

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

UÇUCU KÜL VE POLİPROPİLEN ATIKLARININ
DEĞİŞİK KOMBİNASYONLARDA KOMPOZİT MALZEME
ÜRETİMİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ

Tülay YILDIZ

DOKTORA TEZİ

METALURJİ EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

Bu tez...../..... /1998 tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile başarılı/başarısız olarak değerlendirilmiştir.

(İmza)

Danışman

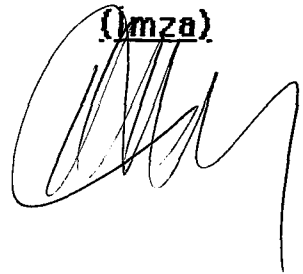
Doç. Dr. Ayşen HAKSEYER



(İmza)



(İmza)



ÖZET

DOKTORA TEZİ

UÇUCU KÜL VE POLİPROPİLEN ATIKLARININ DEĞİŞİK KOMBİNASYONLARDA KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ

Tülay YILDIZ

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı

1998, Sayfa 105

Bu çalışmada, farklı türde iki atık malzeme kullanılarak üretilen yeni bir yapı malzemesinin ısı iletim özellikleri ile yalıtım malzemesi olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Atık malzemeler olarak termik santrallerde üretilen uçucu kül ile polipropilen atıkları kullanılmıştır. Çevre kirliliğine neden olan ve yılda 10 milyon ton üzerinde üretilen bu malzemeler böylelikle yeniden ekonomiye kazandırılırken yalıtım özellikli yeni bir yapı malzemesinin üretilmesiyle aynı zamanda enerji tasarrufu da sağlanmış olacaktır.

Deneylerde kullanılan uçucu küller Afşin-Elbistan ve Soma Termik Santrallerinden temin edilmiştir. Bağlayıcı olarak kullanılan polipropilen eritilerek gözenekli yapıya sahip olan uçucu kül ile değişik oranlarda karıştırılmış ve önceden hazırlanan deney kalıplarına dökülerek preslenmiş ve düzgün yüzeyli numuneler elde edilmiştir.

Kül ve bağlayıcının tüm karışımlarında uçucu külün ağırlıkça yüzde oranı 10, 20, 30, 40, 50, 60 ve 70 olarak alınmıştır. Hazırlanan numuneler basınç , çekme ve aşınma dayanımları, su emme oranı ve ısı iletim katsayılarının tayini için deneylere tabi tutulmuştur.

Bu çalışmanın giriş bölümünde konu tanıtılmış ikinci bölümde konu ile ilgili diğer çalışmalar özetlenmiştir. Üçüncü bölümde termik santralin uçucu külleri hakkında, dördüncü bölümde ise polipropilen hakkında bilgi verilmiştir. Beşinci bölümde fiziksel model ve matematiksel formülasyonu açıklanmıştır. Altıncı bölümde deneysel çalışmalar ve sonuçları değerlendirilmiştir.

Değerlendirme sonucunda

- Hazırlanan uçucu kül ve polipropilen karışımı numunelerin, ısı iletim katsayılarının küçük olması nedeniyle gerek dış sıva kaplaması ve gerekse döşeme kaplaması olarak kullanılması halinde büyük oranda enerji tasarrufu sağlayacağı anlaşılmaktadır.

- Isı yalıtımı söz konusu olduğu zaman göz önüne alınan kompozit malzemedeki uçucu kül oranının polipropilene göre fazla olması gerektiği, su yalıtımı ve dayanıklılığın önemli olması durumunda ise polipropilen oranının fazla olması gerektiği görülmektedir.

- Numunelerin düzgün yüzey verecek şekilde hazırlanabilmesi, aşınma değerlerinin küçük çıkması ve bağlayıcı miktarının artması ile basınç değerlerinin yükselmesi göz önünde bulundurulursa uçucu kül+polipropilen karışımlarının marley türü yeni bir döşeme kaplaması malzemesi olarak da kullanılabileceği anlaşılmaktadır.

- Donmaya karşı dayanım kontrolü için, numunelere su emme deneyi uygulanmıştır. Bu deneylerde polipropilen bağlayıcılı numunelerde su emme oranı T.S.E. normlarında verilen % 30 kritik değerin oldukça altında çıkmıştır. Bu nedenle üretilen malzemelerin, plaka şeklinde bina cephe kaplamasında ve çatı yalıtımında da kullanılabileceği anlaşılmaktadır.



SUMMARY

PhD. Thesis

THE EVALUATION OF FLY ASH AND POLYPROPYLENE IN VARIOUS PROPORTIONS IN THE PRODUCTION OF COMPOSITES

Tülay YILDIZ

**Fırat University
Faculty of Technical Education
Department Of Metallurgy
1998 , Page; 105**

In this study the heat transfer properties and usability as a new waste material produced out of two different waste materials was investigated. Fly ash and polypropylene as waste materials of thermal power stations which are produced over 10 milyon tons a year were used to manufacture a new admixture.

In the these materials it was aimed to keep cuvironment and obtain economical benefits. On the outhter hand this new insulator material would also provide energy save.

The fly ash used in the experiments was obtained from Afşin - Elbistan and Soma thermal power plants. Polypropylene, which is used as binder, was melted and casted in dies with porous fly ash in different

proportions, in order to obtain smooth surface specimens.

The weight percentages of fly-ash in the mixture were taken as 10, 20, 30, 40, 50, 60 and 70. Prepared specimens were applied compression, tension, water absorption, heat transfer and wear tests.

The first chapter of this study is introductory to the subject. In the second chapter a literature research is given on the research works made. In the third chapter information about the properties of flying ash from thermal-power plants are presented. The fourth chapter includes informations about the polypropylene material. In the fifth chapter the physical model and mathematical formulation are laid before as the result of comparative investigations. In the sixth chapter, the experimental studies and results are discussed.

The research work resulted in that

- Since the heat transfer coefficients of the specimens are low, it can provide a great cost save when used both external plaster and floor linings
- In case of insulation gains importance the higher proportion of fly-ash and when the strength and water infiltration becomes important, the higher proportion of polypropylene must be added to produce the new composite.
- Due to its smooth surface, high wear resistance and high compressive strength in accordance with the binder content, this material could be used as floor lining
- The specimens were applied on water absorption tests to achieve a judgement on the freezing resistance of the new material. The results showed that this material could be used as plate like plaster on the front of buildings and as roof insulator, for the results of the freezing tests were 30 % below of the prescribed values given in TSE norms.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarımın yönlendirilmesi ve tamamlanmasında her türlü yardımı esirgemeyen Sayın Hocam Doç.Dr. Ayşen HAKSEVER'e içtenlikle teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Çalışmalarım sırasında hertürlü yardımda bulunan Fırat Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Sayın Doç.Dr. Yaşar BİÇER' e ve Doç. Dr Cengiz YILDIZ' a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca ısı iletim katsayılarının deneysel olarak bulunmasında bana yardımcı olan Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Yöneticilerine ve Isı Tekniği Laboratuar Sorumlularına; Mekanik, Mukavemet deneyleri için de Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölüm Başkanlığına ve Laboratuar Sorumlularına ve tüm emeği geçenlere teşekkürü bir borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iii
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii
TABLOLAR LİSTESİ	xiv
SEMBOLLER LİSTESİ	xvi
 1. GİRİŞ	
1.1 Konu ve Amaç	1
1.2. Literatür Çalışması	2
 2. UÇUCU KÜLLER HAKKINDA GENEL BİLGİ	11
2.1. Uçucu Küllerin Sınıflandırılması	11
2.1.1. Siloko Amüniöz Uçucu Küller	12
2.1.2. Sülo-klasik Uçucu Küller	12
2.1.3. Tiplendirilmeyen ve Yapısı Muntazam Olmayan Uçucu Küller	12
2.2.3.1. Lingit Uçucu Külü	12
2.1.3.2 .Taş kömürü Uçucu Külü	13
2.2. Uçucu Külün Yapısı	13
2.3. Uçucu Küllerin Fiziksel Özellikleri	17
2.3.1. Görünüş	17
2.3.2. İncelik	17
2 3.3. Yoğunluk	19

2.3.4. Ergime	20
2.3.5. Magnetik Özellik	21
2.3.6. Elektriki İletkenlik	22
2.3.7. Mekanik Dayanım	22
2.3.8. Suda Çözünürlük	22
2.3.9. Uçucu Külün Pozolanik Özeliğı	24
2.3.10. Asitlerin Uçucu Külle Etkisi	25
2.4 .Türkiye' de Uçucu Kül Potansiyeli ve Değerlendirilmesi	26
2.4.1. Çimento ve Katkı Maddesi Olarak Uçucu Külün Değerlendirilmesi	31
2.4.2. Gaz Beton Üretiminde Uçucu Külün Kullanımı	31
2.4.3. Tuğla Üretiminde Uçucu Kül	32
2.4.4. Dolgu Maddesi Olarak Uçucu Kül	32
2.4.5. Hafif Agregat Üretiminde Uçucu Külün Değerlendirilmesi	33
2.4.6. Karayolları ve Hava Limanları İnşaatlarında Uçucu Kül	34
3. POLİPROPİLEN	34
3.1. Polipropilenin Türleri ve Yapısı	35
3.2. Polipropilenin Genel Özellikleri	37
3.2.1. Görünüş	37
3.2.2. Sertlik	38
3.2.3. Özgöl Ağırlık	38
3.2.4. Mekanik Özellikler	39
3.2.5. Isıl Özellikler	42
3.2.6. Elektriksel Özellikler	45
3.2.7. Kimyasal Özellikler	46
3.3. Dünyada ve Türkiye'de Plastik Sanayisinin Gelişmesi	47
3.3.1. Polipropilenin Uygulama Yerleri	53

4. GÖZENEKLİ KATI MALZEMELERDE ISI İLETKENLİK KATSAYISININ KURAMSAL OLARAK İNCELENMESİ	56
4.1. Yapılan Kabuller	56
4.2. Gözenekli Katı Malzemelerin Isı İletim Katsayısının Tayininde Kuramsal Bir Model	57
4.3. Modeldeki Parametrelerin Deneysel veya Kuramsal Yöntemlerle Tesbiti	64
4.3.1. Porozite Tayini	64
4.3.2. Kül-Bağlayıcı Karışımlarında Hacimsel ve Ağırlık Oranları İlişkisi	68
4.3.3. Gözeneksiz Kül ve Bağlayıcılara Ait Isı İletim Katsayıları	69
5. DENEYSEL YÖNTEM VE YAPILAN DENEYLER	73
5.1. Deneylerde Kullanılan Malzeme ve Hazırlanması	73
5.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması	73
5.3. Isı İletim Katsayısı Ölçümünde Kullanılan Ölçme Aleti ve Çalışma Yöntemi (Hot-Wire Yöntemi)	75
5.4. Su Emme Deneyi	85
5.4.1. Deneyin Yapılışı	85
5.5. Kuruma Hızı Deneyi	88
5.6. İşlenebilme Özeliği ve Mekanik Dayanım	91
6. SONUÇ TARTIŞMA VE ÖNERİLER	97
7. KAYNAKLAR	99

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Rankin Diyagramında Uçucu Külün Yeri	16
Şekil 2.2. Uçucu Kül İçerisindeki Farklı Yoğunlukta Tanecik Yüzdesi	19
Şekil 2.3. Uçucu Kül Numunesinin Ergime Nedeniyle Deformasyon Eğrisi	21
Şekil 2.4. Uçucu Külün Zamanın Fonksiyonu Olarak Suda Çözünürlülüğü	23
Şekil 2.5. Amorf Silisin ve Kuartz' ın Sıcaklığa Bağlı Olarak Çözünürlülüğü.	24
Şekil 2.6. Amorf Silisin pH' a Bağlı Olarak Çözünürlülüğü.	24
Şekil 3.1. Bir Plastiğin Çekme Testinde Tipik Gerilme - Birim Uzama Eğrisi.	40
Şekil 3.2. Çeşitli Tip Plastikler İçin Genelleştirilmiş Gerilme-Birim Uzama Eğrisi.	40
Şekil 3.3. Özgül Hacim-Sıcaklık Eğrisi.	43
Şekil 3.4. Plastiklerin Mühendislik Malzemeleri Arasındaki Yeri.	48
Şekil 3.5. Ülkelere Göre Plastik Tüketimi	49
Şekil 3.6. Türkiye' de Plastik Tüketiminin Yıllara Göre Değişimi.	50
Şekil 4.1. SPO-3 Numunesine Ait Optik Mikroskop Altındaki Gözenekli Yapı Görünümü	58
Şekil 4.2. Gözenekli Malzemenin Fiziksel Modeli	58
Şekil 4.3. Elemanter Hücre Kesiti	59
Şekil 4.4. Elemanter Hücre Bileşenleri Isıl Dirençlerinin Elektriksel Benzeşim Devre Şeması	61
Şekil 5.1. Hazırlanan Deney Numuneleri	75

Şekil 5.2. Isı İletim Katsayısı Ölçme Aleti	76
Şekil 5.3. Isı İletim Katsayısı Ölçme Cihazı Devre Şeması	77
Şekil 5.4. Afşin Elbistan Uçucu Küllü Numunelerin Kül Oranı - Isı İletim Katsayısı İlişkisi.	83
Şekil 5.5. $> 75. 10^{-6}m$ Uçucu Küllü Numunelerin Kül Oranı-Isı İletim Katsayısı İlişkisi	83
Şekil 5.6. Soma Uçucu Küllü Numunelerin Kül Oranı-Isı İletim Katsayısı İlişkisi	84
Şekil 5.7. $> 75. 10^{-6}m$ Uçucu Küllü Numunelerin Kül Oranı-Isı İletim Katsayısı İlişkisi	84
Şekil 5.8. Afşin Elbistan Uçucu Küllü Numunelerin Su Emme Deneyinde Zamana Bağlı Kütle Değişimi.	86
Şekil 5.9. Soma Uçucu Küllü Numunelerin Su Emme Deneyinde Zamana Bağlı Kütle Değişimi	88
Şekil 5.10. Afşin Elbistan Uçucu Küllü Numunelerin Kuruma Hızı Deneyinde Zamana Bağlı Kütle Değişimi	90
Şekil 5.11. Soma Uçucu Küllü Numunelerin Kuruma Hızı Deneyinde Zamana Bağlı Kütle Değişimi	90
Şekil 5.12. Hazırlanan Deney Numuneleri	91
Şekil 5.13. Basma Deney Cihazı	92
Şekil 5.14. Aşınma Deney Cihazı	92
Şekil 5.15. Numunelerin Aşınma Değerleri-Kül Oranı İlişkisi	96
Şekil 5.16. Numunelerin Basınç Dayanımı-Kül Oranı İlişkisi	96

TABLOLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Uçucu Küllerin Bileşenleri ve TS 639' da Öngörülen Limitleri	15
Tablo 2.2. Uçucu Kül Elek Analizi	18
Tablo 2.3. İncelikle Hacimsel Yoğunluk Değişimi	20
Tablo 2.4. Türkiye' de Çeşitli Termik Santrallerde Elde Edilen Uçucu Kül Miktarları	27
Tablo 2.5. İngiltere' de Uçucu Külün Kullanım Alanları	28
Tablo 2.6. Uçucu Kül Üretim ve Kullanımı	29
Tablo 2.7. Türkiye' de Uçucu Kül Kullanımı	30
Tablo 3.1. Çeşitli Plastiklerin Özgül Ağırlıkları	39
Tablo 3.2. Genleşme - Büzülme	44
Tablo 3.3. Termal Sabite	45
Tablo 3.4 . Polipropilen, Yüksek Yoğunluklu Polietilen ve Polistiren' in Bazı Özellikleri	45
Tablo 4.1. Uçucu Kül ve Bağlayıcılara Ait Yoğunluk Değerleri	66
Tablo 4.2. Afşin-Elbistan ve Soma Termik Santralleri Uçucu Küllerine Ait Kül Matrisleri Yoğunluk Değerleri Tayin Tablosu	67
Tablo 4.3. Gözeneksiz Kül ve Bağlayıcılara ait Isı İletim Katsayıları.	69
Tablo 4.4. Afşin Elbistan ve Soma Termik Santralleri Baca Gazı Analiz Sonuçları	70
Tablo 4.5. 300 K sıcaklığında Muhtelif Gazlara Ait Isı İletim Katsayıları	70

Tablo 5.1. Afşin-Elbistan Elenmemiş Uçucu Küllü Numunelere Ait	
Özellikler	81
Tablo 5.2. Soma T.S. Elenmemiş Uçucu Küllü Numunelere Ait	
Özellikler	82
Tablo 5.3. Su Emme Deney Sonuçları	87
Tablo 5.4. Kuruma Hızı Deney Sonuçları	89
Tablo 5.5. Afşin Elbistan Uçucu Küllü Numunelerin Aşınma Kaybı	
Deney Sonuçları	93
Tablo 5.6. Soma Uçucu Küllü Numunelerin Aşınma Kaybı	
Deney Sonuçları	94
Tablo 5.7. Basma Mukavemeti Deney Sonuçları	95

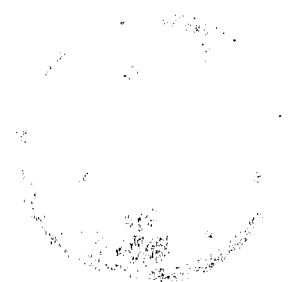
SEMBOLLER LİSTESİ

- α : Isı yayılım katasayısı (m^2/s)
 A : Alan (m^2)
 f_a : Partikül adhezyon katsayısı
 F : Ağırlıklı kül oranı (%)
 Gr : Grashof sayısı ($g\beta(T_1-T_2)R^3/\nu^2$)
 h : Isı taşınım katsayısı (W/m^2K)
 h_r : Partikül mikropürüz yüksekliği (m)
 I : Isıtıcı telden geçen akım şiddeti (A)
 k : Isı iletim katsayısı (W/mK)
 $k_{bağ}$: Bağlayıcı malzemenin ısı iletim katsayısı (W/mK)
 k_c : Taneli malzeme temas yüzeyindeki ısı iletim katsayısı (W/mK)
 $k_{efş}$: Numunenin efektif ısı iletim katsayısı (W/mK)
 k_f : Uçucu külün ısı iletim katsayısı (W/mK)
 k_g : Gözenek içindeki gazın ısı iletim katsayısı (W/mK)
 $k_{kül}$: Sıfır poroziteli külün ısı iletim katsayısı (W/mK)
 k_p : Polipropilenin ısı iletim katsayısı (W/mK)
 k_s : Numunenin katı fazının ısı iletim katsayısı (W/mK)
 K, H : Isı iletim katsayısı ölçme cihazına ait sabitler
 L : Uzunluk (m)
 pp : Polipropilen
 Pr : Prandtl sayısı (ν/α)

- q : Birim alanda ısı akısı (W/m^2)
 Q : Isı akısı(W)
 q_r : Radyasyonla ısı transferi (W/mK)
 R : Elektriksel Direnç (m^2K/W)
 Ra : Rayleigh sayısı ($Gr.Pr$)
 SE : Su emme oranı
 t : Zaman (sn)
 T : Sıcaklık (K)
 ΔT : Sıcaklık farkı(K)
 V : Termoeleman gerilimi (mV)
 v : Hız (m/sn)
 z : Herhangi bir yerdeki yükseklik(m)
 Z : Hacimsel kül oranı(%)
 $Z_{bağ}$: (1-Z) Hacimsel bağlayıcı oranı (%)
 h/L : Poroziteye bağlı olarak değişen "Boyut Oranı" sayısı

Yunan harfleri

- ϵ : Işınım neşretme katsayısı
 Φ : Gözeneklilik oranı(porozite) (%)
 ν : Dinamik viskozite (Pa.s)
 ρ : Yoğunluk (gr/cm^3)
 σ : Stefan- Boltzman sabiti ($5.67.10^{-8} W/m^2K$)



1. GİRİŞ

1.1. Konu ve Amaç

Bu çalışmada farklı iki türde atık malzeme kullanılarak yalıtım özeliği olan yeni bir yapı malzemesinin üretilmesi amaçlanmıştır. Atık malzemeler olarak Türkiye'de termik santrallerde üretilen uçucu kül ile polipropilen artıkları kullanılmıştır.

Çağımızda plastik malzemelere olan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Gelişen teknolojinin ve günlük yaşantının ihtiyaçlarını karşılamak üzere çeşitli plastikler insanların hizmetine sunulmaktadır. Günümüzde metal, tahta ve seramikten yapılmış maddelerin yerine kullanılmaya başlanan ve bu maddelere göre bazı üstünlükler arzeden plastiklerin önemi her geçen gün biraz daha artmaktadır.

Son otuz yıla kadar malzeme biliminde, plastik malzemelerin özelliklerinin yeterince bilinmemesinden dolayı bu malzemenin kullanımı kısıtlı kalmıştır. Ancak, günümüzde gelişen teknolojiye paralel olarak plastiklerin kullanım alanları genişlemiş bu malzemeye olan talep artmıştır. Başta metaller olmak üzere bir çok malzeme ile serbestçe rekabet edebilen plastikler ambalaj sanayiinin vazgeçilmez malzemesi haline gelmiştir. Diğer yandan plastik kullanımının son derece yaygınlaşması maalesef hurda ve atık madde kesiminde plastik payının büyük oranda artmasına da neden olmuştur.(Evans,1970)

Literatürde uçucu kül tanımı ile düşük kalorili kömürün termik santrallerde yanması sonucu çıkan ve baca gazları ile taşınarak mekanik veya elektrostatik toz tutucularında tutulan çok ince küller

kastedilmektedir. Bugün, Türkiye' de henüz çok az bir oranda kullanılan ancak dünyada pek çok gelişmiş ülkede başarı ile çeşitli alanlarda değerlendirilen termik santral uçucu küllerinin, ülkemizde de çeşitli alanlarda değerlendirilmesi halinde, başta enerji tasarufu olmak üzere önemli yararlar sağlanacaktır.

Bu çalışmada kullanılan her iki atık da günümüzde sorun oluşturmaktadır. Diğer endüstriyel atıklar gibi bu atıklarda doğal dengeyi her geçen gün daha fazla olumsuz yönde etkilemekte ve canlıların yaşamını tehdit eder boyutlara ulaşmaktadır. Bu nedenle endüstriyel atıkların yeniden değerlendirilmesi hem çevre kirliliğini azaltıcı bir girişim, hem de ekonomik açıdan verimliliği artırıcı bir etken olacaktır. Türkiye'deki yıllık uçucu kül üretimi 10 milyon tonu aşmakta olup bunun çok az bir kısmı değerlendirilmektedir(Biçer 1990) . Geri kalan uçucu küller termik santraller civarında boş arazilere dökülmekte ve yapay dağcıklar oluşmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, çevre kirliliğine neden olan bu iki atık malzemenin ekonomiye yeniden kazandırılmasıdır. Bu amaçla polipropilen atıkları eritilmiş ve uçucu külle değişik oranlarda karışımı sağlanarak preslenmiş ve kompozit türü yeni bir malzeme elde edilmiştir. Üretilen bu yeni kompozit malzemenin binalarda ısı, su ve sese karşı yalıtım malzemesi ve yer döşemesi olarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

1.2. Literatür Çalışması

Çalışmayla ilgili kaynak etüdü iki açıdan araştırılmıştır. Birinci araştırma uçucu küllerin ve polipropilenin yalıtım malzemesi olarak kullanılabilirliği, ikinci araştırma ise gözenekli katı malzemelerde ısı

iletim katsayısını veren matematiksel denklemin araştırılmasıdır.

Bugüne kadar uçucu küllerle ilgili 1000 den fazla yerli ve yabancı araştırma yapılmıştır (Ölmez, 1988, Beyazıt, 1980). Çalışmaların büyük bir kısmı uçucu küllerin çimento ve betona katkı maddesi olarak kullanılabilirliği üzerinedir.

İyi kaliteli uçucu külün ekonomik olarak toplanması konusundaki araştırmalara ilk olarak Amerika'da ağırlık verildiği görülür (Barton, 1967). Özellikle "Hungry Horse" barajında kullanılan uçucu külün performans verileri Bureau of Reclamation tarafından yayınlandıktan sonra (Hinrichsmeyer, 1987), uçucu külün hidrolik yapı ve diğer beton yapılarda kullanımı bütün Amerika'da yaygınlaşmış ve 1954 yılında bunun için ilk ASTM standardı (ASTM C-350-65 T) hazırlanmıştır.

Japonya'da uçucu kül ile ilgili çalışmalar 1950 yıllarına rastlamaktadır(Masatane, 1972). Bu yıllarda Japonya'nın elektriğe ihtiyacı büyük olduğu için yapımına hız verilen hidroelektrik ve termik santrallerin inşaatı ile beraber uçucu kül ile ilgili çalışmalar artmış ve 1958 yılında uçucu kül standardı hazırlanmıştır (JIS A 6201 Fly-Ash).

Uçucu külün Avrupa ülkelerinde araştırma ve kullanımı ile ilgili çalışmalar 1955 yıllarına rastlar. Rusya'da uçucu küllü çimento standartları 1963 yılında (GOST 6269-63), İngiltere'de ise uçucu kül standardı 1965 yılında (BS 3892) kabul edilmiştir.

Uçucu kül terimi literatürde ilk defa 1937 yılında görülmüştür (Davis, Carlos, 1937). Bilhassa uçucu külün yüksek incelikte toplanma imkanının artması sonucu daha büyük pozolanik özellik göstermesi ve beton içinde belirli oranlarda çimento yerine kullanılabilir olması, bu konudaki çalışmalara hız kazandırmıştır.

Uçucu küllerin fiziki özellikleri konusunda çalışmalarda bulunmuş olan Terrier ve M.Moreau , tane şekillerinin küre, yuvarlak, yassı ve uzun olmalarını göz önüne alarak gerekli incelemelerini mukayeseli olarak yapmışlardır (Terrier, M.Moreau, 1966) Brink ve Halstead (1956) uçucu küllerin inceliği ile pozolanik aktivitesi arasındaki ilişki üzerine araştırmalar yapmışlardır (Brink1956). Watt ve Thorne uçucu kül tanecik yüzeyi ile pozolanik aktivite arasında yakın bir ilgi olduğunu çalışmalarında göstermişlerdir(Watt, Thorne1966).

Uçucu külün betonun özelliklerine olan etkisi konusunda çalışan R.E.Davis ve arkadaşları (1937) çimentoya belirli oranlarda uçucu kül katılarak dökülen betonların işlenebilirlik kabiliyetinin arttığını göstermişlerdir. Yamazaki, Powers, Steinnour(1962), uçucu külün, belli bir oranda, çimento yerine kullanıldığında yoğurma suyu azalma etkilerini inceliyerek özellikle uçucu külün cilalı yüzeylerinin betonda işlenebilirliğini artıran en önemli faktör olduğunu göstermiştir.

Türkiye'de Etibank, D.S.İ. , TÜBİTAK, T.E.K. , E.İ.E. gibi kuruluşlar ve bazı üniversitelerdeki araştırmacılar, uçucu külün değerlendirilmesi konusunda 1963 yılından itibaren çalışmalar yapmışlar, sonuçlarını yayınlamışlardır (Araç, 1970, Beyazıt, 1980, Erdoğan, 1982, Ölmez 1988). Türk Standartları Enstitüsü ise Nisan 1975 de TS 639 (Uçucu Küller) ve TS 640 (Uçucu küllü çimento) standartlarını çıkartmıştır.

Çok eski tarihlerde kullanılan polimerik malzemenin başında selüloz, nişasta, kauçuk vb gibi doğal polimerler gelir. Doğal polimerler, işlenme zorluğu ve bazı fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin yetersizliğinden dolayı, yerlerini yarı sentetik ve daha sonra sentetik polimerlere terk etmişlerdir. İlk polimer malzemesi 1868' de J. Hyatt tarafından keşfedilen selüloiddir(Pişkin,1987). Yarı sentetik bir polimer

olan seluloid pamuk selülozundan elde edilmiştir. Ancak modern plastik endüstrisi L. Baekeland tarafından bakalitin sanayi çapında üretilmesiyle 1909 yılında başlar. Fenol-formaldehit reçinesi olan bakalit telefon ahizeleri gibi plastik ürünlerin yapımında kullanılmıştır. Bunu 1917' de I. Dünya savaşı esnasında Alman kimyacıları tarafından dimetil butadienden suni kauçuğun keşfi takip eder. Bütün bu buluşlar polimerlerin yapıları hakkında kesin bilgiler olmadan yapılmıştır. 1924' e kadar polimer yapılarının "kolloid agregat" halinde bulunan küçük moleküllerden oluştuğu sanılırdı. H. Staudinger yaptığı büyük çapta incelemenin sonucu olarak, plastiklerin zincir şeklinde makromoleküllerden oluştuğunu ve bu moleküllerin birbiriyle kovalent bağlanan küçük ünitelerden meydana geldiğini göstermiştir(Meares 1965). Daha sonraları plastik sanayi hızla gelişmiş ve 1927' de seluloz asetat ve polivinilklorür 1928' de polimetilmetakrilat 1929' da üre-formaldehit reçineleri elde edilmiştir. Bunları 1932' de Polietilen(R.O. Gibson ve J. Swallow) 1934' de naylon (W. Carothers), 1937' de poliüretan(R.J. Plumkeft), 1938 de teflon ticari adıyla tanınan politetrafloretillen, 1942 de poliester ve orlon ticari adıyla tanınan poliakrilnitril fiber takip etmiştir.

İkinci Dünya Savaşına kadar düzensiz ve aralıklı olarak gelişen polimer malzemeleri ve bilimi, bu tarihten ve bilhassa 1950' lerden sonra gerek çeşit ve gerekse bilimsel bakımdan düzenli ve daha sonra çok hızlı bir gelişme göstermiştir. Günümüzde kimyasal bakımdan birbirinden tamamen farklı olan 40 polimer ailesi, yüzlerce bileşik ve binlerce ürün bulunmaktadır. 1947' de epoksi reçineleri elde edilmiş, 1954' de Almanya' da K. Ziegler' in çalışmasını takiben Milanlı C. Natta, Ziegler tipi katalizörün kullanılması ile polipropilen ve diğer olefinlerinden yüksek molekül ağırlıklı polimerleri üretmenin mümkün olduğunu gösterilmiştir.

Mattanin kullandığı katalizörlerin şekline göre yüksek molekül ağırlıklı farklı çeşitte birtakım polipropilenler üretmek mümkündür. Örneğin bir şekli yüksek ergime noktasına , rijitliğe ve sertliğe sahip izoaktik polipropilendir. Diğer şekli ataktik polipropilen ise amorfudur ve daha az mukavemetlidir(Brydson, 1988).

Plastiklerin gelişiminde önemli bir aşama, bu malzemelerin cam, grafit ve karbon elyafları ile karıştırılarak kuvvetlendirilmiş plastiklerin elde edilmesidir(Akkurt, 1986). Bu malzemelerin mekanik özellikleri metallerin seviyesine ulaşmakta ve bir çok uygulama alanında plastik, metallere rakip olmaktadır.

Hasaba v.d. (1984) göre; polimer lifler, betonarme içerisinde, genellikle aşırı derecede küçük çaplı iplikçikler halinde kullanılır. Bu lifler betonun çekme ve eğilme dayanımını olumlu yönde etkilerler.

Plastik hammadde talebi ülkemizde 1950' li yıllarda ticari değer ifade eden bir seviyeye ulaşmış ve bu yıllardan sonra hızla artmıştır. 1960' li yıllarda taleplerin hacmi, Türkiye' de bir petrokimya sanayisinin kurulmasının ekonomik olacağına işaret etmeye başlayınca 1965' te Petkim A.Ş. kurulmuş ve ilk üretim 1970 yılında gerçekleşmiştir. Türkiye' de polietilen, PVC ve polipropileni kapsayan toplam üretim miktarı 1970' te 6.671 tondan 1977' de 65.977 tona erişmiştir(V. Kalkınma Planı Raporu, 1985).

Plastik sanayisinin üretim hedeflerini gerçekleştirebilmesi halinde plastik hammadde miktarı 466.000 tondan 775.000 tona yükselecektir. Hammaddenin 200.000 tonu PVC, 90.000 tonu yüksek yoğunluklu polietilen, 250.000 tonu alçak yoğunluklu polietilen ve 150.000 tonu polipropilenden oluşacaktır.



Plastik alanında dünyada büyük potansiye sahip ülkelere ait verilere dayanarak, plastiklerin hızla gelişmesi aşağıdaki rakamlarla ifade edilebilir. Bu ülkelerin 1977 yılındaki 50.6 milyon ton toplam üretim kapasiteleri, %37 oranında yıllık üretim 1980 yılında 69.5 milyon tona çıkmıştır. Bu artışta en büyük sıçrama payı %61.7 ile polipropilende görülmektedir(Akkurt, 1988).

Visvesvaraya'ya göre; polipropilen lifler çarpmaya maruz kalan betonun dayanımını arttırdığı için kullanılması avantajlıdır. Kullanılan lif miktarı betonun hacminin % 5'i civarındadır. % 2 oranında Polipropilen bulunduran beton, polipropilensiz betona göre daha iyi çarpma mukavemetine ve elastisite modülüne sahiptir (Bal, 1997).

Plastik malzemeler tüm dünyada gerek araştırma ve gerekse uygulama alanı bakımından hızlı bir gelişme göstermektedir. Günümüzde bir çok bakımdan metallerin yerini almakta ve motor gövdeleri, türbin kanatları, otomobil gövdeleri, uçak gövdeleri gibi ağır şartlarda çalışan makina sistemlerinde kullanılmaktadır(Vincent 1964).

Plastik malzemeler laboratuar şartlarında üretilen malzemeler oldukları için bunların çeşit, kalite, mekanik ve ısı v.b özelliklerini geliştirme imkanları sonsuzdur. Bu nedenle bunlara geleceğin malzemesi olarak bakılabilir.

Yalıtım ve aynı zamanda koruma amacı ile polipropilenden elde edilen malzemeler; köpükler(örtü, levha, kanal, boru mantosu vb), noppen örtüler. film ve folyalardır(Hazer, 1993).

Nagabhushanam v.d. (1989), polipropilen lif takviyeli betonlar üzerine deneysel çalışmalar yapmışlardır. Bu deneylerde betona lifin eklenmesi ile yorulma dayanımı normal betona göre önemli derecede artış göstermiştir.

Gokoz ve Naama (1981), yapmış oldukları araştırmada çelik, polipropilen ve cam lifleri karşılaştırmışlar, her üç lifin özellikle de polipropilen lifinin enerji emme kapasitesinin yüksek olduğunu görmüşlerdir.

Başta metaller olmak üzere birçok malzeme ile serbestçe rekabet edebilen plastikler, bilhassa ambalaj sanayiinin de vazgeçilmez malzemesi haline gelmişlerdir. Plastik kullanımının son derece yaygınlaşması, hurda ve atık madde kesiminde plastik payının büyük oranda artmasına da neden olmuştur(Evans, 1970).

Çalışma konusunun önemli bir bölümü, termik santral uçucu küllerinin, değişik kombinasyonlarda ve bağlayıcı olarak polipropilen kullanılmak suretiyle üretilen, iki bileşenli ve heterojen yapıya sahip, yeni bir yapı malzemesinin ısı iletim katsayısını veren matematiksel ifadenin tesbitidir. Bu tür heterojen yapıların ısı iletim katsayıları hakkında çok sayıda çalışmalar yapılmış ve çözümler için değişik fiziksel modeller önerilmiştir. Konu ile yakından ilgili çalışmalar aşağıda özetle verilmiştir.

Gözenekli malzemelerin ısı iletim katsayısı konusunda ileri çalışmalar yapmış bulunan Luikov, Shashkov, Vasıliev (Luikov1968 ve Zumbrunen1986), iç yapının boş küreciklerden oluştuğunu, bu küreciklerin birbirleri ile temas halinde ve tetrahedral şeklinde dizildiğini kabul ederek gözenekli toz malzemeler için ısı iletim katsayısı ifadesini,

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

denklemleri ile vermişlerdir.

Burada; N =iki partikülün temas yerinde, temas ve gaz boşluğundan transfer edilen ısı oranını belirtir. Yazarlar bu denklem sonuçlarının, 300-400 K sıcaklık aralığında, % 35-98 gözeneklilik derecesinde, k_s/k_g oranının 10-300 arasında gözenek çaplarının 4-5 mm civarında ve gözenek içindeki gazların da su buharı ve hava karışımı olduğu, metal olmayan gözenekli malzemeler için deneysel çalışma sonuçlarıyla uyum içinde olduğunu göstermişlerdir(Luikov,1968).

Fraiman metal tozlu, bitişik gözenekli malzemeler için ısı iletim katsayısını,

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

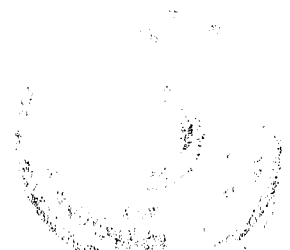
bağıntısı ile vermiştir.

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

(Zumbrunen, 1966), katı, bitişik gözenekli, iki bileşenli sistemler için ısı iletim katsayısını,

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

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



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

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

denklemleri vermiştir (Biçer, 1990). Yazar, denklem sonuçları ile deneysel sonuçların uyum içerisinde olduğunu da göstermiştir.

Bu tezin hedefi ise, termik santral uçucu külleri ile polipropilen değişik kombinasyonlarda karıştırılarak üretilen yeni bir malzemenin ısı iletim özelliklerinin analizi ve yalıtım malzemesi olarak değerlendirilmesidir. Bu çalışma ile yukarıdaki çalışmalara benzer bir matematiksel ifade geliştirmek için biribiri ile temas etmeyen, rast gele dizilmiş gözenekler ihtiva eden katı malzemeler için ısı iletim katsayısını veren denklem geliştirilmiştir.

2. UÇUCU KÜLLER HAKKINDA GENEL BİLGİ

Termik güç santrallerinde düşük kalorili kömür 0.09 mm inceliğe kadar öğütülmekte ve su ile yanma fırınına püskürtülmektedir. Fırın içinde ortalama 1100-1600 °C sıcaklıkta yanan kömür tanecikleri, kısmen adi kül (curuf) şeklinde kazan altında toplanmakta ve su ile uzaklaştırılmaktadır. Bu kazan altı curufu 20 µm-3mm büyüklüğünde taneciklerden ibarettir. Külün geri kalan ve daha ince yapılı kısmı baca gazları ile sürüklenerek önce siklonlar daha sonra da elektrofilitrelerde tutulur. Baca gazları ile sürüklenen ve hava ile temas ederek, ani soğuma sonucu puzolanik özellik kazanan bu küllere hafif olmaları nedeniyle uçucu kül (fly-ash) adı verilir (Başbakanlık Y.D.K.R., 1978). İnceliği 1-200 µm arasında değişir. Çok ince olan ve tutulamayan küller de baca gazları ile atmosfere karışır.

Uçucu külün yaklaşık %68' i 53 µm' den daha küçük taneciklerden meydana gelmiştir. Elektron mikroskobu ile yapılan incelemelerde külün çeşitli çaplardaki küresel tanelerden meydana geldiği ve içinin boş olduğu görülmüştür. Yoğunluğu 2-2.2 gr/cm³ arasındadır(Biçer,Ayhan vd 1992). Oldukça hafif ve gözenekli bir yapıya sahip olması bu malzemenin izolasyon yapı malzemesi olarak kullanım alanını artırmıştır.

2.1. Uçucu Küllerin Sınıflandırılması

Uçucu küller kimyasal yapılarına göre üç sınıfa ayrılırlar.

2.1.1 Siliko Alüminaz Uçucu Külür

Bunlar taş kömürü uçucu külleri olup esas yapısı siliko alüminatlardan meydana gelmektedir. Bu uçucu küller normal sıcaklıklarda kireci bağlama özeliğine sahiptir, hidrolik bir bağlayıcı gibi sulu ortamda priz yaparlar. İşlem sırasında iki reaksiyon bir arada yürür (kimyasal reaksiyon ve sertleşme). Bu tip uçucu küller çok ince taneli ve yapılarının camsı oluşu, çok miktarda silis ve alümina içermeleri nedeniyle diğer hidrolik bağlayıcılar gibi özellik gösterirler(Gökçe vd. 1996).

2.1.2. Sûla-Klasik Uçucu Külür

Bu tip uçucu küller genellikle lingit kömürlerinden elde edilir. Bazı hallerde bağlayıcı olmadan da kendi kendine priz alırlar.

2.1.3. Tiplendirilemeyen ve Yapısı Muntazam Olmayan Uçucu Külür

Bunlar elde edildikleri kömürün ve yanma sisteminin homojen olmadığı hallerde elde edilen uçucu küllerdir.

Uçucu külleri, yukarıdaki bilgilerin ışığı altında elde edildikleri kömürün tipine göre de genel olarak lingit uçucu külü veya taş kömürü uçucu külü olmak üzere ikiye ayırmak mümkündür.

2.1.3.1. Lingit Uçucu Külü

Lingit turba ile bitümlü kömür arasında bir kömürdür. Uçucu maddesi

fazla, genel olarak esmerdir. Bu uçucu küllerin kullanılma olanakları tamamen fiziksel ve kimyasal yapılarına bağlıdır. Etkili fiziksel özellikleri su absorpsiyonu, görünen yoğunluk, spesifik yüzey olarak tanımlanabilir (Erytropel, 1969). Kimyasal özellikleri bakımından ise linyit uçucu külü, taşkömürü uçucu külüne göre özellikle toprak alkali metallerin fazla oluşu bakımından farklıdır. Bu son özellik linyit uçucu külünün kullanılmasında büyük önem taşır. Biribirinden farklı uçucu küllerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin karşılaştırılması ile kalite bakımından uçucu küllerin arasında tercih yapılır. Spesifik yüzey ve granülmetri, kömürün ezilme durumuna göre her ülkede farklıdır. Tablo 2.1' de çeşitli ülkelerin ve Türkiye uçucu küllerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri verilmektedir (Beyazıt, 1980).

2.1.3.2. Taş Kömürü Uçucu Külü

Taş kömürü uçucu külü genel olarak 3-100 μm incelikte ve 200 mesh(nolu)' lık elekte %16-20 oranında kalan bir granülmetri verecek şekilde elde edilir(Kumar, 1966). Spesifik yüzeyleri linyit uçucu küllerine göre daha büyüktür. Bunlar tamamen kuru olarak elde edilir. Taneciklerin büyük bir kısmı minerallerden meydana gelmektedir. Uçucu küllerin inceliği fabrikanın verimli çalışması oranında yükselir, bacadan kaçan kül azaldıkça incelik artmaktadır(Erdoğan, 1993).

2.2. Uçucu Külün Yapısı

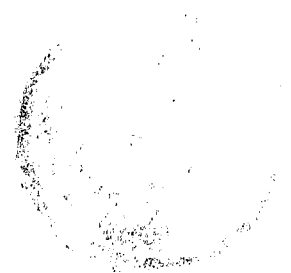
Uçucu küllerin fiziksel ve kimyasal özellikleri; kömürün bileşimi, iriliği ve yanma odası sıcaklığı gibi faktörlere bağlı olarak değişir.

Uçucu küller amorf(camsı) yapıda içi boşluklu veya dolu yapıda kürecikler ile mineral parçacıklar ve yanmamış taneciklerden meydana gelir. Yanma biçimine bağlı olarak temel bileşeni silis, alümina veya kireç ve kükürtdioksit olabilir. Demiroksit, kalsiyumoksit, titanoksit ve alkaliler yan bileşenler olarak bulunur. Uçucu külün ateşten uzakta olduğu oranda içindeki yanan bileşenler azalırken, içi dolu küresel tanecik oranı artmakta ve böylece yoğunluğu da artmaktadır(Ölmez, 1988). Tablo 2.1 'de Türkiye'deki bazı termik santral uçucu küllerinin bileşenleri topluca verilmiştir (Ölmez, 1988).

Minerolojik olarak, uçucu küldeki silikanın bir kısmı kuartz kristalleri halinde, bir kısmı mullit ($2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$) ve geriye kalanı da camsı fazda bulunur. Demir, magnetit (Fe_3O_4), hematit(Fe_2O_3) ve amorf (camsı) haldedir.

Genel olarak ideal şartlarda elde edilen uçucu küllerin %66-88' i amorf yapıdadır. $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ toplamı ise %70-88 arasındadır. Geriye kalan kısmı demir, kalsiyum, magnezyum, sodyum, potasyum ve diğer bileşenlerden ibarettir.

ASTM C-350, 65T ve TS 639 standartları, ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) toplamının minimum % 70 olması şartını getirmiştir. Türkiye' de üretilen uçucu küller genel olarak bu şartı sağlamaktadır (Ölmez, 1988).

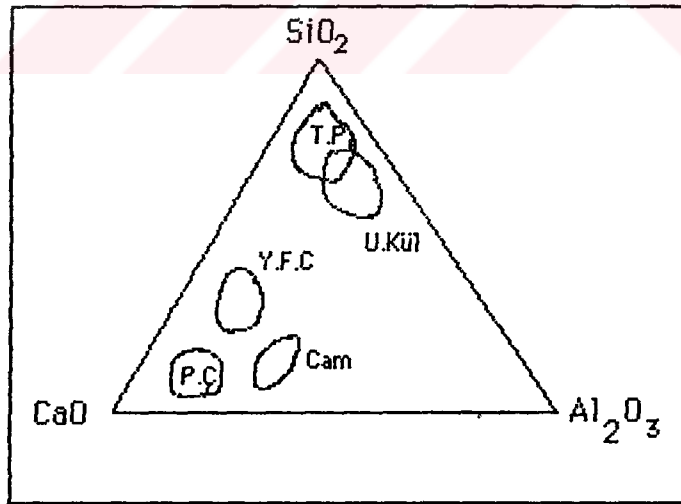


Tablo 2.1. Uçucu Küklerin Bileşenleri ve TS 639' da Öngörülen Limitleri.

Bileşenler (%)	Afsin Elbistan	Seyitömer	Soma B	Tunçbilek	TS 639 limitleri	ASTMC 618 Sınırları
SiO ₂ (S)	22.4	40.6	39.8	56.4	-	-
Al ₂ O ₃ (A)	12.8	9.1	22.3	23.0	-	-
Fe ₂ O ₃ (F)	5.5	7.7	4.4	10.0	-	-
S+A+F	40.7	57.4	66.5	89.4	>70.0	>50
Toplam CaO	47	19.9	25.4	3.1	-	-
MgO	2.5	8.1	1.9	3.3	<5.0	<5
SO ₃	6.2	11.6	4.8	0.5	<5.0	<5
Top. Alkali	0.4	1.4	0.4	0.9	-	<1.5
Kız. Kaybı	2.4	2.8	0.4	2.4	<10.0	-
Serb. CaO	18.5	5.5	9.8	0.9	-	<6

Uçucu külün içerisindeki karbon miktarları çok değişmektedir. İyi yanma olan termik santrallerde karbon yüzdesi çok düşük olmaktadır. Eski tip santrallerde bu oran %10'a yükselmekte, yenilerde ise %3' ün altında kalmaktadır. Antrasit yakan santrallerde yanma problemi dolayısıyla karbon miktarları yüksek olmaktadır. Uçucu külün karbon miktarı kızdırma kaybı değerinden az olmalıdır. Genellikle kızdırma kaybı 0.9 ile çarpıldığında yaklaşık karbon değeri bulunabilir. Uçucu küldeki karbon miktarı kömürün yakılma şekline ve yanma derecesine göre % 1-10 arasında değişir.

Uçucu külün (UK), $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ üçlü denge sistemiyle ilgili Rankin diyagramındaki yeri, tabi puzolanlar (TP), portland çimentoları (PÇ), yüksek fırın curufu (YFC) ve cam ile karşılaştırmalı olarak Şekil 2.1' de görülmektedir.



Şekil 2.1 Rankin Diyagramında Uçucu Külün Yeri (Beyazıt, 1980, Ölmez, 1988).

2.3. Uçucu Küllerin Fiziksel Özellikleri

2.3.1 Görünüş

Uçucu kül çimentodan daha koyu gri renkte, çok küçük taneli, akıcı, elle dokunulduğunda, yumuşak bir malzemedir. Mikroskopla bakıldığında çeşitli şekil ve büyüklükte, genellikle küresel, şeffaf, bazen açık renkli, bir kısmı siyah, çok az esmer kırmızı renkte taneciklerden meydana gelir. Renginin koyuluğu, açıklığı elde edildiği kömüre ve yanış şekline bağlıdır. Linyit kömüründen elde edilen uçucu küller daha esmerdir. Ayrıca, iyi yanmış bir uçucu kül iyi yanmamış bir uçucu külden daha açık renktedir. Uçucu küle siyah renk veren ikinci özellik yanmamış karbondur.

2.3.2. İncelik

Uçucu külün inceliği özellikle termik santrale verilen kömürün öğütülme derecesine bağlıdır. İnceliğe etkili olan ikinci faktör de ince küllerin mümkün olabildiğince bacadan kaçmasına mani olunarak tutulmasıdır. Bacadan kaçan kısım azaldıkça incelik artar. Ayrıca incelik külün elde edildiği kömüre de bağlıdır. Genellikle taşkömürü uçucu külü linyit uçucu külünden, elektroflitrelerde toplanan uçucu küller ise siklonlarda toplanandan daha incedir.

Uçucu külün inceliği genellikle 1 ile 200 μm arasındadır. % 16-25' i 80 μm ' lik elekte, % 26-40 ' ı 50 μm 'lik elekte kalmaktadır. 40 μm ' den daha küçük taneciklerin elekten ayrılması olanaksızdır. Genel olarak uçucu küllerin ortalama boyutları 20-50 μm arasındadır(PFA Utilization, 1972).

Tablo 2.2' de Soma Termik Santrali uçucu külünün elek analizi verilmiştir.

Tablo 2.2 Uçucu Kül Eleak Analizi.

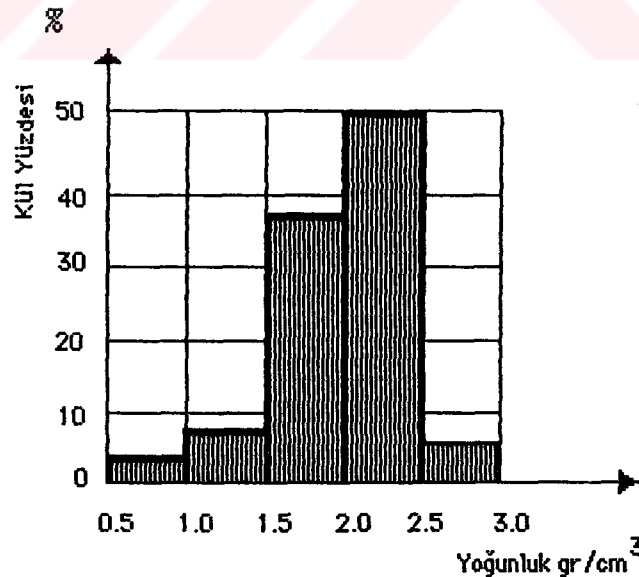
ELEK NO	70 (210 µm)	100 (149 µm)	170 (88 µm)	200 (74 µm)	325 (44 µm)
Elektro- filtre uçucu külü (%)	0.2-0.9	0.6-2.4	5.0-8.5	9.0-13.5	18.8 -26.1
Siklon uçucu külü elek üstü	3.1-4.6	12.5-13.7	27.0-27.5	31.2-32.3	21.0-21.8

2.3.3. Yoğunluk

Uçucu küllerin yoğunluğu, inceliğine ve minerolojik yapısına bağlıdır. İçi dolu küresel tanelerden meydana gelen uçucu küllerin yoğunlukları daha fazla, süngerimsi taneciklerin ise daha azdır. 1 dm^3 'lük bir hacim içerisine vibrasyonla sıkıştırılmış taş kömürü uçucu külünün yoğunluğu $0.54\text{--}0.869 \text{ g/cm}^3$ arasındadır.

Süngerimsi yapıdaki uçucu küllerin hacimsel yoğunluğu $0.25\text{--}0.35 \text{ g/cm}^3$, görünen yoğunluğu $0.40\text{--}0.60 \text{ g/cm}^3$, mutlak yoğunluğu $2.0\text{--}2.4 \text{ g/cm}^3$ arasındadır. çok ince ezilmiş uçucu külün yoğunluğunun ise $2.65\text{--}2.80 \text{ g/cm}^3$ dolaylarında olduğu görülmüştür.

Uçucu kül içerisinde, farklı yoğunlukta kül vardır. Bunların miktarları da birbirinden farklıdır. Şekil 2.2' de uçucu kül içerisindeki farklı yoğunlukta uçucu küllerin yüzdeleri görülmektedir (Beyazıt, 1980).



Şekil 2.2. Uçucu Kül İçerisindeki Farklı Yoğunlukta Tanecik Yüzdesi

Uçucu küllerin incelikleri arttıkça hacimsel yoğunlukları da artmaktadır. Tablo 2.3' de inceliğe göre yoğunluk değişimi görülmektedir (PFA Utilization, 1972).

Tablo 2.3. İncelikle Hacimsel Yoğunluk Değişimi

Spesifik yüzey (cm^2/g)	Hacimsel yoğunluk (g/cm^3)	Spesifik yüzey (cm^2/g)	Hacimsel yoğunluk (g/cm^3)
690	1.64	2690	2.08
740	1.74	3720	2.19
1080	1.77	3990	2.28
1110	1.82	4740	2.33
1180	1.83	5280	2.42

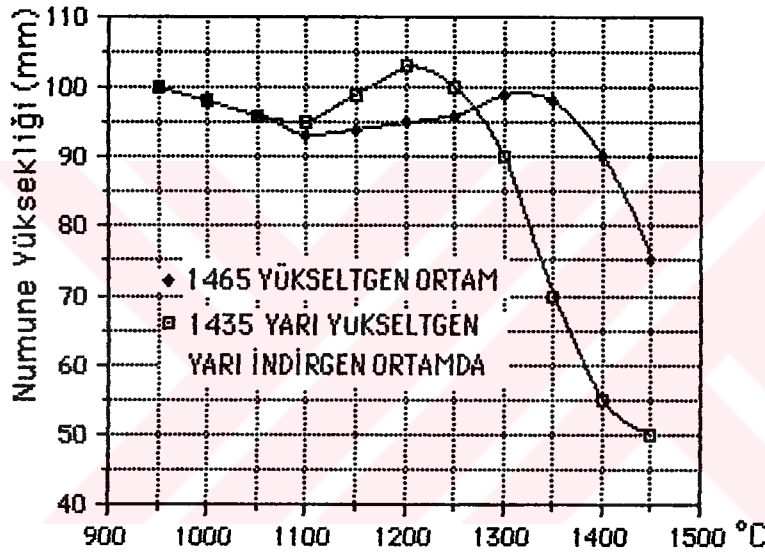
2.3.4. Ergime

Uçucu külün ergime sıcaklığı, elde edilişi esnasında uygulanan maksimum ve minimum sıcaklığa bağlı olarak değişir. Şekil 2.3' de 3 mm çapında ve yüksekliğinde sıkıştırılan bir uçucu kül numunesinin ergime dolayısıyla deformasyonu görülmektedir (Aras, 1971).

Bu deneyde yarı yükseltgen, yarı indirgen bir ortamda uçucu külün ergimeye başlamasıyla 900-1100 °C arasında hafif bir çökme, 1100-1200 °C arasında belirgin bir şişme göze çarpmakta, , tamamen ergime ve sıvılaşma ise 1250-1400 °C ' de meydana gelmektedir. İlk çökme kolay ergiyen bileşikler göstermektedir. Şişme olayı gaz çıkışından (Fe_2O_3 , FeO , SO_3 ve CaSO_4 bozunması) meydana gelir. Bu durumda numune

dövülebilir hale gelmektedir. Çıkan gaz hacmi, kendi hacminin yaklaşık 1/6 sı kadardır.

Yükseltgen bir ortamda, 600 °C' de yanıcı maddeler uzaklaşmaktadır. Dikkati çeken bir ergime 1380 °C dolaylarında başlamakta ve kül genişlemektedir. Uçucu kül tuğla rengine dönüşür, ergime sıcaklığından önce ısıtma kesildiğinde uçucu kül tanecikleri birbirine yapışarak aglemere olur.



Şekil 2.3 Uçucu Kül Numunesinin Ergime Nedeniyle Deformasyon Eğrisi (Aras, 1971).

2.3.5. Magnetik Özellik

Uçucu kül içerisine bir mıknatıs daldırıldığında, mıknatısa bir kısım uçucu külün yapıştığı görülür. Mıknatıs bir hava akımına tutularak yapışan taneciklerin uzaklaştırılmasına çalışılır. Bu deney birkaç defa yapıldıktan sonra uçucu külün %25' inin mıknatısta kaldığı görülür. %7.7 Fe_2O_3 içeren

uçucu külde mıknatısa yapışan kısım yaklaşık olarak % 6.8 olmaktadır. Kimyasal analizde mıknatısta tutulan kısmın %63' ünün Fe_2O_3 olduğu, mıknatısa yapışmayan kısımlardaki Fe_2O_3 miktarının %4 olduğu saptanmıştır (Beyazıt, 1980)

2.3.6. Elektriki iletkenlik

İki iletken arasına konulmuş bir kuru uçucu kül numunesi iki farklı potansiyeldeki plaka arasına yerleştirilirse, bir elektrik akımının geçtiği saptanmıştır. Sıcaklık $600\text{ }^\circ\text{C}$ ' ye çıktığında çok düşük voltajda da akımın geçtiği görülmüştür. Bu yöntem ile uçucu külü kolayca aglomera etmek mümkündür (Ölmez, 1988).

2.3.7. Mekanik Dayanım

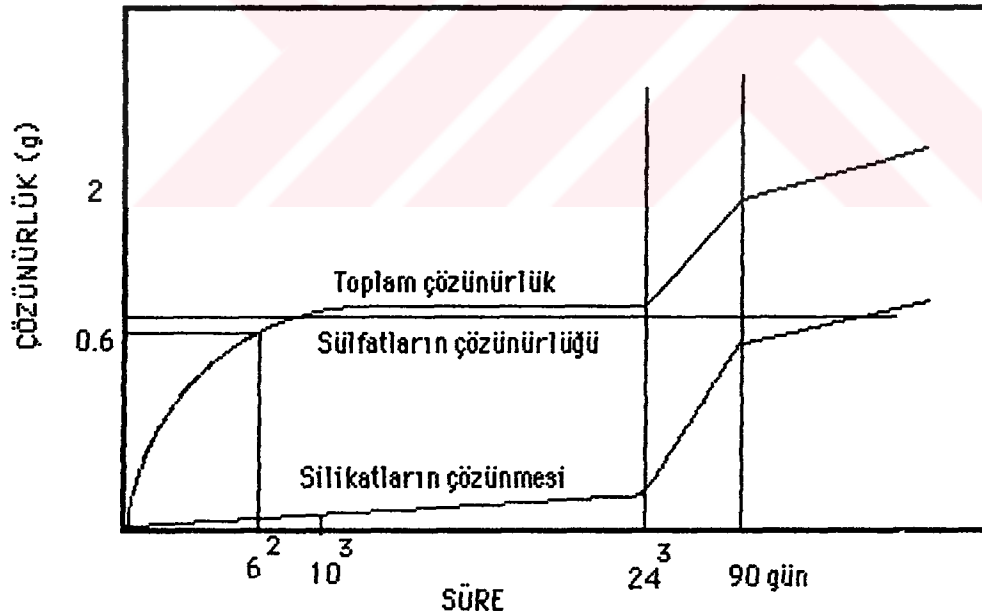
Uçucu külün mekanik dayanımı; içerisindeki boşluklu malzeme yüzdesine bağlı olarak değişmektedir. Laboratuarda biliyeli değirmenlerde ezilen uçucu külün ilk ezme sırasında yoğunluk ve spesifik özgül yüzeyinde artış olmaktadır. Örneğin uçucu külün ilk 15 dakikada 1.90 g/cm^3 olan yoğunluğu ve $2400\text{ cm}^2/\text{g}$ olan özgül yüzeyi, ezmeden sonra sırasıyla 2.4 g/cm^3 ve $4500\text{ cm}^2/\text{g}$ 'a yükselmektedir. Yoğunluğun 2.67 g/cm^3 'e çıkması için 4 saate gereksinme vardır. Bu sırada özgül yüzey de $12000\text{ cm}^2/\text{g}$ olmaktadır (Araç, 1970).

2.3.8. Suda Çözünürlülük

Uçucu kül bol miktarda saf su içerisinde konup karıştırıldığında bir kaç saat sonunda SO_3 'ün hemen hemen tamamı ve toprak alkali metal

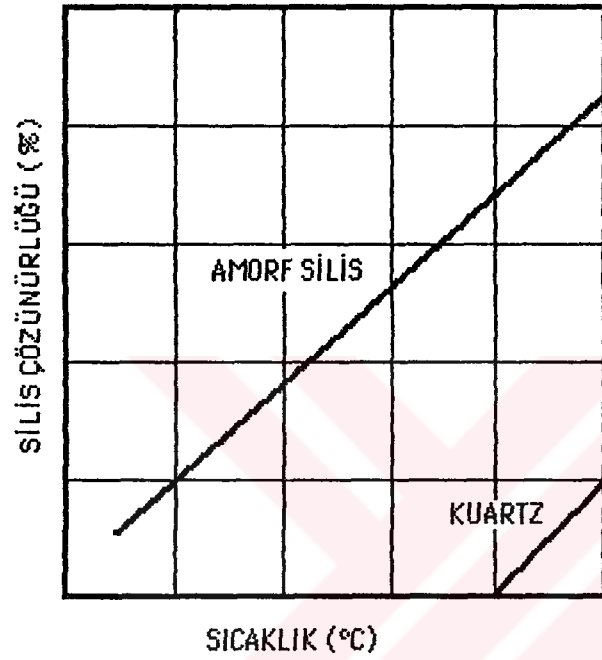
bileşikleri kısmen suda çözünürler. Aynı süre içerisinde SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , Na_2O_3 , Fe_2O_3 ise suda çok az çözünür. Uçucu küldeki amorf silikanın suda çözünürlülüğü sıcaklık yükseldikçe artar. Belirli bir süre sonra uçucu kül içerisinde SO_3 kalmaz hepsi çözeltiye geçer.

Uçucu kül içerisindeki amorf ve camsi silis oda sıcaklığında saf suda az çözünür, sıcaklık arttıkça çözünürlük belirgin şekilde artar, bu özellik puzolanik özellik istenen karışımlar için iyi olmayan bir özelliktir. Şekil 2.4 de uçucu külün zamana bağlı olarak su içerisindeki çözünürlüğü, Şekil 2.5' de ise amorf silisin ve kuartzın sıcaklığa bağlı olarak çözünürlüğü görülmektedir (Aras, 1971).

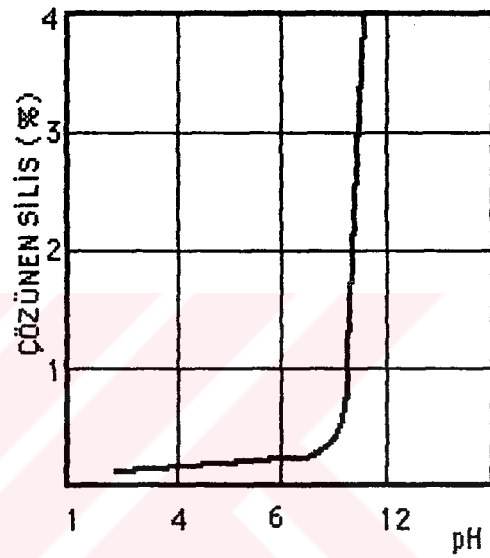


Şekil 2.4 Uçucu Külün Zamanın Fonksiyonu Olarak Suda Çözünürlüğü (Aras, 1971).

Amorf silisin çözünürlüğü aynı zamanda Ph' ın da fonksiyonudur. Ph değeri yükseldikçe (optimum 11) amorf silisin çözünürlüğü artar. Şekil 2.6' da Amorf silisin pH' a bağlı olarak çözünürlüğü verilmektedir (Aras,1971).



Şekil 2.5 Amorf Silisin ve Kuartz' ın Sıcaklığa Bağlı Olarak Çözünürlüğü.



Şekil 2.6 Amorf Silisin pH'a Bağlı Olarak Çözünürlüğü.

pH=11 iken suda amorf silisin çözünürlüğü azalır. pH değeri yükseldikçe örneğin pH=12 iken çözünürlük % 2, PH=12.4 iken çözünürlük %4 olur.

2.3.9. Uçucu Külün Puzolanik Özeliği

Puzolanlar tek başına bağlayıcı özeliği bulunmayan veya çok az bulunan ancak öğütüldüklerinde oda sıcaklığında ve sulu ortamlarda

kalsiyum hidroksit ile reaksiyona girerek bağlayıcı özeliği bulunan bileşikler verebilen maddelerdir. Puzolanlar tabii ve sentetik olmak üzere ikiye ayrılırlar. Volkanik camı kütleler, tüfler doğal puzolanlardır. Yüksek fırın curufu, uçucu külde sentetik puzolanlara örnek olarak verilebilir. Puzolanlar çimento gibi hidrolik özellik göstererek dayanım kazandıklarından, çimento ve harca katılarak beton yapımında kullanılırlar. Bu sebeple uçucu külün puzolanik aktivitesi önemlidir. Belirli oranlarda birleşen kireç+uçucu kül+su belirli bir süre sonra mekanik dayanım kazanır. puzolanik özellik çok yavaş ortaya çıkar. Oda sıcaklığında uçucu kül+kireç+ kum karışımı 2-3 günde belirli bir mekanik dayanıma erişir. Fakat aynı şartlar altında bekleyen kireç+kum karışımı sıfır dayanım gösterir.

Puzolanik özeliğe sahip olan uçucu kül, sulu ortamda kireçle Ca(OH)_2 reaksiyona girerek çimentolaşabilir ve bağlayıcı özellik kazanır.

Uçucu kül Ca(OH)_2 ile reaksiyona girerek kalsiyum silikat hidrat ve kalsiyum alüminat hidratları oluşturur.

2.3.10. Asitlerin Uçucu Küle Etkisi

Uçucu küle asitlerin etkisi çok azdır. Seyreltik asitle muamele edilen uçucu küllerde çözünürlüğün maksimum %15 olduğu saptanmıştır. Ancak bu değer uçucu külün minerolojik ve kimyasal yapısına bağlı olarak daha da düşük olabilir (Ölmez, 1988).

2.4. Türkiye' de Uçucu Kül Potansiyeli ve Değerlendirilmesi

Türkiye'de uçucu kül potansiyeli Tablo 2.4' de görüldüğü gibi yılda 10.000.000 tonun üzerindedir (Erdoğan, 1982). Bu zamana kadar üretilmiş olan milyonlarca ton uçucu külün, ancak 50.000 ton kadarı Balıkesir ve Bursa Çimento Fabrikalarında, çimento katkı maddesi olarak, 40.000 ton kadarı da D.S.İ. tarafından Porsuk ve Gökcekaya Barajlarında betona katkı maddesi olarak kullanılabilmektedir (Baykal vd, 1993). Seyitömer, Tunçbilek, Soma, Afşin-Elbistan termik santrallerinde üretilen uçucu küller, kül parklarına ve kül havuzlarına atılır. Bu şekilde suni dağcıklar oluşur. Çatalağzı termik santralinde ise uçucu küller denize boşaltılmaktadır.

Termik santrale sahip her ülkenin az veya çok kaliteli veya kalitesiz uçucu külü mevcuttur. Bu uçucu küllerin santralden atılması ve depolanması sorun yaratmakta, ayrıca çevre kirliliğine de neden olmaktadır. Özellikle gelişmiş ülkeler uçucu külü çeşitli alanlarda değerlendirerek en güvenilir çözüm yolunu tercih etmektedirler. Tablo 2.5' de, 1978 yılında İngiltere'de üretilen uçucu külün kullanım alanları ve miktarları verilmiştir.

Tablo 2.4 Türkiye' de Çeşitli Termik Santrallerde Elde Edilen
Uçucu Kül Miktarları (Ton/Yıl) .

Sant. \ Yıl	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1989	1992
Tunçbile	700.000	700.000	700.000	700.000	700.000	700.000	607.200	540.000
Seyitömer	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.330.000	1.330.000	1.420.000	1.600.000
Çatalağ.	200.000	200.000	200.000	200.000	432.000	432.000	834.000	526.466
Soma A	60.000	60.000	60.000	60.000	720.000	720.000	1.396.000	1.396.000
Soma B	360.000	720.000	720.000	720.000	720.000	720.000	1.248.000	1.248.000
Yatağan	---	800.000	1.160.000	1.160.000	1.160.000	1.160.000	1.075.200	1.522.280
Çayırhan	---	---	252.000	504.000	504.000	504.000	420.000	438.000
Yeniköy	---	---	---	---	1.224.000	1.224.000	1.135.200	750.000
Af.Elbis.	---	875.000	1.750.000	3.500.000	3.500.000	3.500.000	2.434.400	2.628.288
Kangal	---	---	---	306.000	612.000	612.000	576.000	630.000
TOPLAM	2.320.000	4.355.000	5.842.000	8.450.000	10.902.000	10.902.000	11.146.000	11.279.034

Tablo 2.5 İngiltere' de Uçucu Külün Kullan Alanları (Beyazıt,1980)

Kullanma Yeri	Miktarı (Bin Ton)
Hafif Agregâ	304
Havalı Beton Blok	597
Diğer Beton Bloklar	1038
Beton	126
Çimento Üretimi	489
Enjeksiyon	144
Yol ve Sedde Dolgusu	1860
İnşaat Sahası Dolgusu	412
Diğer Dolgu Alanları	100
Saha Islahı	+ 7266
TOPLAM	12336

Tablo 2.6' da ise bazı ülkelerin uçucu külleri değerlendirme miktarları gösterilmiştir. Bu tablodan da anlaşılacağı gibi Türkiye'de bu potansiyelin değerlendirilmediği görülmektedir. Yani Türkiye'de inşaat sektöründe uçucu kül kullanımı olması gerekenden çok düşük düzeydedir. Bunun nedenlerini aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür.

a-Sektörün nisbeten tutucu karakterinden kaynaklanan yeni yöntem ve malzemelere karşı duyulan şüphe.

b-Türkiyede uçucu küllerin yapı malzemesi olarak kullanılabilirlikleri hakkında yeterli bilgi birikiminin bulunmaması

c-Uçucu küllerin sabit fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olmaması.

Tablo 2.6 Uçucu Kül Üretim ve Kullanımı (1000 Ton/Yıl)(Baykal vd,1993)

Ülke	Uçucu Kül	Bacaaltı Külü	Kullanım	Yüzde Kullanım	Yıl
Hollanda	815	85	940	100	1991
Hong Kong	1012	112	1124	100	1989
Danimarka	840	140	880	90	1990
Almanya	7980	4330	10710	87	1989
Finlandiya	434	49	412	85.3	1990
Belçika	930	160	795	73	1990
İtalya	1300	135	900	63	1988
İsrail	370	40	250	61	1989
Fransa	2200	405	1300	50	1987
Japonya	3341	459	1758	46.2	1991
Britanya	13300	2200	5467	35.3	1989
ABD	48458	16766	15974	24.4	1989
SSCB	90000	35000	11500	9.2	1990
İspanya	7391	1304	1500	17.3	1989
Türkiye	15250	1865	0	0	1991

Uçucu külün kullanımı ile ilgili çalışmaların boyutlarının büyütülerek bu atık malzemenin aşağıdaki konularda değerlendirilmesi, ülke ekonomisine büyük yararlar sağlayacaktır:

- 1-Katkılı çimento ve beton üretiminde
- 2-Portland çimentosu üretiminde ham madde olarak
- 3-Yol yapımında ve geoteknik uygulamalarında
- 4-Hafif agrega üretiminde
- 5-Tuğla üretiminde
- 6- Boşluklu beton üretiminde

7-Gaz beton üretiminde

8- Harç yapımında

9-Maden ocaklarında dolgu maddesi olarak

10-Yalıtım malzemesi olarak

Tablo 2.7' de uçucu külün Türkiye' de yıllara göre kullanım miktarı ve kullanım amacı verilmiştir (Erdoğan, 1982).

Tablo 2.7. Türkiyede Uçucu Kül Kullanımı(Erdoğan,1982).

Yıl	Kullanım Miktarı (Ton)	Kullanım Amacı
1967	220	Tuğla ve ateş tuğlası
1968	900	Baraj inşaatı
	11600	Çimento üretimi
1969	4750	Baraj inşaatı
1970	11500	Çimento üretimi
	5890	Baraj inşaatı
	1200	Çimento üretimi
1971	31060	Baraj inşaatı
	350	Enjeksiyon
1972	13800	Baraj inşaatı
	6200	Çimento üretimi
1973	256	Baraj inşaatı
	3147	Çimento üretimi
	590	Ateş tuğlası üretimi
1974	455	Çimento üretimi
1979	100	Ateş tuğlası
1986	5666	Çimento üretimi

2.4.1. Çimento ve Betonda Katkı Maddesi Olarak Uçucu Külün Değerlendirilmesi

Uçucu kül, çimento ve betonda katkı maddesi olarak üç şekilde kullanılmaktadır.

1. Betonun hazırlanması sırasında çimento ve agrega ile birlikte.
2. Çimentonun bir bileşimi olarak. Bu durumda uçucu kül ya klinker ile birlikte öğütülür ya da çimento ile doğrudan doğruya karıştırılır.
3. Portlant çimentosunun üretilmesinde hammadde olarak.

Uçucu kül, çimento ve su ile karıştırıldığında, çimentonun hidratasyonu sonucu açığa çıkan kireçle birleşerek bağlayıcı özellikte bir madde meydana getirir. Bu maddenin çevreden gelecek kimyasal etkilere karşı kireçten daha dayanıklı olduğu, başlangıçta betonun mukavemeti düşük kalmakla beraber, uzun sürede mukavemeti uçucu külsüz betona göre daha yüksek değerlere çıktığı bilinmektedir (Brink, 1956).

Uçucu kül katkısıyla betonların nihai mukavemeti artmakta, beton kimyasal etkilere, özellikle sülfatlı sulara daha dayanıklı olmakta, hidrasyon ısısı düşmekte, işlenebilirlik ve geçirimsizliği artmaktadır(Kurbetci vd. 1993).

2.4.2. Gaz Beton Üretiminde Uçucu Külün Kullanımı

Uçucu küllü gaz beton, çimento veya kireçle silisli bir malzeme olan uçucu kül harcına hava katılması ile üniform hücreli bir yapı oluşturularak üretilen hafif betondur. Bu amaçla kullanılan malzemeler içinde en ekonomik olanı uçucu küldür. Uçucu külün öğütülme sorunu yoktur, diğer silisli dolgu maddelerine oranla daha yüksek dayanım ve daha iyi ısı yalıtımı sağlar. Uçucu külün yüksek dayanım sağlaması puzolanik

aktivitesinden ileri gelir(Öztekin, 1993).

Yoğunluk normal betonun yoğunluğunun 1/5' i ile 1/3' ü arasında, amaca uygun olarak değişmektedir. Ateşe son derece dayanıklı olan bu beton bloklar, uçucu külü ayrıca öğütmek gerekmediği için de daha ucuza üretilmektedir. Bloklar testere ile kesmeye, çivi çakmaya ve vidalamaya da son derece uygundur.

2 4.3. Tuğla Üretiminde Uçucu Kül

Küllerin tuğla üretiminde hammadde olarak kullanılması yeni değildir. Küller, tuğla üretiminde kilin hacim küçülmesini azaltmak amacıyla 17. yüzyıldan beri kullanılmaktadır(Tokyay, 1993).

Uçucu kül, çok ince taneli olması ve sinterleştğinde yüksek mukavemet vermesi nedeniyle tuğla üretiminde değişik amaçlara göre çok değişik oranlarda (%20-70) kullanılmaktadır.

2.4.4. Dolgu Maddesi Olarak Uçucu Kül

Dolgu işlemleri şunları amaçlar:

1. Dolgu yapılan yerde geçirgenliği azaltmak,
2. Mekanik özellikleri geliştirmek,
3. Boşlukları doldurmak.

Bu son işlem özellikle baraj göllerinin altında ve çevresinde su kaçaklarına sebep olan çatlakları, boşlukları, çeşitli temel sondajlarında çürük temellerdeki boşlukları ve inşaatlarda hemen her çeşit çatlakları doldurmada önem kazanmaktadır.

Uçucu kül, çimento içerisine % 30-50 arasında katılarak sulu

süspansiyon halinde istenen yere enjekte edilir. Puzolonik özeliği nedeniyle çimentonun hidrasyonu sonucu açığa çıkan kireçle birleşen uçucu kül, kimyasal etkilere son derece dayanıklı ve su geçirimi çok düşük bağlayıcı bir madde meydana getirir. Bu nedenle genel olarak su içinde, özellikle de sülfatlı su içinde bulunan inşaatlardaki dolgu işlemlerinde büyük avantajlar sağlamaktadır.

2.4.5 Hafif Agregada Üretiminde Uçucu Külün Değerlendirilmesi

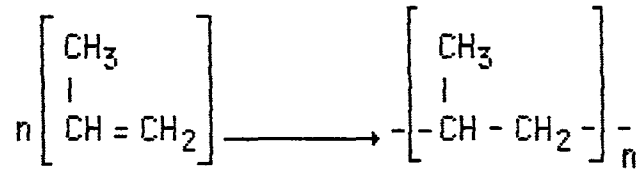
Hafif betonun inşaatlarda önem kazanması ile birlikte, hafif agregada ile hafif beton elde etme çalışmaları da önem kazanmıştır. Uçucu kül bu amaçla 1950' lerin başından beri kullanılmaktadır. Uçucu kül belirli oranlarda su ile karıştırılarak birleştirilmekte ve istenilen irilikte, doğal agregaya göre son derece hafif bir malzeme elde edilmektedir (Davis, 1937). Bu şekilde elde edilen agregalarla yapılan betonlar, doğal agregada ile yapılan betonlar kadar dayanıklı olmakta, bunun yanısıra hafif olması nedeniyle yüksek binalarda işçilik ve temel masrafların azalması, ısı ve ses iletkenliğinin düşük olması ve ateşe dayanıklı olması bakımından bazı önemli üstünlükler sağlamaktadır.

2.4.6. Karayolları ve Hava Limanları İnşaatlarında Uçucu kül

Uçucu kül, karayolları ve hava limanları inşaatlarında stabilizasyon işlerinde başarı ile kullanılmaktadır. Uçucu kül çimento ya da kireçle karıştırılıp sıkıştırıldığında aşınmaya karşı son derece dayanımlı ve düzgün yüzeyler elde edilmektedir. Uçucu külün bu şekilde kullanılışı ABD, İngiltere, Fransa ve Polonya' da oldukça yaygınlaşmıştır.

3. POLİPROPİLEN

Polipropilen az doymuş veya doymamış lineer bir hidrokarbon polimerdir. Bu plastik türü,



Reaksiyonu uyarınca propilenin ısı ve katalizör etkisi ile katma polimerleştirilmesiyle elde edilir. Polipropilen izoaktik ve ataktik olmak üzere iki grupta incelenebilir. İzoaktik polipropilen kristal yapıya sahip polimerdir. Ataktik olan türü ise amorfudur ve polimerin yapısı gelişigüze'dir. Saf propilenin (%95,5) polimerizasyonu ile üretilen polipropilenin izoaktik polipropilen olarak elde edilebilmemesi için reaksiyon, özel katalizörlerle başlatılır. İzoataktik polipropileni elde ederken çok az miktarda da ataktik polipropilen teşekkül eder. Ataktik polimerin sistemden atılması, polipropilen üretiminin en önemli problemidir. Polimerizasyon ve saflaştırmadan sonra polipropilen tane olarak elde edilir. Polimerin ataktik bölgelerinin yer ve miktarını kapsamını değiştirmekle plastiğin özellikleri de değiştirilebilir (Çiğdemoğlu, 1971).

Polipropilenin birçok yönden tercih edilen üstün özellikleri olmakla birlikte bazı katkı maddeleriyle daha değişik özellikler de kazandırılabilir. Örneğin polipropilenin düşük sıcaklıklarda dahi çarpma direnci düşüktür. Polibütillen veya bütill kauçuğu gibi elastomerlerle bu özellik

geliştirilebilir(Brydson, 1993).

Polipropilenin olefik monomerlerle olan kopolimerizasyonu, polipropilene kauçuğumsu bir özellik verir. Böyle bir polimer sert, kristalimsi plastik yerine elastomer gibi hareket eder.

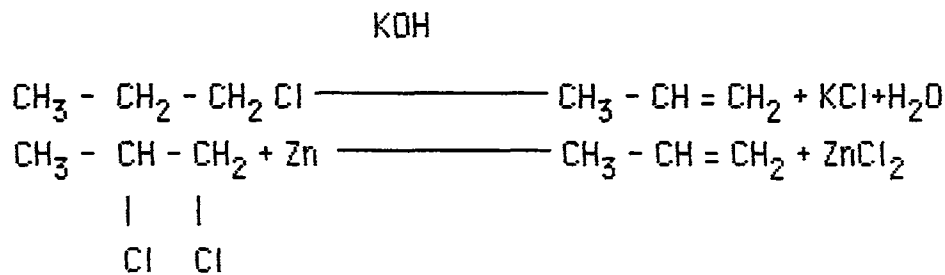
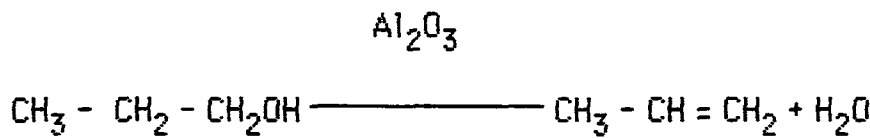
Polipropilenin blok kopolimerlerinin teşekkülü, elde edilişi esnasında reaktörde bulunan monomerlerin durumuna ve miktarına bağlıdır. Kopolimerin büyük bir kısmı kristalik ve yüksek ergime sıcaklığına sahip polipropilen, geri kalan kısım etilen veya propilen-etilen elastomeridir. Blok kopolimeri daha çok enjeksiyon kalıplamada kullanılır. Etilen kopolimerinin kristal yapısı düşüktür(Tager, 1978).

Polipropilenin özellikleri molekül ağırlığına bağlı olarak da değişir. Molekül ağırlığı yüksek olan polipropilen yumuşaktır, düşük molekül ağırlığı olan polipropilen ise sert ve kırılğandır.

Molekül ağırlığı ve moleküllerin dağılımı polipropilenin akış ve yapısal özelliklerini etkiler. Yüksek molekül ağırlığı olan polimerin ergime direnci yüksektir. Düşük moleküllu olan ise daha iyi akışkandır ve yapısal özellikleri iyidir. Bu tür polipropilen ince elyaf ve ince cidarlı kalıplama işlerinde kullanılır.

3.1. Polipropilen Türleri ve Yapısı

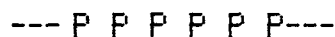
Propilen 48 °C'de kaynayan bir gazdır. Petrol rafineri gazlarından (Propen + Propilen) fonksiyonlarının rektifikasyonundan büyük oranda propilen elde edilir(Miles, Briston, 1965). Ayrıca bir kaç değişik yolla elde edilişi aşağıda verilmiştir.



1954' de Ziegler Propileni, $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$ ile TiCl_4 karışımı ortamında polimerleştirmiş, yüksek molekül ağırlıklı polipropilen elde etmiştir. 1955 ' de Natta kompleks katalizör ortamında bu reaksiyonu yapmış ve %95 kristalik izoaktik polipropilen elde etmiştir(Brydson, 1993).

Polipropileni moleküllerinin dizilişine göre üçe ayırabiliriz,

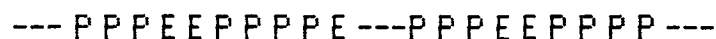
1. Homo polipropilen: Sadece propilen monomerinin polimerizasyonundan elde edilen polimerdir. Propilen monomerinin dizilişi şu şekildedir:



2. Blok Kopolimer: Propilen ve etilen monomerlerinin polimerizasyonundan elde edilir. Monomerlerin dizilişi şu şekildedir:



3. Random Kopolimer: Yine propilen ve etilen monomerlerinin polimerizasyonundan elde edilen bir polimerdir. Monomerler rastgele dizilmiştir.



3.2. Polipropilenin Genel Özellikleri

Polipropileni oluşturan moleküllerin ağırlığı, yapısı, moleküller arasındaki bağ ve fonksiyonel gruplar; polipropilenin özelliklerini oluştururlar(Tobolsky, 1971).

Polipropilenin özelliklerini belli başlıklar altında incelemek mümkündür.

- 1- Görünüş
- 2- Sertlik
- 3- Özgül ağırlık
- 4- Mekaniki Özellikler
- 5- Termal Özellikler
- 6- Elektriki Özellikler
- 7-Kimyasal Özellikler

3.2.1 Görünüş

Polipropilenin görünüşü polietilene benzer. Yarı şeffaf beyaz bir maddedir. Polimerlerin çoğu su renginde yani renksizdir. Bu yüzden renk verici maddelerle istenen renk elde edilir. İklim şartları, polipropilenin özelliklerinden ilk olarak görünüşünü değiştirir. Polipropilen, antioksidant katılmadığı zaman ısı ve ışığın etkisi ile bozunur. Rengin bozulması veya rengin solması onun dış etkenlere karşı kullanımını sınırlamaktadır. Bu durum bazı antioksidant ve stabilizatörlerin katkısı ile giderilebilir.

3.2.2. Sertlik

Diğer plastik malzemelerde de olduğu gibi polipropilenin yüzeyinin yumuşaklığı ve çizilmeye karşı direncinin az olması dezavantajıdır. Cam, seramik ve metallere göre sertliği çok azdır.

Polipropilende ergime genellikle gözle görülmeyecek bir yavaşlıkla rijit halden yüksek viskoziteli sıvı hale geçiş şeklinde olur. Bu davranışından yararlanılarak uygun sıcaklık şartları altında çeşitli şekillere şişirilebilir, preslenebilir, çekilebilir ve sıkıştırılabilir (Vincent, 1964).

Polipropilen, polietilene göre daha serttir ve onun kadar bükülemez. Soğuk organik çözeltilerde çözünmez, sıcak çözücülerde yumuşar. Bir kaç bükülmeden sonra sertliğini korur. Bu malzemenin çok önemli bir özeliği ince kesitlerinin kırılmaksızın çok geniş açılarla bir çok kez bükülebilmesidir (Çiğdemoglu, 1971).

3.2.3. Özgöl Ağırlık

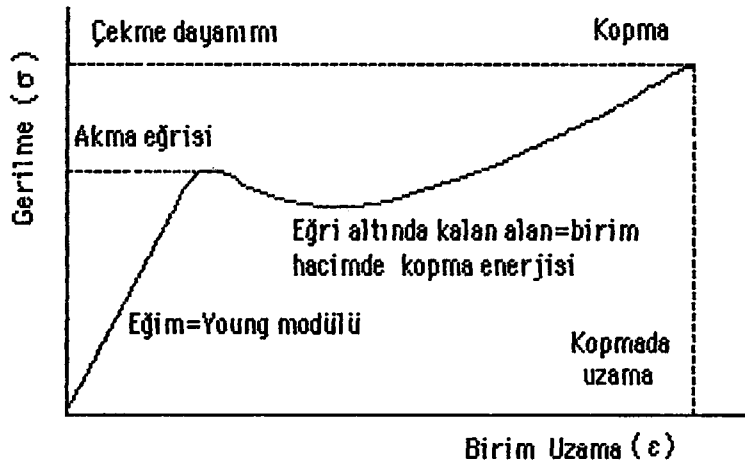
Şu anda ticari olarak kullanılan tüm plastik malzemeler arasında polipropilen en düşük özgül ağırlığa sahiptir. Bu ürün kalıba döküldüğünde hafif olacaktır ve bu da kullanımda çok büyük kolaylıklar sağlayacaktır. Plastiklerin gittikçe önem kazanmalarının bir nedeni de yapısal malzemeler olarak hafiflikleridir. Yoğunluğu en düşük olan plastikler genellikle yalnız karbon ve hidrojenden meydana gelenlerdir. Polipropilenin özgül ağırlığı birden küçüktür.

Tablo 3.1 Çeşitli Plastiklerin Özgül Ağırlıkları

Plastik	ρ (gr/cm³)
Polipropilen	0,900 - 0,910
Düşük Yoğunluklu PE	0,910 - 0,925
Yüksek Yoğunluklu PE	0,941 - 0,965
Polistiren	1,041 - 1,065
Stiren-Akrilonitril Kopolimeri	1,05 - 1,10
ABS	0,99 - 1,10
Metal Metakrilat	1,17 - 1,20
PVC(polivinilklorür)	1,35 - 1,45
Selüloz Asetat	1,23 - 1,34
Naylon	1,08 - 1,14
Polikarbonat	1,20
Poliasetat	1,38

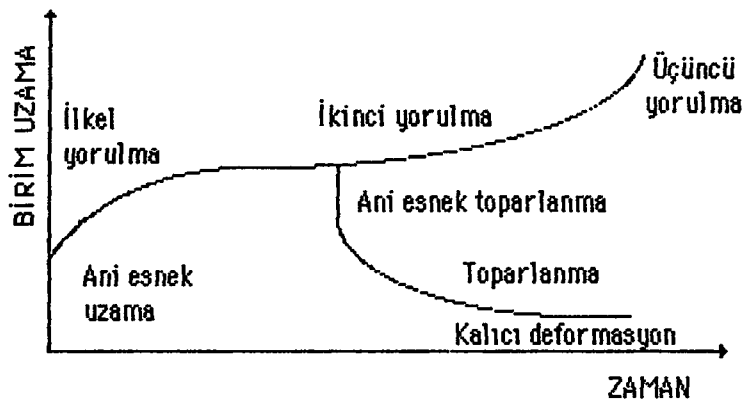
3.2.4. Mekanik Özellikler

Plastikler kırılganlık, süneklilik ve sertlik gibi mekanik özellik gösteren maddelerdir. Metal ve seramik gibi malzemelere göre dış etkenlere karşı daha duyarlıdırlar. Plastik maddelerin mekanik özellikleri arasında yer alan çekme, uzama ve kopma dirençleri en önemli özellikleridir(Kaya 1983).



Şekil 3.1. Bir Plastiğin Çekme Testinde Tipik Gerilme -Birim Uzama Eğrisi.

Çeşitli yükleme şartları altında incelenen çekme özelliklerinde zaman skalası oldukça kısadır ve sonuçlar uzun süreli gerilmeler altında plastiklerde meydana gelen değişiklikleri göstermek bakımından pek değerli sayılamazlar. Plastikte bu süreler saatlerden yıllara kadar değişir. Plastiklerdeki değişimler çok büyük olabilir ve yük taşıyan plastikleri sınırlayan en önemli faktör uzun süreli gerilmeler altındaki yavaş deformasyondur(Meares, 1965).



Şekil 3.2. Sabit Gerilme Altında Tipik Bir Plastiğin Uzama-Zaman Eğrisi.

Yorulma hızı sıcaklıkla arttığından bu tip testlerin sabit sıcaklıklarda yapılması gerekir. Bir plastiğin durgun yorulma karakteristikleri yapısına bağlıdır. Moleküllerin izafi hareket serbestlikleri ne kadar fazla ise yorulma da o kadar büyük olacaktır. Plastikler, gerilme ne kadar küçük olursa olsun sürekli gerilmeler altında az veya çok yorulmaya girerler. Plastiklerdeki bu pratik sınırlılık daima hatırlanmalıdır. Fakat yük taşıyan ünitelerde plastikler, ısıya oldukça dayanıklı plastikler dolgu maddeleri, laminatlar gibi kombinezonlar halinde kullanılabilirler(Park vd. 1993). Polipropilenin mekanik dayanımı birçok plastiklere göre yüksek olup bu bakımdan polietilen ile plastikleştirilmiş PVC arasında yer alır. Naqabhushanam vd. (1989), betonu propilen lif ile takviye ederek eğilme dayanımını arttırmışlardır. Özellikle polipropilen lif katkılı betonlar; eğilme, çekme, donma, çözülme, aşınma, çarpma ve ısı iletim olaylarına karşı dayanıklılık gerektiren yerlerde kullanılabilir. Örneğin, liman, merdiven inşaatında, döşeme plakalarında, prefabrik yapı elemanlarında, dış ve iç cephe kaplamalarında, ısı yalıtım levhalarında kullanılabilir (Parameswaran vd. 1989). Yumuşama noktası 145 °C -150 °C arasındadır. Bu sebeple çalışma sıcaklığı 100 °C ve daha yüksek uygulamalar açısından elverişlidir.

Bazı önemli mekanik özellikleri şunlardır.

Çekme dayanımı	280-360 kg/ cm ²
Elastisite modülü	10.000-12.500 kg/ cm ²
Kopmadan uzama	%100-250
Isıl bozulma noktası	91-114 °C



3.2.5 Isıl Özellikler

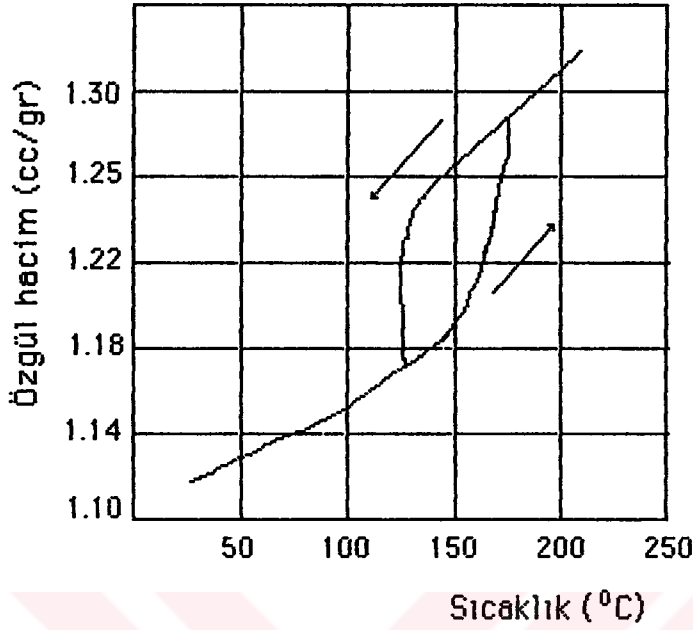
Plastiklerin genleşme katsayısı, ısı iletim katsayısı, özgül ısı, ısıyla büzülme sıcaklığı, yanma ve ısı direnci en önemli ısı özellikleridir.

Plastiklerin ısı iletimlerinin düşük olması, onlara ısı yalıtımı uygulamalarında üstünlükler sağlar. Çoğunun ısı iletim katsayısı 0.8 W/mK mertebesinde, polipropileninde 0,6 W/mK olup ısı iletim katsayısı diğer yapı malzemelerine göre oldukça düşüktür (Pişkin 1987). Bu yüzden polipropilen ısı yalıtım maddeleri arasında yer alır.

Düşük ısı iletimi büyük sıcaklık gradyanları meydana getirir. Bu nedenle polipropileni yalıtım malzemesi olarak kullanırken onun bozulmasına neden olacak yüksek sıcaklıklarda kullanmamak gerekir. Plastiklerin sıcaklığın etkisi altında kimyasal bozulmaya karşı direncine ısısal kararlılık denilir. Bazı plastiklerin ısısal kararlılığı aşağıda verilmiştir. Burada T ısıtmanın ilk 30 dakikasındaki polimer kütlesinin yarısının kaybolduğu sıcaklıktır.

	<u>T (°C)</u>
Poli(propilen oksit), ataktik	295
Poli(propilen oksit), izoaktik	312
Polietilen	404
Polipropilen	387

Polipropilen, bir kristalin polimer olduğu için eritme ve soğutma safhaları esnasında, diğer kristalin polimerlerin kendine has davranışlarını sergiler. Şekil 3.3 'de Dilatometre metoduyla sıcaklığın özgül hacmin sıcaklığa göre değişimi gösterilmiştir (Saray, 1990).



Şekil 3.3. Özgöl Hacim-Sıcaklık Eğrisi.

Polipropilen kristallerinin sıcaklık yükseldikçe tamamen tahrip olduğu noktaya kadar uzanır ki buda birinci geçiş noktası veya ergime noktası olarak adlandırılır. Polipropilenin ergime noktası 168 °C ile 170°C arasındadır.

Şekilde sıcaklığın azaldığı eğri üzerindeki bükümlü kısım, polipropilenin kristal yapısını aldığı noktadır; bu nokta kristalleşme noktası olarak adlandırılır. Polipropilenin kristalleşme noktası 130 ile 135 °C arasındadır. Polipropilenin ergime noktasıyla kristalleşme noktası arasında kayda değer bir sıcaklık farkı vardır. Diğer bir deyişle, karakteristik nokta kristalleşmenin aşırı soğutma halinde ilerlemesidir.

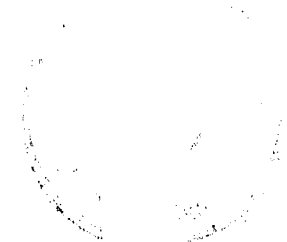
Üstelik kristalleşme hızı 130 ile 135 °C'lik bir sıcaklık aralığında değişir. Soğutma şartlarını değiştirerek, polipropilenin kristalinite derecesini değiştirmek mümkündür. Tablo 3.2' de, Şekil 3.3' de verilen

Özgöl hacim-sıcaklık eğrisi yardımı ile polipropilenin genleşme-büzülme halleri verilmektedir (Saray 1990).

Tablo 3.2. Genleşme - Büzülme

Test Parçası	Genleşme Oranı 25 °C 1. geçiş noktası	Kristalleşerek Büzülme Oranı(%)
Polipropilen	16.0	6.4
Düşük yoğunluk polietilen	22.0	14.0

Yüksek yoğunluklu polietilenle kıyaslandığında, polipropilenin sıcaklıkla genleşmesi ve soğutmayla büzülmesi çok küçüktür. Bu sebeple kalıplanmış polipropilen ürünleri nadiren deforme olurlar veya çatlarlar. Yüksek yoğunluklu polietilen 80°C'de kısmen akmaya başlar, buna karşılık polipropilen 120 °C'ye kadar olan sıcaklıklarda deforme olmaz. Bu durum açıkça göstermektedir ki, polipropilen üstün mekanik özelliklerini 100 °C civarındabile muhafaza edebilir. Buna bir örnek olarak, sıcaklığa karşı burulma rijitliği gösterilebilir. Propilen 100 ile 120°C arasındaki sıcaklıklarda oldukça iyi bir burulma rijitliğine sahiptir. Bu ayrıca, polipropilenin kaynayan suyun sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda da iyi hizmet verebileceğine işaret etmektedir(Ward, 1971). Bu sebeple bu malzemeler, buharla direk temas halinde oldukları (Buharlı sterilizasyon) uygulamalar için de yeterli uygunluktadır. Termal indeksler Tablo 3.3 te gösterilmiştir.



Tablo 3.3. Termal Sabite

	Termal iletkenlik oranı W/m °C	Termal genleşme katsayısı 10 ⁻⁵ /°C	Özgöl ısı J/kg °C
Polipropilen	0.137	11	1922.8
Yük. Yoğ. Polietilen	0.418-0.57	18	2215.4
Polistiren	0.057-0.125	6-8	1337.6

3.2.6. Elektriksel Özellikler

Polipropilen polar olmayan bir polimer olduğundan, Tablo 3.4 'te gösterildiği gibi polietilen ile kıyaslanabilen üstün nitelikler sergiler. İyi bir elektriksel dirence sahiptir(Kaya 1983).

Tablo 3.4. Polipropilen, Yüksek Yoğunluklu Polietilen ve Polistiren' in Bazı Özellikleri

	Dielektrik Sabiti	Voltaj mukavemeti (V/min)	Özgöl hacim (Ω/cm)	Güç faktörü (10 ⁶ cs)
Polipropilen	2.1-2.2	750-800	>10 ¹⁶	3-10.10 ⁻⁴
Yük. Yoğ. Polietilen	2.2-2.35	500-700	>10 ¹⁶	3-5.10 ⁻⁴
Polistiren	2.4-2.75	300-600	>10 ¹⁶	4-20.10 ⁻⁴

Suya karşı direnci ve dielektrik özellikleri vd. nedeniyle polipropilen elektrik aletleri parçaları ve çeşitli endüstriyel parçalar için yaygın olarak kullanılmaktadır.

3.2.7. Kimyasal Özellikler

Polipropilen fevkalade iyi kimyasal dirence sahiptir, bu özeliği kristalinite derecesi yükseldikçe daha da artar. Şüphesiz ki Polipropilen; yüksek fiyatlı belirli özel tip plastikler gibi tüm kimyasallara karşı dirençli değildir. Gerçek uygulamalarda gözönüne alınması zorunlu olan kimyasallar, yüksek konsantrasyonlu sülfirik asit, nitrik asit, potasyum dikromat, kerosen ve karbon tetraklorürdür(Akkurt 1991). Mantarlara ve bakterilere karşı dayanıklıdır. Yanabilir, fakat yavaş yanar, zehirsizdir. 60 °C' ye kadar kuvvetli asitlere ve bazlara karşı dayanıklıdır. Klor, nitrik asit ve diğer kuvvetli oksitleyiciler tarafından etkilenir. Polipropilen oksitleyici maddeler ile kolay parçalanır ve mekanik özellikleri kötüleşir. Bunu önlemek için polipropilene %1-2 anti oksident yani sabitleştirici stabilizatör katılır. Anti oksident olarak aromatik aminler örneğin fenil ve naftialamin, sülfidler, üç değerlikli fosfor bileşikleri kullanılır(Pişkin 1987).

Polipropilen diğer tüm kimyasallara karşı oldukça dayanıklıdır. Polipropilen, halojenleri içeren nitrik asit ve çok kuvvetli oksitleyici maddelerden başka kimyasal maddelerce etkilenmez. Oda sıcaklığında polipropilene hiçbir çözücü yoktur. Deterjanlar polimeri etkilemez.

Zonzvelde(1976) göre; Polipropilen lifler pek çok kimyasallara karşı

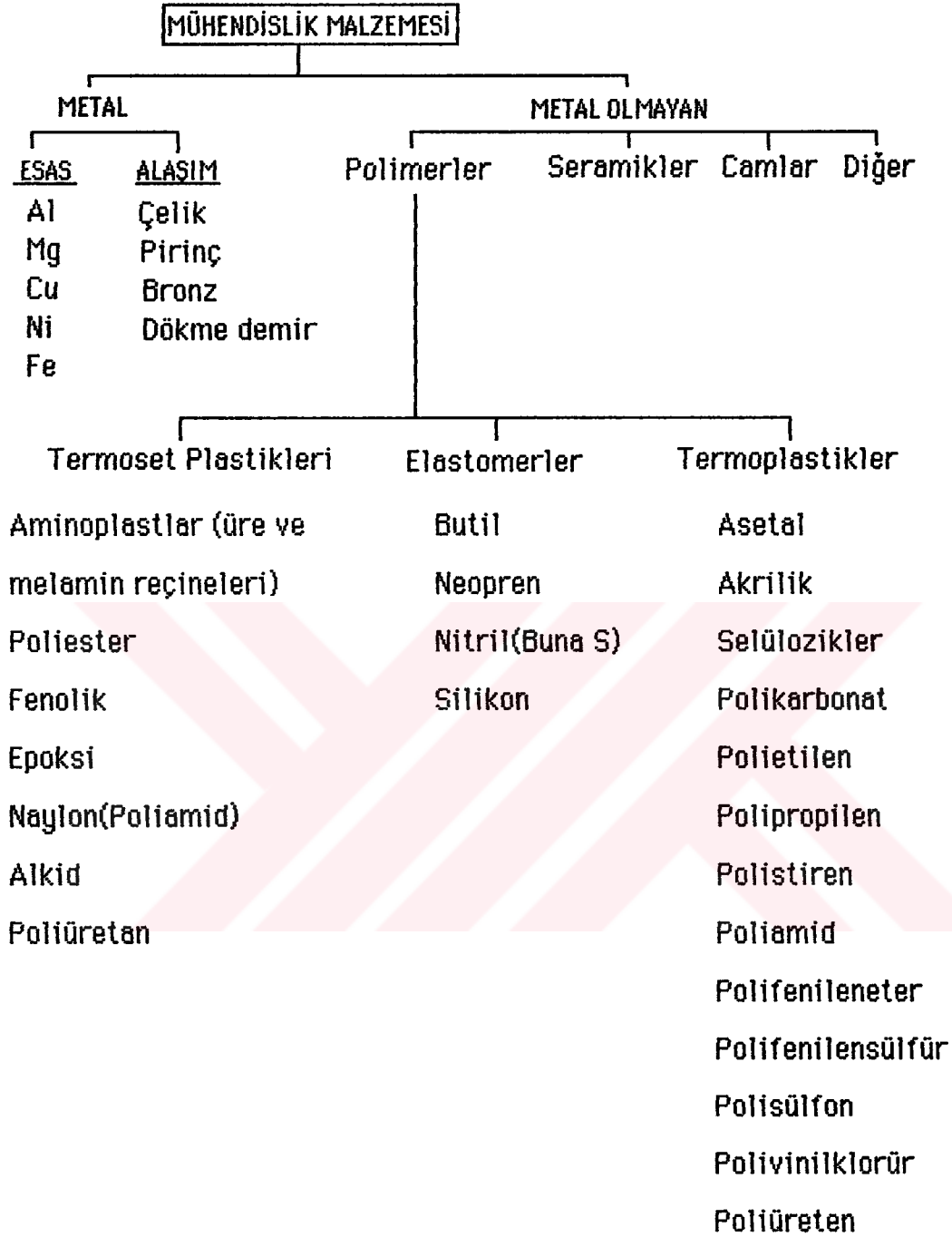
dirençlidirler. Polipropilen lifli betonlarda polipropilen lifleri betonu, asitlere karşı dayanıklı kılar. Polipropilen lifli beton denizde yüzme ünitelerinde , giydirme panellerinde, kazık iskeletlerinde kullanılmaktadır. Polipropilen lifler güneş ışığı ve oksijen tarafından olumsuz yönde etkilenirler.

3.3. Dünyada ve Türkiye'de Plastik Sanayiinin Gelişmesi

20. Yüzyılın ikinci yarısında çeşit ve üretim sayısı bakımından artış gösteren plastiklerin kolay işlenebilir, hafif, elektrik ve ısı yalıtkanlığı, ucuz ve mekanik dayanıklılık özellikleri onları uçak, makina, elektronik, elektrik, ev aletleri, mobilya, tekstil, ambalaj malzemesi inşaat sanayiinde kullanılmalarına imkan sağlamıştır. Plastik malzemeler tüm dünyada gerek araştırma ve gerekse uygulama alanı bakımından hızlı bir gelişme göstermektedir. Günümüzde bir çok alanda metallerin yerini almaktadır.

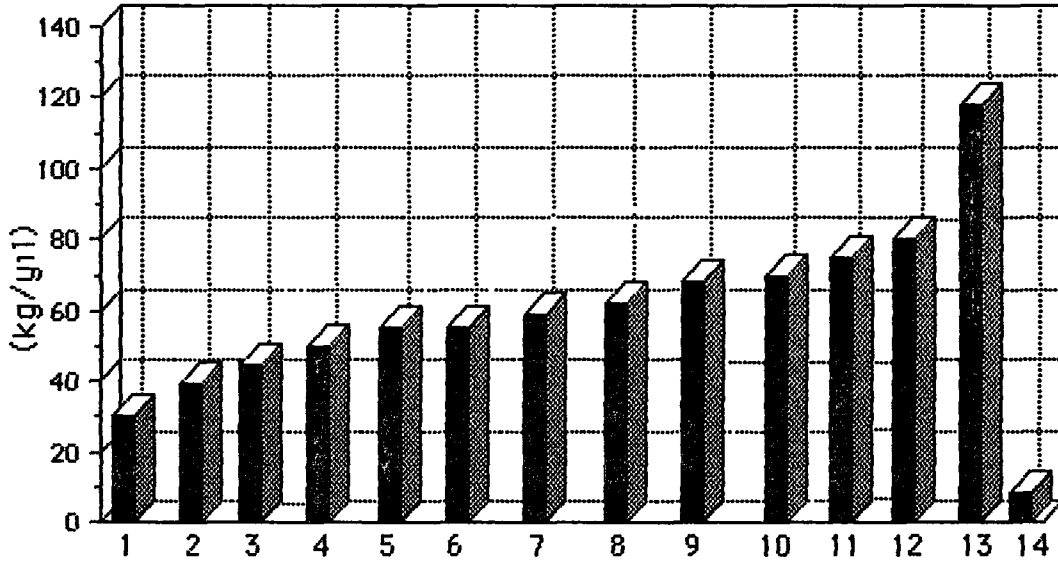
Şekil 3.4' de plastiklerin mühendislik malzemeleri arasındaki yeri görülmektedir(Akkurt, 1986).

Bütün malzemeler arasında plastik malzemeler, son 15-20 yılda büyük üretim ve tüketim artışı göstermişlerdir. Amerika Birleşik Devletleri'nde plastik üretimi 1930 yılında ortalama 23.000 ton, 1949 yılında 570.000 ton, 1959 yılında 2.730.000 ton olmuştur. 1975-1985 yılları arasında üretim 15.000.000 tondan 25.000.000 tona çıkmıştır. (Şekil 3.5)' de Türkiye' de kişi başına plastik tüketimi diğer ülkelerle mukayeseli olarak verilmektedir.



Şekil 3.4. Plastiklerin Mühendislik Malzemeleri Arasındaki Yeri.





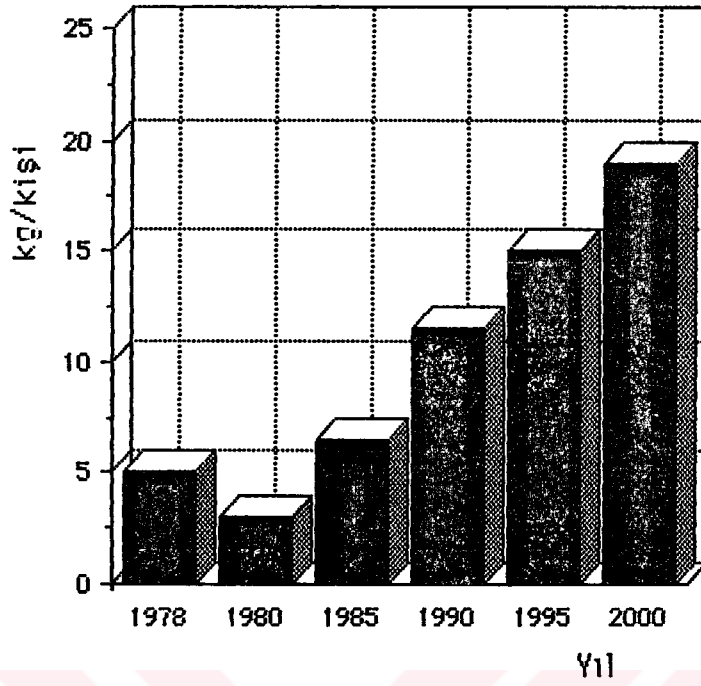
Şekil 3.5. Ülkelere Göre Plastik Tüketimi (Başar, 1993).

(1. İspanya, 2. İtalya, 3. Belçika, 4. Danimarka, 5. İsviçre, 6. USA, 7. Finlandiya, 8. İngiltere, 9. Fransa, 10. Japonya, 11. Kanada, 12. Avustralya, 13. İsveç, 14. Türkiye)

Plastik hammadde talebi Türkiye' de 1950 yıllarında üst seviyeye ulaşmış ve hızla artmıştır. Talebin çok büyük seviyelere ulaşması Türkiye' de 1965 yılında Petkim A.Ş.' nin kurulmasına neden olmuş ve ilk ürün 1970 yılında alınmıştır. Türkiye' de plastik malzemelerin imal ve ithal edilen miktarı 1970' te 51.821 ton, 1977' de 227.196 ton, 1988'de 466.000 ton olmuştur. Şekil 3.6' da temel plastiklerin tüketiminin yıllara göre dağılımı verilmektedir.

Plastik sanayiinde, üretilen plastik eşyanın %2.6' sı ihraç edilmektedir. Bu oranın 1994' de hedeflenen %4.5 değerine ulaşabilmesi için, hammadde miktarının 466.000 tondan 755.000 tona çıkarılması gerekmektedir.

Altıncı beş yıllık kalkınma planında plastik sanayiinde, üretimin yılda ortalama 10.8 oranında artırılması amaçlanmıştır.



Şekil 3.6. Türkiye' de Plastik Tüketiminin Yıllara Göre Değişimi.

IV. Beş yıllık plan döneminde getirilen tedbir ve teşviklerle plastik sanayii sektöründe yatırımların, kalkınma planı hedeflerine uygun olarak, İstanbul ili ve çevresinden memleketin çeşitli yörelerine yönlendirilmesi sağlanmıştı. Nitekim III. plan dönemi içinde sektör yatırımlarının başlıca;

- İstanbul ve çevresi (Çerkezköy dahil)
- İzmir ve çevresi
- Antep, Adana, Mersin ve çevresi
- Eskişehir, Ankara, Bursa illerinin çevrelediği yöre olmak üzere dört ana merkez oluşturduğu görülmektedir.

Marmara ve Trakya bölgelerinde; kurulu sanayinin ihtiyacı olan ambalaj malzemeleri (gübre torbaları, kimya ve boya sanayiinin bidonları dahil) inşaat sektöründe tüketilen yer karoları, plastik doğramalar, başta

otomotiv, elektronik, elektrikli ev aletleri imal eden sanayi olmak üzere diğer sektörlerde plastik parça ve aksamlar kullanılmaktadır. Ayrıca banyo ve mutfak eşyaları, spor ve kamp malzemeleri, oyuncak, suni deri, çarşı ve pazar, torba ve çantaları, telefon anteni ve güç kabloları, kanalizasyon devreleri, balıkçılıkta kullanılan malzemeler, ev malzemeleri, fişek kovanları, mobilyalar üretiminde plastiklerden yararlanılmaktadır.

Ege bölgesinde ileri ziraatın gereksinimleri arasında sayılabilecek basınçlı ve basınçsız boru ve hortumlar, seracılık ve üzüm kurutma ve yaymada kullanılan şeffaf plastik örtüleri, gıda sanayii ve diğer sanayi mallarının ambalaj ve taşınmasında kullandığı malzemeler (bisküvi, makarna, süt vb. mamülleri torba ve lamine malzemeleri bina yaşı sebze ve meyve balık kasaları dahil), banyo ve mutfak eşyaları, elektronik sanayinin çeşitli malzeme ve ambalaj malzemeleri telefon ve TV anten ve güç kabloları inşaat sektörünün ihtiyacı olan yer karoları ve plastik doğramalar, örgü çuvalar, ihraç malları ambalajında kullanılacak malzemeler, kanalizasyon devreleri üretilmektedir.

Akdeniz, Güney Doğu Anadolu ve İç Anadolu Bölgelerinde içme suyu ve zirai sulamalarda kullanılacak basınçlı ve basınçsız boru ve hortumlar, ziraate elverişli toprak ıslahında zemin sularının tarıma uygun seviyede tutulmasında kullanılabilecek drenaj boruları, seracılıkta ve hububat muhafazasında kullanılan örtüler gübre ve yem sanayinin ihtiyacı torbalar, soğuk hava depoları et kombinaları inşaatında kullanılacak izolasyon malzemeleri, vatandaşın ihtiyacının karşılanmasında en ucuz ve dayanıklı ikame maddeleri olan tabak, çanak, bidon, ayakkabı, çizme vb. ürünler, ucuz prefabrike inşaat ve zelzele önleme bölgeleri için evler, turistik tatil köyleri yapımında kullanılacak yapı elemanları, telefon ve güç kabloları,

kamp malzemeleri, inşaat sektöründe kullanılan yer karosu ve plastik doğramalar, plastik ayakkabılar üretilmektedir.

Karadeniz ve Doğu Anadolu Bölgelerinde içme suyu devrelerinde ve zirai sulamada kullanılan basınçlı ve basınçsız boru ve hortumlar, çeşitli sektörlerin ihtiyacı ambalaj malzemeleri, soğuk hava depoları ve et kombinaları inşaatı için izalasyon malzemeleri, ucuz ve dayanıklı mutfak ve banyo eşyaları, ayakkabı çizme telefon ve güç kabloları üretilmektedir.

Plastik hammadde türlerine dayalı 1982 yılı tahmini değerler:

- Hammadde tüketimi : 177.000 ton
- Mamül madde Tüketimi: 262.205 ton

Plastik ürünlerinin geleneksel diğer ürünlere nazaran fiyatlarının ucuz olması, sağlamlıkları iyi ve rahat işlenebilme özellikleri, hafif ve kolay taşınabilir olması, asit ve baz gibi maddelere karşı dayanıklı olması, kohezyona uğramamaları, boya vb. koruyucu kaplama malzemesine ihtiyaç duyulmaması, güzel görünüşleri, sert ve esnek yapıda bulunabilmeleri, iyi optik ve mukavim özelliklerine sahip olması ve büyük yatırımlar gerektirmeyen tesislerde imal edilebilmeleri; bu ürünlere olan talebin süratle artmasına sebep olmaktadır. Böylece geleneksel malzemelerin memleket yararına gereği gibi değerlendirilmesi imkanı da sağlanmaktadır(Başar, 1993).

Polipropilen geleceği olan bir plastiktir. Polipropilen tüketiminin büyük bölümü homopolimerlerden Random ve blok kopolimer türleridir. Tüketim artışı polipropilenin bu türlerinde daha fazladır.

Dünyada polipropilenin kullanılma sahaları şu şekildedir.

- Tekstil endüstrisinde.....% 30
- Kalıp endüstrisinde.....% 15
- Ambalaj endüstrisinde.....%13
- Otomobil endüstrisinde.....%11
- Oyuncak endüstrisinde.....% 8
- Tüp boru sanayinde% 4
- Diğer.....% 7

3.3.1. Polipropilenin Uygulama Yerleri

Polipropilenin mekanik özellikleri iyi, ısı ve kimyasal dirençleri polietilenden yüksektir. Gerilmeden polietilen kadar etkilenmez. Çok yüksek bükülebilme özeliği dolayısıyla menteşe yerine kullanılabilir. Normal olarak iki parça halinde yapıp bir menteşe ile birleştirilmeleri gereken birçok parçalar polipropilenden tek parça halinde yapılabilir. Üretilen polipropilenin yarısından çoğu enjeksiyon kalıplama metoduyla yapılan parçalar halinde kullanılmaktadır. Otomobillerin torpido gözleri ve panoları, beherler ve diğer laboratuvar eşyası, radyo ve televizyon kabinleri, kadın ayakabıları için yüksek topuklar bunlar arasında sayılabilir. Ayrıca geniş çapta tekstil endüstrisinde ip ve halat yapımında kullanılır.

Polipropilenden kalıplama suretiyle kutular, tepsiler, çeşitli büyüklük ve şekillerde şişeler, damacana kapakları, pompa fanları, küçük fanlar ve dişliler yapılmıştır. Başka bir uygulama alanı da beherler, şişeler, beherler ve ölçü silindirleri gibi laboratuvar araçlarıdır. Polipropilenin en önemli özelliklerinden biri de buharla sterilize edilebilmesidir. Fotoğraf araçları,



boya, tekstil endüstrisi ve PVC ile şişelerde, baskı plakalarında, halı veya döşemelerin yapımında, fiber olarak halat ve çuval lifi üretiminde, merşubat kasalarında, ambalaj sanayiinde, değerli metal rafinasyon alanlarında uygulanmıştır.

6 mm. kalınlığında polipropilen tabakalarından, sıcak gaz kaynağı ile 7 m. boy ve 4.5 m. yükseklikte gaz temizleme aparatı yapılmıştır. Gaz aparatı 120 °C'de girer, püskürtme su ile yıkanarak küçük potasyum tuzu kristalleri ayrılır. Polipropilen sıcak ve kimyasal direnç şartlarına uygun olmak üzere 13.500 lt. hacme kadar çeşitli kimyasal reaksiyon kalıpları yapılmıştır. Polipropilen cam takviyeli polyester rezinlerle kombine halde de kullanılmıştır (Evans,1970).

Kullanılan polipropilenin 1/6' ya yakın bir kısmı film haline getirmektedir. Yönleştirilmemiş film tabaka ve tüp halinde yapılmaktadır; fakat tüp şeklindeki ürünün beraklığının düşük olması paketlenme endüstrisindeki kullanışı sınırlanmıştır. Kristalleri film düzleminde yönleşmiş olan çift eksenli çekilmiş polipropilen film dayanım ve berraklık bakımlarından, yönleştirilmemiş filminden çok üstündür. Selofondan daha yüksek dayanımlı ve berrak olduğundan bir çok uygulamada onun yerini almaktadır. Zonsveld' e (1976) göre , polipropilen lifler genellikle bir kilogram içindeki uzunlukları ile sınıflandırılırlar ve bunlar makaralar şeklinde üretilebilirler. Bunların en ideal uzunluğu 25-50 mm arasında olmaktadır.

Polipropilen tüketiminin üçte biri fiber halindedir. Bu malzeme halat hali ve battaniye haline getirilerek kullanılmaktadır. Plastik fırça kıllarında polipropilenden yapılmaktadır (Palin, 1971).

Isıl plastik boru alanında oldukça yeni olan polipropilen düşük ve

yüksek yoğunluklu polietilen boruların uygulandıkları yerlerde kullanılır, fakat özellikle yüksek ısı direnci ile rijitliğinden yararlanılır. Ilık ve sıcak çıkış sularına uygulanmıştır. Özel bir uygulama olarak paslanmaz çeliğin temizlemesinden çıkan nitrik ve hidroflorik asitli suların nötrleştirme tesisine naklinde kullanılmıştır. Bu uygulamada dolgu çubuğu ve sıcak gaz kaynağı ile birleştirilmiş 200 mm. çapında 3 km. boru döşenmiştir.

Poliolefinler normal metodla tabaka halinde kaplama malzemeleri olarak kullanılmamakla beraber, polipropilen ve butil lastik kombinezonunun çok ilginç bir uygulama alanı vardır. Bu bileşik tabakalar ısı ve basınç altında şekillendirilebilirler. Butil lastik yapıştırıcılarla yüzeye kolayca kaplanabilir. Bundan sonra birleştirilmeler polipropilen kaynak çubuğu ve sıcak gaz kaynağı ile yapılabilir "Duplene" adı verilen bu kaplama medodu oldukça yenidir. Polipropilenin çok yüksek ısı ve kimyasal direnci dolayısıyla metodun geniş bir uygulama alanı vardır. Günümüzde metodun ayrıntıları gizlidir ve sadece polipropilen butil lastik laminat lisansı sahiplerince bilinmektedir. Normal laminat kalınlığı 2 mm.dir. Laminat yapılmasında ısı ve basınçtan geniş çapta yararlanıldığı bilinmektedir.

Başlıca uygulama yerleri asit depo tank kaplamaları, boya endüstrisi, nükleer reaktör yakıt elemanı temizleme ve banyo tank kaplamaları % 70 sülfürik asit dahil olmak üzere asit tankları gibi yerlerdir. Ayrıca 60 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda plastikleştirilmiş PVC kaplama yerinde kullanılır (Evans1970).

4. GÖZENEKLİ KATI MALZEMELERDE ISI İLETKENLİK KATSAYISININ KURAMSAL OLARAK İNCELENMESİ

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

Gözenekli malzemeler, karmaşık şekil ve boyuttaki katı partiküller ve boşluklardan oluşur. Özellikleri, yapılarında bulunan maddelerin özelliklerine ve hacimsel oranlarına bağlıdır. Gözeneksiz yapı malzemelerine uygulanabilen temel hidrodinamik ve termodinamik bağıntıları, gözenekli yapı malzemelerine uyguluyarak, analitik olarak incelemek zordur. Ancak bazı kabuller yapılarak malzemenin herhangi bir elementer hücre yapısı incelenip, yapının tümü hakkında fikir edinilebilir.

4.1. Yapılan Kabuller

Gözenekli katı malzemelelerde de ısı geçişi bilindiği gibi Kondüksiyon (ısı iletimi), Konveksiyon (ısı taşınımı) ve Radyasyonla (ışınım) olur. Bu çalışmada aşağıdaki kabuller yapılmıştır.

1. Bu çalışmada, uçucu küllerin gözenek çapları 1 mm den küçüktür. Bu sebeple $Ra=Gr.Pr < 10^{-3}$ olacağından, doğal ısı taşınımının olmayacağı kabul edilmiştir..

2. Işınım ısı geçişi Stefan-Boltzmann kanununa göre

$q_{\text{ış}} = \epsilon \sigma (T_1^4 - T_2^4)$ bağıntısı ile verilmektedir. Gözeneklerin cidar sıcaklıkları birbirine çok yakın olacağından ($T_1 \cong T_2$), ısınım ısı geçişi ihmal edilebilir.

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

4- Malzeme yapısında, rutubet olmadığı kabul edilmiştir.

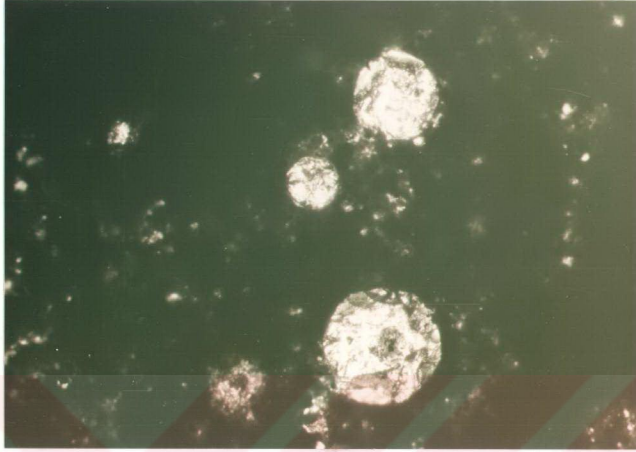
4.2. Gözenekli Katı Malzemelerin Isı İletim Katsayısının Tayininde Kuramsal Bir Model

Farklı ısı iletim katsayılarına sahip malzemelerden oluşan, heterojen bir yapının, ortalama ısı iletim katsayısına efektif ısı iletim katsayısı (k_{ef}) denir. Gözenekli katı malzemelerin efektif ısı iletim katsayısı, porozite, kompozit malzemenin ısı iletim katsayısı, gözenek içi gazın ısı iletim katsayısı gibi bir çok parametrenin bir fonksiyonudur (Luikov, Shasskov 1968).

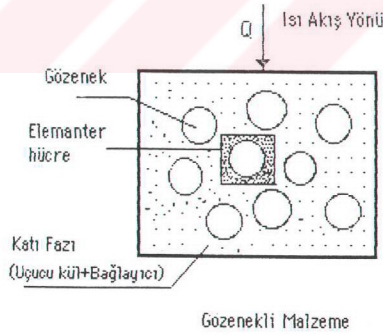
$$k_{ef} = f(\Phi, k_s, k_g, \rho)$$

Gözenekli malzemelerde genel olarak gözenek şekilleri, ne kadar bilinen geometrik şekillere uymuyorsa, malzemenin porozitesi de o kadar yüksek olur. Şekil 4.1. de SPD-3 numunesinden alınan herhangi bir kesitin mikroskop altındaki görüntüsü verilmiştir. Şekilde görüleceği gibi gözenekler, yapıda gelişmiş güzel dağılmış olup küresel bir şekle sahiptir. Gözeneklerin dışında ise kül ve Polipropilenden oluşan katı kısım mevcuttur. Bu yapı için, Şekil 4.2. deki gibi fiziksel model ve modeldeki bir tek elemanter hücre ele alınabilir.

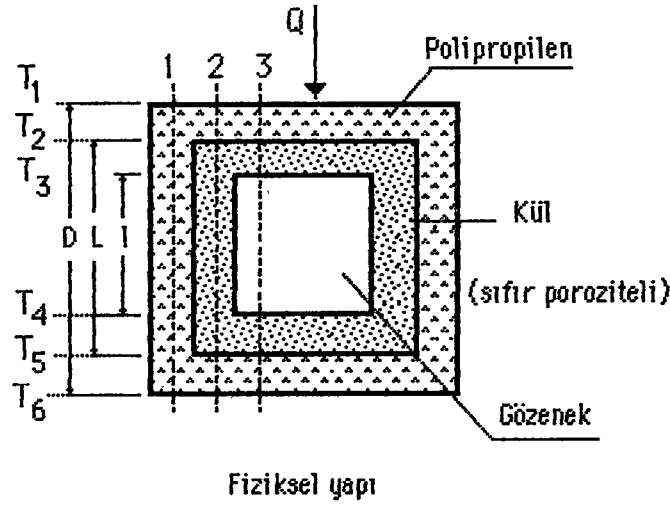




Şekil 4.1. SP0-3 Numunesine Ait Optik Mikroskop Altındaki Gözenekli Yapı Görünümü(x500)



Şekil 4.2. Gözenekli Malzemenin Fiziksel Modeli



Şekil 4.3. Elemanter Hücre Kesiti

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

$$Q = -k.A.(dT/dx) \quad (4.1)$$

şeklinde verilmektedir. Bu ifadenin integrali alınarak,

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

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

$$Q.R = T_{sıcak} - T_{soğuk}$$

denklemini elde edilir. Bu denklem elemanter hücre kesitine uygulanırsa,

(1) nolu kesit için

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

(2) nolu kesit için

$$T_1 - T_2 = Q_2 \cdot R_{2p}$$

$$T_2 - T_5 = Q_2 \cdot R_{2f}$$

$$T_5 - T_6 = Q_2 \cdot R_{2p}$$

ifadeleri taraf tarafa toplanırsa;

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

(3) nolu kesit için

$$T_1 - T_2 = Q_3 \cdot R_{3p}$$

$$T_2 - T_3 = Q_3 \cdot R_{3f}$$

$$T_3 - T_4 = Q_3 \cdot R_{3g}$$

$$T_4 - T_5 = Q_3 \cdot R_{3f}$$

$$T_5 - T_6 = Q_3 \cdot R_{3p}$$

ifadeleri taraf tarafa toplanırsa,

$$\begin{aligned} T_1 - T_6 &= Q_3 (R_{3p} + R_{3f} + R_{3g} + R_{3f} + R_{3p}) \\ &= Q_3 (2R_{3p} + 2R_{3f} + R_{3g}) = Q_3 R_{3eş} \end{aligned} \quad (4.5)$$

4.5 eşitliği elde edilir. Diğer taraftan elemanter hücrenin tümü için

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

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

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

şeklinde yazılır. (4.3), (4.4) (4.5) ve (4.6) numaralı denklemlerden Q_1, Q_2, Q_3

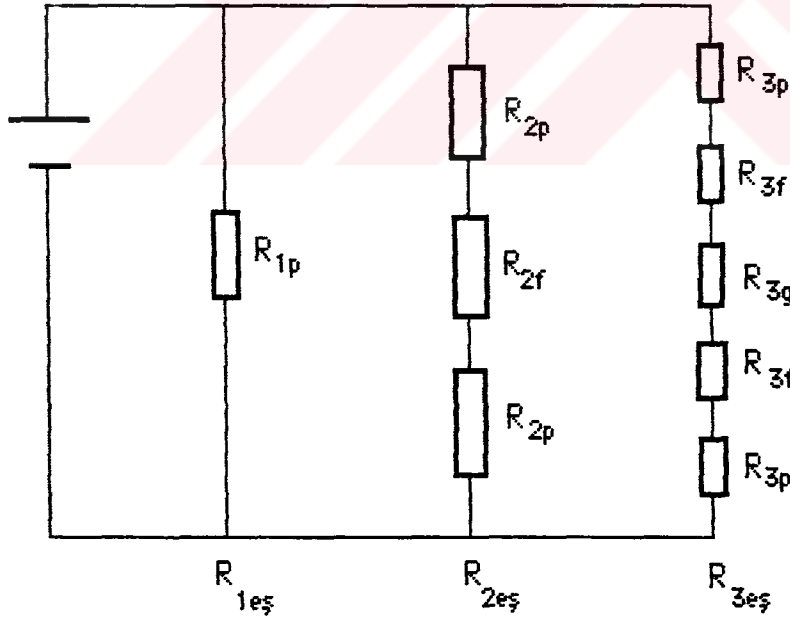
ve Q değerleri çekilip (4.7) numaralı denklemde yerine konulursa,

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

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

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

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



Şekil 4.4. Elemanter Hücre Bileşenleri Isıl Dirençlerinin Elektriksel Benzeşim Devre Şeması

$$R_{1p} = \frac{D}{k_p (D^2 - L^2)}$$

$$2R_{2p} = \frac{(D - L)}{k_p (L^2 - 1^2)}$$

$$R_{2f} = \frac{L}{k_f (L^2 - 1^2)}$$

$$2R_{3p} = \frac{D - L}{k_p l^2}$$

$$2R_{3f} = \frac{L - 1}{k_f l^2}$$

$$R_{3g} = \frac{1}{k_g l^2}$$

Bu dirençler sırasıyla (1) nolu bileşenin katı fazı (polipropilen), (2) nolu bileşenin katı fazı(sıfır poroziteli kül) ve (3) nolu bileşene (gözenek) ait direnç ifadeleridir.

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

$$R_{1eş} = R_{1p}$$

$$R_{2eş} = 2R_{2p} + R_{2f}$$

$$R_{3eş} = 2R_{3p} + 2R_{3f} + R_{3g}$$

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

$$\frac{1}{R_{eş}} = \frac{1}{\frac{D}{k_p(D^2 - L^2)} + \frac{1}{\frac{(D-L)}{k_p(L^2 - 1^2)} + \frac{L}{k_f(L^2 - 1^2)}} + \frac{1}{\frac{(D-L)}{k_p l^2} + \frac{(L-1)}{k_f l^2} + \frac{1}{k_g l^2}}} \quad (4.10)$$

$$\frac{1}{R_{eş}} = \frac{k_p(D^2 - L^2)}{D} + \frac{k_p k_f(L^2 - 1^2)}{k_f(D-L) + k_p L} + \frac{k_p k_f k_g l^2}{k_f k_g(D-L) + k_p k_g(L-1) + k_p k_f l} \quad (4.11)$$

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

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

(4.11) eşitliğinde yerine konulur ve ara işlemler yapılırsa,

$$k_{eş} D = \frac{k_p(D^2 - L^2)}{D} + \frac{k_p k_f(L^2 - 1^2)}{k_f(D-L) + k_p L} + \frac{k_p k_f k_g l^2}{k_f k_g(D-L) + k_p k_g(L-1) + k_p k_f l} \quad (4.13)$$

$$k_{eş} = \frac{k_p(D^2 - L^2)}{D^2} + \frac{k_p k_f(L^2 - 1^2)}{k_f D(D-L) + D k_p L} + \frac{k_p k_f k_g l^2}{k_f k_g D(D-L) + k_p k_g D(L-1) + k_p k_f D l} \quad (4.14)$$

$$k_{eş} = k_p \left(1 - \frac{L^2}{D^2}\right) + \frac{k_p k_f(L^2 - 1^2)}{k_f D^2 \left(1 - \frac{L}{D}\right) + D^2 k_p \frac{L}{D}} + \frac{k_p k_f k_g \frac{l^2}{D^2}}{k_f k_g D^2 \left(1 - \frac{L}{D}\right) + k_p k_g D^2 \left(\frac{L-1}{D}\right) + k_p k_f D^2 \frac{l}{D}} \quad (4.15)$$

$$k_{eş} = k_p \left(1 - \frac{L^2}{D^2}\right) + \frac{k_p k_f \left(\frac{L^2}{D^2} - \frac{1^2}{D^2}\right)}{k_f \left(1 - \frac{L}{D}\right) + k_p \frac{L}{D}} + \frac{k_p k_f k_g \frac{l^2}{D^2}}{k_f k_g \left(1 - \frac{L}{D}\right) + k_p k_g \left(\frac{L-1}{D}\right) + k_p k_f \frac{l}{D}} \quad (4.16)$$

bağıntıları elde edilir.

$$\frac{L^3}{D^3} = Z \text{ (Karışım oranı=Kül hacmi/toplam hacim)}$$

$$\frac{1^3}{D^3} = \Phi \text{ [Porozite= Gözenek hacmi/toplam hacim]}$$

değerleri (4.16) eşitliğinde yerine konulur ve matematiksel işlemler yapılırsa,

$$k_{etg} = k_p k_g \left[\frac{1}{k_p k_g} (1-Z)^{2/3} + \frac{Z^{2/3} - \Phi^{2/3}}{k_p k_g (1-Z)^{1/3} + k_p k_g Z^{1/3}} + \frac{\Phi^{2/3}}{k_p k_g (1-Z)^{1/3} + k_p k_g Z^{1/3} - \Phi^{1/3}} + k_p k_g \Phi^{1/3} \right] \quad (4.17)$$

gözenekli katı malzemenin ısı iletim katsayısını veren bağıntı elde edilir.

4.3. Modeldeki Parametrelerin Deneysel veya Kuramsal Yöntemlerle Tesbiti

4.3.1 Porozite Tayini :

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

Literatürde gözeneklilik oranı Φ , gözenek hacminin toplam hacme oranı olup boyutsuz bir büyüklüktür (Biçer, 1990).

$$\Phi = \frac{\text{Gözeneklerin hacmi}}{\text{Toplam hacim}}$$

Gözenek hacmi V_g , katı kısmın hacmi V_k ve toplam hacim V ile

gösterilirse,

$$V_g + V_k = V \quad (4.16)$$

yazılabilir. (4.16) eşitliğinin iki tarafı toplam hacme bölünürse;

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

denklemini elde edilir.

V_k/V yalnız bırakılıp, tanım gereği $V_g/V = \Phi$ gözeneklilik oranı ifadesi kullanılırsa,

$$V_k / V = 1 - V_g / V = 1 - \Phi \quad (4.20)$$

yazılır. Numunenin kütlesi,

$$m = \rho_k \cdot V_k = \rho \cdot V \quad (4.21)$$

şeklinde yazılabilir. Bu bağıntıdan

$$\frac{\rho}{\rho_k} = \frac{V_k}{V} \quad (4.22)$$

elde edilir. V_k/V oranı yerine, ρ/ρ_k oranı (4.20) nolu denklemde yerine konarak Φ çekilirse,

$$\Phi = 1 - \frac{\rho}{\rho_k} \quad (4.23)$$

denklemini elde edilir. Numunenin yoğunluğunun (ρ) tespiti için

$$\rho = \rho_{köl} \cdot Z + \rho_{Bağ} (1-Z) \quad (4.24)$$

yazılabilir. Katı tane malzemesinin yoğunluğunun (ρ_k) tesbiti için

$$\rho_k = \rho_{köl\ matrisi} \cdot Z + \rho_{Bağ} (1-Z) \quad (4.25)$$

yazılıp (4.24) ve (4.25) denklemleri (4.23) denkleminde yerine konulursa,

$$\Phi = 1 - \frac{\rho_{k\ddot{u}l} Z + \rho_{Bağ} (1-Z)}{\rho_{k\ddot{u}l \text{ matrisi}} Z + \rho_{Bağ} (1-Z)} \quad (4.26)$$

denklemini elde edilir.

Bu çalışmada, Afşin Elbistan Termik Santral uçucu külüne ait, kül oranı % 70 polipropilen oranı % 30 olan numunelerde en yüksek porozite (0.31 mertebesinde) tesbit edilmiştir. Aşağıda bazı malzemelerin porozitesi mukayese bakımından verilmiştir (Saydam 1973).

Tuğla	: 0.12 - 0.34	Kalker	: 0.04 - 0.10
Gevşek Kum	: 0.37 - 0.50	Kum Taşı	: 0.08 - 0.38
Silis Pudrası	: 0.37 - 0.50	Fiber Glas	: 0.88 - 0.93

Tablo 4.1' de tane çaplarına göre uçucu kül ve polipropilene ait yoğunluk değerleri, Tablo 4.2' de ise Afşin-Elbistan ve Soma termik santral uçucu küllerine ait kül matrislerinin yoğunluk değerleri tayin tablosu verilmiştir. Numunelere ait porozite değerleri Tablo 5.1, Tablo 5.2' de topluca verilmiştir.

Tablo 4.1. Uçucu Kül ve Bağlayıcılara Ait Yoğunluk Değerleri (gr/cm³).

Tane Çapı Malzeme	Tabii	> 75 10 ⁻⁶ m.
Afşin-El.	2.24	2.00
Soma	2.03	1.94
Polipropilen	0.9	

Tablo 4.2. Afşin-Elbistan ve Soma Termik Santralleri Uçucu Küllerine
Ait Kül Matrisleri Yoğunluk Değerleri Tayin Tablosu

Bileşen	Bileşen Yoğunlu. gr/cm ³	Afşin-El. T.S. Külü		Soma T.S. Külü	
		Bileşen Yüzdesi %	Yoğ.*(%) gr/cm ³	Bileşen Yüzdesi	Yoğ.*(%) gr/cm ³
SiO ₂	2.56	33.9	0.8678	51.25	1.312
Fe ₂ O ₃	5.2	5.9	0.3068	5.29	0.275
Al ₂ O ₃	4.0	12.5	0.5	26.15	1.046
CaO	3.3	35.5	1.1715	7.85	0.259
MgO	3.6	1.9	0.0684	1.66	0.0597
SO ₃	4.82	7.2	0.345	0.23	0.011
K ₂ O	1.9	0.7	0.0133	1.3	0.0247
Na ₂ O	2.3	0.3	0.0069	0.67	0.01541
Ti ₂ O	4.26	0.7	0.0298	0.83	0.03515
LiO ₂	0.85	---	---	0.13	0.0011
K.Kay.	---	1.6	---	4.68	---
Toplam		100.2	3.311	100.04	3.054

4.3.2. Kül-Bağlayıcı Karışımlarında Hacimsel ve Ağırlık Oranları İlişkisi:

Kül ve bağlayıcı ağırlıklarını bulmak için,

$$W_{Kül} = \rho_{Kül} \cdot V_{Kül} \cdot g$$

$$W_{Bağ} = \rho_{Bağ} \cdot V_{Bağ} \cdot g$$

eşitlikleri yazılabilir. Bu iki eşitlik taraf tarafa bölünürse;

$$\frac{W_{Kül}}{W_{Bağ}} = \frac{\rho_{Kül}}{\rho_{Bağ}} \cdot \frac{V_{Kül}}{V_{Bağ}} \quad (4.27)$$

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

$$W_{Kül}/W = F = \text{Ağırlıkça kül oranı}$$

$$W_{Bağ}/W = 1-F = \text{Ağırlıkça kül bağlayıcı oranı}$$

$$V_{Kül}/V = Z = \text{Hacimce kül oranı}$$

$$V_{Bağ}/V = 1-Z = \text{Hacimce bağlayıcı oranı}$$

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

$$Z = \frac{\rho_{Bağ}}{\rho_{Kül}} \cdot \frac{\frac{F}{1-F}}{1 + \frac{\rho_{Bağ}}{\rho_{Kül}} \cdot \frac{F}{1-F}} \quad (4.28)$$

İfadesi elde edilir.

4.3.3. Gözeneksiz Kül Ve Bağlayıcılara Ait Isı İletim Katsayıları

Afşin Elbistan ve Soma Termik santrallerine ait küller Tablo 4.2 de verilen matris yoğunluk değerlerine yaklaşıncaya kadar dövülüp elenerek elde edilen küller sıfır poroziteli kül olarak kabul edilmiştir. Bu küller su ile karıştırılıp standart kuruma dönemlerine göre doğal olarak kurutulduktan sonra ısı iletim katsayıları ölçülerek, gözeneksiz küllere ait deneysel ısı iletim katsayıları ile polipropilene ait ısı iletim katsayıları topluca Tablo 4.3' de gösterilmiştir.

Tablo 4.3. Gözeneksiz Kül ve Bağlayıcılara ait Isı İletim Katsayıları.

Isı iletim kat. Malzeme	Afşin-Elbistan Termik Sant. külü	Soma Termik Sant. külü	Polipropilen
k W/mK	0.511	0.500	0.6

Gözenek İçindeki Gazların Isı İletim Katsayıları.

Tablo 4.4' te Afşin Elbistan ile Soma termik santralı baca gazlarının analiz sonuçları verilmektedir. Uçucu kül yapısındaki gözenekler, fırın atmosferinde, 1200 °C civarında oluşmaktadır. Burada azot ve karbondioksit gazlarının oranının diğer bileşenlere göre fazla olduğu görülmektedir. Bu sebeple gözenekler içindeki gazın sadece azot ve karbondioksit gazı karışımı olduğu kabul edilmiştir.

Bu gaz karışımının ısı iletim katsayısı azot ve karbondoksit gazlarının ısı iletim katsayılarının ortalaması olarak alınmıştır. Tablo 4.5' de oda

sıcaklığında (300 K) muhtelif gazlara ait ısı iletim katsayıları verilmiştir (Atagündüz, 1983).

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

Tablo 4.4. Afşin Elbistan ve Soma Termik Santralleri Baca Gazı Analiz Sonuçları

Gazlar Santral	CO ₂ %	CO ₃ mg/m ³	O ₂ %	SO ₂ mg/m ³	NO ₂ mg/m ³
Afşin-El.TS. I. Ünite	12.7	0	7.3	7442	1083
Afşin-El.TS. II. Ünite	14.2	216	5.3	3468	534
Soma T. S B1 Ünitesi	12.0	0	8	5131	1560
Soma T. S B3 Ünitesi	14.3	0	5.6	4887	877

Tablo 4.5. 300 K sıcaklığında Muhtelif Gazların Yoğunlukları ve Isı İletim Katsayıları

Gaz	Yoğunluk gr/cm ³	Isı İlet. Katsayısı W/mK
CO	1.139	0.0253
CO ₂	1.797	0.01666
N ₂	1.142	0.0262
O ₂	1.301	0.0267
H ₂	0.0819	0.182
SO ₂	---	0.072

Bir Numunenin Isı İletim Katsayısının Sayısal Olarak Bulunması

Sayısal çözüm için SPD-4 numunesi örnek olarak alınmıştır. Bu numune elenmemiş doğal haldeki Soma Termik Santral uçucu külü ile polipropilen bağlayıcıdan yapılmıştır. Numunenin kül ve bağlayıcı oranları aşağıdaki gibidir.

Karışımın ağırlık yüzdeleri=%40 kül/%60 polipropilen

Karışımın hacimsel yüzdeleri=%22 kül/ %78 polipropilen

Karışımın hacimsel yüzdesi (4.28) eşitliği kullanılarak

$$Z = \frac{0.9}{2.03} \cdot \frac{0.4/(1-0.4)}{1 + \frac{0.9}{2.03} \frac{0.4}{1-0.4}}$$

Z= 0.228 olarak bulunur. Porozite değeri ise 4.26 eşitliğinden

$$\Phi = 1 - \frac{2.03 \cdot 0.228 + 0.9 \cdot (1 - 0.228)}{3.054 \cdot 0.228 + 0.9 \cdot (1 - 0.228)}$$

$\Phi=0.168$ olarak elde edilir. Bu şekilde hesaplanan Z ve Φ değerleri ve aşağıdaki veriler geliştirilen matematiksel formül olan (4.17) denkleminde yerine konularak

$$k_f = 0.500 \text{ W/mK}$$

$$k_g = 0.0214 \text{ W/mK}$$

$$k_p = 0.6 \text{ W/mK}$$

$$\rho_{\text{kül matris Soma}} = 3.054 \text{ gr/cm}^3$$

$$\rho_{\text{polipropilen}} = 0.9 \text{ gr/cm}^3$$

$$\rho_{\text{külSoma}} = 2.03 \text{ gr/cm}^3$$

$$k_{\text{efş}} = 6,42 \cdot 10^{-3} \left[\frac{1}{0.0107} (1 - 0.228^{2/3}) + \frac{0.228^{2/3} - 0.168^{2/3}}{0.0107(1 - 0.228^{1/3}) + 0.128 \cdot 0.228^{1/3}} + \frac{0.168^{2/3}}{0.0107(1 - 0.228^{1/3}) + 0.128(0.228 - 0.168^{1/3}) + 0.3 \cdot 0.168^{1/3}} \right]$$

$k_{\text{efş}} = 0.424 \text{ W/mK}$ olarak elde edilir.

Diğer numuneler için de benzer hesaplamalar yapılarak herbirinin kuramsal ısı iletim katsayıları Tablo 5.1 ve Tablo 5.2 'de topluca gösterilmiştir.

5. DENEYSEL YÖNTEM VE YAPILAN DENEYLER

Deneyisel çalışmada kullanılan malzemeler ve hazırlanan numunelere uygulanan deneyler, aşağıda verilmiştir. Deneyler iki aşamada tamamlanmıştır. Birinci aşamada, uçucu kül ve polipropilen karışımından yapılan kompozit türü yeni malzemelerin, ısı iletim katsayıları ölçülmüştür. Bu ölçmelerde kararsız sıcak tel yöntemi (Hot Wire) kullanılmıştır. İkinci aşamada ise; yalıtım amacı için üretilen numunelerin su emme oranı kuruma hızı ve mekanik dayanımlarının tespiti için deneyler yapılmıştır.

5.1. Deneylerde Kullanılan Malzeme ve Hazırlanması

Bu çalışmada kullanılan uçucu küller, Afşin-Elbistan ve Soma termik santral uçucu külleri olup, uçucu küller bu santrallerin elektro filitrelerinin altından alınarak temin edilmiştir. Bu küllerin her biri elenmemiş (tabii) ve elenerek 200 mesh üstü elekte kalanlar ($>75 \cdot 10^{-6}$ m.) olmak üzere iki şekilde göz önüne alınmıştır. Bağlayıcı olarak polipropilen kullanılmıştır. Her iki grupta da bağlayıcı ağırlık oranları %90, %80, %70, %60, %50, %40, %30 olarak alınmıştır.

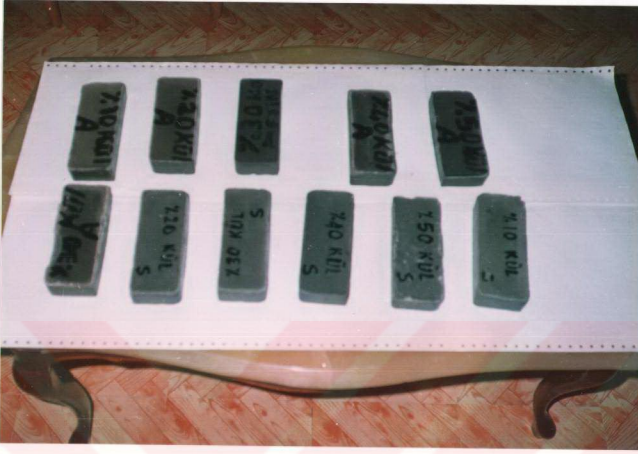
5.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması

28 çeşit yeni kompozit malzemenin ısı iletim katsayıları ölçülmüş ve ayrıca malzemeler basınç ve aşınma deneylerine tabii tutulmuştur.

Isı iletim katsayıları ölçülürken, ölçme aletinin boyutları göz önünde bulundurularak numuneler 150 mm x 60 mm x 20 mm boyutlarında metal kalıplara dökülerek hazırlanmıştır. Çekme ve basınç deneyleri için numuneler 71 mm x 71 mm x 71 mm boyutlarında küp kalıplara dökülerek hazırlanmış, aşınma deneyleri için ise 104 mm çapında dairesel kalıplar kullanılmıştır.

Elenerek her biri iki gruba ayrılmış Afşin-Elbistan ve Soma termik santral uçucu küllerine ağırlıkça % 90, % 80, % 70, % 60, % 50, %40, %30 oranlarında polipropilen bağlayıcı malzeme katılmak suretiyle ayrı ayrı karışımlar oluşturuldu. Bu karışımlar, polipropilenin ergime noktası olan 165 -170 °C civarında fırında eritildikten sonra uçucu kül ile karıştırılarak metal kalıplara döküldü. Bu kalıplar titreşime tabi tutulduktan sonra 75 mm çapında 55 kg ağırlığında sıkıştırma aparatında sıkıştırılarak oda sıcaklığında soğumaya bırakıldı. Bu işlemten sonra numuneler 20-22°C sabit oda sıcaklığında ambalajlanarak ölçüm anına kadar muhafaza edildi(Şekil 5.1).

Bütün numuneler, kül tipleri tane çapları, bağlayıcı tipleri ve karışım oranlarını belirleyecek harf ve rakamlarla kodlandı. Bu kodlamada soldan itibaren ilk harf uçucu külün üretildiği termik santrali (A=Afşin-Elbistan, S=Soma), ikinci harf bağlayıcı cinsini (P= polipropilen) göstermektedir. Harflerden sonraki ilk rakam kül tane çapını (0=Elenmemiş kül, 1= 200 mesh'lik elekte elek üstünde kalan, yani >75 µ tane çaplı külü), ikinci rakam ağırlıkça bileşim yüzdelerini ifade etmektedir. (1= % 90 polipropilen % 10 kül, 2=%80 polipropilen % 20 kül, 3= % 70 polipropilen % 30 kül, 4= % 60 polipropilen % 40 kül, 5= % 50 polipropilen % 50 kül, 6= %40 polipropilen %60 kül, 7= %30 polipropilen %70 kül)



Şekil 5.1. Hazırlanan Deney Numuneleri.

5.3. Isı İletim Katsayısı Ölçümünde Kullanılan Ölçme Aleti ve Çalışma Yöntemi (Hot-Wire Yöntemi)

Çeşitli yapı ve ısı yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayılarının ölçümü; sürekli rejim veya geçici rejim yöntemleri olmak üzere iki metodla yapılmaktadır. Alışılmış yöntem, sürekli rejimde ısıtılmış plaka yöntemidir. Bu yöntemde; ölçümü yapılacak iki örnek levha, ısıtılmış bir plaka ile iki soğutucu plaka arasına yerleştirilir. Örnek levhayı ısıtmak için gerekli elektrik enerjisi, ısı enerjisine dönüştürülür ve ısı iletim katsayısını (k) veren ifade yardımıyla ısı iletim katsayısı hesaplanır. Geçici rejimde ölçüm yapan cihazlar ufak boyutlardaki malzemenin ısı

iletim katsayısını daha kısa sürede saptayabilmektedir. Geçici rejim yöntemleri arasında Angstrom yöntemi, Flash Yöntemi ve Hot Wire Yöntemi başlıcalarıdır (Saequsa,Kamata, 1974).

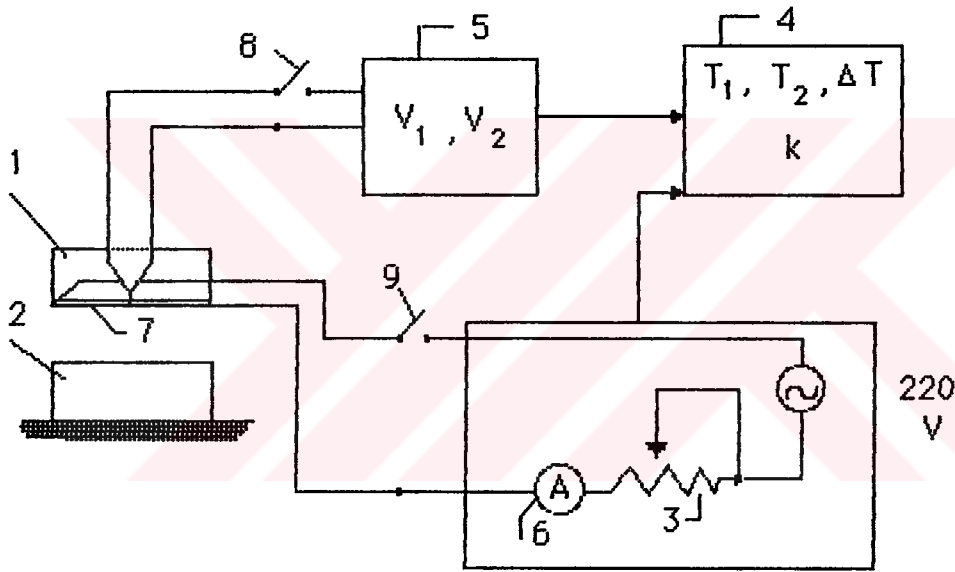
Bu çalışmada, ısı iletim katsayılarının ölçümünde İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Isı Laboratuvarlarında bulunan DIN 51046' ya göre geliştirilmiş geçici rejimde ısı iletim katsayısının ölçümünde kullanılan ve Hot- Wire yöntemi ile çalışan Shotherm QMT-D2 aleti kullanılmıştır(Şekil 5.2). Bu yöntemin en büyük avantajı, malzemenin içerisindeki nem derecesinde bir değişiklik meydana getirmeden gerçek ısı iletim katsayısının ölçülebilmesidir. Bu yöntemin levha tipi ısı iletim katsayısı ölçme yönteminden farkı ısı iletim katsayısı ölçülen ortamın heterojen yapılı olması durumunda bile ölçümün yapılabilmesidir (Vysniaukas,Zikas,1988). Bu metotta ölçme duyarlılığı ($\pm 5\% + 1$ digit), ölçme aralığı ise $0.02-10$ (W/mK) olarak verilmektedir.



Şekil 5.2. Isı İletim Katsayısı Ölçme Aleti

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

Üstteki örnek yalıtılmış ve ısı iletim katsayısı bilinen bir plaka (prob) alttaki örnek ise ısı iletim katsayısı ölçülecek olan numunedir. Hot-Wire ölçme yöntemine göre hazırlanan ölçme sistemi Şekil 5.3' de verilmiştir.



Şekil 5.3 Isı İletim Katsayısı Ölçme Cihazı Devre Şeması.

1: ölçme probu, 2: ısı iletim katsayısı bilinmeyen malzeme, 3: Ayarlı direnç (Potansiyometre)
4: Mikro bilgisayar, 5: Milivoltmetre, 6: Ampermetre, 7: Sıcak tel , 8,9: Anahtar.

Cihazda ölçüme başlamadan önce cihazın kalibrasyon işlemi yapılır. Bundan sonra 8 numaralı anahtar kapatılarak, termoeleman devresindeki 5 numaralı milivoltmetre ile V_1 gerilimi tespit edilir. Bu gerilime tekabül

eden T_1 sıcaklığı, dijital ekranda okunur. Bu işlemin ardından 9 numaralı anahtar kapatılıp ısıtıcı tele 60 saniye süre ile elektrik akımı verilerek, tel sıcaklığındaki yükselme V_2 gerilimine kadar ekrandan T_2 sıcaklığı olarak tespit edilir. Bu arada T_1-T_2 sıcaklık farkı da ΔT şeklinde ekrandan görülerek aynı anda ısı iletim katsayısı dijital olarak W/mK biriminde okunur.

Bu işlemler her ölçüm için yeniden tekrarlanarak sürdürülür.

Bu yöntemde ısı iletim katsayısı;

$$k = \frac{q \cdot \ln\left(\frac{t_1}{t_2}\right)}{4\pi\Delta T} \quad (5.1)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır.

$$q = \frac{R \cdot I^2}{L} \quad (5.2)$$

elektrik-ısı enerjisi dönüşümü ile (L ısıtıcı tel uzunluğu),

$$V_2 - V_1 = \zeta \cdot (T_2 - T_1) = \zeta \Delta T \quad (5.3)$$

termoelemanın gerilim sıcaklık ilişkisi kullanılırsa;

$$k = \frac{\frac{R.l^2}{L} \ln \left(\frac{t_1}{t_2} \right)}{\frac{4\pi}{\xi} (V_2 - V_1)} \quad (5.4)$$

elde edilir. Bu denklemde ;

$$k = \frac{R.\xi}{4\pi L} \quad (5.5)$$

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

Bu durumda;

$$k = \frac{K.l^2 \ln \left(\frac{t_1}{t_2} \right)}{(V_2 - V_1)} \quad (5.6)$$

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

$$k = \frac{K.l^2 \ln \left(\frac{t_1}{t_2} \right)}{(V_2 - V_1)} - H \quad (5.7)$$

şeklini alır.

Deney numunelerinin ölçümünde OTM-PD-2 tipi ve 10190 seri numaralı prop kullanıldı. Bu proba ait sabit katsayılar cihaz kataloğundan

alınmış olup aşağıda verilmiştir.

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

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

Ölçülecek numunenin toz veya blok halinde olması ve yüzey pürüzlülüğüne göre farklı prop kullanılır. Her standart OTM probunun Cihaz ince ayarı ölçümlerden önce farklı K ve H sabitlerine göre ayarlanarak, ısı iletim katsayısı değeri (5.7) eşitliğinden cihaz içindeki mikrobilgisayar ile hesaplanır.

Ölçüm esnasında, probun ve malzemenin yüzeyi temiz olmalı ve malzeme oda sıcaklığında tutulmalıdır. Cihazın doğru ölçüm yaptığını kontrol etmek için ilk ölçüm referans plakalarından biri ile yapılabilir. Referans plakasının verilen ısı iletim katsayısı ile bu plakanın ölçüm sonucu elde edilen ısı iletim katsayısı $\pm \%5$ arasında farklılık gösteriyorsa ölçüm doğrudur.

Deney numunelerinin herbirinin ısı iletim katsayıları, 28-30 °C oda sıcaklığında, üç ayrı noktadan üçer defa yukarıda bahsedilen bu yöntemle ölçülmüş, sonuçların aritmetik ortamlamaları alınarak elde edilen ısı iletim katsayıları Tablo 5.1 ve Tablo 5.2 'de gösterilmiş ve ayrıca grafiğe aktarılmıştır (Şekil 5.4, Şekil 5.5 Şekil 5.6, Şekil5.7).

Tablo 5.1. Afşin-Elbistan Elenmemiş Uçucu Külü Numunelere Ait Özellikler

Sıra No	Malzeme Kodu	Ağır Kül Oranı (%)	Yoğunluk (gr/cm^3)	Porozite (%)	Isıl İletim kats. Deneysel (W/mK)	Isıl İletim kats. Kuramsal (W/mK)
---------	--------------	--------------------	--------------------------------------	--------------	---	---

Polipropilen Bağlayıcılı Numuneler

1	AFP0-1	10	1.178	4.5	0.470	0.530
2	AFP0-2	20	1.273	8.7	0.430	0.490
3	AFP0-3	30	1.384	12.5	0.403	0.448
4	AFP0-4	40	1.409	16	0.385	0.430
5	AFP0-5	50	1.422	19.2	0.371	0.400
6	AFP0-6	60	1.501	22.2	0.350	0.380
7	AFP0-7	70	1.530	25	0.338	0.350

$> 75.10^{-6}$ m. tane çaplı Kül+Polipropilen Bağlayıcılı Numuneler

8	AFP1-1	10	0.95	6.1	0.445	0.510
9	AFP1-2	20	1.150	11.6	0.430	0.460
10	AFP1-3	30	1.294	16	0.400	0.431
11	AFP1-4	40	1.348	20.7	0.380	0.400
12	AFP1-5	50	1.395	24	0.350	0.370
13	AFP1-6	60	1.455	28	0.320	0.340
14	AFP1-7	70	1.480	31	0.300	0.320

Tablo 5.2. Soma T.S. Elenmemiş Uçucu Külü Numunelere Ait Özellikler

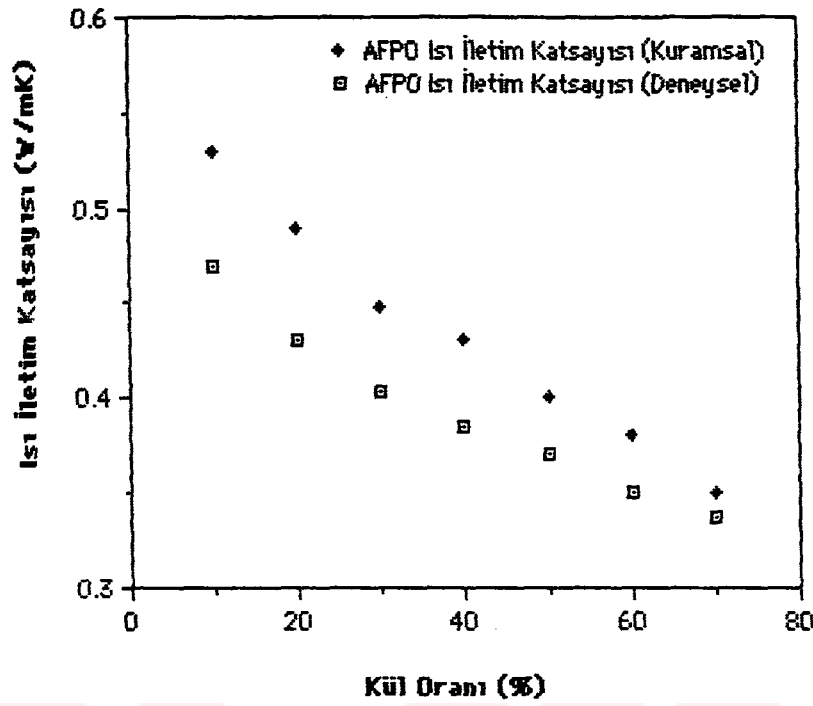
Sıra No	Malzeme Kodu	Ağırlıkça Kül Oranı (%)	Yoğunluk (gr/cm^3)	Porozite (%)	Isıl İletkenlik Deneysel (W/mK)	Isıl İletim kats. Kuramsal (W/mK)
---------	--------------	-------------------------	--------------------------------------	--------------	---	---

Polipropilen Bağlayıcılı Numuneler

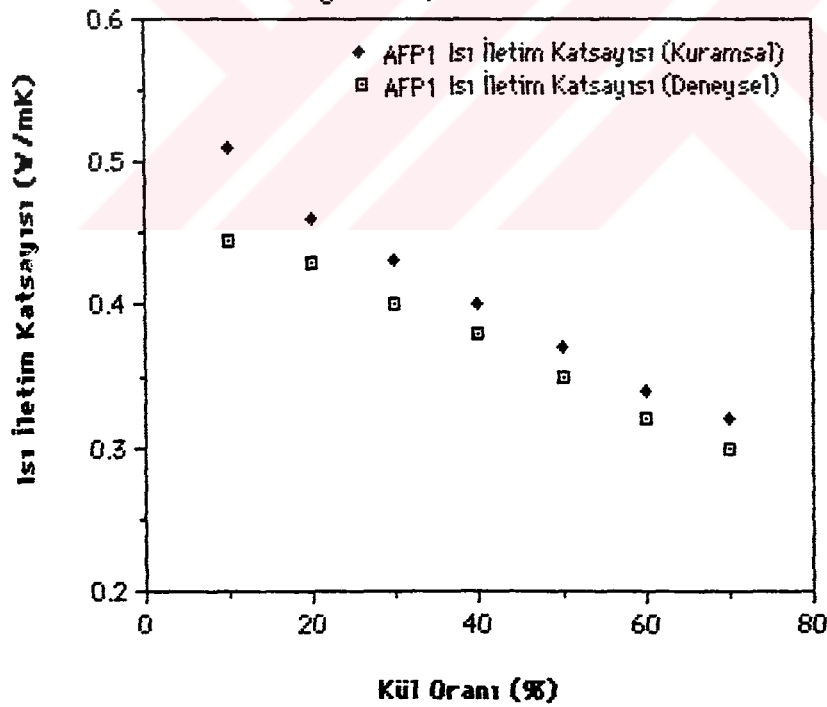
1	SP0-1	10	1.310	4.8	0.455	0.528
2	SP0-2	20	1.430	9.1	0.415	0.486
3	SP0-3	30	1.394	13.1	0.385	0.453
4	SP0-4	40	1.418	16.7	0.370	0.424
5	SP0-5	50	1.450	20.1	0.355	0.398
6	SP0-6	60	1.494	23.2	0.345	0.373
7	SP0-7	70	1.527	26	0.333	0.349

> 75.10⁻⁶ m. tane çaplı Kül+Polipropilen Bağlayıcılı Numuneler

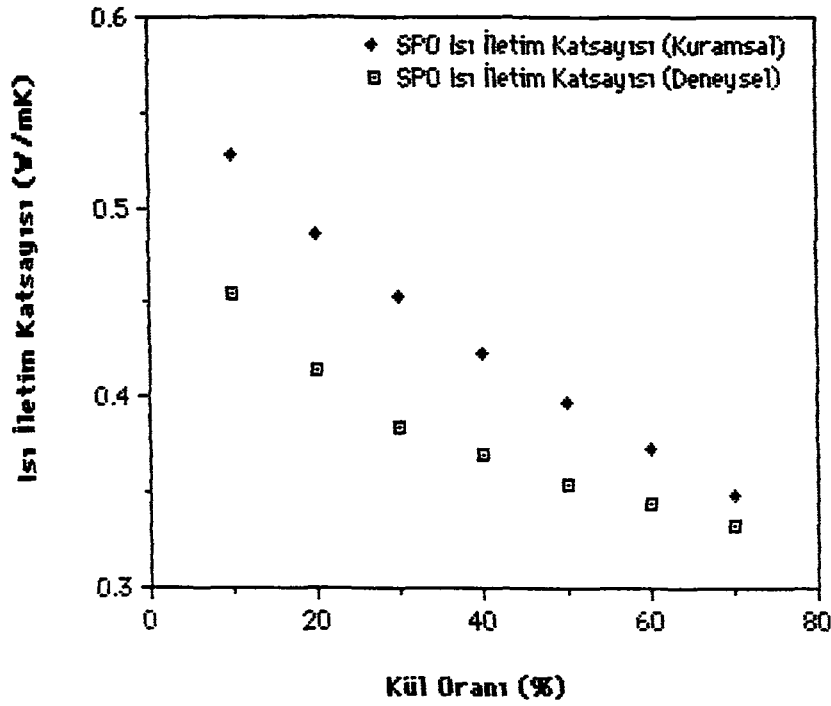
8	SP1-1	10	1.110	5.4	0.440	0.522
9	SP1-2	20	1.230	10.2	0.410	0.477
10	SP1-3	30	1.344	14.6	0.380	0.442
11	SP1-4	40	1.388	18.6	0.352	0.412
12	SP1-5	50	1.410	22.3	0.325	0.385
13	SP1-6	60	1.454	25.6	0.295	0.359
14	SP1-7	70	1.487	28.6	0.280	0.335



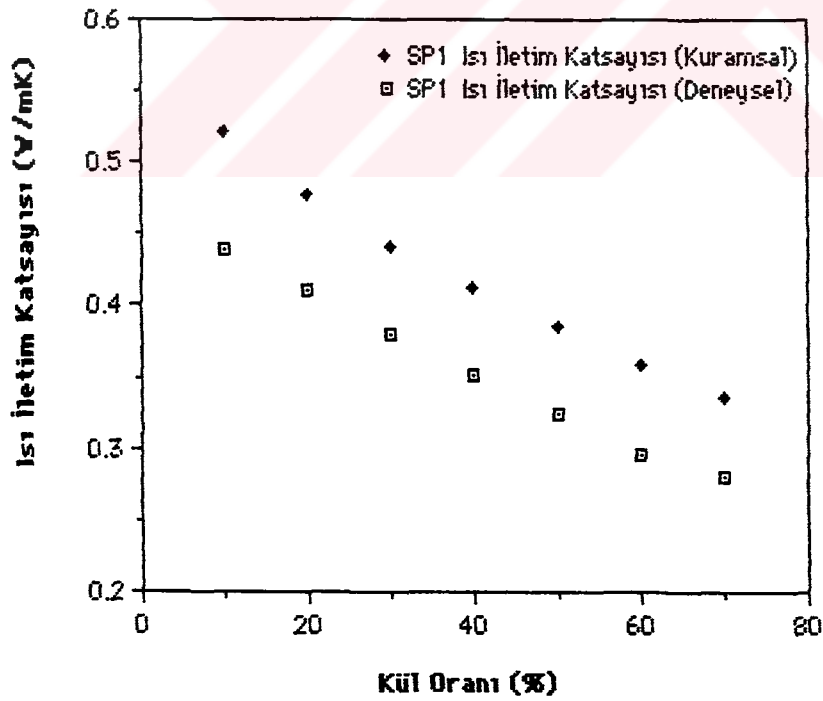
Şekil 5.4. Afşin Elbistan Uçucu Köllü Numunelerin Kül Oranı - Isı iletim Katsayısı ilişkisi.



Şekil 5.5. $>75.10^{-6}$ m Uçucu Köllü Numunelerin Kül Oranı - Isı iletim Katsayısı ilişkisi.



Şekil 5.6. Soma Uçucu Külü Numunelerinin Kül Oranı-Isı İletim Katsayısı ilişkisi.



Şekil 5.7 $>75.10^{-6}$ m Uçucu Külü Numunelerinin Kül Oranı - Isı İletim Katsayısı ilişkisi.

5.4. Su Emme Deneyi

Bu deneyin amacı, su ile direk temasta olacak yapı malzemelerinde, donma sonucu, bünyelerinde buz kristallerinin genleşme imkanı bulabileceği bir kuru hacim mevcudiyetinin araştırılmasıdır. Bu  zelik malzemeye, donmaya karşı güvence sağlamaktadır (Borhan, 1985). Numuneler üzerinde yapılan su emme deneylerinde birbirinden farklı su emme oranları elde edilmiştir.

Kritik rutubet miktarı, hacmin yaklaşık olarak % 30 ' udur. Bundan daha az oranda rutubet bulunduran malzeme donsa da hasara uğramamaktadır. Rutubet miktarının % 30' un üstünde olması halinde ise malzemede don hasarı olacaktır. Bu hasarlar malzeme yüzeyinde tozlanma ve kabuk halinde dökülme, çatlama veya toplam kütlenin dağılması şeklinde görülür (TSE,388,415,452). Bu bakımdan bu çalışmada göz önüne alınan yeni kompozit malzemelerin su emme oranlarını tespit etmek önem taşımaktadır. Su emme deneyi, örnek olarak elenmemiş uçucu küllü numunelere uygulanmıştır.

5.4.1. Deneyin Yapılışı

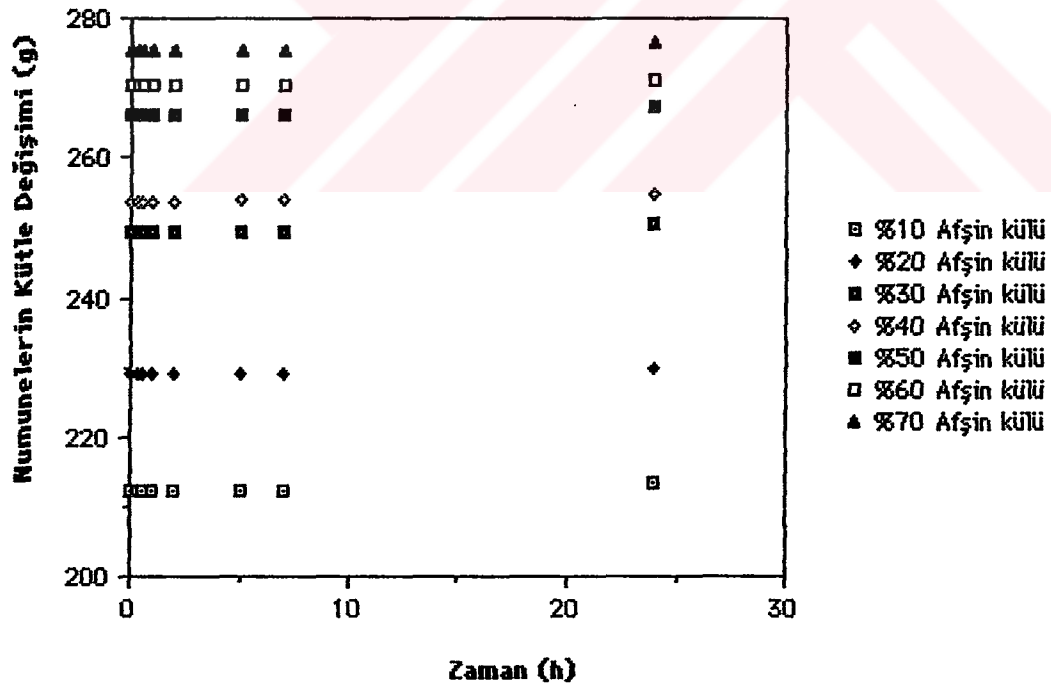
Deney numuneleri $(105\pm5) ^\circ\text{C}$ sıcaklığa ayarlanmış etüve konularak, ağırlığın sabit olduğu görülünceye kadar kurutuldu. Bu şekilde değişmez ağırlığa getirilmiş numuneler üzerindeki tozlar, bir fırça ile temizlendikten sonra 0.1 gr duyarlılıkta tartılarak, kuru numune ağırlıkları (W_k) tesbit edildi .Bu şekilde kurutulmuş numuneler, içinde oda sıcaklığında ve numune uzunluğunun $1/4$ '   kadar derinlikte su bulunan kaba yerleştirildi. Bir saat sonra numuneler yarıya kadar ikinci saatin sonunda da $3/4$ '   su içinde kalacak şekilde kaba su ilave edildi. Deneylerin

başlangıcından 24 saat sonra numuneler tamamen su içinde kalacak şekilde kaba su ilave edildi. Bu durumda 24 saat bekletildikten sonra sudan çıkarılan numuneler, ıslatılarak sıkılmış bir bez parçası ile silinip bekletilmeden 0.1 gr duyarlılıktaki terazide tartıldı ve su emdirilmiş ağırlıklar bulundu (W_d). Bu iki ağırlığın oranı alınarak su emme yüzdesi aşağıdaki ifade ile % olarak hesaplandı (T.S.E 388. 415, Vd). Su emme oranı:

$$S.E = \frac{W_d - W_k}{W_k} \cdot 100$$

Deney sonuçları Tablo 5.3' de topluca verilmiştir ve sonuçlar ayrıca grafiklere aktarılmıştır. (Şekil 5.8, Şekil 5.9)

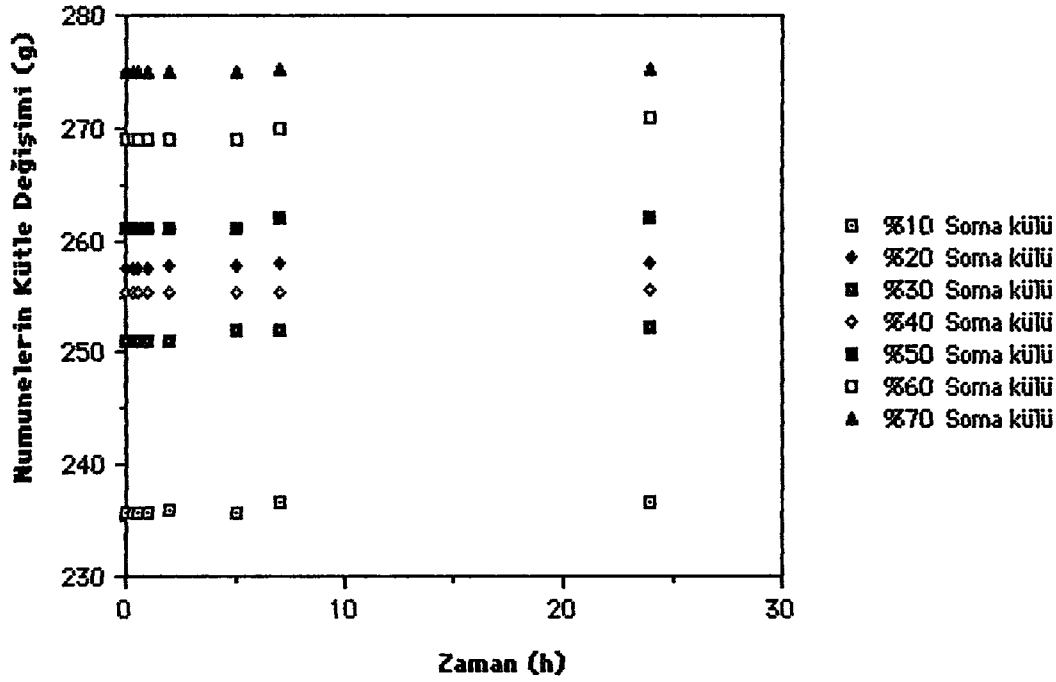
Su emme deney sonucunda numunelerin su emme miktarı görüldüğü gibi % 30 standart kritik değerin çok altında kalmaktadır.



Şekil 5.8. Afşin Elbistan Uçucu Küllü Numunelerin Su Emme Deneyinde Zamana Bağlı Kütle Değişimi.

Tablo 5.3. Su Emme Deneyi Sonuçları.

Küi(%) Süre	SOMA UCUCU KÜLLÜ NUMUNE AĞIRLIKLARI (gr)							AFŞIN UCUCU KÜLLÜ NUMUNE AĞIRLIKLARI (gr)						
	10	20	30	40	50	60	70	10	20	30	40	50	60	70
Etüv çıkışı	235.80	257.41	251.01	255.36	261.06	269.02	275	212.13	229.20	249.20	253.70	256.05	270.30	275.40
1/3 Saat	235.80	257.41	251.01	255.36	261.06	269.02	275	212.18	229.22	249.25	253.76	256.05	270.35	275.43
2/3 Saat	235.80	257.41	251.01	255.36	261.08	269.08	275.04	212.18	229.22	249.25	253.76	256.05	270.38	275.45
1 . Saat	235.80	257.41	251.01	255.36	261.08	269.08	275.04	212.20	229.25	249.28	253.77	256.18	270.39	275.50
2 . Saat	236.03	257.70	251.17	255.37	261.10	269.09	275.08	212.22	229.26	249.30	253.77	256.18	270.43	275.52
5. Saat	236.69	257.85	252	255.40	261.10	269.09	275.08	212.22	229.26	249.31	253.78	256.20	270.44	275.55
7. Saat	236.80	257.90	252.05	255.40	262	270	275.15	212.26	229.30	249.40	253.81	256.24	271.50	276
24. Saat	237	258	252.15	256	262	271	275.50	212.29	229.30	249.40	253.81	256.24	271.50	276
Su emme Oranı(%)	0.50	0.22	0.45	0.25	0.36	0.73	0.16	0.07	0.04	0.08	0.04	0.07	0.44	0.21



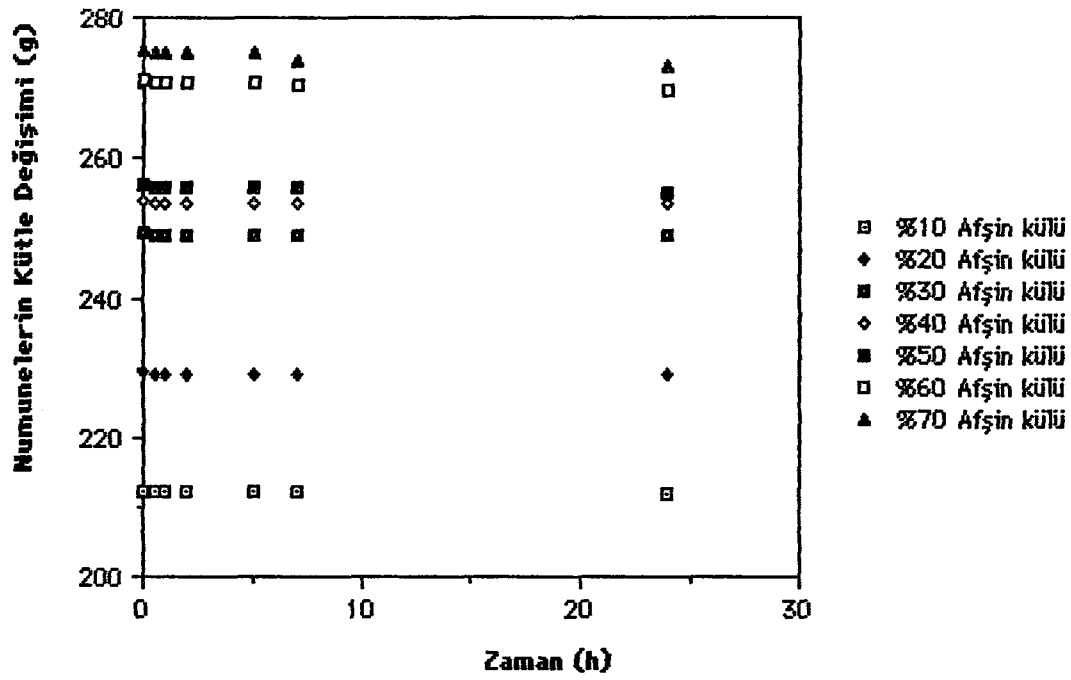
Şekil 5.9. Soma Uçucu Küllü Numunelerin Su Emme Deneyinde Zamana Bağlı Kütle Değişimi

5.5. Kuruma Hızı Deneyi

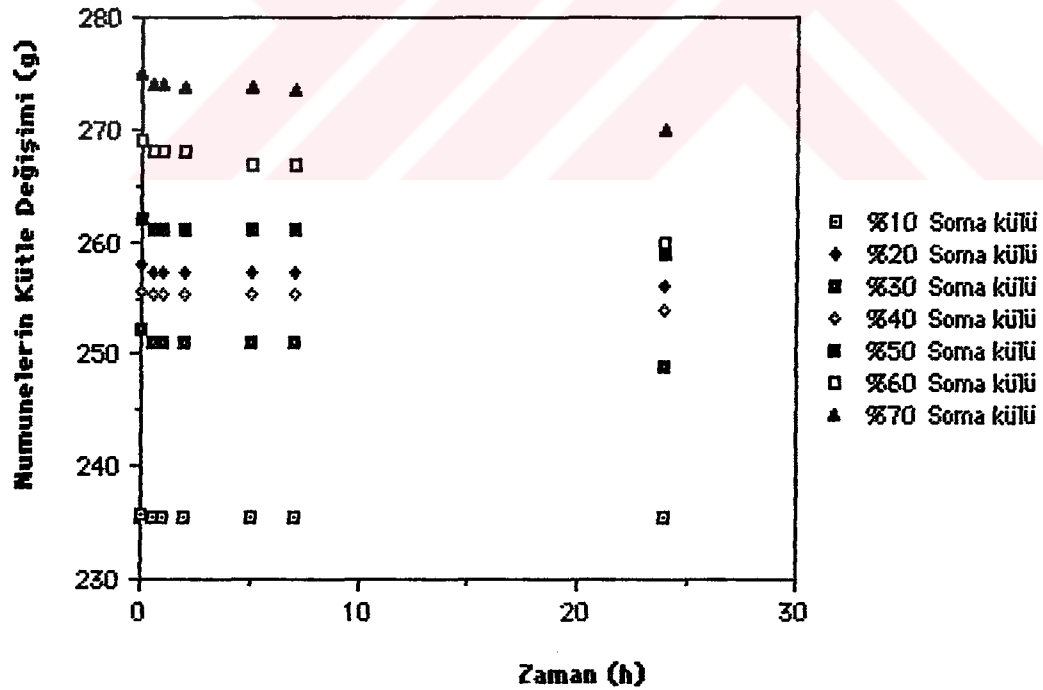
Kuruma hızı deneyinde amaç, numunelerin teneffüs kabiliyetinin araştırılmasıdır. Kuruma işlemi malzeme yüzeyinden buharlaşma yolu ile olduğundan burada malzeme derinliğinden yüzeye kılcal kanallar vasıtasıyla suyun hareketi söz konusudur. Bu bakımdan hızlı su emme özelliğine sahip malzemeler aynı şekilde hızlı kuruma, yavaş kılcal su emme özelliğine sahip malzemeler yavaş kuruma özeliği gösterirler (T.S.E 704, 705). Yani buhar geçirgenlik direnci vasıtasıyla rutubet bünyeden atılarak kurumaktadır. 24 saat su kabı içerisinde bekletilen numuneler sudan çıkarılıp bir bezle silindikten sonra 20 °C lık oda sıcaklığında doğal kuruma bırakılmıştır. Kuruma hızı ölçümleri oda sıcaklığında doğal kuruma sonucu elde edilmiştir. Sonuçlar Tablo 5.4' de topluca verilmiş ve Şekil 5.10, Şekil 5.11' de grafiklere aktarılmıştır.

Tablo 5.4. Kuruma Hızı Deney Sonuçları.

Küt(%)	SOMA UCUCU KÜLLÜ NUMUNE AĞIRLIKLARI (gr)							AFŞIN UCUCU KÜLLÜ NUMUNE AĞIRLIKLARI (gr)						
	10	20	30	40	50	60	70	10	20	30	40	50	60	70
Süre														
Su kabı çıkışı	237	258	232.15	255.50	262	271	275.20	212.29	229.30	249.40	253.81	256.24	271.50	276
1/2 Saat	236.56	257.38	251	255.33	261.10	270.10	274	212.15	229.18	249.16	253.71	256.07	271.33	275.50
1 . Saat	236.56	257.37	250.94	255.32	261.00	269.01	274	212.13	229.15	249.15	253.67	256.05	270.90	275.18
2 . Saat	235.55	257.37	250.94	255.32	260.99	268	273.81	212.12	229.15	249.13	253.65	256.05	270.88	275.10
5 . Saat	235.50	257.37	250.94	255.32	260.99	268	273.81	212.12	229.15	249.12	253.60	256.02	270.86	275.10
7 . Saat	235.50	256.10	250.94	255.32	260.99	267.95	273.55	212.11	229.15	249.11	253.60	256.02	270.84	275
24 . Saat	235.49	256	249	254	259	260	270	212	229	249	253.50	256	270	274
Kuruma hızı (gr/24 Saat)	0.6	0.77	1.25	0.6	1.15	4.2	1.9	0.13	0.13	0.1	0.1	0.1	0.5	0.8



Şekil 5.10. Afşin Elbistan Uçucu Küllü Numunelerin Kuruma Hızı Deneyinde Zamana Bağlı Kütle Değişimi.



Şekil 5.11. Soma Uçucu Küllü Numunelerin Kuruma Hızı Deneyinde Zamana Bağlı Kütle Değişimi.

5.5. İşlenebilirlik Özelliği ve Mekanik Dayanım

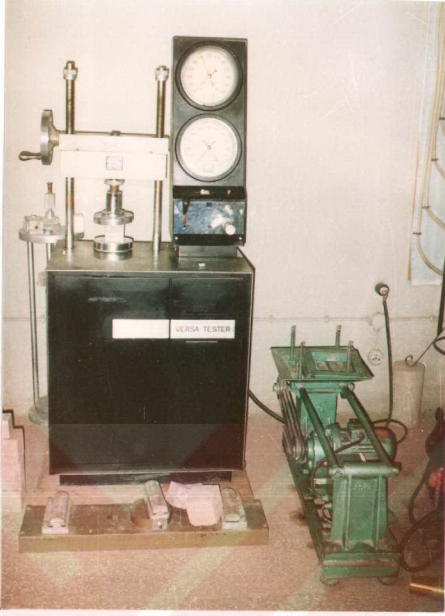
Deney örnekleri üzerinde yapılan uygulamada uçucu küllü numunelerin testere ile düzgün yüzey verecek şekilde kesilebildiği, matkap ile delinebilir olduğu tesbit edilmiştir. 28 günlük standart kuruma dönemlerinden sonra elenmemiş uçucu küllü numunelere laboratuarda TS 699 standardına uygun basınç ve aşınma deneyleri yapılmıştır. Örnek numuneler Şekil 5.12' de ve deney cihazları Şekil 5.13, Şekil 5.14' de gösterilmiştir. Yine yapılan sürtünmeden dolayı aşınma deneylerinde (Böhme) 66 d/dak devri için aşınma kayıpları her numune için

$$\text{Aşınma kaybı} = \frac{\text{İlk ağırlık} - \text{Son ağırlık}}{\text{İlk ağırlık}} \cdot 100$$

formülünden tesbit edilerek Tablo 5.5 ve Tablo 5.6' da topluca gösterilmiş ve grafiklere aktarılmıştır (Şekil 5.15, Şekil 5.16).



Şekil 5.12. Hazırlanan Deney Numuneleri.



Şekil 5.13. Basma Deney Cihazı.



Şekil 5.14. Aşınma Deney Cihazı.

Tablo 5.5. Afşin Elbistan Uçucu Küllü Numunelerin Aşınma Kaybı
Deney Sonuçları.

Numune no	Numunelerin başlangıçtaki ağırlıkları (gr)	Numunelerin aşındıktan sonraki ağırlıkları (gr)	Aşınma kaybı (%)
AEPO-1	228	227.2	0.350
AEPO-2	234.2	232.8	0.597
AEPO-3	238.1	236.4	0.713
AEPO-4	241	238.5	1.037
AEPO-5	245.6	242	1.465
AEPO-6	249	245.1	1.566
AEPO-7	255.3	250.9	1.723

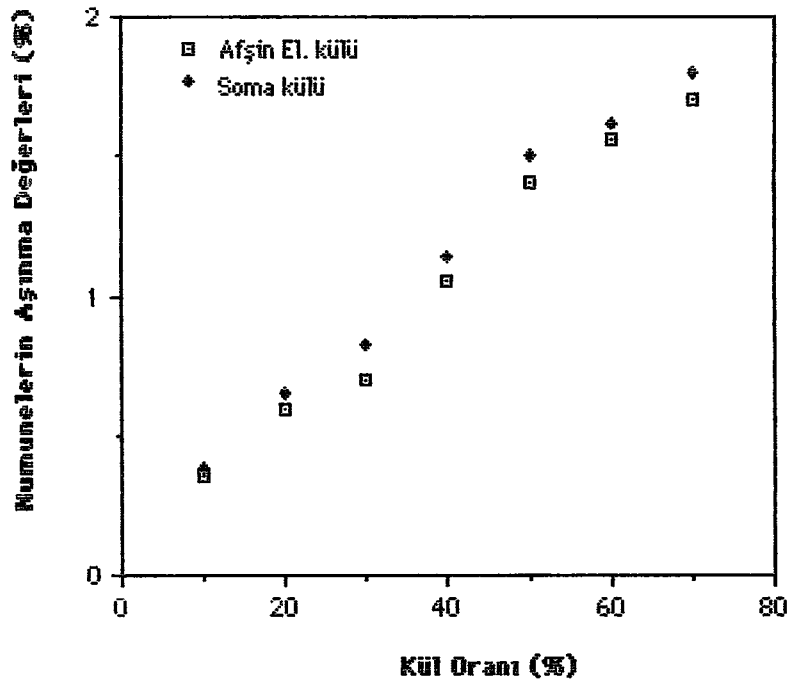
Tablo 5.6. Soma Uçucu Küllü Numunelerin Aşınma Kaybı

Deney Sonuçları.

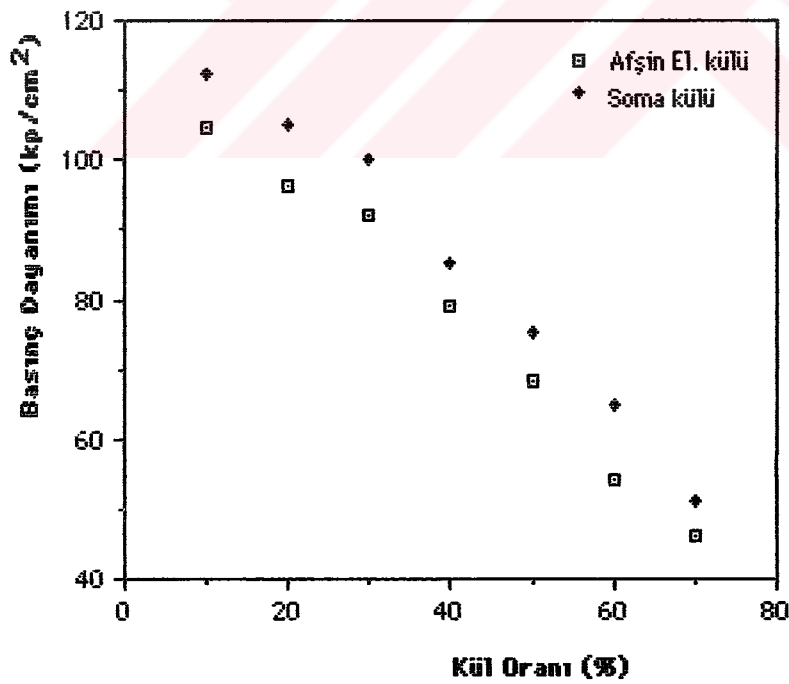
Numune no	Numunelerin başlangıçtaki ağırlıkları (gr)	Numunelerin aşındıktan sonraki ağırlıkları (gr)	Aşınma kaybı (%)
SP0-1	237	236.1	0.379
SP0-2	245.1	243.5	0.652
SP0-3	253.4	251.3	0.828
SP0-4	261.2	258.1	1.186
SP0-5	276	271.8	1.521
SP0-6	282.8	278	1.697
SP0-7	289.3	284	1.832

Tablo 5.7. Basma Mukavemeti Deney Sonuçları.

SIRA NO	UÇUCU KÜL YÜZDESİ (%)	BASMA MUKAVEMETİ (kp/cm^2)
AFŞİN-ELBİST AN UÇUCU KÜLLÜ NUMUNE	AEPO-1	104.5
	AEPO-2	96.2
	AEPO-3	92.8
	AEPO-4	79.6
	AEPO-5	68.3
	AEPO-6	54.1
	AEPO-7	46.2
SOMA UÇUCU KÜLLÜ NUMUNE	SPO-1	112.5
	SPO-2	105.2
	SPO-3	100.5
	SPO-4	85.8
	SPO-5	75.4
	SPO-6	65.3
	SPO-7	51.2



Şekil 5.15. Numunelerin Aşınma Değerleri-Kül Oranı ilişkisi.



Şekil 5.16. Numunelerin Basınç Dayanımı-Kül Oranı ilişkisi.

6. SONUÇ TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Farklı oranlardaki Afşin Elbistan ve Soma termik santral uçucu külleri ile polipropilen karışımlarından üretilen yeni bir kompozit türü malzemenin ısı ve mekanik özelliklerinin araştırılması üzerine yapılan bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar ortaya çıkmıştır.

1. Bu çalışma ile termik santral uçucu külleri gibi katı gözenekli malzemelere çeşitli oranlarda bağlayıcı olarak polipropilen katılarak elde edilen yeni kompozit malzemelerin ısı iletim katsayılarının hesaplanmasında kullanılabilecek matematiksel bir denklem geliştirilmiştir. Bu denklem ile hesaplanan ısı iletim katsayıları ile deneysel ölçüm sonuçlarının uyum içerisinde oldukları saptanmıştır(Şekil 5.4+Şekil 5.7).

2. Türkiye’de çalışır durumdaki termik santrallerde yıllık üretimi 10 milyon tonu aşan uçucu kül potansiyeli mevcuttur. Bu küllerin yapı malzemesi üretiminde değerlendirilmesi halinde, termik santrallerde bu atık malzemenin depolanması, taşınması, çevreye olan istenmeyen etkileri gibi çözümü zor sorunlara da çözüm gelecektir.

3. Ülkemizde inşaat malzemelerine olan talep ve malzeme maliyetleri giderek artan bir hızla yükselmektedir. Bu çalışmada; uçucu kül polipropilen kombinasyonu şeklinde ısı, ses ve neme karşı yalıtım özeliğine sahip ve aynı zamanda aşınmaya karşı dirençli yeni bir kompozit malzeme elde edilmiştir. Üretilen bu tür malzemelerin marley türü döşeme kaplamasında, çatı yalıtımında ve gerek toprak altı ve gerekse toprak üstü duvarlarda kaplama plakası olarak kullanılması ile binalar ısı, ses ve neme karşı korunmuş olurken ısınma amaçlı enerji tasarrufu da sağlanmış olacaktır.

- Uçucu küller gözenekli bir yapıya sahiptir. Gözeneklilik oranı iri taneli küllerde yüksek olup, tane çapı küçüldükçe külün yoğunluğu artmakta ve gözenekli yapı kaybolarak yerine dolu taneli yapı ortaya çıkmaktadır. Nitekim bu çalışmada Şekil 5.4, 5.5, 5.6, 5.7 ' nin incelenmesi halinde $>75.10^{-6}$ m tane çaplı numunelerde kullanılan küllerin büyük bir bölümünün içi boş olup gözeneklilik oranlarının fazla olması nedeniyle ısı iletim katsayıları daha küçük çıkmıştır.

-Deneyisel ölçümlerde en düşük ısı iletim katsayısı, Soma Termik Santralinde elde edilen uçucu küllü numunelerde tespit edilmiştir. Afşin-Elbistan Termik santral uçucu küllü numunelerin ısı iletim katsayısı 0.338 W/mK, Soma Termik Santral uçucu küllü numunelerin ise 0.333 W/mK olarak ölçülmüştür.

- Şekil 5.4-Şekil 5.7 incelenmesinde ısı iletim katsayıları kuramsal sonuçlarının deneyisel sonuçlardan büyük çıktığı görülmektedir. Bunun nedeni matematiksel denklemin geliştirilmesi sırasında yapılan kabullerden ileri gelmekte ve doğal olarak gerçek ölçümlerden farklı çıkmaktadır.

- Uçucu kül-polipropilen bağlayıcı kombinasyonlarında kül oranı arttıkça ısı iletim katsayısı küçülmektedir. En büyük ısı iletim katsayısı polipropilen oranı %90 olan numunelerde, en küçük ısı iletim katsayısı ise polipropilen oranı % 30 olan numunelerde görülmüştür(Şekil 5.4-Şekil 5.7).

- Su emme oranı bütün numunelerde %4-%10 arasında değişmektedir. Bu oranlar TSE 704 ve 705' de verilen % 30' luk üst limit değerinden oldukça düşüktür. Bu nedenle bu çalışmada göz önüne alınan kompozit malzemeler 0 °C' nin altındaki sıcaklıklarda ve su ile direk temasın olduğu yerlerde dahi rahatlıkla kullanılabilecektir(Şekil 5.8, Şekil 5.9).

- Oda sıcaklığında yapılan doğal kuruma deneyinde Şekil 5.10 ve Şekil

5.11' den görüldüğü gibi numunelerin bünyesinde bulunan nemin azaldığı ve kütle değişiminin söz konusu olması nedeniyle üretilen malzemeler için az da olsa bir tenefüs kabiliyetinden bahsetmek mümkündür.

-Numunelerde polipropilen oranı arttıkça basınç ve aşınmaya karşı dayanımın da arttığı görülmektedir.

- Basma mukavemetinin kül oranına bağlı olarak azalmasının sebebi kül arttıkça yapıda kül hakim olmakta külün basma özellikleri, sonucu büyük oranda etkilemektedir. Külün basma mukavemetinin düşük olduğu dikkate alınınca kül oranının yüksek olması nedeniyle basma mukavemetinin düşük olduğu ortaya çıkmaktadır(Aksoy, 1998).

- Kül oranına göre aşınma direncinin değişimi de basma deneyi sonuçlarına benzemektedir. Yani kül oranı arttıkça aşınma oranı artmakta diğer bir ifadeyle aşınma direnci azalmaktadır.

Bu sonuç şu şekilde açıklanabilir; sürtünme sırasında sisteme verilen enerjinin bir kısmı, matrisin deformasyonuna, ısıya, aşınmaya harcanmaktadır. Matris kuvvetli ve enerji yutma kabiliyetine sahipse sisteme verilen enerjinin önemli kısmı matris tarafından yutulur. Böylece aşınmaya harcanan enerji miktarı azalır. Kül miktarı arttıkça matris azalacağından elemanın enerji yutma kabiliyeti azalır ve aşınmaya harcanan enerji miktarı artar buna bağlı olarak ta aşınma direnci düşer. Ayrıca, matrisle kül tanecikleri arasında kuvvetli bir bağın olmadığı dikkate alınırsa bu sonuçların olabileceği kaçınılmazdır.

Uçucu kül ile polipropilen benzeri bağlayıcılar ile özellikle yüksek kül oranlı numuneler için mukavemet artırıcı katkı maddeleri kullanılarak pencere ve kapı türü yapı malzemesi üretimi yapılabileceği gibi farklı termik santral uçucu külleri kullanılarak benzeri çalışmalar yapılması konuya daha geniş boyutlar kazandıracaktır.

KAYNAKLAR

"Afşin-Elbistan Linyit İşletmesi Müessesesi", (1978), T.C. **Başbakanlık Yüksek Denetleme Kurulu Raporu**, Ankara.

Afşin-Elbistan ve Soma Termik santrali Baca Gazları Analiz Raporları

AKKURT, T. S., (1986)" Amorf Polimerlerin Mekanik Davranışları ve Kopma Özellikleri", **İTÜ Dergisi**, Cilt 44, Sayı 5,6,51.

AKKURT, T. S., (1991), " Plastik Malzeme Bilgisi", İTÜ Makina Fakültesi, İstanbul.

AKSOY, M., KARAMIŞ, M. B., EVİN, E., (1995), " An Evalation of The Wear Behaviour of a Dual-Phase Low Carbon Steel" Wear, pp 248-252, USA.

AKSOY, M., (1998), "Şahsi Görüşme".

ARAÇ, M., (1970) Malzeme Bülteni" **D.S.İ. Genel Müdürlüğü Araştırma Dairesi Başkanlığı**, Ankara. Rapor No: MLZ-514.

ARAS, M., (Feb 1971)" The Effect of Pozzolanix Admixtures on Heat of Hydration of Portland Cement and Shrinkage of Mortar and Concrete, ODTÜ.

ATAGÜNDÜZ, Gürbüz, (1983)" **Isı Transferi**", Ege Üniversitesi, Bornova, İzmir.

BAL, H., (1997), " Polimer Betonların Bazı Özellikleri" , Yüksek Lisans Semineri, F.Ü. Fen Bilimleri Enstütüsü, Elazığ.

BARTON, R., (March 19,1967)" Row Materials for Manufactures of Cement", **Procedings Syposium on Fly Ash Utilization**, Pittsburgh,16.

BAŞAR, Y., (1993) " **Plastik Araştırma Geliştirme ve İnceleme Dergisi**", Sayı 15, ss.11-28, Ankara.

BİÇER, Y.,(1990), " Termik Santral Uçucu Küllerinin Değişik Bağlayıcı Kombinasyonlarda Isı İletim Özelliklerinin Analizi ve Değerlendirilmesi",

Doktora Tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

BİÇER, Y., AYHAN, T., PIHTILI, K., (1992), " Termik Santral Uçucu Külleri İçeren Yalıtım Sıvası Üzerine Bir Araştırma", TIBTD, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, Cilt 15, Sayı 3-4, Sa:24-29.

BAYAZIT, Ö.L. (1980)"Tunçbilek Uçucu Küllerinin Betonun Fiziko-Kimyasal ve Mekanik Özelliklerine Etkileri ", **Doktora Çalışması**. A.D.M.M.A., Ankara.

BAYKAL, G., ÖZTURAN, T., SAVAŞ, M., RAMADAN, K., (18-19 Kasım 1993)"Uçucu Külün İnşaat Mühendisliğinde Bazı Kullanım Olanakları " **Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu**, Sh. 89-102, Ankara.

BRINK, R.H. and HALSTEAD, W.J., (1956), "Studies Relating to the Testing of Fly Ash for Use in Concrete" **Proc. ASTM 56**, 1161-1206.

BRYDSON, J. A., (1993)" **Plastics Materials**" Fifth Edition, Butter Worths, London.

BORHAN, B.,(1985), " **Isı Yalıtımında Ytong**", İstanbul.

DAVIS, R.E., CARLOS, R.W. (1937)"Properties of Cements and Concretes Containing Fly-Ash", **Proc. Amer. Concrete Inst.** 33. 577-612.

EHM, C., HINRICHSMEYER, K., (1987)" Mechanical and Physical Properties of Fly Ash Concentre After Hydrothermal Storage" **Cement and Concentre Research**, Vol 17, pp 968-976, USA.

ERDOĞAN, T., AR, G., KOMAN, K., (1982), "Türkiye Uçucu Külleri (Üretim, Kullanma Alanları, Sorunlar, Öneriler)". E.I.E., Yayın No: 82-19, Ankara.

ERDOĞAN, T. Y., (Kasım 1993), " Atık Malzemelerin İnşaat Endüstrisinde Kullanımı-Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Curufu" **Bildiriler Kitabı, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Ankara Şubesi**, s. 1-8, Ankara.

ERYTROPEL, Hermann, (1969) Etude de la Production et de l' Utilisation des Cendres de Lingte, **Commission Economi que Pour l' Europ Comite du Charbon**, Geneve.

EVANS, V., Çev. ÇİĞDEMOĞLU, M., (1970) " Korozyona karşı Plastikler" **MMO**, Yayın No 59.

GOKOZ, U., N., and NAAMAN, A. Z., (August 1981) " Effect of Strain-Rate on the Pull out Behaviour of Fibres in Mortar", Int. J. of Cement Composites, vol. 3, n. 3, pp. 188-202.

GÖKÇE, A., UYAN, M., ve ÖZTEKİN, E., (Ekim 1996) " İnceliğe Bağlı Olarak Uçucu Küllü Betonların Su ihtiyacındaki Değişim", **4. Ulusal Beton Kongresi, "Beton Teknolojisinde Mineral ve Kimyasal Katkılar"**, Maya Basın yayın, s. 209-221, İTÜ, İstanbul.

HASABA, S., KAWAMURA, M., K., TANCITAKEMOTO, K., (1989), " Resistibility Against Impact Load and Performance Characteristics Under Bending Load in Plymer and Hybrid (Polymer and Steel) Fiber Rein Forced Concrente", Fiber Reinforced Concentrete International Symposium, pp 167-197.

HAZER, B., (1993), " Polimer Teknolojisi" **Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Ed. Fak. Trabzon**, Sa:74-80

KAKAÇ, S., (1970) " Isı İletimi" , Ankara.

KAYA, F., (1983) " Plastikler Katkı Maddeleri ve İşleme Metodları", Zafer Matbaası, İstanbul.

KLUCKOW, P.,(1963), " **Rubber and Plastics Ttesting**", New York.

KUBRİK, B. I., Dec. 1987 " Effects of Thermal and Physıcal Properties of slep and Coefficients of Thermal Conductivity of Mould Walls on Heat Transfer in Moul", V. 17, pp 573-575.

- KUMAR, I., J., and NARANG, H., N., (1966)" A Boundary -Layer Method in Prouss Body Heat And Mass Transfer", **Heat Mass Transfer**, vol 10, pp 1095-1107.
- KURBETCİ, Ş., ÖZTEKİN, E., (Kasım 1993) Uçucu Küllü Betonlarda Hızlandırılmış Kür Uygulaması" , **Bildiriler Kitabı, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Ankara Şubesi**, s. 45-56, Ankara.
- LEVER, A., E., and RHYS, J., (1962) " **Testing of Plastic Materials**", London.
- LUİKOV, A., A., SHASHKOV, A. G., VASILIEV, L. L., (1968)" Thermal Conductivity of Porous Systems" **Heat Mass Transfer** , Vol 44, pp 117-140.
- MESATANE, K., (1972) " Principal Paper Fly Ash and Fly Ash Cement Symposium of Cement Chemicstry, Tokyo.
- MEARES, P., (1965)" **Polimers; Stracture And Bulk Properties**" Ven Nostrand Ltd, London.
- MILES, D., C., and BRISTON, J., H., (1965) " **Polimer Technology**", London.
- NAGABUSHANNAM, M., RAMAKRISHNAN, V., and VONDRAN, G., (1989), " Gatiqe Strength of Fibrillated Polypropylene Fiber Reinforced Concretes" **Transportation Research Recod**, South Dakota Sch. Mines, Technology Pabid City, USA,1226, pp 36-47.
- ÖLMEZ, Halis, (1988)"**Endüstriyel ve Tarımsal Atıkların Çimento Üretiminde Değerlendirilmesi**", Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi, Samsun.
- ÖZTEKİN, E., SÜMER, M., (Kasım 1993), " Uçucu Küllü ve Fiberle betonların Bazı Karşılaştırmalı Özellikleri" **Bildiriler Kitabı, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Ankara Şubesi**, s. 23-28, Ankara.

- PALIN, G. R., Çev. ÇİĞDEMOĞLU, M., (1971)" **Teknolojide Plastikler** İstanbul.
- PARAMMESWARAN, U. S., KARISHNAMOORTHY, T., S., and BALASUBRAMANIAN, K., (1989), " Current Research and Applications of Fiber Reinforced Concrete Composites India", Trans. Portion Research Record, n 1226, pp. 1-6, Structural Engineering Research Cent , India.
- PARK, S. B., LEE, B. I., (January 1993), " Mechanical Properties of Carbon-Fiber-Reinforced Polymer, Impregnated Cement Composites", **Cement Concrete Composites 15**, pp 153-163, Elsevier Science Publishers Ltd, England.
- PFA Utilization**, (1972), Central Electricity Generation Board, England.
- PIŞKIN, E., (1987), " Polimer Teknolojisine Giriş" İnkilap kitapevi, İstanbul.
- SARAY, F., (1990), " Polipropilenin İşleme ve Fabrikasyonundeki Problemler ve Çözümleri", Alpet Yayınları, İzmir.
- SAQUSA, T., KAMATA, K., (1974)" Thermal Conductivities of Porous Solids" Heat Transfer, **Jap. Res.** pp47-52.
- SAYDAM, T., (1973)" Akışkanların Gözenekli Ortamlarda Akışı" İTÜ, Yayın no 948, İstanbul.
- TAGER, A., A., (1978), " **Physical Chemistry of Polymer**", Mir Publishers, Moscow, 1978.
- TERRIER, P., MOREAU, M., (1966)" Study on the Mechanism of Pozzolanic Reaction of Fly Ash With cement " **Rev Het Constr Trav Publics**, 613, 379-396.
- TOBOLSKY, A. V., MARK, H. F., (1971)" **Polimer Science and Materials**" Wiley-Interscience.

- TOKYAY, M., (Kasım 1993), " Betonda Uçucu Kül Kullanımı", **Bildiriler Kitabı TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Ankara Şubesi**, s. 29-36, Ankara.
- TS 624 " Polivinil Klorür(PVC) Yer Döşemeleri" **Türk Standartları Enstütüsü**, Ankara, 1968.
- TSE (388,415,452,639,640,704,705,825)
- VINCENT, P., I., (1964) " **Plastics**", 29,78, London.
- WATT, J. D., THORNE, D., J., (1966)" The Compostion and Pozzolanıic Properties of Pulverised Fuel Ashes" **J. Appl. Chem.** 15, 585-594.
- WARD, I., M., (1971) "**Mechanical Properties of Solid Plymers**", Wiley Interscience, New York.
- WILEY, J., and SONS, (1969)," Encyclopeda of Polymer Science and Technology.
- YAMAZAKI, K., (1962)" Fundamental Studies of The Effects of Mineral Fines on the Workability of Concentre", **Trans. Japon, Soc of Civil Eng.** 34, 98-111.
- VYSNIAUSKAS, V. V., ZIKAS, A. A., (1988)" Determinetion of Thermal Conductivity of Ceramics by the Hot Wire Technique", **Heat Transfer Soviet Research**, Vol 20, No 1, pp 137-142.
- ZONZVELD, J. J., (1976), " Polypropylene Fibre Concentre", Fibre Cement and Fibre Concentre, **Course Notes For Practising Civ. Engineers**, University of Surrey.
- ZUMBRUNNEN, D., A., and VISKANTE, R., (1986) " Heat Transfer Though Porous Solids With Complex Internal Geometries", **Heat Mass Transfer**, Vol 29, pp 275-284.

