.160	-8.05
UKÇ 3-5	50	1.21	0.2648	0.177	0.162	-8.47

Tablo 5.2. Afşin-Elbistan termik santrali taban külü numunelerine ait özellikler

Malzeme Kodu	Ağır.Çimento Oranı % kül	Yoğunluk ρ (g/cm ³)	Porozite ϕ	Deneysel k (W/mK)	Kuramsal k (W/mK)	Sapma %
Kitresiz Numuneler						
TKÇ 0-0	0	1.34	0.3266	0.361	0.369	2.22
TKÇ 0-1	10	1.39	0.3096	0.375	0.372	-0.80
TKÇ 0-2	20	1.45	0.2943	0.386	0.375	-2.85
TKÇ 0-3	30	1.51	0.2805	0.396	0.378	-4.55
TKÇ 0-4	40	1.57	0.2679	0.405	0.381	-5.93
TKÇ 0-5	50	1.62	0.2564	0.412	0.383	-7.04
Ağırlıklı Kitre Oranı % 0.5 Bağlayıcı Numuneler						
TKÇ 1-0	0	1.18	0.3266	0.224	0.234	4.46
TKÇ 1-1	10	1.26	0.3096	0.237	0.236	-0.42
TKÇ 1-2	20	1.31	0.2943	0.247	0.239	-3.24
TKÇ 1-3	30	1.36	0.2805	0.255	0.241	-5.49
TKÇ 1-4	40	1.41	0.2679	0.261	0.243	-6.90
TKÇ 1-5	50	1.45	0.2564	0.264	0.245	-7.20
Ağırlıklı Kitre Oranı % 1 Bağlayıcı Numuneler						
TKÇ 2-0	0	1.06	0.3266	0.204	0.212	3.92
TKÇ 2-1	10	1.15	0.3096	0.215	0.214	-0.47
TKÇ 2-2	20	1.22	0.2943	0.223	0.216	-3.14
TKÇ 2-3	30	1.27	0.2805	0.23	0.218	-5.22
TKÇ 2-4	40	1.32	0.2679	0.234	0.219	-6.41
TKÇ 2-5	50	1.38	0.2564	0.237	0.220	-7.17
Ağırlıklı Kitre Oranı % 1.5 Bağlayıcı Numuneler						
TKÇ 3-0	0	0.93	0.3266	0.189	0.196	3.70
TKÇ 3-1	10	1.04	0.3096	0.199	0.198	-0.50
TKÇ 3-2	20	1.12	0.2943	0.208	0.200	-3.85
TKÇ 3-3	30	1.19	0.2805	0.214	0.202	-5.61
TKÇ 3-4	40	1.26	0.2679	0.218	0.203	-6.88
TKÇ 3-5	50	1.32	0.2564	0.221	0.204	-7.69

5.4 Basma Mukavemeti Deneyi

Basma deneyi, basma plakaları birbirine paralel olan bir makine ile yapıldığından numunelerin itina ile hazırlanmış olması gerekir. Basma numunelerinde yükün kullanıldığı alt ve üst yüzeyler numunenin düşey eksenine dik ve birbirine paralel olmalıdır. Şekil 5.5’de basma mukavemetini belirlemeye yarayan deney cihazı gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Basma mukavemeti deneyi cihazı

Deneyisel çalışmada, 100x100x100 mm boyutlarında küp şeklinde toplam 48 adet numune kullanılmış ve deney cihazından basma mukavemeti (kg/cm^2) cinsinden dijital olarak okunmuştur. Basma mukavemeti, basma kuvvetinin (P) numunenin kesit alanına (A_0) bölünmesiyle elde edilmektedir. Deney sonucunda, Afşin-Elbistan Termik Santral külüne ait ölçüm sonuçları Tablo 5.3’de gösterilmiştir. Ayrıca TS 500’e göre basma mukavemetinden çekme dayanımı hesaplanmış ve Tablo 5.4’de verilmiştir.

$$\text{Basma Mukavemeti } \sigma_b = \frac{P}{A_0} \text{ kg}/\text{cm}^2 \quad (5.2)$$

Tablo 5.3 ve Tablo 5.4’den de görüldüğü gibi üretilen numunelerde kullanılan çimento ve kitre miktarındaki artışa bağlı olarak basma ve çekme dayanımı artmıştır. Ancak numune bünyesindeki kitre miktarı % 1.5’a arttırıldığında basma ve çekme mukavemeti, % 1 kitre oranına göre düşüş göstermiştir. Bu durum kül-çimento karışım harç suyunda kitrenin % 1.5 oranında zorlanarak eritilmesi ve yoğun kıvamda eriyik oluşturmasının sonucudur.

Tablo 5.3. Afşin-Elb.T.Sant. külü numunelerine ait basma mukavemeti değerleri

Numune Kodu (Uçucu Kül)	B.Mukavemeti (kgf/cm ²)	Numune Kodu (Taban Külü)	B.Mukavemeti (kgf/cm ²)
Kitresiz Numuneler			
UKÇ 0-0	34.3	TKÇ 0-0	149.2
UKÇ 0-1	51.1	TKÇ 0-1	175.5
UKÇ 0-2	66	TKÇ 0-2	202.4
UKÇ 0-3	82.2	TKÇ 0-3	232.7
UKÇ 0-4	97.6	TKÇ 0-4	265.9
UKÇ 0-5	114.5	TKÇ 0-5	302.3
Ağırlıklı Kitre Oranı % 0.5 Bağlayıcılı Numuneler			
UKÇ 1-0	45.1	TKÇ 1-0	181.2
UKÇ 1-1	61.2	TKÇ 1-1	210.1
UKÇ 1-2	79	TKÇ 1-2	242.3
UKÇ 1-3	98.7	TKÇ 1-3	278.6
UKÇ 1-4	119.3	TKÇ 1-4	318.4
UKÇ 1-5	140.2	TKÇ 1-5	362.1
Ağırlıklı Kitre Oranı % 1 Bağlayıcılı Numuneler			
UKÇ 2-0	48.1	TKÇ 2-0	192.8
UKÇ 2-1	67	TKÇ 2-1	219.5
UKÇ 2-2	88.3	TKÇ 2-2	251.2
UKÇ 2-3	109.5	TKÇ 2-3	289.6
UKÇ 2-4	131.2	TKÇ 2-4	332.1
UKÇ 2-5	153.4	TKÇ 2-5	375.5
Ağırlıklı Kitre Oranı % 1.5 Bağlayıcılı Numuneler			
UKÇ 3-0	45.7	TKÇ 3-0	185.2
UKÇ 3-1	64.3	TKÇ 3-1	212.4
UKÇ 3-2	82.2	TKÇ 3-2	245.6
UKÇ 3-3	103.3	TKÇ 3-3	281.7
UKÇ 3-4	123.4	TKÇ 3-4	323.4
UKÇ 3-5	144.6	TKÇ 3-5	369.6

Tablo 5.4. Afşin-Elb.T.Sant. külü numunelerine ait çekme mukavemeti değerleri

Numune Kodu (Uçucu Kül)	Ç. Mukavemeti (kgf/cm ²)	Numune Kodu (Taban Külü)	Ç. Mukavemeti (kgf/cm ²)
Kitresiz Numuneler			
UKÇ 0-0	6.4	TKÇ 0-0	13.4
UKÇ 0-1	7.9	TKÇ 0-1	14.6
UKÇ 0-2	8.9	TKÇ 0-2	15.6
UKÇ 0-3	10.0	TKÇ 0-3	16.8
UKÇ 0-4	10.9	TKÇ 0-4	17.9
UKÇ 0-5	11.8	TKÇ 0-5	19.1
Ağırlıklı Kitre Oranı % 0.5 Bağlayıcılı Numuneler			
UKÇ 1-0	7.4	TKÇ 1-0	14.8
UKÇ 1-1	8.6	TKÇ 1-1	15.9
UKÇ 1-2	9.8	TKÇ 1-2	17.1
UKÇ 1-3	10.9	TKÇ 1-3	18.4
UKÇ 1-4	12.0	TKÇ 1-4	19.6
UKÇ 1-5	13.0	TKÇ 1-5	20.9
Ağırlıklı Kitre Oranı % 1 Bağlayıcılı Numuneler			
UKÇ 2-0	7.7	TKÇ 2-0	15.3
UKÇ 2-1	9.0	TKÇ 2-1	16.3
UKÇ 2-2	10.3	TKÇ 2-2	17.4
UKÇ 2-3	11.5	TKÇ 2-3	18.7
UKÇ 2-4	12.6	TKÇ 2-4	20.0
UKÇ 2-5	13.6	TKÇ 2-5	21.3
Ağırlıklı Kitre Oranı % 1.5 Bağlayıcılı Numuneler			
UKÇ 3-0	7.5	TKÇ 3-0	15.0
UKÇ 3-1	8.8	TKÇ 3-1	16.0
UKÇ 3-2	10.0	TKÇ 3-2	17.2
UKÇ 3-3	11.2	TKÇ 3-3	18.5
UKÇ 3-4	12.2	TKÇ 3-4	19.8
UKÇ 3-5	13.2	TKÇ 3-5	21.1

5.5 Su Emme ve Kuruma Hızı Deneyi

Su ile doğrudan ilişkili olabilecek yapı malzemelerinde, donma sonucu malzemelerin bünyesinde buz kristalleri oluşacaktır. Şayet malzemeler, içerisinde donma neticesinde oluşan genleşmeyi karşılayabilecek bir kuru hacme sahip değilse don hasarları meydana gelecektir. Bu deneyin amacı malzemelerin böyle bir kuru hacme sahip olup olmadıklarının araştırılmasıdır.

Malzeme içerisinde kritik rutubet miktarı hacmin % 30'udur. Bu oranın altında malzemeler donsa bile hasara uğramamaktadır. Malzeme içerisindeki rutubet miktarı kritik değerin üzerinde olması durumunda malzemelerde don hasarları meydana gelecektir. Malzeme bünyesindeki rutubet miktarı ne kadar çok olursa hasarın büyüklüğü o oranda artacak ve hasar, malzemenin tamamen dağılmasına kadar ilerleyecektir.

Deney numuneleri sabit oda sıcaklığında kurutulup, numuneler üzerindeki tozlar bir fırça ile temizlendikten sonra 1 g duyarlılıkta terazi ile tartılarak kuru numune ağırlıkları (W_k) tespit edildi. Bu şekilde kurutulmuş numuneler, oda sıcaklığında içerisinde su bulunan bir kaba yerleştirildi. İlk anda numunelerin 2/5'i, 20 dakika sonra 3/5'i, 40. dakikada 4/5'i ve 60. dakikada tamamı su içerisinde kalacak şekilde kaba su ilave edildi. Bu durumda 24 saat bekletildikten sonra sudan çıkarılan numuneler, ıslak bir bez parçası ile silinerek su emdirilmiş ağırlıkları (W_d) bulundu. Bu iki ağırlık değerleri kullanılarak su emme yüzdesi aşağıdaki şekilde tespit edilmiştir. Deney sonuçları Tablo 5.5 ve Tablo 5.6'da verilmiştir.

$$\text{Su Emme \%} = \frac{W_d - W_k}{W_k} \times 100 \quad (5.3)$$

Kuruma hızı deneyinde amaç, numunelerin teneffüs kabiliyetinin araştırılmasıdır. 24 saat su kabı içinde bekletilen numuneler sudan çıkarılıp ıslak bir bezle kurulandıktan sonra 20 °C oda sıcaklığında doğal kurumaya bırakılmıştır. Kuruma malzeme yüzeyinden buharlaşma ile olduğundan, burada malzeme iç yüzeyinden dış yüzeye doğru kılcal kanallar vasıtasıyla suyun hareketi söz konusudur. Numunelerin kuruma hızı, 24 saatlik kuruma süresindeki ağırlık kaybının numunenin su emdirilmiş ağırlığı olan W_d 'ye oranı alınarak hesaplanmıştır. Kuruma süresindeki ağırlık kaybı ve kuruma hızı sonuçları Tablo 5.7 ve Tablo 5.8'de gösterilmiştir.

Tablo 5.5. Afşin-Elb.T.Sant.uçucu külü numunelerine ait su emme deneyi

Malz. Kodu	Oda Sıc. Num. Ağırlığı (g)	Su İçerisinde Numunelerin Ağırlık Ölçümü						Su Emme Oranı (%)
		20. dk	40. dk	1. saat	2. saat	3.saat	24.saat	
Kitresiz Numuneler								
UKÇ 0-0	221	260	274	283	290	295	308	39.37
UKÇ 0-1	230	268	280	288	297	302	319	38.70
UKÇ 0-2	239	281	298	308	316	321	330	38.08
UKÇ 0-3	250	290	305	318	326	332	344	37.60
UKÇ 0-4	259	302	319	328	338	342	355	37.07
UKÇ 0-5	269	315	330	342	351	355	368	36.80
Ağırlıklı Kitre Oranı % 0.5 Bağlayıcılı Numuneler								
UKÇ 1-0	196	231	243	251	257	261	271	38.27
UKÇ 1-1	209	243	254	262	268	273	288	37.80
UKÇ 1-2	216	254	269	278	285	289	297	37.50
UKÇ 1-3	225	261	275	286	293	299	308	36.89
UKÇ 1-4	234	273	288	297	305	309	319	36.32
UKÇ 1-5	240	282	296	306	314	318	326	35.83
Ağırlıklı Kitre Oranı % 1 Bağlayıcılı Numuneler								
UKÇ 2-0	176	206	217	226	232	236	242	37.50
UKÇ 2-1	190	225	236	244	249	252	261	37.37
UKÇ 2-2	201	238	250	258	265	269	276	37.31
UKÇ 2-3	210	250	263	271	277	280	287	36.67
UKÇ 2-4	219	259	271	280	287	291	298	36.07
UKÇ 2-5	228	267	281	291	299	303	309	35.53
Ağırlıklı Kitre Oranı % 1.5 Bağlayıcılı Numuneler								
UKÇ 3-0	154	185	194	201	205	208	211	37.01
UKÇ 3-1	172	203	213	221	227	231	235	36.63
UKÇ 3-2	185	217	228	237	243	247	252	36.22
UKÇ 3-3	197	227	241	250	258	262	268	36.04
UKÇ 3-4	208	236	249	258	266	273	282	35.58
UKÇ 3-5	218	245	260	271	280	287	295	35.32

Tablo 5.6. Afşin-Elb.T.Sant.taban külü numunelerine ait su emme deneyi

Malz. Kodu	Oda Sıc. Num. Ağırlığı (g)	Su İçerisinde Numunelerin Ağırlık Ölçümü						Su Emme Oranı (%)
		20. dk	40. dk	1. saat	2. saat	3. saat	24. saat	
Kitresiz Numuneler								
TKÇ 0-0	234	280	298	310	320	329	344	47.01
TKÇ 0-1	238	281	299	311	323	331	349	46.64
TKÇ 0-2	248	291	309	323	335	344	363	46.37
TKÇ 0-3	256	300	320	335	345	354	374	46.09
TKÇ 0-4	264	309	328	343	355	365	385	45.83
TKÇ 0-5	275	318	337	353	365	375	399	45.09
Ağırlıklı Kitre Oranı % 0.5 Bağlayıcılı Numuneler								
TKÇ 1-0	208	248	264	276	285	292	305	46.63
TKÇ 1-1	216	255	270	282	293	301	316	46.30
TKÇ 1-2	224	263	279	292	303	311	327	45.98
TKÇ 1-3	231	270	288	301	311	319	336	45.45
TKÇ 1-4	239	276	295	310	321	330	347	45.19
TKÇ 1-5	247	285	302	316	327	336	357	44.53
Ağırlıklı Kitre Oranı % 1 Bağlayıcılı Numuneler								
TKÇ 2-0	194	231	244	254	262	268	282	45.36
TKÇ 2-1	204	241	255	266	275	282	296	45.10
TKÇ 2-2	212	248	262	273	284	292	307	44.81
TKÇ 2-3	221	257	272	284	295	303	319	44.34
TKÇ 2-4	230	269	287	301	311	318	331	43.91
TKÇ 2-5	238	278	295	309	320	327	341	43.28
Ağırlıklı Kitre Oranı % 1.5 Bağlayıcılı Numuneler								
TKÇ 3-0	183	217	231	241	249	255	266	45.36
TKÇ 3-1	195	229	243	254	263	269	282	44.62
TKÇ 3-2	204	237	250	261	271	278	294	44.12
TKÇ 3-3	213	247	261	272	281	289	306	43.66
TKÇ 3-4	220	256	271	283	293	300	315	43.18
TKÇ 3-5	227	262	276	289	300	308	324	42.73

Tablo 5.7. Afşin-Elb.T.Sant.uçucu külü numunelerine ait kuruma hızı deneyi

Malz. Kodu	Su Kabı Çıkış Ağırlığı (g)	Oda Sıcaklığında Numunelerin Ağırlık Ölçümü					Kuruma Hızı (g/24 saat)
		30. dk	1. saat	3. saat	9. saat	24. saat	
Kitresiz Numuneler							
UKÇ 0-0	308	306	302	297	288	271	12.01
UKÇ 0-1	319	317	313	306	297	282	11.60
UKÇ 0-2	330	327	324	315	303	291	11.82
UKÇ 0-3	344	342	338	329	315	301	12.50
UKÇ 0-4	355	352	347	340	327	312	12.11
UKÇ 0-5	368	366	361	352	340	322	12.50
Ağırlıklı Kitre Oranı % 0.5 Bağlayıcılı Numuneler							
UKÇ 1-0	271	270	268	265	259	244	9.96
UKÇ 1-1	288	286	283	279	273	258	10.42
UKÇ 1-2	297	295	293	290	283	266	10.61
UKÇ 1-3	308	306	303	299	292	275	10.88
UKÇ 1-4	319	317	314	310	302	282	11.60
UKÇ 1-5	326	323	320	315	308	291	10.89
Ağırlıklı Kitre Oranı % 1 Bağlayıcılı Numuneler							
UKÇ 2-0	242	241	239	237	231	216	10.74
UKÇ 2-1	261	259	257	254	248	233	10.73
UKÇ 2-2	276	274	272	269	262	245	11.41
UKÇ 2-3	287	285	282	278	271	254	11.67
UKÇ 2-4	298	296	294	290	282	262	12.08
UKÇ 2-5	309	307	304	300	293	276	10.84
Ağırlıklı Kitre Oranı % 1.5 Bağlayıcılı Numuneler							
UKÇ 3-0	211	210	208	205	199	184	12.80
UKÇ 3-1	235	234	232	228	222	207	11.91
UKÇ 3-2	252	250	248	244	238	223	11.51
UKÇ 3-3	268	266	263	258	251	234	12.87
UKÇ 3-4	282	280	278	274	266	246	12.77
UKÇ 3-5	295	293	290	285	277	257	12.88

Tablo 5.8. Afşin-Elb.T.Sant.taban külü numunelerine ait kuruma hızı deneyi

Malz. Kodu	Su Kabı Çıkış Ağırlığı (g)	Oda Sıcaklığında Numunelerin Ağırlık Ölçümü	Kuruma Hızı			
		30. dk	1. saat	3. saat	9.saat	24. saat (g/24 saat)
Kitresiz Numuneler						
TKÇ 0-0	344	342	338	332	320	304 11.63
TKÇ 0-1	349	346	342	335	323	310 11.17
TKÇ 0-2	363	360	356	347	332	318 12.40
TKÇ 0-3	374	370	365	357	342	326 12.83
TKÇ 0-4	385	381	375	362	349	334 13.25
TKÇ 0-5	399	394	388	374	360	346 13.28
Ağırlıklı Kitre Oranı % 0.5 Bağlayıcılı Numuneler						
TKÇ 1-0	305	303	301	297	291	276 9.51
TKÇ 1-1	316	314	311	307	301	286 9.49
TKÇ 1-2	327	324	322	317	310	293 10.55
TKÇ 1-3	336	333	330	326	318	298 11.31
TKÇ 1-4	347	344	340	335	326	304 12.54
TKÇ 1-5	357	353	350	344	337	320 10.50
Ağırlıklı Kitre Oranı % 1 Bağlayıcılı Numuneler						
TKÇ 2-0	282	281	279	275	269	254 9.93
TKÇ 2-1	296	295	293	288	282	267 9.80
TKÇ 2-2	307	305	302	297	291	276 10.10
TKÇ 2-3	319	316	313	308	301	284 11.13
TKÇ 2-4	331	329	326	320	314	299 9.67
TKÇ 2-5	341	338	335	329	321	301 11.73
Ağırlıklı Kitre Oranı % 1.5 Bağlayıcılı Numuneler						
TKÇ 3-0	266	265	263	258	252	237 10.90
TKÇ 3-1	282	280	277	273	267	252 10.64
TKÇ 3-2	294	292	289	284	277	260 11.73
TKÇ 3-3	306	304	300	296	289	272 11.27
TKÇ 3-4	315	313	310	304	297	280 11.27
TKÇ 3-5	324	322	318	312	305	288 11.27

5.6 İşlenebilme Özelliği

Afşin-Elbistan Termik Santrali uçucu ve taban külü ile üretilen deney numuneleri üzerine çeşitli uygulamalar yapılmış ve neticede numunelerin testere ile kesilebildiği, vidalanabildiği, tesisat çalışmaları için kanal açılmasına müsait olduğu ve matkapla delinebildiği görülmüştür. Ayrıca üretilen numunelerin boya tutma özelliğinin belirlenebilmesi için numuneler farklı çeşitte boyalarla işleme tabi tutulmuş ve sonuçta numunelerin boya tutma özelliğinin son derece iyi olduğu tespit edilmiştir. Aşağıda, Şekil 5.6 ‘da matkapla uygulama yapılmış numuneler, Şekil 5.7’de ise boya işleme tabi tutulmuş numuneler gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 5.6. Numunelerin matkapla delinebilirliği ((a) Uçucu kül, (b) Taban külü)

Şekil 5.6.a’da (1) numarası ile kodlanan matkapla delme işleminde matkabın eğik tutulmuş olması sebebiyle malzeme yüzeyinde deformasyon meydana gelmiştir. Üretilen numunelerde işlem hatalarından dolayı numune yüzeyinde deformasyon yanı sıra çatlamalarda meydana gelebilmektedir. Bu durum normal sıvalarda da aynı seyri göstermektedir.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Şekil 5.7. Boyama işlemine tabi tutulmuş numuneler ((a) Silikonlu plastik boya, iki uygulama, (b) Yağlı selolojik boya, tek uygulama, (c) Reçineli yağlı boya, tek uygulama, (d) Silikonlu boya, tek uygulama, (e) Plastik boya, iki uygulama, (f) Bezir yağı şeffaf astar uygulama)

6. BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, Afşin Elbistan Termik Santral uçucu ve taban külüne bağlayıcı olarak belirli oranlarda kitle ve çimento katılarak oluşturulan karışımlara ait numunelerin ısı ve mekanik özellikleri üzerine yapılan çalışmalar sonunda elde edilen bulgular aşağıda özetlenerek tartışılmıştır.

6.1. Isı iletkenlik Sonuçlarının Değerlendirilmesi

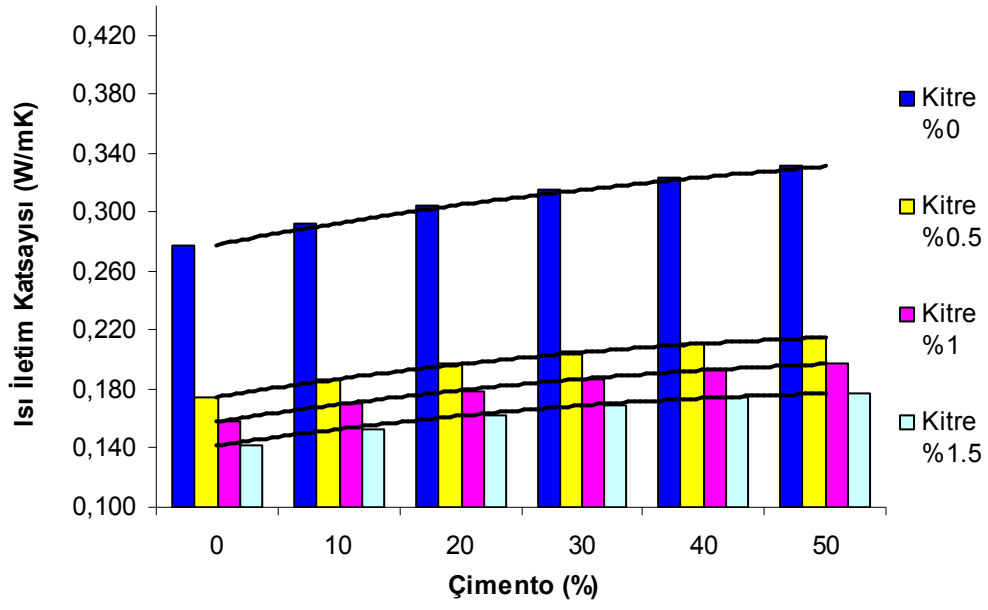
Shoterm QTM cihazı ile ölçülen değişik malzemelerin ısı iletkenlik değerleri ile hazırlanan numunelerden ısı iletim katsayıları küçük olanlar Tablo 6.1’de verilmiştir. Bu tablodan anlaşılabacağı gibi üretilen numunelerin, ısı iletkenlikleri bir çok yapı malzemesine göre düşük çıkmıştır. Bunun en önemli sebebi termik santral küllerinin gözenekli yapısı ve bağlayıcı olarak kitle kullanılmasıdır. Kitrenin gözeneksiz blok halde ısı iletkenlik katsayısı 0.150 W/mK düzeyinde olması sebebiyle üretilen numunelerde kullanılan kitle miktarındaki artışa bağlı olarak ısı iletkenlik değeri düşmektedir. Bu çalışmada, en düşük ısı iletkenlik katsayısı uçucu kül ile çimentosuz bir şekilde ağırlıkça % 1.5 kitle kullanılarak üretilen UKÇ 3-0 numunesine ait olup 0.142 W/mK değerinde ve en büyük ısı iletkenlik katsayısı taban külü ile kitresiz ağırlıkça külün % 50’si kadar çimento kullanılarak üretilen TKÇ 0-5 numunesine ait olup 0.412 W/mK değerindedir. Numune bünyesinde kullanılan çimento miktarı arttıkça, kül miktarındaki azalmaya bağlı olarak daha düşük poroziteli numuneler üretilecektir. Çimento betonunun ısı iletim katsayısı 0.498 W/mK düzeyindedir [10]. Çimento betonunun yüksek ısı iletkenliği ve poroziteyi düşürmesi sebeplerinden dolayı numune bünyesinde kullanılan çimento miktarındaki artışa bağlı olarak ısı iletim katsayısı büyümektedir. Bundan dolayı üretilen numunelerin nerede kullanılmak istendiği ve kullanım yerine uygun istenen mekanik ve işleme özellikleri çok iyi belirlenmelidir. Şekil 6.1 ve Şekil 6.2’de, Afşin Elbistan Termik Santral uçucu ve taban külü numunelerinde, numune bünyesindeki kitle ve çimento miktarına bağlı olarak ısı iletim katsayısındaki değişim, Şekil 6.3 ve Şekil 6.4’de ise ısı iletim katsayıları kuramsal ve deneysel açıdan kıyaslanarak gösterilmiştir.

Tablo 6.1. Shoterm QTM ölçme cihazı ile değişik malzemelerin ısı iletkenlik değeri tesbiti [10,75].

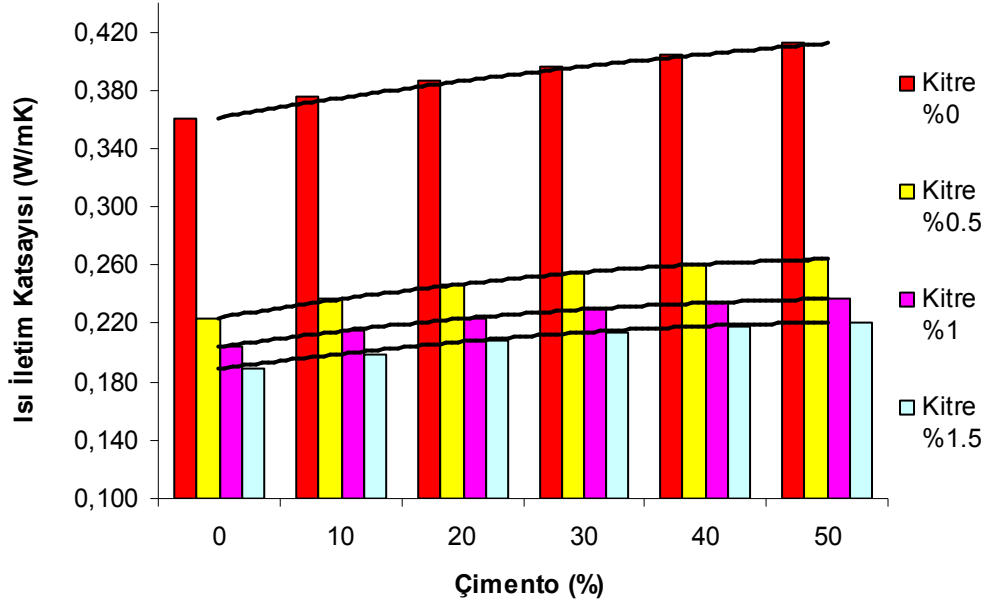
Malzeme	<u>Ölçülen Değerler</u>			<u>Literatürdeki Değerler</u>		
	Yoğunluk g/cm ³	T _{ort} °C	Isıl İletkenlik W/mK	Yoğunluk g/cm ³	T _{ort} °C	Isıl İletkenlik W/mK
Dış Sıva Harcı (Kaba)	1.856	31	1.173	1.6 1.8	20 20	0.93 1.163
İç Sıva Harcı (İnce)	1.763	33	1.163	1.68 1.68	20 20	0.779 0.93
Alçılı İnce Sıva (Perlitli)	0.465	34	0.244	0.4-0.5	20	0.139-0.162
Alçılı Kaba Sıva (Perlitli)	0.465	50.7	0.168	0.4-0.5	20	0.139-0.162
Çimentolu Sıva (Perlitli)	0.672	51.3	0.173	0.7	20	0.244
Alçılı Blok (Perlitli)	1.047	40	0.372	0.9	20	0.221
Çimentolu Blok (Perlitli)	0.427	37.7	0.292	0.1046	20	0.3
Beton	2.5	27	1.42	2.272	24	1.512
Seramik Toprak	1.077	27.7	0.214	2	20	0.988
Stropor	0.016	26.3	0.0308	0.2	20	0.0395
Ytong	0.0617	38.7	0.18	0.8	20	0.383
Cam Yünü	0.15	337	0.034	0.2	20	0.0372
Tuğla Duvar	2.093	45.7	1.148	1.8-2.0	20	0.972
TKÇ 0-1	1.39	30	0.375	—	—	—
TKÇ 1-1	1.2	31	0.237	—	—	—

Tablo 6.1. Devam

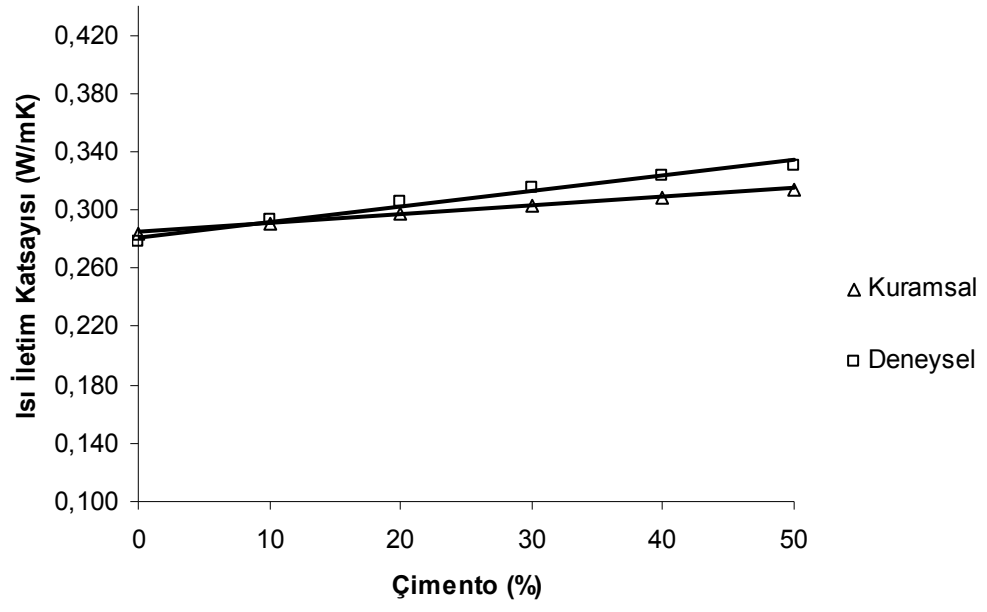
Malzeme	<u>Ölçülen Değerler</u>			<u>Literatürdeki Değerler</u>		
	Yoğunluk g/cm ³	T _{ort} °C	Isıl İletkenlik W/mK	Yoğunluk g/cm ³	T _{ort} °C	Isıl İletkenlik W/mK
TKÇ 2-1	1.13	31	0.216	—	—	—
TKÇ 3-1	1.083	30	0.199	—	—	—
UKÇ 0-1	1.28	30	0.293	—	—	—
UKÇ 1-1	1.161	31	0.187	—	—	—
UKÇ 2-1	1.055	30	0.17	—	—	—
UKÇ 3-1	0.955	31	0.153	—	—	—
Blok Toz Kitre	1.12	30	0.150	—	—	—



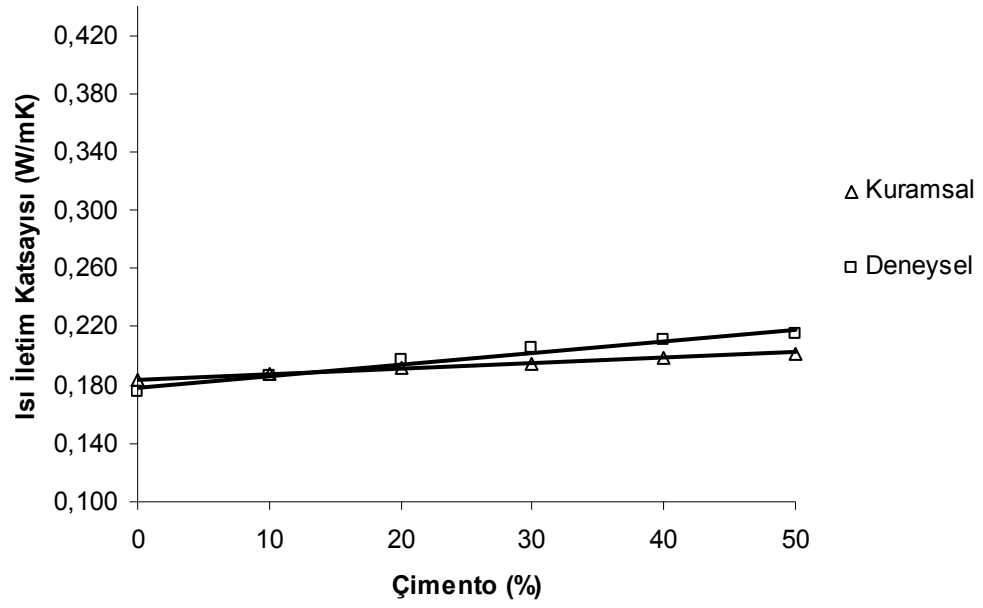
Şekil 6.1. Uçucu küllü numunelerde kitre ve çimentoya bağlı ısı iletim ilişkisi



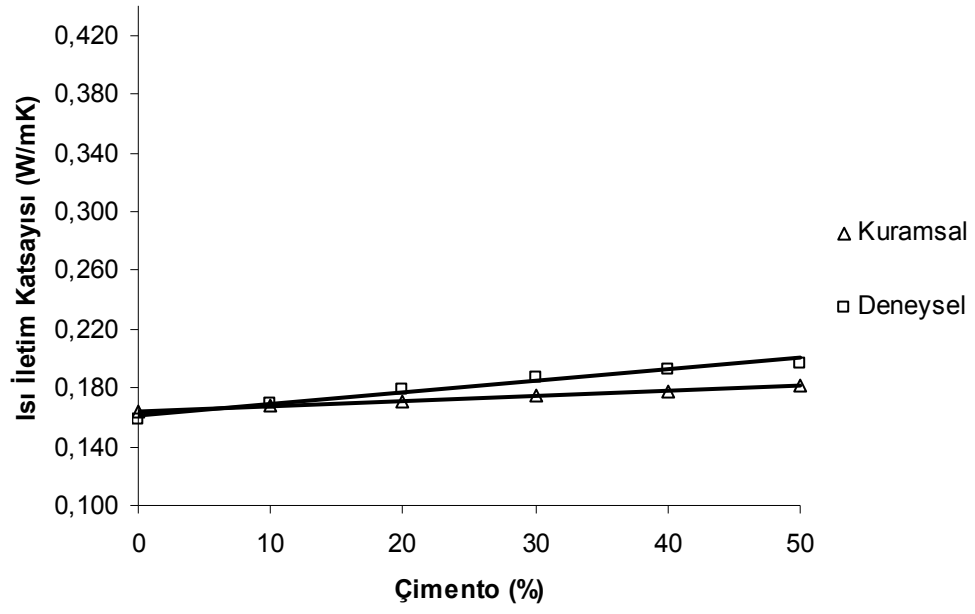
Şekil 6.2. Taban küllü numunelerde kitre ve çimentoya bağlı ısı iletim ilişkisi



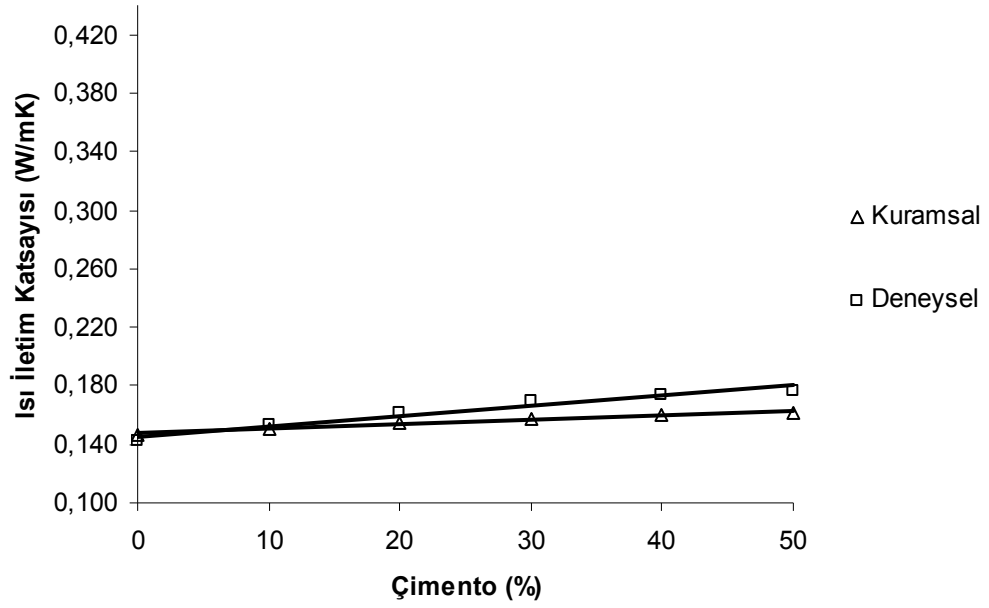
(a)



(b)

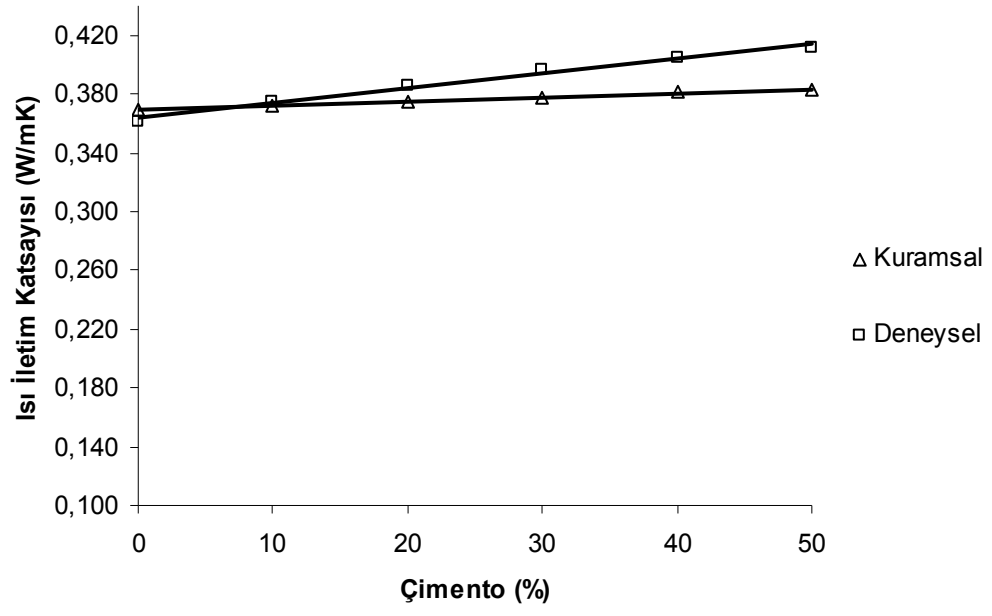


(c)

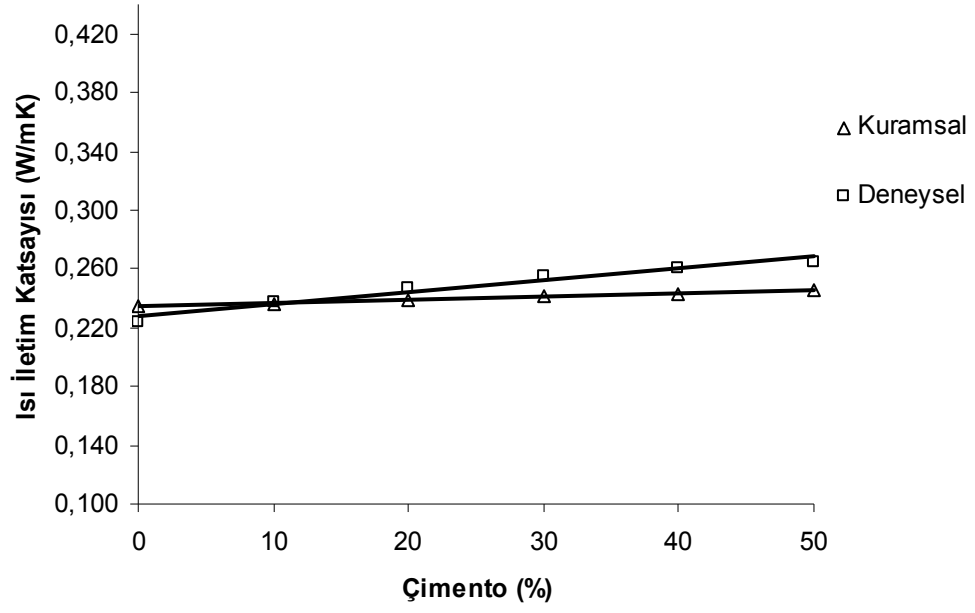


(d)

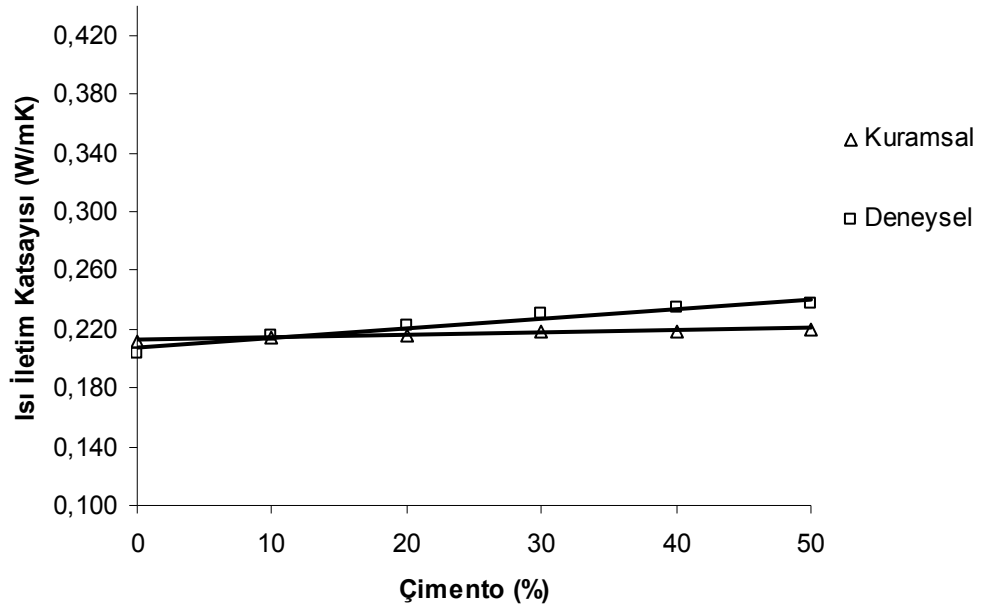
Şekil 6.3. Uçucu küllü numunelerin kitre ve çimentoya bağlı kuramsal ve deneysel açıdan ısı iletim katsayılarının karşılaştırılması ((a) Kitresiz numuneler, (b) % 0.5 Kitreli numuneler, (c) % 1 Kitreli numuneler, (d) % 1.5 Kitreli numuneler)



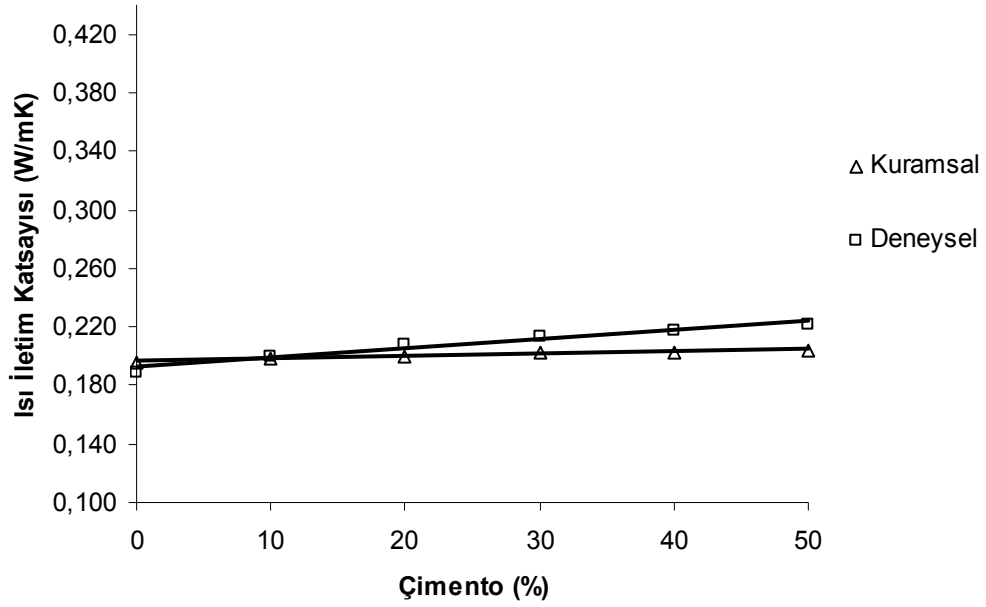
(a)



(b)



(c)



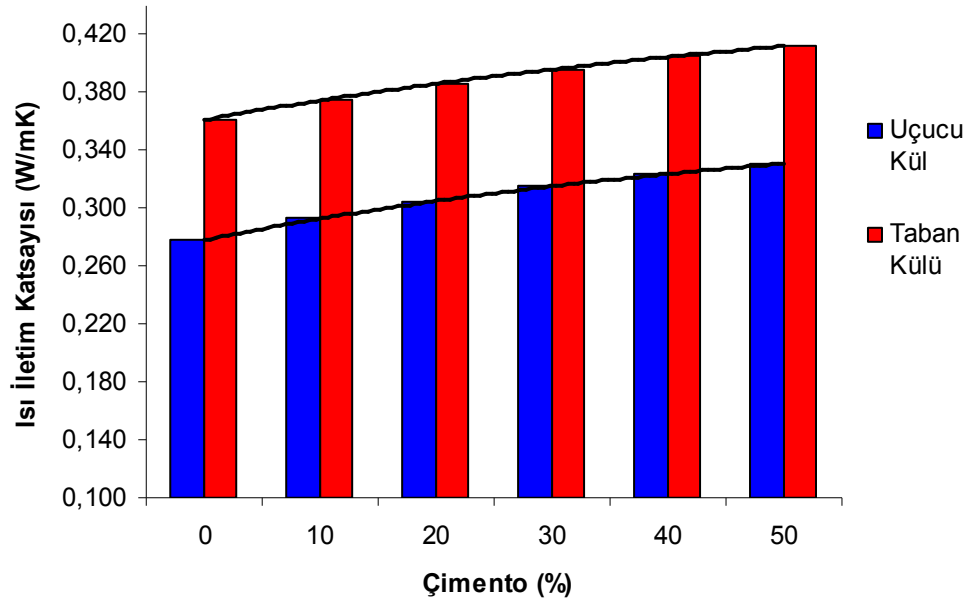
(d)

Şekil 6.4. Taban küllü numunelerin kitre ve çimentoya bağlı kuramsal ve deneysel açıdan ısı iletim katsayılarının karşılaştırılması ((a) Kitresiz numuneler, (b) % 0.5 Kitreli numuneler, (c) % 1 Kitreli numuneler, (d) % 1.5 Kitreli numuneler)

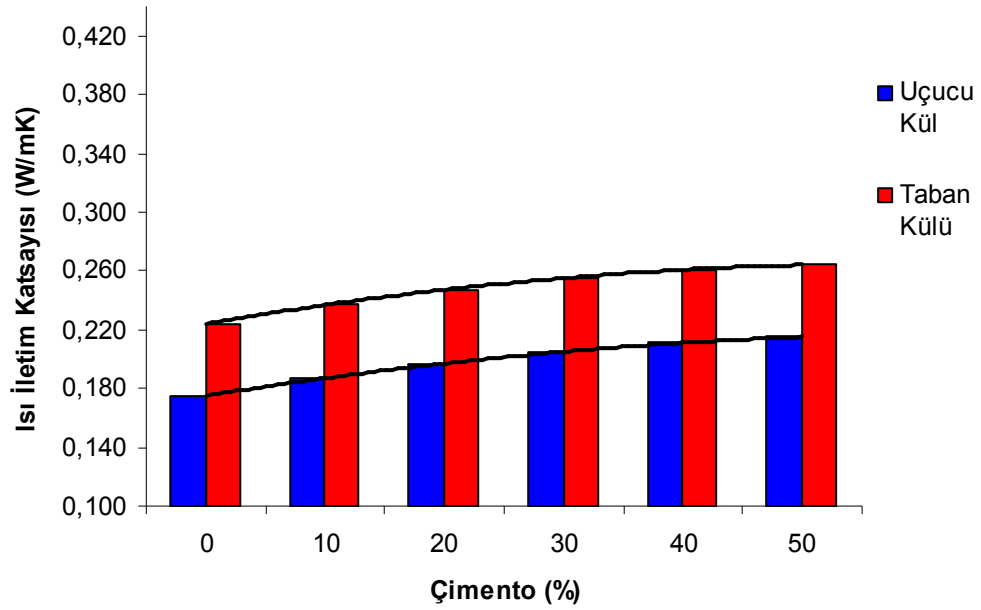
Şekil 6.1 ve Şekil 6.2’de görüldüğü gibi karışımda kullanılan çimento miktarı değiştirilmeksizin kitre miktarındaki artışa bağlı olarak ısıl iletkenlik değeri küçülmektedir. Aynı şekilde kitre miktarı sabit tutularak karışımda kullanılan çimento oranı arttırıldığında

ısı iletkenlik değeri büyükmektedir. Şekil 6.3 ve Şekil 6.4’de, üretilen numunelerin ısı iletim katsayıları kuramsal ve deneysel açıdan incelendiğinde deneysel bulguların kuramsal bulgulardan çimento miktarındaki artışa bağılı olarak % 8 kadar büyük olduğı görölmüşür. Ancak çimento kullanılmaksızın üretilen numunelerde ısı iletim katsayısı deneysel bulguları kuramsal bulgulardan % 5 kadar küçüktür. Bu durumlar şöyle açıklanabilir; Üretilen numuneler 28 günlük kurumaya tabi tutulsa da bünyesinde düşük miktarda su absorbe eder. Bundan dolayı numunelere ait ısı iletim katsayısı deneysel bulgularının, kuramsal bulgulardan biraz yüksek çıkması tabidir. Çimentosuz üretilen numunelerin ısı iletim katsayısı deneysel bulgularının kuramsal bulgulardan düşük olmasının sebebi ise eriyik kitreli porozitesiz Afşin-Elbistan Termik santral küllerine ait ısı iletim katsayısının direkt deneysel olarak ölçölüp hesaplamalara katılmış olmasından ve kuramsal denklemin çıkarılmasında yapılan kabullerden ileri gelmektedir.

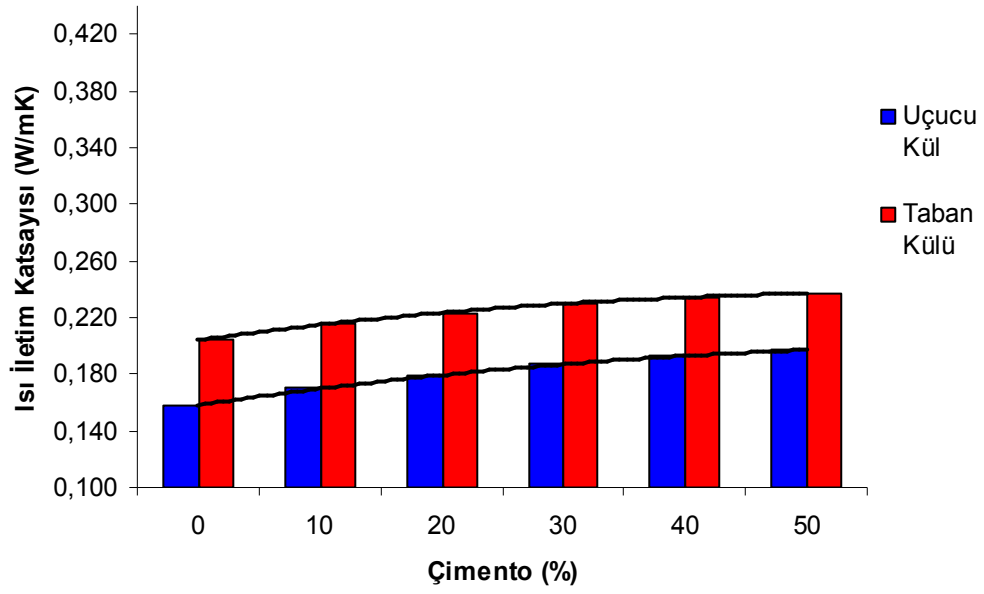
Deneysel ölçömler neticesinde, Afşin-Elbistan Termik Santrali uçucu ve taban külü ile üretilen numunelere ait ısı iletim katsayıları karşılaştırıldığında uçucu kül ile üretilen numunelerin ısı iletim katsayılarının, taban külü ile üretilen numunelere ait ısı iletkenlik katsayılarına oranla çok düşük çıktığı görölmüşür. Bunun sebebi, uçucu külün gözenekliliğinin taban külünden daha fazla olması ve uçucu külün gözeneksiz blok halde yoğunluğunun taban külünden daha küçük olmasıdır. Uçucu ve taban külü ile üretilen numunelerin ısı iletim katsayıları arasındaki fark yüzde olarak hesaplandığında çimento oranına bağılı olarak kitresiz numuneler için % 29.86 ile % 24.47 aralığında, ağırlıkça % 0.5 kitreli numuneler için % 28 ile % 22.79 aralığında, % 1 kitreli numuneler için % 29.11 ile % 20.3 aralığında ve % 1.5 kitreli numuneler için % 33.10 ile % 24.86 aralığında olduğı tespit edilmiştir. Yukarıdan da anlaşılaçağı üzere kullanılan kitre miktarı arttıkça uçucu ve taban külü numunelerinin ısı iletim katsayıları arasındaki fark büyüekte bunun aksine uçucu ve taban külü numuneleri bünyesindeki çimento miktarı arttıkça ısı iletim katsayıları arasındaki fark küçölmektedir. Şekil 6.5’de Afşin Elbistan Termik Santrali uçucu ve taban külü numunelerinin ısı iletim katsayıları kıyaslanarak kitre miktarındaki artışa paralel olarak ısı iletim katsayısındaki azalış ve çimento miktarındaki artışa paralel olarak ısı iletim katsayısındaki artış ve ayrıca Şekil 6.6’da uçucu ve taban külü ile aynı oranda bağlayıcı kullanılarak üretilen numunelerin ısı iletim katsayıları arasındaki fark yüzde olarak gösterilmiştir.



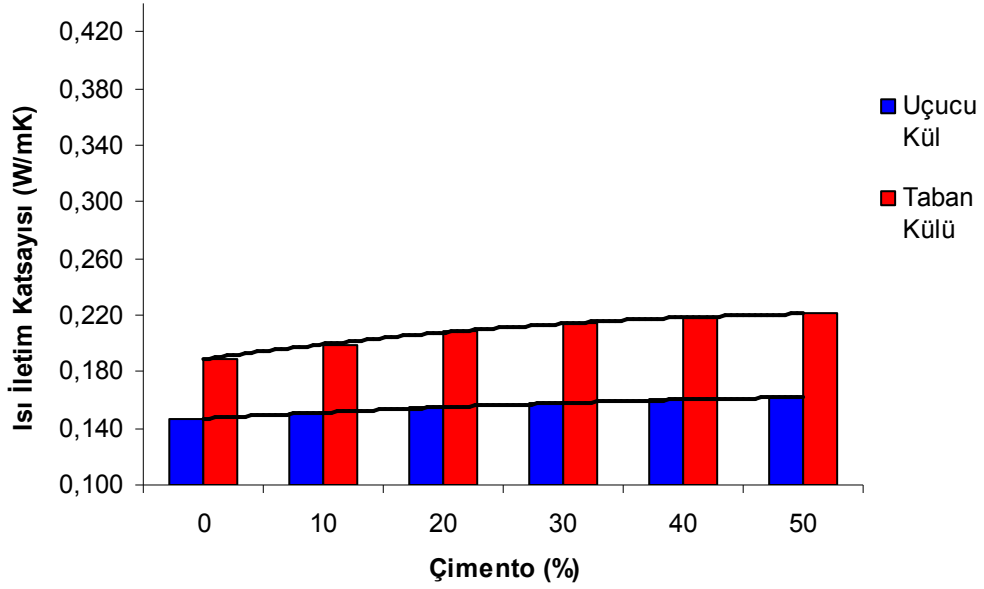
(a)



(b)

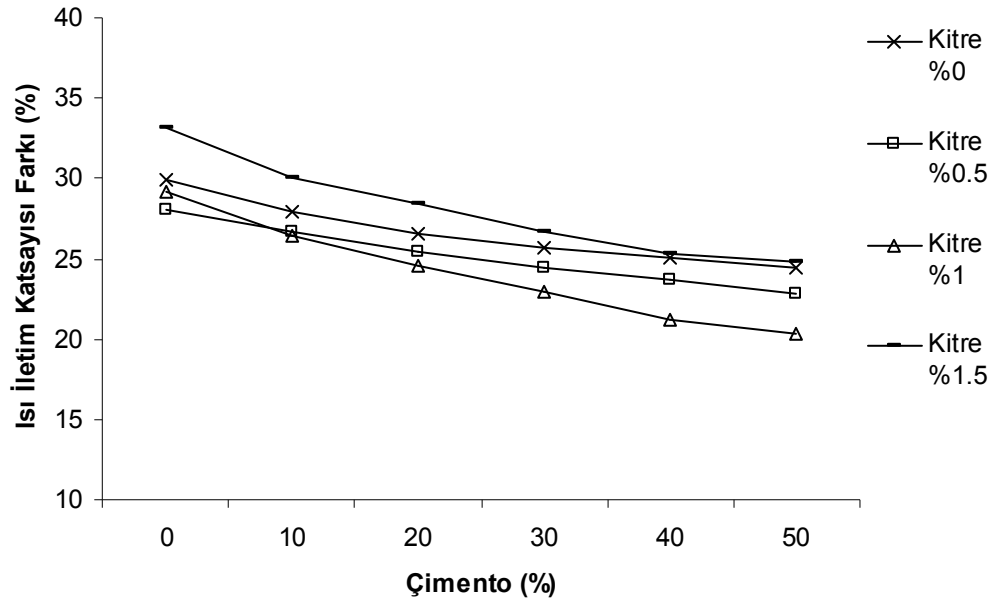


(c)



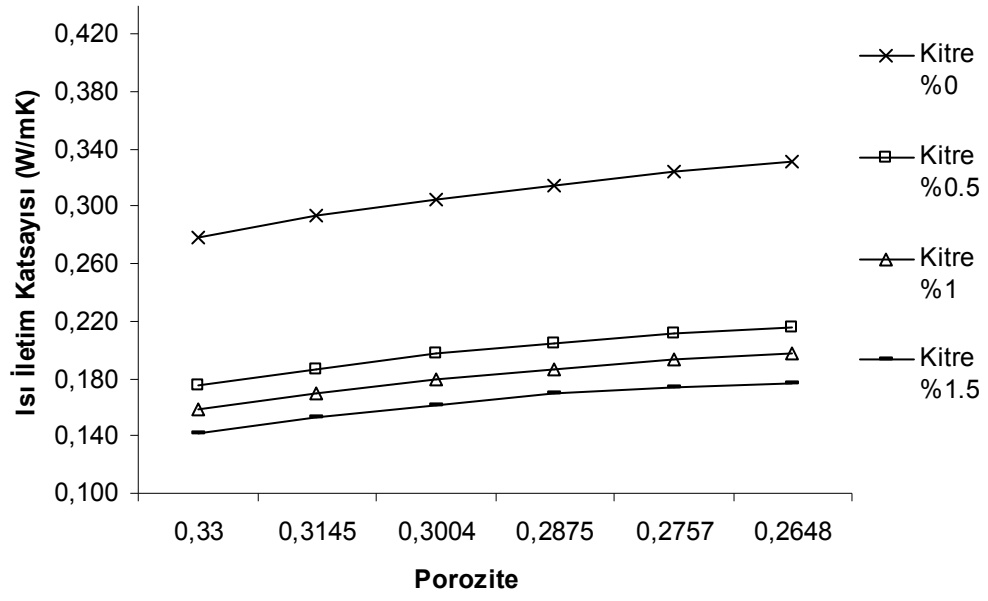
(d)

Şekil 6.5. Uçucu ve taban küllü numunelerin kitre ve çimentoya bağlı olarak ısı iletim katsayılarının karşılaştırılması ((a) Kitresiz numuneler, (b) % 0.5 Kitreli numuneler, (c) % 1 Kitreli numuneler, (d) % 1.5 Kitreli numuneler)

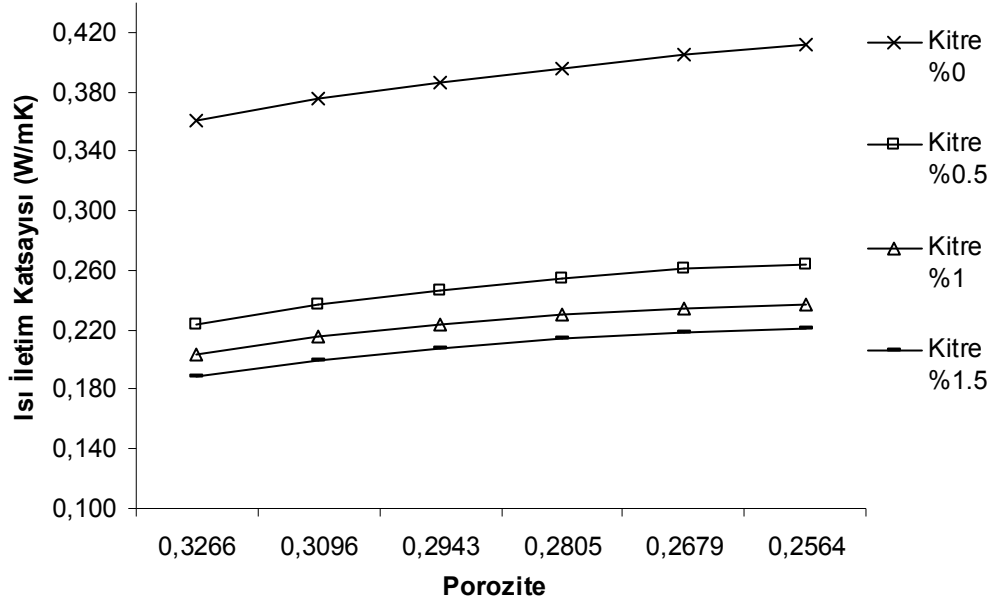


Şekil 6.6. Uçucu kül numunelerinin ısı iletim katsayısının aynı karışım oranlarına sahip taban külü numunelerinin ısı iletim katsayısından % olarak farkı

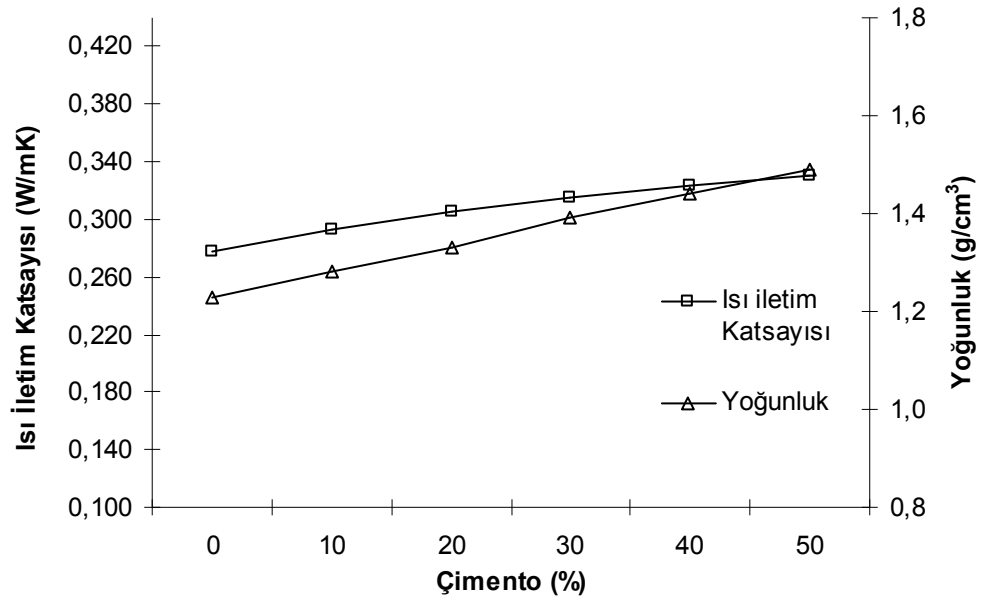
Üretilen numunelerde kullanılan kül miktarına bağlı olarak gözeneklilik tüm yapı içerisinde % 25–% 33 aralığında değişim göstermektedir. Malzeme bünyesinde bulunan bu gözeneklerde karbondioksit (CO_2) ve azot (N_2) gazlarının oranı diğer bileşenlere göre fazla olduğundan gözenek içi gazın karbondioksit ve azot gazı olduğu kabul edilmiştir. Bu gazların ortalama ısıl iletkenliği 0.0214 W/mK düzeyindedir. Numune bünyesinde yüksek orandaki gözenek miktarı ve gözenek içerisindeki gazların ısıl iletkenlik katsayısının küçük olması üretilen numunelerin ısıl iletkenliğinin düşük olmasını sağlamaktadır. Bu gözeneklerin fazlalığı daha düşük yoğunlukta numune üretilebilmesini sağlamaktadır. Ancak bu durum nemli ortamlarda gözeneklerdeki gazların su ya da su buharı ile yer değiştirmesine neden olmaktadır. Bu da gözenek içerisinde bulunan gazlara göre ısı iletkenliği yaklaşık 20 kat büyük olan su miktarına bağlı olarak malzemenin ısıl iletkenliğini artırır. Bu değişimler direkt numunenin yoğunluk değişimine bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Aşağıda Şekil 6.7 ve Şekil 6.8’de üretilen numunelerde ısı iletkenliğin poroziteye bağlı olarak değişimi, Şekil 6.9 ve Şekil 6.10’da da üretilen numunelerde ısı iletkenlik yoğunluk ilişkisi gösterilmiştir.



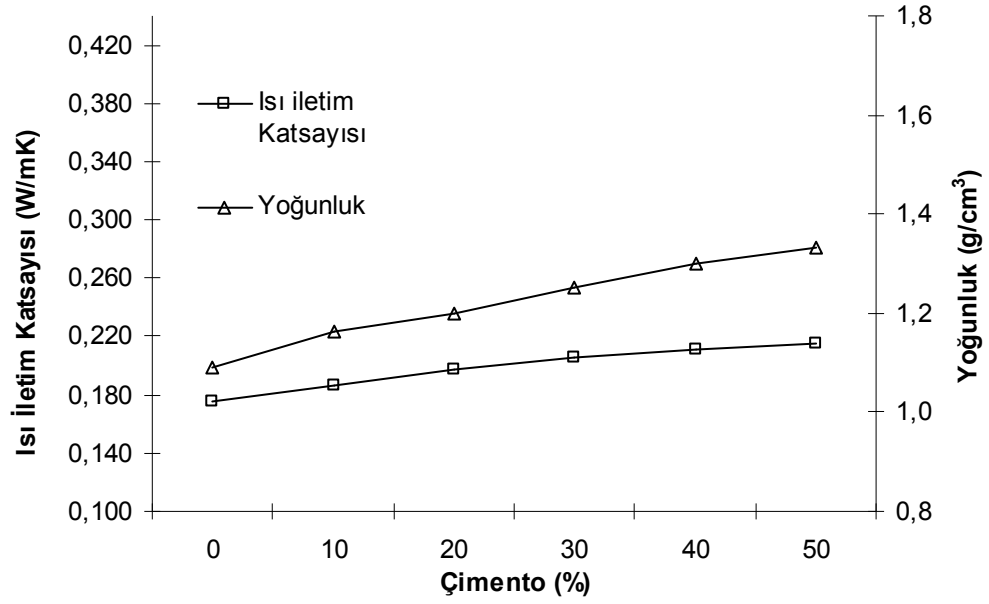
Şekil 6.7. Uçucu küllü numunelerde ısı iletim katsayısı porozite ilişkisi



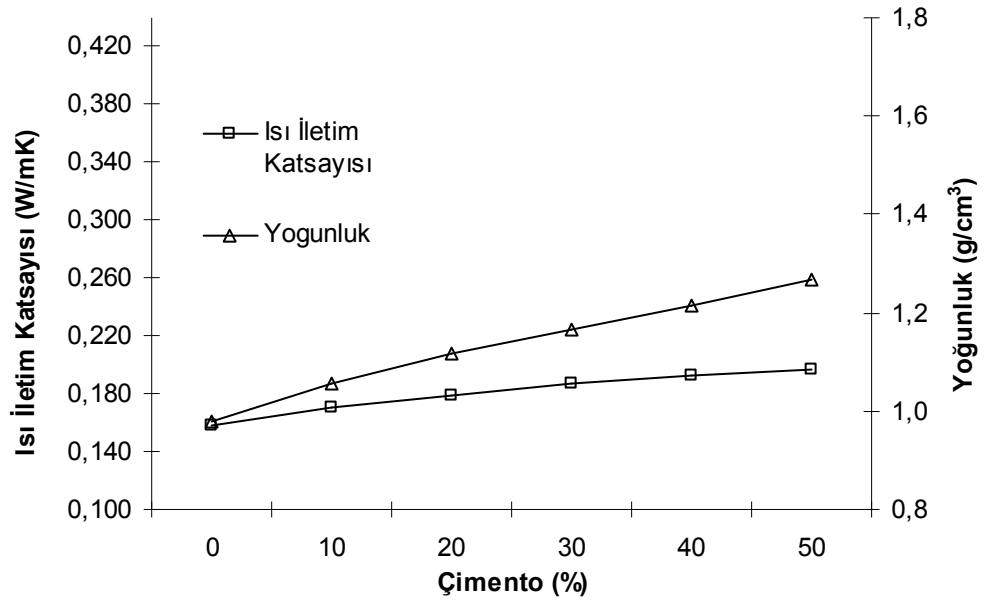
Şekil 6.8. Taban küllü numunelerde ısı iletim katsayısı porozite ilişkisi



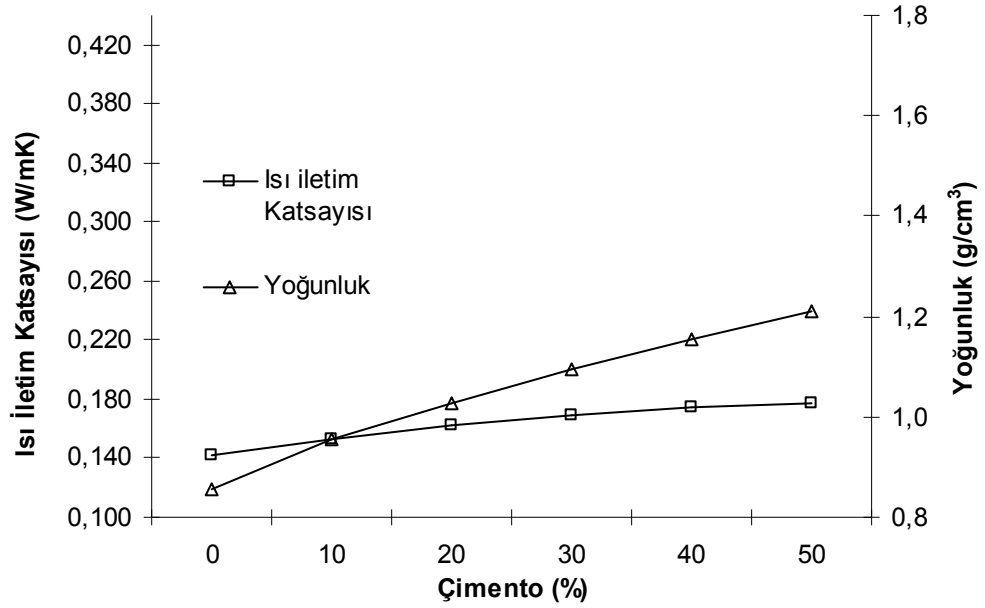
(a)



(b)

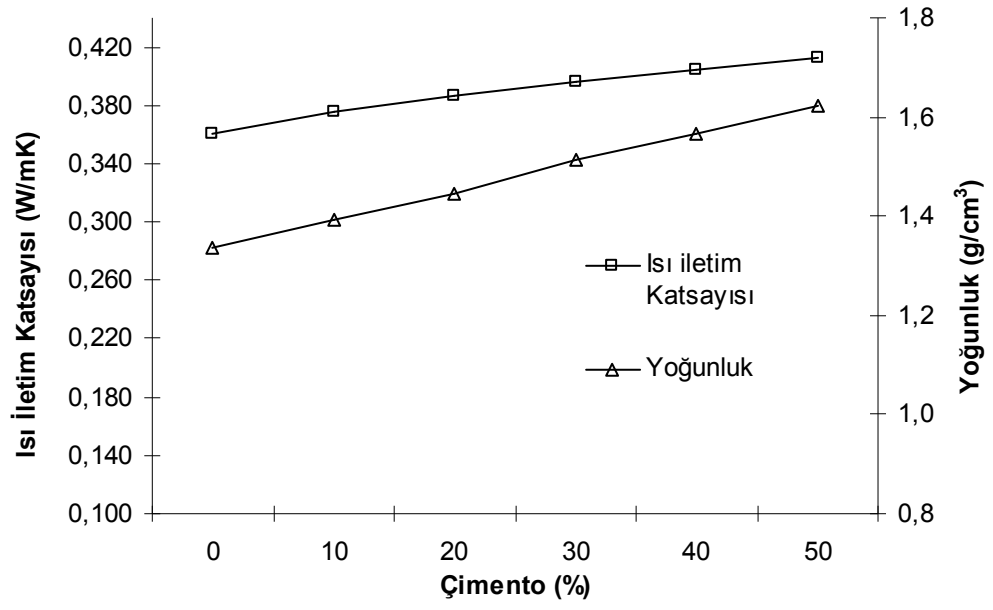


(c)

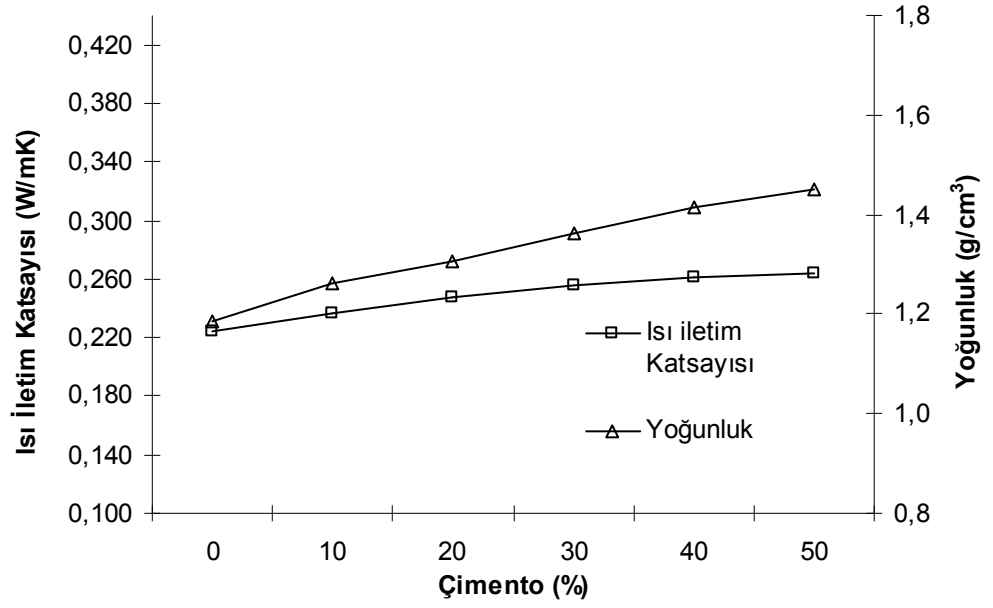


(d)

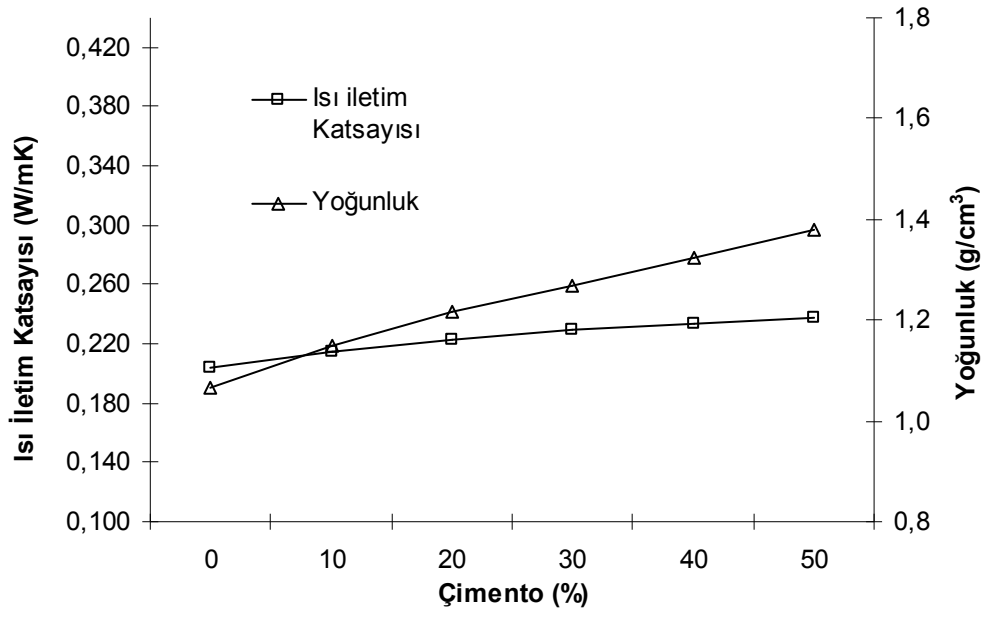
Şekil 6.9. Uçucu küllü numunelerde ısı iletim katsayısı yoğunluk ilişkisi ((a) Kitresiz numuneler, (b) % 0.5 Kitreli numuneler, (c) % 1 Kitreli numuneler, (d) % 1.5 Kitreli numuneler)



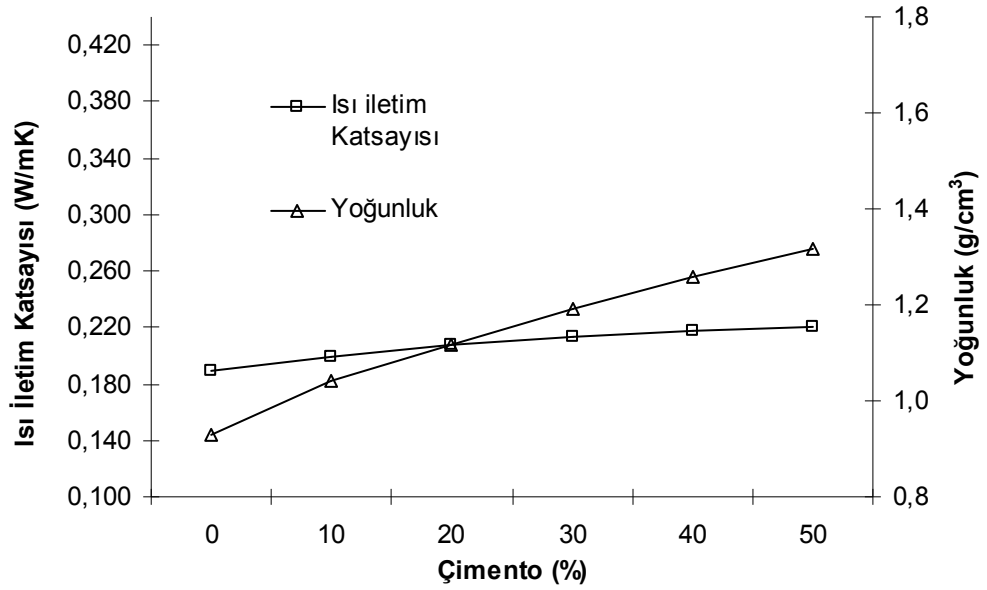
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 6.10. Taban küllü numunelerde ısı iletim katsayısı yoğunluk ilişkisi ((a) Kitresiz numuneler, (b) % 0.5 Kitreli numuneler, (c) % 1 Kitreli numuneler, (d) % 1.5 Kitreli numuneler)

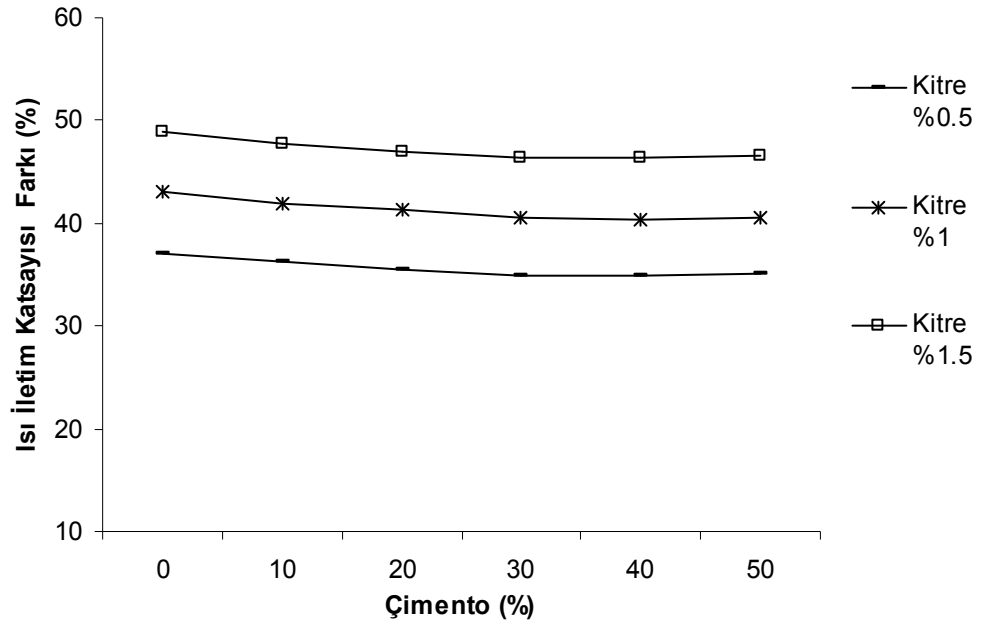
Şekil 6.9 ve Şekil 6.10'da uçucu ve taban küllü numunelerde kitre miktarındaki artışa bağlı olarak ısı iletim katsayısı ve yoğunluğun küçüldüğü, çimento miktarındaki artışa bağlı olarak ise ısı iletim katsayısı ve yoğunluğun büyüdüğü görülmektedir. Isı

iletim katsayısı ile yoğunluk karşılaştırıldığında numune harcında kitre miktarı % 0.5 iken çimento miktarındaki artışa bağlı olarak yoğunluk ve ısı iletkenlik katsayısı hemen hemen aynı orada azalan bir artış göstermektedir. Ancak karışımda kullanılan kitre miktarı % 1 ve % 1.5 değerlerine arttırıldığında çimento miktarındaki artışa bağlı olarak yoğunluk artarken ısı iletim katsayısı aynı oranda artmamaktadır. Bu durum kitre miktarını % 1 - % 1.5 aralığında kullandığımızda çimento miktarını arttırarak istenilen mukavemet ve ısı iletim katsayısına sahip numune üretmemize imkân sağlayacaktır.

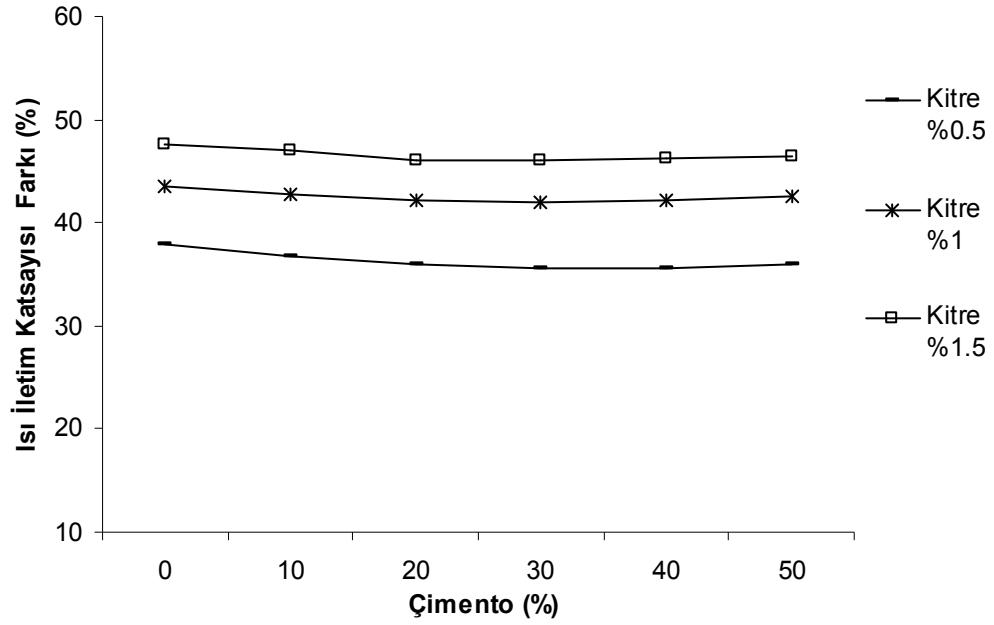
Ayrıca numune harcında kullanılan çimento miktarındaki düzenli artışa bağlı olarak, aynı kitre miktarında hazırlanan numunelerin yoğunluk değişiminin azalan artış eğrisi şeklinde olması gerekmektedir. Bundan dolayı üretilen numunelerin yoğunluk eğrilerine bakarak üretim sürecinde ne derece hassas çalışıldığı hakkında fikir edinebiliriz.

6.1.1 Afşin-Elbistan Termik Santral Külü İle Üretilen Çimento-Kitre Bağlayıcılı Numunelerde Kitrenin Isı iletkenlik Üzerine Etkisinin İncelenmesi

Afşin-Elbistan termik santral külü ile üretilmiş çimento bağlayıcılı numunelere ait ölçülen ısı iletim katsayılarıyla, bünyesinde aynı çimento miktarına sahip kitre-çimento bağlayıcılı numunelerin ısı iletim katsayıları mukayese edilerek kitrenin ısı iletim katsayısı üzerine etkisi Şekil 6.11 ve Şekil 6.12’de grafiksel olarak gösterilmiştir. Bu şekillerden de anlaşılağı gibi numune bünyesindeki çimento miktarı ne olursa olsun kullanılan kitre miktarındaki artışa bağlı olarak ısı iletkenlik katsayısı küçülmektedir. Ayrıca kitre kullanılarak üretilen numunelerde çimento miktarındaki artışa bağlı olarak ısı iletkenlikteki artış kitresiz numunelere göre daha küçüktür. Bu durum kitreli numunelerde daha yüksek oranda çimento kullanımına olanak sağlayacaktır. Sonuçlar incelendiğinde; Afşin-Elbistan termik santral külü ile üretilmiş çimento bağlayıcılı numunelerin ısı iletim katsayılarında kitre kullanımına bağlı olarak uçucu kül numunelerinde ağırlıkça % 0.5 kitre ilave edildiğinde % 35.05 ile % 37.05, % 1 kitre ilave edildiğinde % 40.48 ile % 43.17 ve % 1.5 kitre ilave edildiğinde % 46.53 ile % 48.92 aralığında, taban külü numunelerinde ise ağırlıkça % 0.5 kitre ilave edildiğinde % 35.92 ile % 37.95, % 1 kitre ilave edildiğinde % 42.48 ile % 43.49 ve % 1.5 kitre ilave edildiğinde % 46.36 ile % 47.65 aralığında düşüş olmaktadır.



Şekil 6.11. Afşin-Elbistan termik santrali uçucu kül çimento bağlayıcılı numunelerde kitre kullanımına bağlı olarak ısı iletkenlikteki düşüş

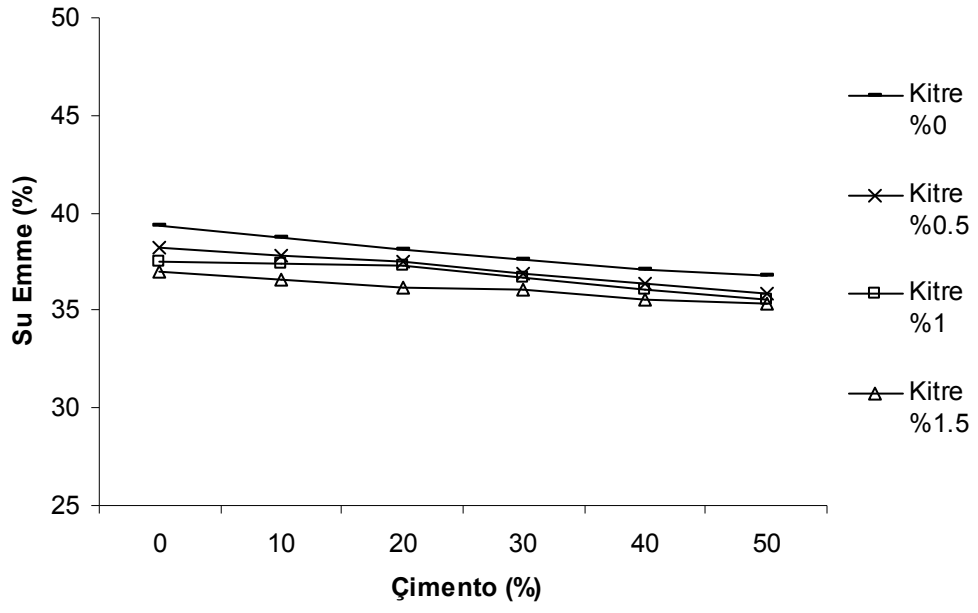


Şekil 6.12. Afşin-Elbistan termik santrali taban külü çimento bağlayıcılı numunelerde kitre kullanımına bağlı olarak ısı iletkenlikteki düşüş

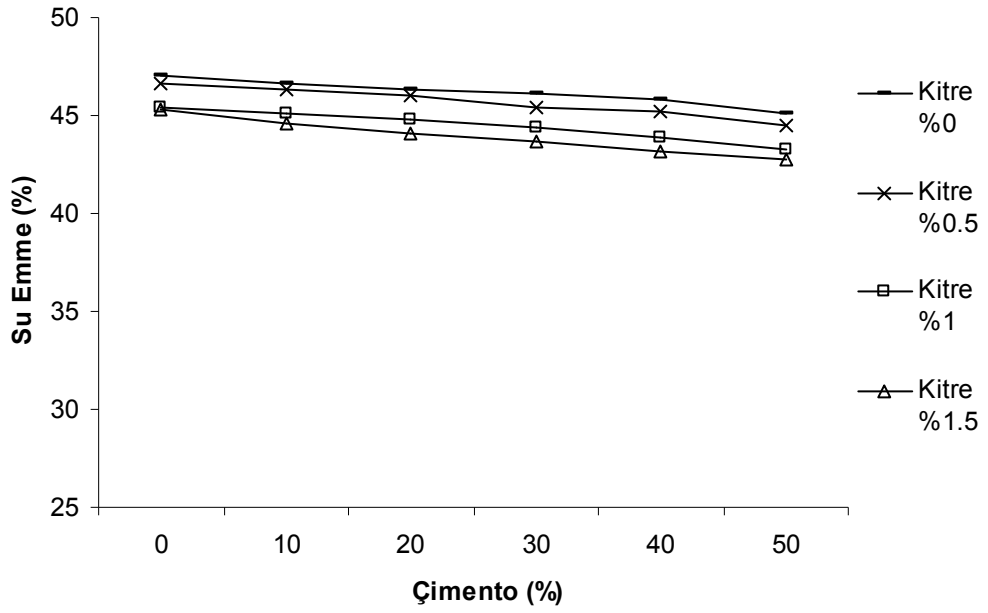
6.2 Su Emme Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Üretilen numunelerin su emme oranları kritik değer % 30'un üzerinde tesbit edilmiştir. Bu nedenle numunelerin bünyesinde bulunan su, sıcaklık derecesinin sıfırın altına düşmesi sonunda donma meydana getirecektir. Su donduğunda hacminde % 9 oranında bir artış meydana gelir. Buradan da anlaşılağı üzere donma olayı malzemelerde, bünyesinde tuttuğı su miktarına bağılı olarak belirgin bir ölçüde genişleme meydana getirmektedir. Bu genişlemenin sonunda ise malzemelerin boşluk yapısında önemli değışmeler olmaktadır. Donma-çözölme olayının birkaç sefer tekrarlanması sonucu oluşan boşluklar biraz daha genişlemekte ve bu durum malzemenin su absorbe etme kapasitesinde artışa sebep olmaktadır. Donma-çözölme olayının tekrarı neticesinde malzeme yüzeyinde önemli derecelerde çatlaklar ve hatta döküntüler meydana gelmektedir. Ayrıca bu durum malzemenin mukavemetinin azalmasına ve hatta parçalanmasına yol açabilmektedir.

Tablo 5.1 ve Tablo 5.2'den de görölceğı gibi üretilen numuneler boşluklu bir yapıya sahip olup, kullanılan kül miktarına bağılı olarak porozite tüm yapı içerisinde % 25 – % 33 aralığında değışim göstermektedir. Bu durum numuneler suya maruz kaldığında bu boşluklarda suyun tutulmasına imkân sağlayarak su emme kapasitesini ve numunelerin su emme hızını arttırmaktadır. Şekil 6.13 ve Şekil 6.14'de Afşin-Elbistan termik santrali uçucu ve taban külü numunelerde su emme kapasitesi ve hızı, Şekil 6.15'de ise kuruma hızı grafiksel olarak gösterilmiştir.

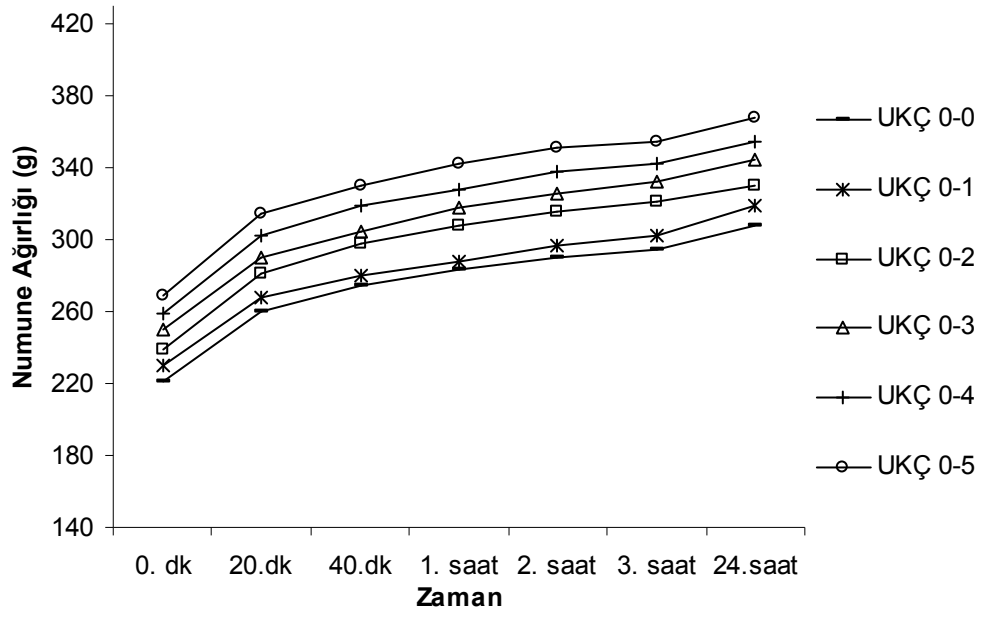


(a)

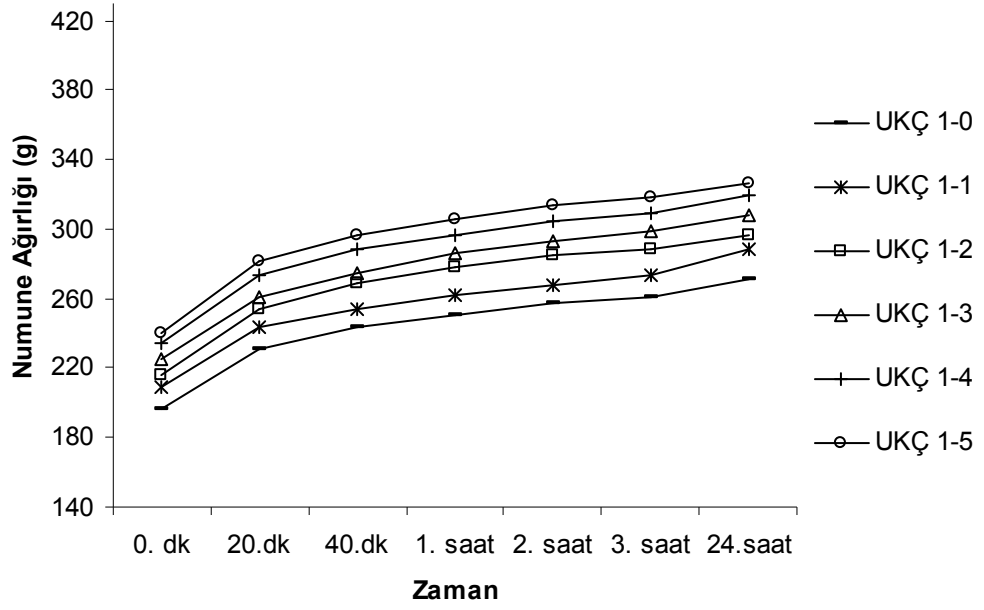


(b)

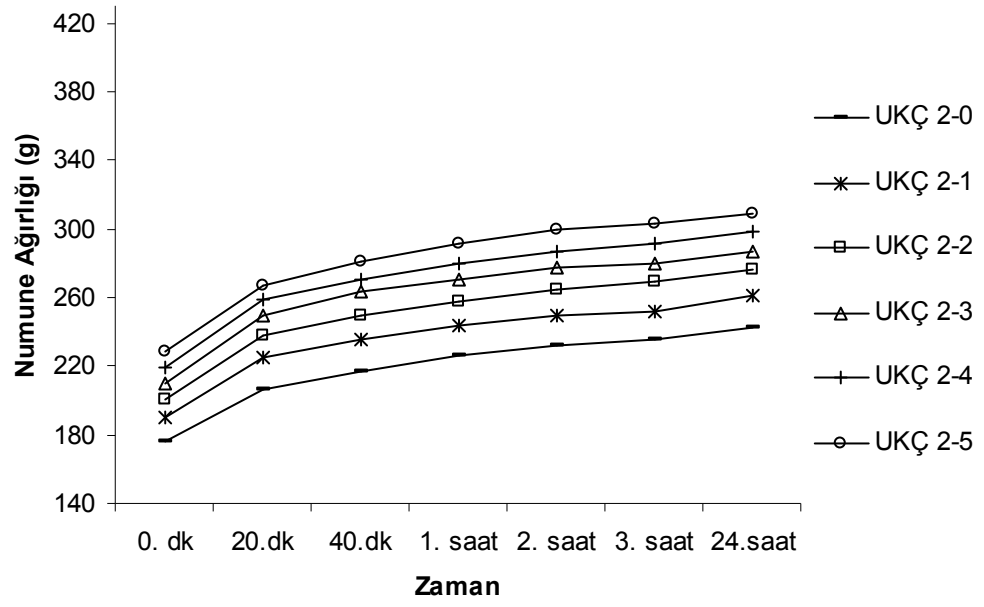
Şekil 6.13. Afşin-Elbistan termik santrali uçucu ve taban külü kitre-çimento bağlayıcılı numunelerde su emme kapasitesi ((a) Uçucu kül, (b) Taban külü)



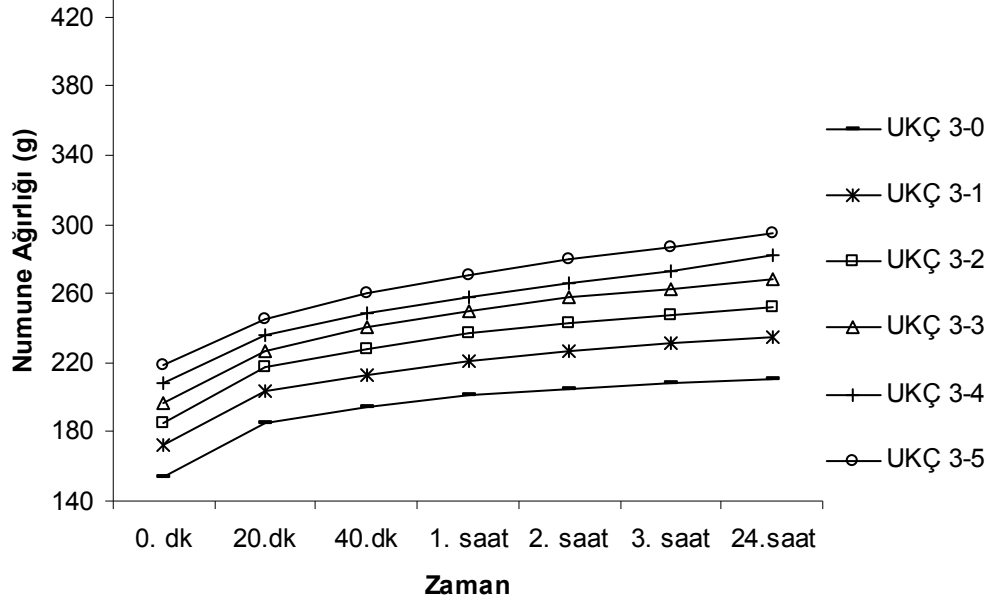
(a)



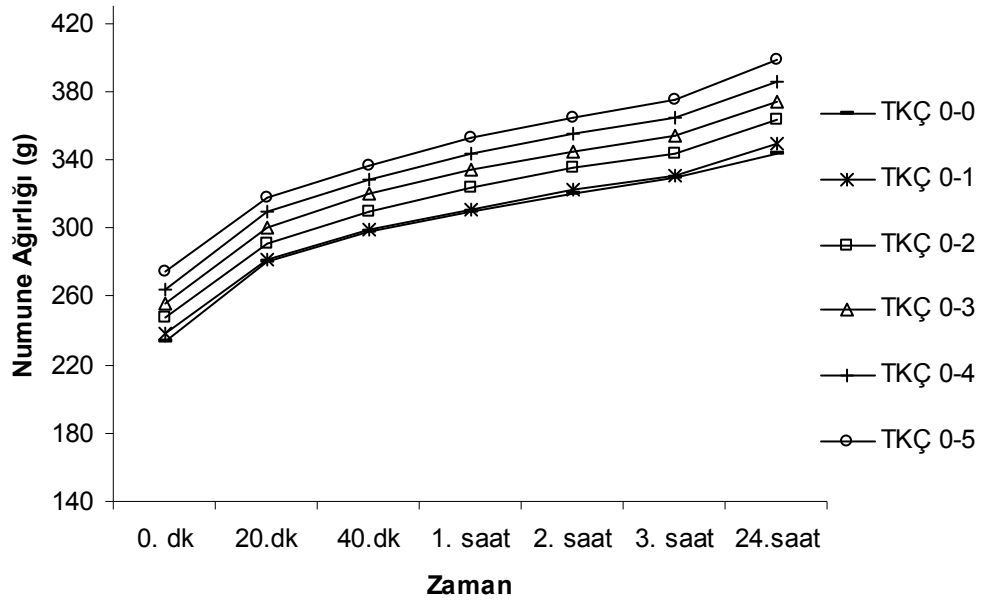
(b)



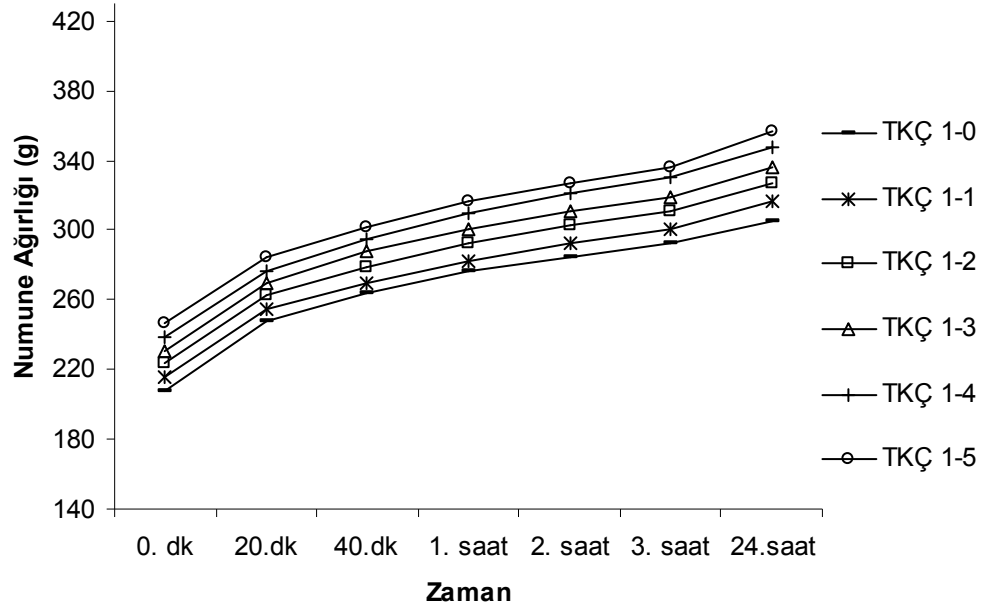
(c)



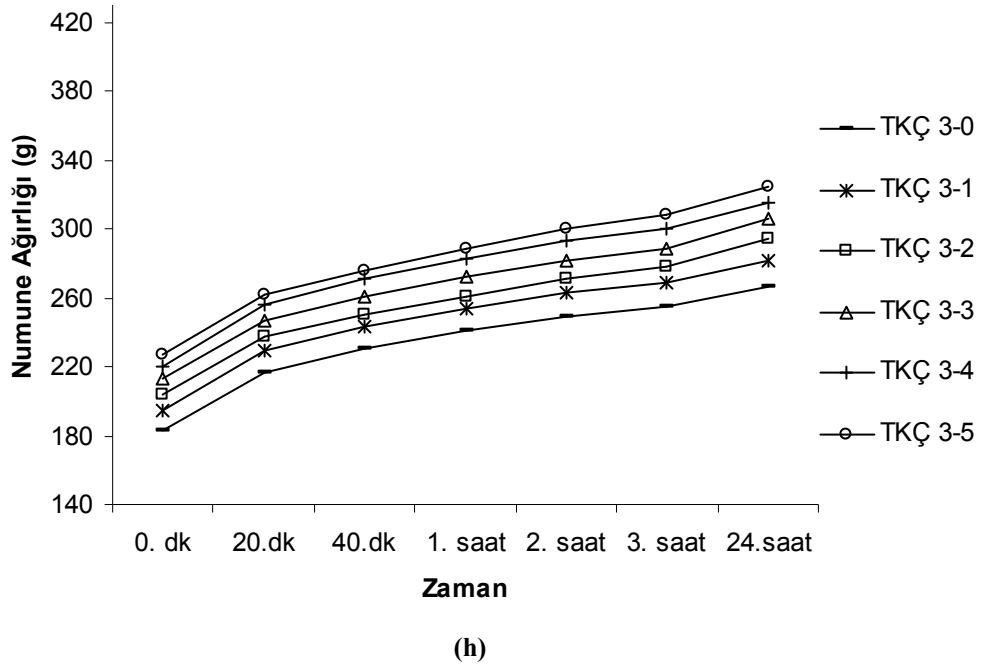
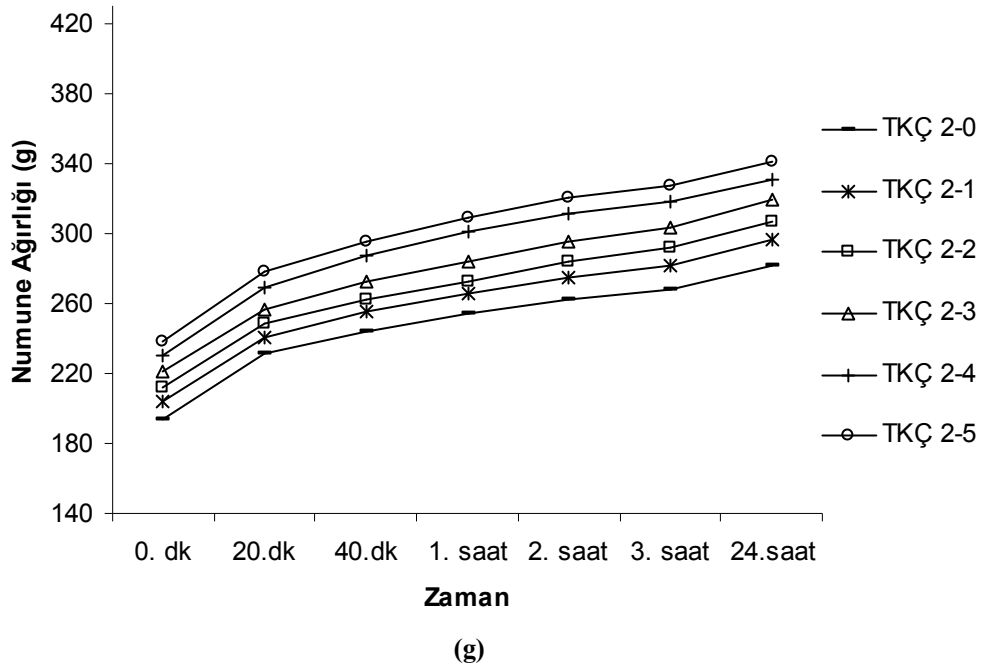
(d)



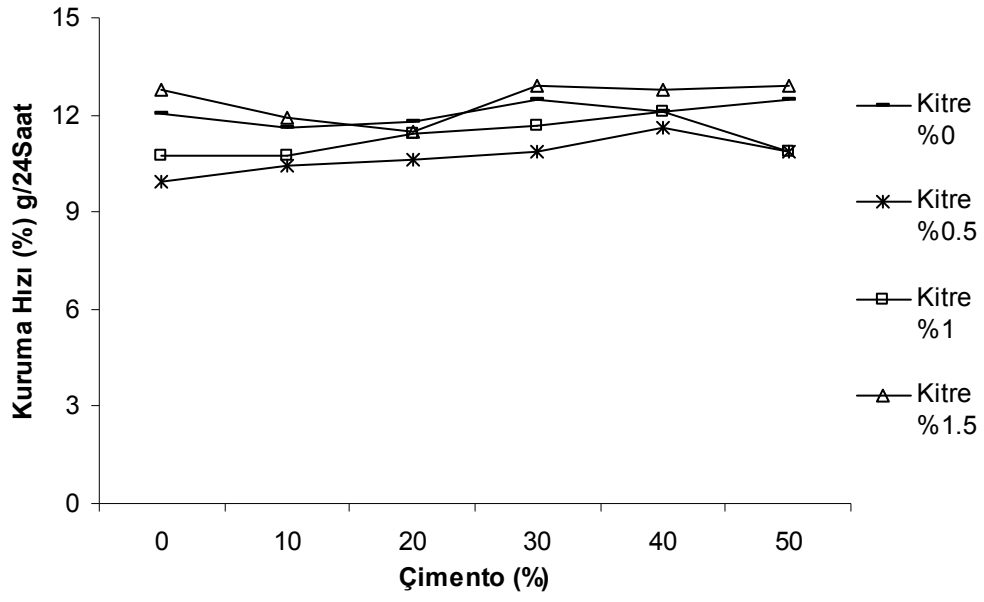
(e)



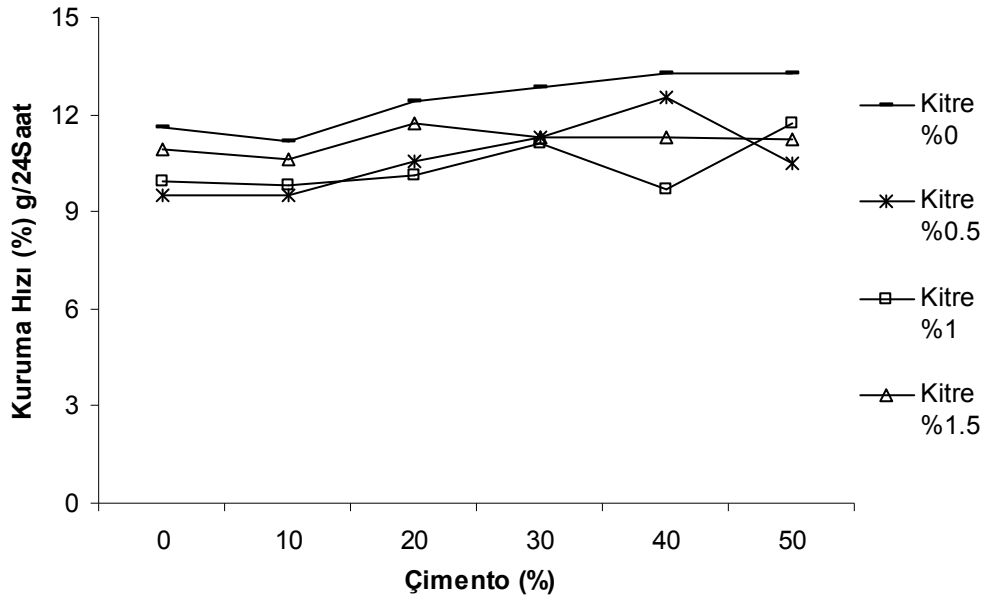
(f)



Şekil 6.14. Afşin-Elbistan termik santrali uçucu ve taban külü kitle-çimento bağlayıcılı numunelerde su emme hızı ((a) Uçucu kül - Kitresiz numuneler, (b) Uçucu kül - % 0.5 Kitreli numuneler, (c) Uçucu kül - % 1 Kitreli numuneler, (d) Uçucu kül - % 1.5 Kitreli numuneler, (e) Taban külü-Kitresiz numuneler, (f) Taban külü - % 0.5 Kitreli numuneler, (g) Taban külü - % 1 Kitreli numuneler, (h) Taban külü - % 1.5 Kitreli numuneler)



(a)



(b)

Şekil 6.15. Afşin-Elbistan termik santrali uçucu ve taban külü kitre-çimento bağlayıcılı numunelerde kuruma hızı ((a) Uçucu kül, (b) Taban külü)

Şekil 6.13'den görüleceği üzere, üretilen uçucu kül numunelerin su emme oranı % 35.32 - % 39.37, taban külü numunelerin su emme oranı ise % 42.73 - % 47.01 aralığında değişmektedir. Bu nedenle üretilen numuneler donma olayının etkisi altında kalmaya ve

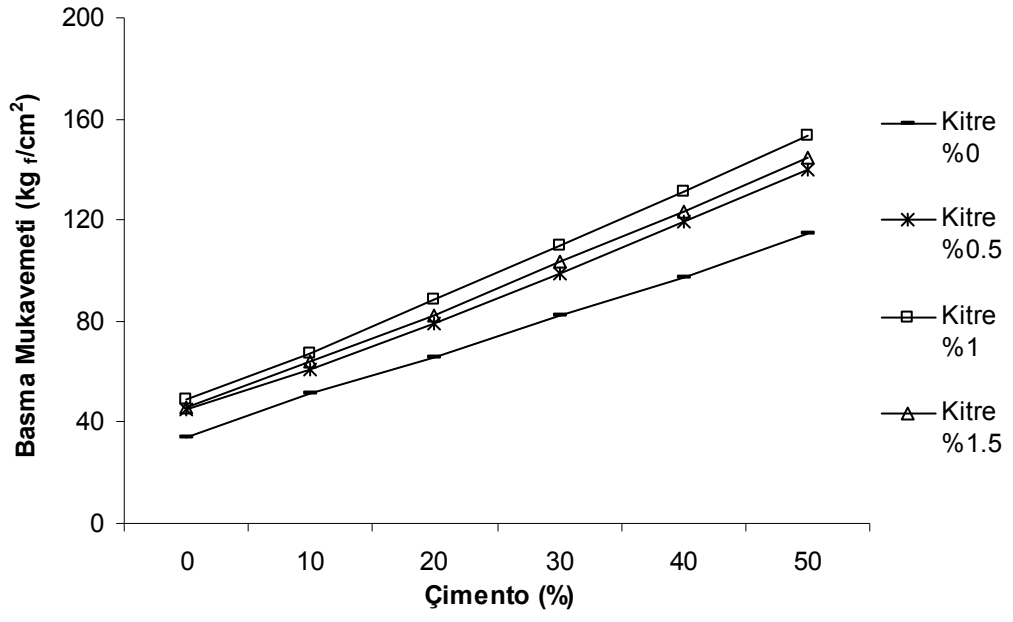
bunun sonucu olarak da hasar görmeye elverişli malzemelerdir. Üretilen numunelerin donmaya dayanıklı olması üzerinde yörenin iklim şartlarının büyük etkisi vardır. En elverişsiz koşullar geceleri don olayının meydana gelmesi, gündüzleri de sıcaklığın sıfırın üstüne çıkması durumudur. Böyle bir durumda donma ve çözülme olayları yıl içerisinde birçok defa tekrarlanacak ve bunun sonucunda belli bir zaman sonra numuneler parçalanacaktır.

Numune tarafından emilen su, numunenin nem içeriği ile ısı iletim katsayısının değişmesine neden olmakta ve numunede büzülme ve şişme gibi hacimsel deformasyonlara yol açmaktadır. Meydana gelen bu hacimsel deformasyonlara bağlı olarak malzemede zamanla mikro çatlaklar oluşabilmektedir. Daha sonra, oluşan bu mikro çatlaklardan, yapı malzemesi içerisine suyun girişi ve onun içerisindeki hareketi çok daha kolaylaşmaktadır. Yapı malzemesine doğrudan veya dolaylı yollarla giren su, yapılarda hasarlara, küflenmeyle de satıh bozulmalarına neden olacaktır.

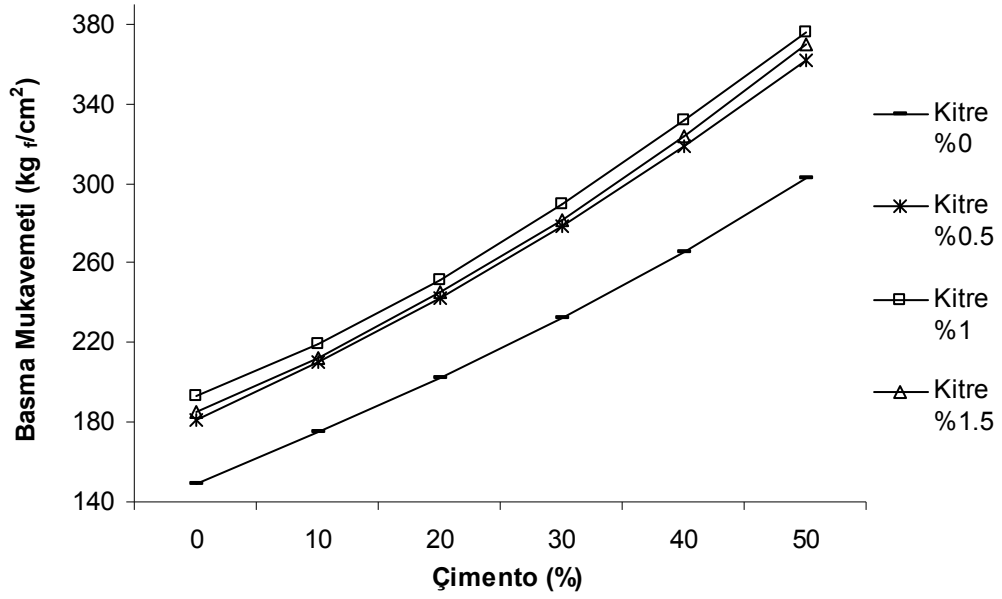
6.3 Mekanik Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Afşin-Elbistan termik santral külü, kire-çimento bağlayıcılı numunelerde basma ve çekme mukavemetleri incelendiğinde uçucu kül numunelerde, basma mukavemeti 34.3–153.4 kg_f/cm² ve çekme mukavemeti 6.4–13.6 kg_f/cm², taban kül numunelerde basma mukavemeti 149.2–375.5 kg_f/cm² ve çekme mukavemeti 13.4–21.3 kg_f/cm² aralığında değişmektedir. Her iki kül tipi için de numune bünyesinde çimento miktarındaki artışa bağlı olarak basma ve çekme mukavemeti artmaktadır. Numune bünyesinde kullanılan kire miktarına bağlı olarak basma ve çekme mukavemeti, kire miktarı % 1'e kadar artmakta ancak kire miktarı % 1.5'e çıkarıldığında kısmi bir düşüş göstermektedir.

Afşin-Elbistan termik santral külü ile üretilmiş çimento bağlayıcılı numunelere ait basma ve çekme mukavemeti sonuçlarıyla, bünyesinde aynı çimento miktarına sahip kire-çimento bağlayıcılı numunelerin basma ve çekme mukavemetleri Şekil 6.16 ve Şekil 6.17'de karşılaştırılmış, ayrıca kitrenin basma mukavemeti üzerine etkisi hesaplanarak Şekil 6.18 ve Şekil 6.19'da grafiksel olarak gösterilmiştir.

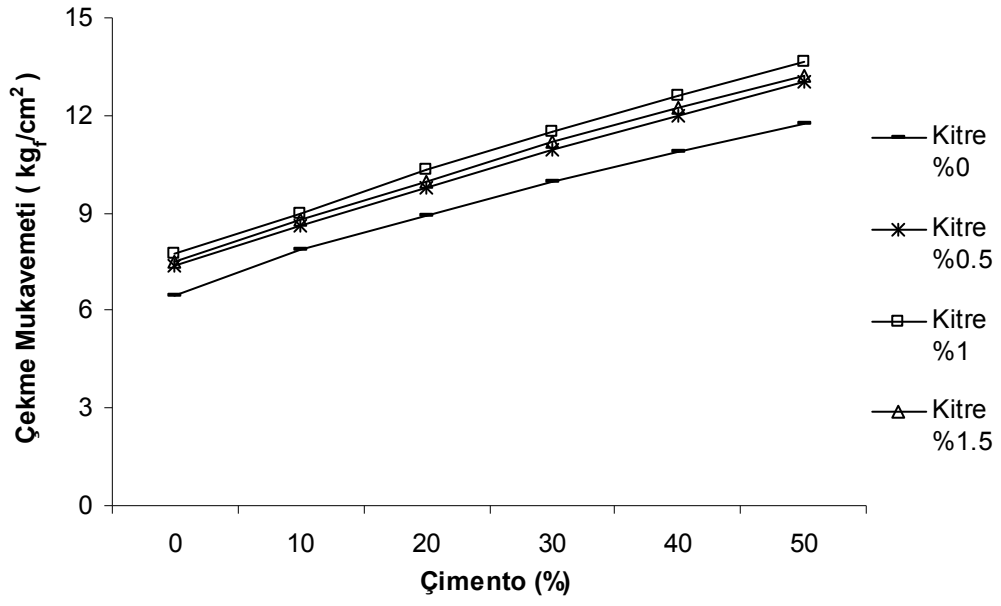


(a)

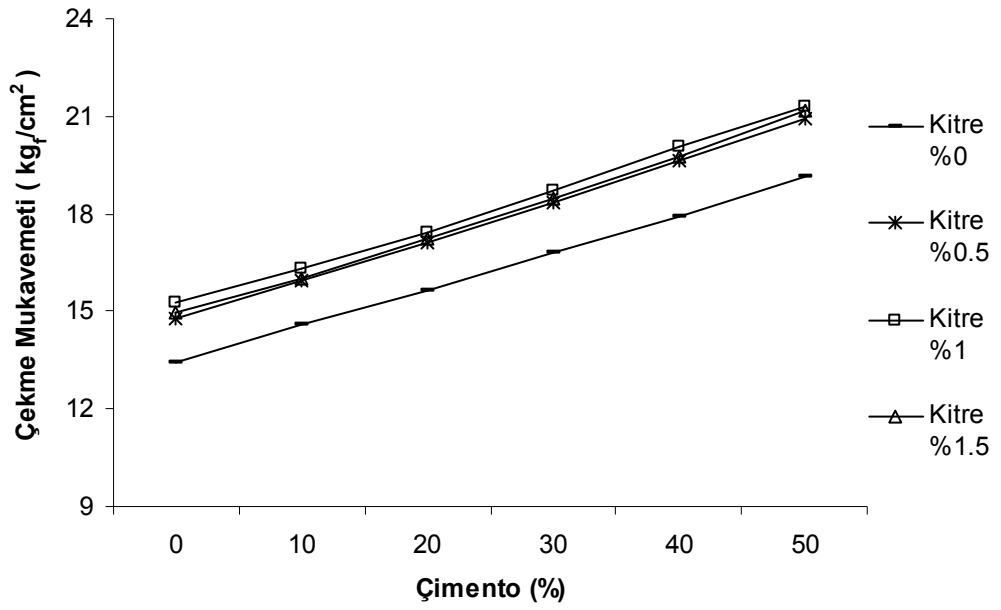


(b)

Şekil 6.16. Afşin-Elbistan termik santrali uçucu ve taban külü kitre-çimento bağlayıcılı numunelerde basma mukavemeti ((a) Uçucu kül, (b) Taban külü)

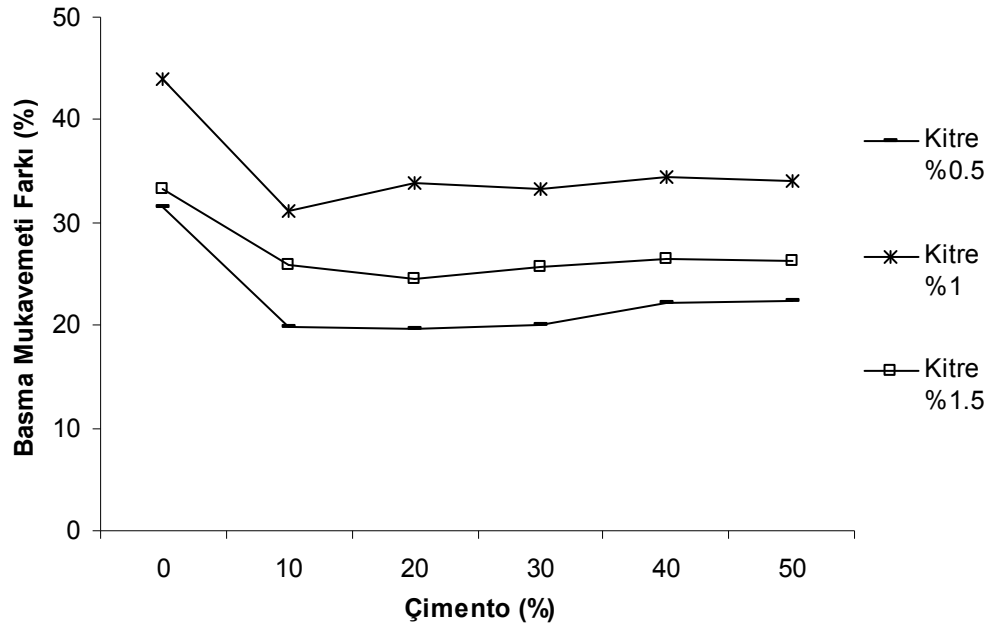


(a)

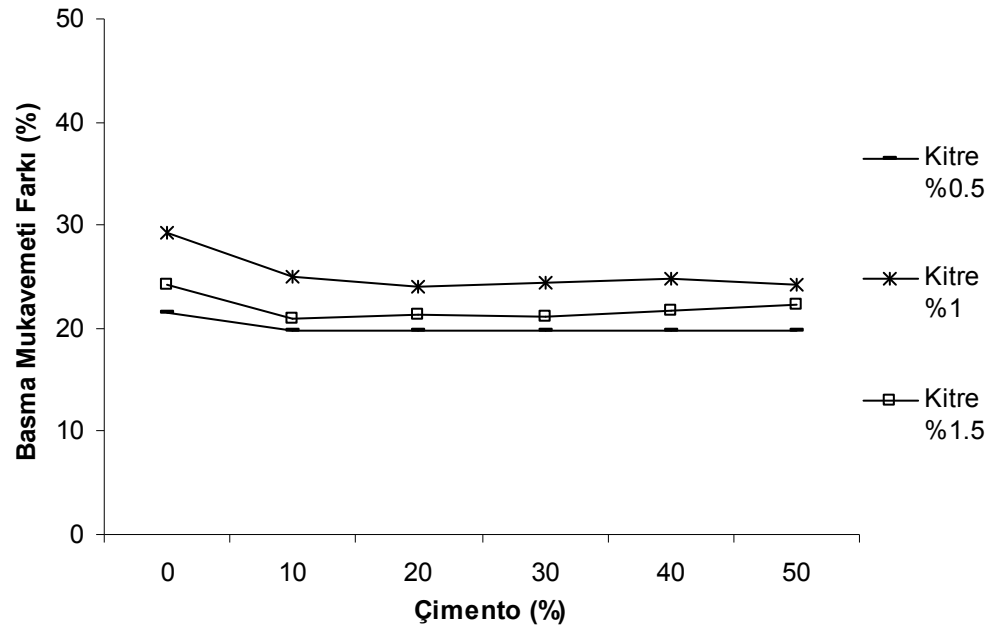


(b)

Şekil 6.17. Afşin-Elbistan termik santrali uçucu ve taban külü kitre-çimento bağlayıcılı numunelerde çekme mukavemeti ((a) Uçucu kül, (b) Taban külü)



Şekil 6.18. Uçucu kül çimento bağlayıcılı numunelerde kitre kullanımına bağlı olarak basma mukavemetindeki artış



Şekil 6.19. Taban külü çimento bağlayıcılı numunelerde kitre kullanımına bağlı olarak basma mukavemetindeki artış

Şekil 6.18 ve Şekil 6.19’da görüldüğü üzere çimento kullanılmadan üretilen numunelere % 0.5, % 1 ve % 1.5 oranında kitre katıldığında basma mukavemeti sırasıyla uçucu kül ile üretilen numunelerde % 31.5, % 44 ve % 33.2, taban külü ile üretilen

numunelerde % 21.4, % 29.2 ve % 24.1 oranında artış göstermektedir. Çimento kullanılarak üretilen numunelerde ise üretilen numunelere % 0.5, % 1 ve % 1.5 oranında kitre katıldığında basma mukavemeti sırasıyla ortalama uçucu kül ile üretilen numunelerde % 21, % 33 ve % 25, taban külü ile üretilen numunelerde % 20, % 24 ve % 21 büyüklüğünde artış göstermiştir. Numune bünyesinde çimento miktarı ne olursa olsun kullanılan kitre miktarındaki artışa bağlı basma mukavemeti artmaktadır.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Afşin-Elbistan termik santral uçucu ve taban külünün, kitle ve kitle-çimento bağlayıcı kombinasyonlarında mekanik özellikleri iyileştirilmiş ısı yalıtım amaçlı yeni bir yapı malzemesi olarak değerlendirilmesi amacıyla yapılan bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Türkiye'de bir yılda yaklaşık 55 milyon ton kömür yakılmakta ve ortalama 15 milyon ton kül üretilmektedir. Bu durum önemli derecede ekonomik ve çevresel problemler meydana getirmektedir. Bu küller endüstriyel atık olarak geri kazanılmak üzere yalıtım özellikli yeni bir yapı malzemesi üretiminde değerlendirilmesi halinde; bir taraftan enerji tasarrufu sağlanırken diğer taraftan ekolojik dengenin korunması ve çevre kirliliğinin önlenmesine katkı sağlayacaktır.

2. Üretilen numunelerin, ısı iletkenliklerinin birçok yapı malzemesine göre düşük olduğu ve ısı iletimine karşı direnç gösterecek şekilde yalıtım özelliğine sahip oldukları Tablo 6.1'de Shoterm QTM cihazı ile değişik malzemelerin ısı iletkenlik değerleri verilerek gösterilmiştir. Üretilen numunelerde kullanılan kitle miktarındaki artışa bağlı olarak ısı iletkenlik değeri küçülürken, çimento oranı arttırıldığında ısı iletkenlik değeri büyümektedir. Deneysel ölçümler neticesinde, uçucu kül ile üretilmiş çimento bağlayıcılı numunelerin ısı iletim katsayıları, ağırlıkça % 0.5 kitle ilave edildiğinde % 35.05 - % 37.05, % 1 kitle ilave edildiğinde % 40.48 - % 43.17, % 1.5 kitle ilave edildiğinde % 46.53 - % 48.92 aralığında düşüş göstermekte, taban külü ile üretilmiş çimento bağlayıcılı numunelerin ısı iletim katsayıları ise, ağırlıkça %0.5 kitle ilave edildiğinde % 35.92 - % 37.95, % 1 kitle ilave edildiğinde % 42.48 - % 43.49, % 1.5 kitle ilave edildiğinde % 46.36 - % 47.65 aralığında küçülmektedir. Uçucu kül kullanılarak üretilen numunelerde; en düşük ısı iletkenlik katsayısı çimentosuz bir şekilde ağırlıkça % 1.5 kitle kullanılarak üretilen UKÇ 3-0 numunesine ait olup 0.142 W/mK değerinde, en büyük ısı iletkenlik katsayısı kitresiz ağırlıkça külün % 50'si kadar çimento kullanılarak üretilen UKÇ 0-5 numunesine ait olup 0.331 W/mK değerindedir. Taban külü kullanılarak üretilen numunelerde; en düşük ısı iletkenlik katsayısı çimentosuz bir şekilde ağırlıkça % 1.5 kitle kullanılarak üretilen TKÇ 3-0 numunesine ait olup 0.196 W/mK değerinde, en büyük ısı

iletkenlik katsayısı kitresiz ağırlıkça külün % 50'si kadar çimento kullanılarak üretilen TKÇ 0-5 numunesine ait olup 0.412 W/mK değerindedir.

3. Geliştirilen cebirsel denklemin verdiği ısı iletim katsayılarının kuramsal değerleri ile numunelerin ölçülen ısı iletim katsayıları değerleri % 8 oranının altında bir sapma göstermelerine rağmen uyum içerisinde.

4. Afşin-Elbistan termik santral külü, kitle-çimento bağlayıcılı numunelerde, numune bünyesinde çimento miktarı ne olursa olsun kullanılan kitle miktarındaki artışa bağlı basma mukavemeti artmaktadır. Basma ve çekme dayanımları incelendiğinde uçucu kül numunelerde, basma dayanımı 34.3-153.4 kgf/cm² ve çekme dayanımı 6.4-13.6 kgf/cm², taban kül numunelerde basma dayanımı 149.2-375.5 kgf/cm² ve çekme dayanımı 13.4-21.3 kgf/cm² aralığında değişmektedir. Çimento kullanılmadan üretilen numunelere % 0.5, % 1 ve % 1.5 oranında kitle katıldığında basma mukavemeti sırasıyla uçucu kül numuneleri için; % 31.5, % 40, % 33.2 ve taban külü numuneleri için; % 21.4, % 29.2, % 24.1 oranında artış göstermektedir. Çimento kullanılarak üretilen numunelere ise % 0.5, % 1 ve % 1.5 oranında kitle katıldığında basma mukavemeti sırasıyla ortalama uçucu kül numuneleri için % 21, % 33, % 25 ve taban külü numuneleri için; % 19, % 24, % 21 oranında artış göstermektedir. Numune bünyesinde kullanılan kitle miktarına bağlı olarak basma ve çekme dayanımı, kitle miktarı % 1'e kadar artmakta ancak kitle miktarı % 1.5'e çıkarıldığında kısmi bir düşüş göstermektedir.

5. Üretilen numunelerin su emme oranları kritik değer olan % 30'un üzerinde çıkmıştır. Bu nedenle bu tür yapı malzemeleri su ile direkt ilişkili yerlerde kullanılmamalıdır. Buna karşılık iç sıva malzemesi, sandviç duvarlarda ara dolgu malzemesi, çatı altı kaplama sıva malzemesi olarak kullanılabilir.

6. Uçucu ve taban külü ile üretilen deney numuneleri üzerine çeşitli uygulamalar yapılmış ve neticede numunelerin testere ile kesilebildiği, vidalanabildiği, tesisat çalışmaları için kanal açılmasına müsait olduğu ve matkapla delinebildiği görülmüştür. Ayrıca üretilen numunelerin boya tutma özelliğinin belirlenebilmesi için numuneler farklı çeşitte boyalarla işleme tabi tutulmuş ve sonuçta numunelerin boya tutma özelliğinin son derece iyi olduğu tespit edilmiştir. Üretilen numunelerde işlem hatalarından dolayı

numune yüzeyinde deformasyon yanı sıra çatlamalarda meydana gelebilmektedir. Bu durum normal sıvalarda da aynı seyri göstermektedir.

7. Numune harcı için gerekli olan suyun içinde kül-çimento karışım ağırlığının en fazla % 1.5'i kadar kitre eriyebilmekte yani bu oranda doygunluğa ulaşılmaktadır. Bu durum çok büyük bir avantajdır. Çünkü çok az bir bağlayıcı kullanarak az bir ücretle istenilen ısı ve mekanik özelliklerin elde edilmesine imkân sağlayacaktır. Ayrıca kitre kullanılarak üretilen numunelerde çimento miktarındaki artışa bağlı olarak ısı iletkenlikteki artış kitresiz numunelere göre daha küçüktür. Buda kitreli numunelerde daha yüksek oranda çimento kullanımına olanak sağlayacaktır. Üretilen yapı malzemelerinin bu özellikleri dikkate alındığında üretilen numunelerin nerede kullanılmak istendiği ve kullanım yerine uygun istenen ısı, mekanik ve işleme özellikleri çok iyi belirlenmeli ve istenen özelliklere uygun kül seçimi yapılarak bağlayıcı oranları belirlenmelidir.

8. Uçucu ve taban külleri, puzolanik özelliği nedeniyle bağlayıcı kullanılmaksızın sandviç duvarlarda ara dolgu malzemesi veya çatı yalıtım sıvası olarak kullanılabilir. Ayrıca bağlayıcı olarak kitre takviyesi yapıldığında hem ısı iletkenlik değeri düşürülmüş hem de mukavemeti artırılmış olacaktır.

9. Termik santral küllerinin miktar bakımından en fazla kullanım potansiyeli çeşitli inşaat mühendisliği alanları olup özellikle çimento, beton ve yapı malzemelerinin üretiminde yaygın olduğu görülmektedir. Bununla birlikte küller üzerine yalıtım, dayanıklılık, ekonomi ve çevreye etkisini inceleyen uzun süreli daha çok araştırmaya ihtiyaç bulunmaktadır.

10. Kitrenin ısı ve mekanik özelliklere olan olumlu katkısı dikkate alındığında, farklı katkı malzemeleriyle birlikte kullanılması halinde olumlu sonuçlar verebileceği göz ardı edilmemeli bu yönde araştırmalara hız verilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] **Sancak, E., Aydın, A.B.**, 2005. “Yapı sektörü-çevre ilişkisi bağlamında çimento ve beton üretiminin çevresel etkilerinin irdelenmesi”, 4. International Advanced Technology Symposium September 28-30, Selçuk Üniversitesi Konya, 1057-1062.
- [2] **Şengül, Ö., Taşdemir, M.A., Sönmez, R.**, 1999. “Yüksek oranda uçucu kül içeren normal ve yüksek dayanımlı betonların klor geçirimsizliği”, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, İstanbul Bülten **77**: 27–32.
- [3] **ASTM**, 1985. “Standard specifications for fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use as mineral admixture in portland cement concrete”, ASTM, Philadelphia, ASTM C 618–85.
- [4] **Berry, E.E. and Malhotra, V.M.**, 1986. “Fly ash in concrete”, **SP85-3, CANMET** 178 pp.
- [5] **Helmuth, R.**, 1987. “Fly ash in cement and concrete”, Portland Cement Association
- [6] **Mehta, P.K.**, 2000. “Reflections on recent advancements in concrete technology” Second International Symposium on Cement and Concrete Technology in 2000s, September 6-10, Vol.1, s.43-57, Istanbul.
- [7] **Tokyay, M.**, 1998. “Characterization of Turkish fly ashes”, Turkish Cement Manufacturers Associations, Ankara.
- [8] **Malhotra V.M., Mehta P.K.**, 2002. High performance, high volume fly ash concrete, supplementary cementing materials for sustainable development Inc., Ottawa.
- [9] **Yıldırım, Ş., Biçer, Y., Yıldız, C.**, 1996. Utilization of the fly ash and polypropylene wastes in the production of a new material, Journal of Porous Materials, Vol. **3**, pp. 189-191
- [10] **Biçer Y.**, 1990. Termik santral uçucu küllerinin çeşitli bağlayıcı kombinasyonlarında ısı iletim özelliklerinin analizi ve yalıtım malzemesi olarak değerlendirilmesi. Doktora tezi, F.Ü. Fen Bil. Enst., Elazığ, 91 s.
- [11] **Terrier, P., Moreau, M.**, 1966. “Study on the mechanism of pozzolanic reaction of fly ash with cement” Rev.Mat.Constr.Trav.Publics **613**,379-396.
- [12] **Watt, J.D., Thorne, D.J.**, 1984. “The composition and pozzolanic properties of pulverised fuel ashes” J.Appl. Chemical Engineering, Vol.**62**, pp. 719-722.
- [13] **Davis, R.E., Carlos, R.W.**, 1937. “Properties of cements and concretes containing fly-ash”, Proc. Amer.Concrete Inst. **33**. 577-612.
- [14] **Stingley, W.M., Peyton,R.L.**, 1965. “Use of fly ash an admixture in an experimental pavement in Kansas, Highway Res. Record No:**73**, 26-31.
- [15] **Sümer, M.**, 1998. Uçucu kül atıklarının beton üretiminde kullanılması, Sakarya Üniv. Müh. Fak., İnş. Müh. Böl., Sakarya
- [16] **Gül, R. ve Yıldız, İ.**, 1997. Uçucu küllerin inşaat sektöründe kullanılması, Teknik Bülteni, S.57.,Ankara.

- [17] **Kefelioğlu, S.**, 1998. Türkiye uçucu küllerinin özellikleri ve kullanma imkanları, Teknoloji, Ankara
- [18] **Biçer Y., Pehlivan D., Tanyıldızı V., Yıldırım Ş.**, 1993, Fırat havzasında bulunan doğal taşların bazı fiziksel özelliklerinin araştırılması. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, **8**, 2, 53–60.
- [19] **Tavman, İ.H., Tavman Ş.**, 1994. Thermal conductivity of granular porous media. American Society of Mechanical Engineers, Petroleum Division, **64**, 1, 101-106.
- [20] **Tavman, İ.H., Tavman Ş.**, 1996. Thermal conductivity of granular food materials. American Society of Mechanical Engineers, Petroleum Division, **78**, 6, 123-127.
- [21] **Esen, D.Ö.**, 1997. Gözenekli cisimlerde ısı geçişi analizi. Yük. Lis. Tezi, Kocaeli Üniv. Fen Bil. Enst., Kocaeli, 98 s.
- [22] **İğci, A.S.**, 1990. Poroz ortamlarda ısı geçişi. Yük. Lis. Tezi, İ.T.Ü. Fen Bil. Enst. İstanbul, 75 s.
- [23] **Luikov, A.V., Shashkov, A.G., Vasiliev, L.L., Fraiman E.**, 1968. Thermal conductivity of porous systems. Int. J. Heat and Mass Transfer, **11**, 117-140.
- [24] **Dulnev, G.N.**, 1965. Heat transfer through solid disperse systems. Inz.-Fiz. Zh., **9**, 399-404.
- [25] **Buonanno G., Carotenuto A.**, 1997. Effective thermal conductivity of a porous medium with interconnected particles. Int. J. Heat and Mass Transfer, **40**, 2, 393-405.
- [26] **Peng, S.W., Mizukami K.**, 1996. Mathematical modelling of moisture desorption in porous medium. Int. J. Energy Research, **20**, 10, 923-931.
- [27] **Kim, L.V.**, 1993. Determination of heat transfer coefficients in porous media. Inzhenerno-Fizicheskii Zhurnal, **65**, 6, 663-667.
- [28] **Kolukısa, S.**, 1999. Uçucu kül içeren alüminyum matrisli kompozit üretim özellikleri ve mikroyapı karakterizasyonu, YTÜ, FBE, İstanbul
- [29] **Denizli Malzeme Sempozyumu**, 1997. Denizli, 157-161.
- [30] **ASTM C 618**, 1991. Specification for fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use as a mineral admixture in portland cement concrete, ASTM.
- [31] **Aitcin, P.C., Autefage, F., Carles-Gibergues, A., Et. Al.**, 1986. “Comparative study of the mentitious properties of different fly ashes”, Proc. of 2nd Int. Conf. on Fly Ash, Silica Fume, Slag, and Natural Pozzolans in Concrete, Madrid, V. 1, 91-114.
- [32] **Mattigod, S.V., Rai, D., Eary, L.E., Ainsworth**, 1990. Geochemical factors controlling the mobilizaion of inorganic constituents from fosil fuel combustion residues, J. Environment Quality, c.**19**, 188 – 201
- [33] **Lea, F.M.**, 1956. The Chemistry of Cement and Concrete, Chemical Publishing Co., New York.
- [34] **Gani, M.S.J.**, 1997. Cement and Concrete, Chapman & Hall, London, 1997. Hall, London.
- [35] **Mehta, P.K.**, 1986. Concrete- Structure, Properties, and Materials, Prentice-Hall, New Jersey.

- [36] **Erdoğan, T.Y.**, 1993. “Atık malzemelerin inşaat endüstrisinde kullanımı-Uçucu kül ve yüksek fırın curufu”, Atıkların İnşaat Sektöründe Kul. Semp., Ankara, 1-8, 18-19 Kasım.
- [37] **Türker, P., Erdoğan, B., Katnaş, F., Yeğınobalı, A.**, 2003. Türkiye’deki uçucu küllerin sınıflandırılması ve özellikleri, TÇMB, Ankara.
- [38] **Tokyay, M., Erdoğan, K.**, 1998. Türkiye termik santrallerinden elde edilen uçucu küllerin karakterizasyonu, TÇMB, Ankara.
- [39] **Tokyay, M.**, 1993. “Betonda uçucu kül kullanımı”, Atıkların İnşaat Sektöründe Kul. Semp., Ankara, 29-36, 18-19 Kasım.
- [40] **Şimşek, O., Aruntaş, H.Y., Fırat, S.**, 2001. “Çayırhan ve Soma-B Termik Santralleri uçucu küllerinin betonun basınç dayanımına etkisi”, Türkiye İnş. Müh. XVI. Teknik Kongresi, Ankara, 1-3 Kasım.
- [41] **Ural, S.**, 2005. Comparison of fly ash properties from Afsin – Elbistan coal basin, Journal of Hazardous Materials, B119, 85 – 92, TURKEY
- [42] **Volkan, S.**, 2006. Afşin – Elbistan Termik Santrali uçucu küllerinden yanmamış karbonun geri kazanımı, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi
- [43] **Elektrik Etüd İdaresi Genel Direktörlüğü**, 1979. Türkiye uçucu küllerinin özellikleri ve kullanım olanakları, 1 – 40
- [44] **Mccarthy, M.J., Dhir, R.K.**, 1999. “Towards maximising the use of fly ash as a binder”, Fuel, Cilt 78, No 2, 121-132.
- [45] **Bhattacharjee, U., Kandpal, T.C.**, 2002. “Potential of fly ash utilisation in India”, Energy, Cilt 27, No 2, 151-166.
- [46] <http://www.ukqaa.org.uk/Papers/Wascon2003PosterPresentationSear.pdf>
- [47] **Öztekin, E., Cimilli, T.**, 1987. “History and use of blended cements in Turkey”, Cement, Concrete and Aggregates, Cilt 9, No 1, 44-48.
- [48] **Jueshi, Q., Caijun, S., Zhi, W.**, 2001. “Activation of blended cements containing fly ash”, Cement and Concrete Research, Cilt 31, No 8, 1121- 1127.
- [49] **Iyer, R.S., Scott, J.A.**, 2001. “Power station fly ash-a review of value-added utilization outside of the construction industry”, Resources Conservation& Recycling, Cilt 31, No 3, 217-228.
- [50] **Ropelewski, L., Neufeld, R.D.**, 1999. “Thermal inertia properties of autoclaved aerated concrete”, Journal of Energy Engineering-ASCE, Cilt 125, No 2, 59-75.
- [51] **Barbieri, L., Lancellotti, I., Manfredini, T., Et. Al.**, 1999. “Design, obtainment and properties of glasses and glass-ceramics from coal fly ash”, Fuel, Cilt 78, No 2, 271-276.
- [52] **Ferreira, C., Ribeiro, A., Ottosen, L.**, 2003. “Possible applications for municipal solid waste fly ash”, Journal of Hazardous Materials, Cilt 96, No 2-3, 201-216.
- [53] **Cumpston, B., Shadman, F.**, 1992. “Utilization of coal- ash minerals for technological ceramics”, Journal of Materials Science, Cilt 27, 1781-1784.
- [54] **Yılmaz, Ş., Günay, V.**, 1994. “Uçucu küllerden üretilen cam-seramiklerin aşınma özellikleri”, 55. Wei, L.H., Naik, T.R., Golden, D.M., “Construction materials made with coal combustion by-products”, Cement Concrete and Aggregates, Cilt 16, No 1, 36-42.

- [55] **Wei, L.H., Naik, T.R., Golden, D.M.**, 1994. "Construction materials made with coal combustion by-products", *Cement Concrete and Aggregates*, Cilt 16, No 1, 36-42.
- [56] **TS 1114**, 1986. Hafif agregalar-beton, TSE, Ankara.
- [57] **Baykal, G., Özturan, T., Savaş, M., Ramadan, K.**, 1993. "Uçucu külün inşaat mühendisliğinde bazı kullanım olanakları", *Atıkların İnşaat Sektöründe Kul. Semp.*, Ankara, 89-102.
- [58] **Verma, C.L., Handa, S.K., Jain, S.K., Et. Al.**, 1998. "Techno-commercial perspective study for sintered fly ash lightweight aggregates in India", *Construction and Building Materials*, Cilt 12, No 6-7, 341-346.
- [59] **Ravina, D.**, 1997. "Properties of fresh concrete incorporating a high volume of fly ash as partial fine sand replacement", *Materials and Structures*, Cilt 30, No 202, 473-479.
- [60] **Davies, D.R., Kitchener, J.N.**, 1996. "Massive use of pulverised fuel ash in concrete for the construction of a UK power station", *Waste Management*, Cilt 16, No 1-3, 169-180.
- [61] **Berry, E.E., Malhotra, V.M.**, 1980. "Fly ash for use in concrete-a critical review", *ACI Journal, Proceedings*, Cilt 77, No 2, 59-73.
- [62] **ACI Committee 226**, 1987. "Use of fly ash in concrete", *ACI Materials Journal*, Cilt 83, No 5, 381-409.
- [63] **Postacioğlu, B.**, 1986. Beton-Bağlayıcı maddeler, Cilt 1, Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul.
- [64] **Bayazit, Ö.L.**, 1980. Tunçbilek uçucu küllerinin betonun fiziko kimyasal ve mekanik özelliklerine etkileri, Doktora Tezi, ADMMA.
- [65] **Naik, T.R., Singh, S., Ramme, B.**, 1998. "Mechanical properties and durability of concrete made with blended fly ash", *ACI Materials Journal*, Cilt 95, No 4, 454-462.
- [66] **Montemor, M.F., Simoes, A.M.P., Salta, M.M.**, 2000. "Effect of fly ash on concrete reinforcement corrosion studied by EIS", *Cement&Concrete Composites*, Cilt 22, No 3, 175- 85.
- [67] **Erol, Ö.**, 2000. Uçucu kül katkısıyla kerpiç üretimi üzerine bir araştırma, Y. Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [68] **Öztürk, A.Ç.**, 2001. Tuğla üretiminde termik santral atığı puzolanik uçucu küllerin değerlendirilmesi üzerine bir araştırma, Doktora Tezi, Mimar Sinan Üniversitesi.
- [69] **Alataş, T., Yıldırım, B.**, 1997. "Afşin-Elbistan Termik Santralı uçucu külünün yol stabilizasyonunda kireç ile birlikte kullanımı", *Atıkların İnşaat Sektöründe Kul. Semp.*, Eskişehir, 21-35, 1-2 Ekim.
- [70] **Wasti, Y.**, 1993. "Uçucu küllerin geoteknik uygulamalarda kullanımı", *Atıkların İnşaat Sektöründe Kul. Semp.*, Ankara, 37-44.
- [71] **Kımaş, M.**, 1975. Gevenciler ve geven otu - Türk Folklor Araştırmaları 16 (309): 7292.
- [72] **Baytop, A. ve Gözler, T.**, 1971. Türk kitre zımkının menşei ve terkibi hakkında - İstanbul Ecz. Fak. Mecm. 7: 56.

- [73] **Baytop, T.**, 1959. Kitre zankı, Erciyes dağında yapılmakta olan istihsal hakkında - T. Eczacıları Birüğü Mecn. 2: 7.
- [74] **Gürdal, E.**, 1988. "Isı iletkenlik katsayısının malzeme özellikleri ile ilişkileri" Yapı **80**,s: 44-46, Temmuz.
- [75] **Toksoy, M.**, 1988. "Endüstriyel malzemelerin ısı iletim katsayıları" T.M.M.O. Mühendis ve Makina Dergisi, Sayı **347**, pp. 12-15.

ÖZGEÇMİŞ

Şerif YILMAZ, 1981 yılında Malatya’da doğdu. İlk ve orta öğretimini Malatya’da, lise öğretimini ise Ankara’da tamamladı. 2001 yılında Malatya Meteoroloji Bölge Müdürlüğünde göreve başladı. 2004 yılında İnönü Üniversitesi Makine Mühendisliğinden mezun oldu. 2007 yılında Fırat Üniversitesi Makine Mühendisliği Enerji Ana Bilim Dalında yüksek lisansını tamamladı. Şu an Fırat Üniversitesi Makine Mühendisliği Enerji Ana Bilim Dalında doktora devam etmektedir.