



Makale

Seyitömer Uçucu Külü Ve Afyonkarahisar Yöresi Volkanik Tüflerinin Puzolanik Özelliklerinin Belirlenmesi

İsmail DEMİR, M. Serhat BAŞPINAR, Gökhan GÖRHAN, Erhan KAHRAMAN

Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü
ANS kampüsü Afyonkarahisar, Türkiye

ÖZET

Uçucu kül yapay puzolan sınıfına girerken, volkanik tüf doğal puzolan sınıfında yer almaktadır. Doğal puzolanlar TS 25'e göre tras olarak tanımlanmaktadır. Uçucu külün kimyasal yapısındaki Al_2O_3 , SiO_2 ve Fe_2O_3 oksitlerinin miktarları belirlenmiştir. Buna göre uçucu külün ASTM C 618 ve TS 639'da istenilen puzolanik şartlara uygun olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada üretilen örnekler üç guruba ayrılarak, birinci guruba 7 günlük su kürü, ikinci guruba 28 günlük su kürü ve üçüncü gruba 8 saatlik otoklav kürü uygulanmıştır. Örneklerin fiziksel özellikleri ve basınç dayanım değerleri belirlenerek dayanım aktivite indeksleri belirlenmiştir. Seyitömer termik santraline ait uçucu kül ve Afyonkarahisar yöresi volkanik tüflerinin çimento ve beton üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Uçucu Kül, Tüf, Puzolanik Aktivite, Çimento.

GİRİŞ

Uçucu küller (UK) betonda mineral katkı olarak kullanılan yapay bir puzolandır ve çoğunlukla kendi başlarına bağlayıcı olmadıkları halde, sönmüş kireçle hidrasyon reaksiyonuna girerek suda sertleşirler. UK'ler elektrik üreten termik santrallerden elde edilir.

Genellikle endüstride kullanılmayan düşük kalorili kömürlerin çok ince öğütülerek termik santral fırınında yakılması sırasında yukarıya yükselen UK'ler, bacanın üst kısmında elektrotreler veya siklon adı verilen toz tutucularda, elektrostatik veya mekanik yöntemlerle tutularak depolanırlar. Küllerin parçacıkları küresel olup çapları 1-300 μm mertebesindedir [1].

Volkanik tüfler ise puzolanik çimento üretiminde katkı olarak yaygın bir biçimde kullanılan çeşitli volkanik hareketler sonucu parçalanmış kayalardır. Tüf türü, volkanosedimanter kayalar yumuşak ve kolay işlenebilir özelliktedir ve bu kayalar özellikle bozunmaya karşı duyarlı ve bloklu yapısı açısından ülkemizde jeomekanik ve mühendislik jeolojisi çalışmalarına da konu olmuştur [2,3].

Doğal puzolanlar silisli ya da silisli ve alüminli bileşiklerle zengindir. Puzolanik aktivitenin temelinde puzolandaki reaktif silis içeriği yatmaktadır. Bu yüzden tüflerde silisli ve alüminli minerallerin türü ve miktarı puzolanik aktiviteleri üzerinde çok önemlidir [2].

Genelde iyi bir puzolanik tüf, az miktarda kil mineralleri, alkali feldspatlar; yüksek miktarda zeolit minerali ve volkanik cam içermelidir. Bununla birlikte tüfler yüksek porozite ve yüksek özgül yüzey alanına sahip olmalıdır. Uçucu külün puzolanik aktivitesinde rol oynayan en büyük faktörler ise reaktif

silis ve kireç içeriği olarak bilinmektedir [2,4]. Ayrıca genelde uçucu küllerin yüksek yüzey enerjisi, daha büyük yüzey alanı ile inceliğinin derecesi arttıkça aktivitesinin de arttığı belirtilmektedir [5].

Puzolanik aktivite, çimentolu üretimlerde kalsiyum hidroksit ve puzolandaki alüminosilikatlar arasındaki reaksiyonun hızı ve kapasitesi olarak tanımlanır. Puzolanların aktivitesi hidrasyonun karmaşık özelliği ve puzolanların heterojen yapılarına rağmen tam bilinmemektedir. Bununla beraber, aktiviteyi etkileyen önemli faktörler şunlardır:

- Puzolanların aktivitesi, “SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃” içeriği ve malzemedeki reaktif miktarı arttıkça artar.
- Kimyasal reaktiflik içinde, puzolanik materyal amorf fazda olmalıdır.
- Puzolanik tanecikler yeterli incelikte olmalıdır.

Puzolanlar için aktivite kısa dönemde yüzey alanlarına uzun dönemde ise kimyasal ve mineralojik bileşimine bağlıdır [6].

Puzolanik maddeler, silissi veya alüminyum silikatlı veya bunların bileşiminden oluşan doğal maddelerdir. Puzolanik maddeler su ile karıştırıldığında kendi kendine sertleşmezler fakat ince öğütüldüğünde ve suyun mevcudiyetinde normal çevre sıcaklığında çözülmüş kalsiyum hidroksitle (Ca(OH)₂), dayanımı geliştiren kalsiyum silikat ve kalsiyum alüminat bileşikleri oluşturmak üzere reaksiyona girerler [7].

Puzolanik maddeler doğru şekilde hazırlanmalıdır yani; üretim veya teslim durumuna bağlı olarak seçilmeli, homojenize edilmeli, kurutulmalı veya ısıl işlemden geçirilmeli ve öğütülmelidir [8].

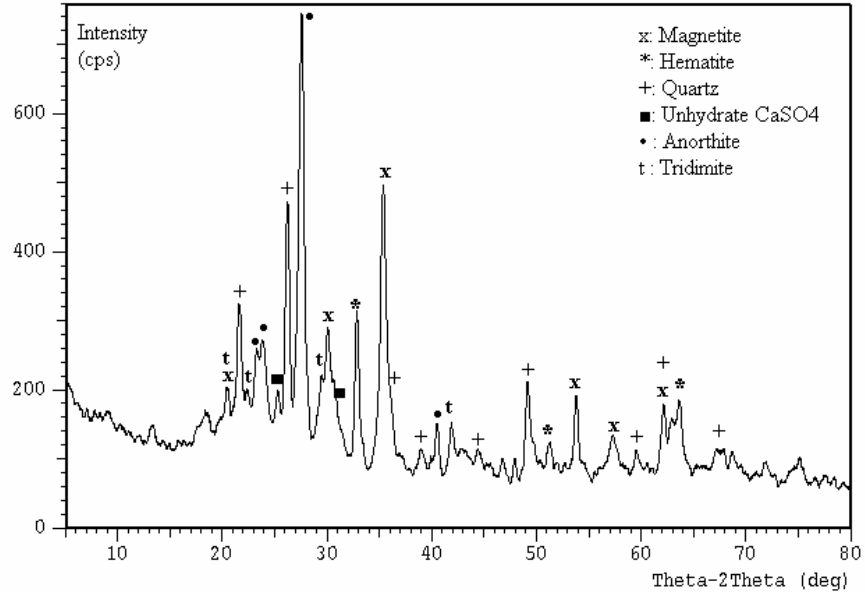
Bu çalışmada, Seyitömer uçucu külü ve Afyonkarahisar yöresi volkanik tüfünden üretilen beton örneklerle farklı kür yöntemleri ve kür süreleri uygulanarak, puzolanik aktiviteleri belirlenmiş ve bu puzolanların çimento ve beton üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır.

MATERYAL VE METOD

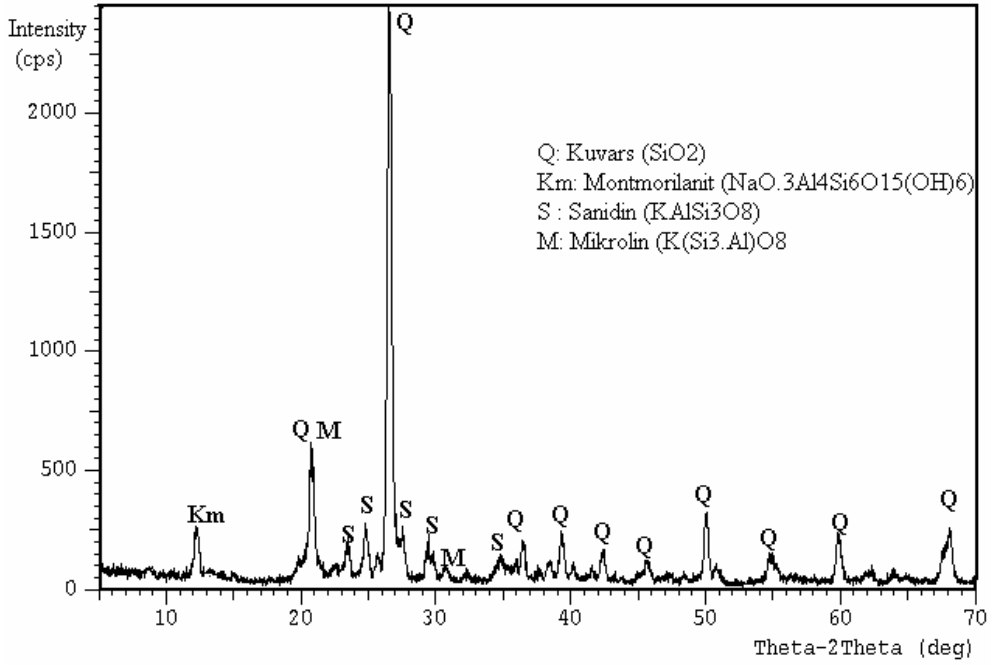
Kullanılan Malzemeler

Uçucu kül, Seyitömer (Kütahya) termik santralinden, volkanik tüf Afyonkarahisar bölgesinden alınmış olup, CEM I 42,5 R tipi çimento kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan, Seyitömer termik santrali uçucu külünde kuvars, tridimit, anhidrit, magnetit, hematit ve anortit fazları, volkanik tüfte ise kuvars, sanidin, mikrolin ve montmorillonit fazları belirlenmiştir (Şekil 1 ve Şekil 2).

Çalışmada kullanılan uçucu kül, tüf ve CEM I 42,5 R çimentonun kimyasal bileşimleri Tablo 1’de, CEM I 42,5 R Çimentosunun diğer özellikleri’ Tablo 2’de verilmiştir. Buna göre uçucu külün “SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃” miktarı % 79,18 olup ASTM C 618’e göre ise F sınıfı (düşük kireçli) uçucu kül sınıfına girmektedir [9]. Volkanik tüf malzemenin “SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃” miktarı % 90,82’dir ve TS 25’de [10] belirtilen % 70 sınırından daha yüksek olduğu için tras olarak sınıflandırılmaktadır.



Şekil 1. Uçucu külün X- ışınları difraktogramı.



Şekil 2. Volkanik tütün X-ışınları difraktogramı.

Tablo 1. Hammaddelerin kimyasal analiz sonuçları.

Hammadde	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	LOI	Toplam
Uçucu Kül	52,25	14,79	12,14	5,77	6,94	0,54	1,22	4,70	98,35
Tüf	82,07	7,80	0,95	0,04	3,41	0,15	-	5,58	100,00
Çimento [11]	21,35	5,71	3,42	2,16	65,13	0,27	0,94	0,10	99,08

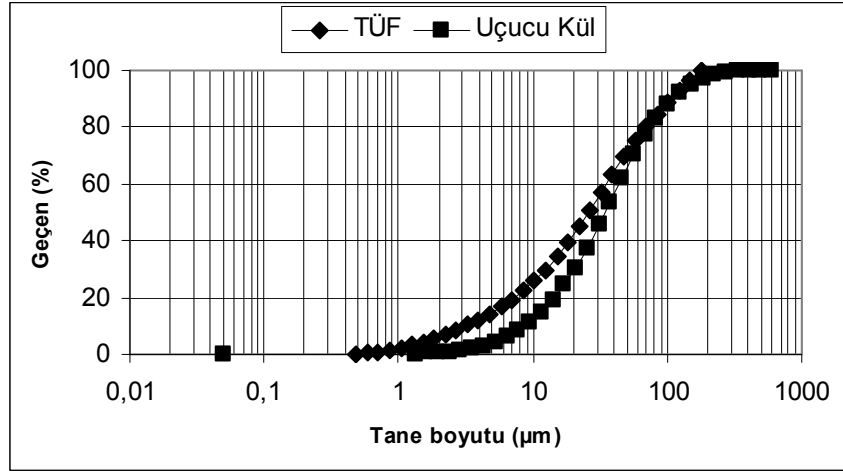
Tablo 2. CEM I 42,5 R Çimentosunun özellikleri [8].

Fiziksel Özellikler	Sınır Değerler	Basınç Daynımı (MPa)		Kimyasal Özellikler	Sınır Değerler
Piriz Başlama Süresi (dakika)	≥ 60	2 günlük	≥ 20	Kızdırma Kaybı	$\leq \% 5,0$
Genleşme (mm)	≤ 10	7 günlük	-	Çözünmeyen Kalıntı	$\leq \% 5,0$
		28 günlük	$\geq 42,5$	Sülfat (SO ₃)	$\leq \% 4,0$
				Klorür Muhtevası	$\leq \% 0,10$

Metot

Hammaddelerin hazırlanması:

Uçucu külün % 88'i 100 µm'den küçük tane boyutuna sahiptir. Tüf malzeme bilyalı değirmende öğütülerek tane boyutu 100 µm'nin altına getirilmiştir (Şekil 3).

**Şekil 3.** Uçucu kül ve Tüf tane boyutu

Puzolanlar (uçucu kül ve tüf), etüvde değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulduktan sonra referans çimento ile kuru halde homojen bir biçimde karıştırılmış ve karışım suyu ilave edilerek plastik kıvama gelinceye kadar su ilave edilerek çimento mikserinde karıştırılmıştır. Plastik kıvama gelen karışımlar silindir kalıplara demir çubuklarla şişlenerek yerleştirilmiştir. Çalışmada hazırlanan karışımların oranları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Karışım oranları (%)

Karışım	Ref. Çimento	Volkanik Tüf	Uçucu Kül
1	100	-	-
2	75	25	-
3	75	-	25

Karışımlar plastik kalıplarda bir gün bekletildikten sonra kalıplardan alınmış ve kür havuzlarına yerleştirilmiştir. Her karışım serisi kendi içinde üç guruba ayrılarak üç ayrı kür uygulaması yapılmıştır. Buna göre örneklere; a. 7gün su kürü, b. 28 gün su kürü ve c. otoklavda 1,5 bar basınç ve 126-130 °C sıcaklıktaki 8 saat basınçlı buhar kürü uygulanmıştır. Kür işlemi sonunda örnekler etüvde değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Örneklerin basınç dayanım testleri 200 kN basınç uygulayabilen bilgisayar destekli basınç presinde gerçekleştirilmiştir.

Puzolanik aktivitenin belirlenmesi:

Puzolanik aktivite, puzolanik malzemeyle yapılan deneyler sonucunda tayin edilmektedir. TS EN 450 nolu standarda göre, kütlece % 75 oranında referans çimento + % 25 oranında puzolan ile hazırlanmış karışımlar ile sadece referans çimento ile hazırlanan karışımlar üzerinde deneyler yapılarak puzolanların aktivitesi belirlenmiştir. Puzolanik aktivite, “dayanım aktivite indeksi” olarak adlandırılan bir değer olarak hesaplanmasıyla ifade edilmektedir (Eşitlik: 1).

$$\text{Dayanım aktivite indeksi} = (A/B) \times 100 \quad (1)$$

Burada;

A: Puzolanlı harç numunelerinin ortalama basınç dayanımı,

B: Kontrol harç numunelerinin ortalama basınç dayanımı [12].

Fiziksel özelliklerin belirlenmesi:

Örneklerin su emme, porozite, bulk yoğunluk ve görünür yoğunluk değerlerinin belirlenmesi amacıyla her gruptan 4 örnek öncelikle etüvde değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuş (W_1) ve ardından bir gün süreyle kür kavuzunda bekletilmiştir. Daha sonra bu örneklerin su içinde asılı ağırlıkları (W_2) ve Suya doymuş yüzey kuru ağırlıkları (W_3) belirlenerek ilgili örneklerin fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Bu özelliklerin belirlenmesinde kullanılan formüller aşağıda verilmiştir;

Su Emme:

Malzemenin birim ağırlık veya hacminin emmiş olduğu su yüzdesi olarak belirtilir (Eşitlik: 2).

$$S_a = \frac{P_2 - P_1}{P_1} \times 100 \quad (2)$$

Sa: Ağırlık olarak su emme

P_2 : Su emdirilmiş ağırlık, P_1 : Kuru ağırlık

Porozite:

Malzemedeki boşluk oranı olup (Eşitlik: 3)' ten hesaplanır.

$$P = \frac{(W_3 - W_1)}{(W_3 - W_2)} \times 100 \quad (3)$$

Bulk Yoğunluk:

Malzemenin birim hacminin ağırlığı (Eşitlik: 4)' ten hesaplanır.

$$B_d = \frac{W_1}{(W_3 - W_2)} \quad (4)$$

Görünür Yoğunluk:

$$Gr.Y. = \frac{W_1}{(W_1 - W_2)} \quad (5)$$

BULGULAR VE TARTIřMA

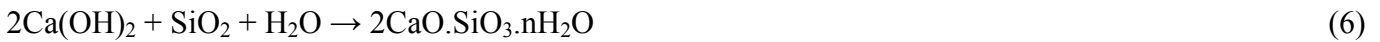
Karışım örnekleri kür havuzundan ve otoklavdan alındıktan sonra yukarıda bahsedilen tartımlar yapılmış ve örneklerin fiziksel özellikleri Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. Örneklerin fiziksel özellikleri

Kar.	Su Emme (%)			Porozite (%)			Bulk Yoğ. (kg/m ³)			Görünür Yoğ. (kg/m ³)		
	7 gün	28 gün	Otoklav	7 gün	28 gün	Otoklav	7 gün	28 gün	Otoklav	7 gün	28 gün	Otoklav
1	18,86	27,28	14,54	32,90	41,27	26,37	1744,81	1512,84	1813,65	2600,36	2576,15	2463,15
2	19,97	24,28	18,31	33,41	37,22	30,87	1673,46	1532,96	1685,99	2513,20	2441,62	2438,85
3	25,85	39,82	25,95	37,78	48,92	37,33	1461,50	1228,80	1438,27	2348,97	2406,25	2294,88

Örnekler otoklavda kür edildiklerinde, su kürü uygulamalarına göre bünye içerisinde daha iyi bir reaksiyon gerçekleştirdiğinden dolayı, daha düşük porozite değerlerinin elde edildiğİ düşünölmektedir.

Puzolanlar içerdikleri reaktif silis ile çimento hidrasyonu sonucu ortaya çıkan serbest kireç arasında sulu ortamda aşağıdaki kimyasal reaksiyona girerek kalsiyum silikat hidratları oluştururlar.



Bu reaksiyon temel puzolanik reaksiyon olarak bilinir. Oldukça yavaş gelişen bu reaksiyon sonucu, portland çimentosunun silikatlı bileşenlerine benzer hidrate ürünler oluşur. Ancak, bu reaksiyon hem serbest kireç oluşumunu beklemesi hem de oldukça yavaş seyreden bir reaksiyon sonucu puzolanik etkiyle mukavemet kazanma olayını uzun sürede gerçekleştirir [13].

Puzolanların uzun sürede iyi bir reaksiyon göstererek daha iyi bir içyapı ve dayanım kazanması beklenir.

Uçucu küllerin çoğı, özelliklede F sınıfı uçucu küller, oksijen ile bağı oluşturan tetrahedral silikatlarla yüksek derecede polimerizasyon oluşturmasına rağmen oda sıcaklığında aktiviteleri çok yavaştır [14]. ASTM C 618-80 standardına göre F ve C sınıfı uçucu küllerin basınç dayanımları için 28 günlük portland çimentosu kontrol karışımına oranla en az % 75 oranında dayanım göstermesi ve 7 günlük dayanımın ise en az 5.6 MPa olması gereklidir [15].

Örneklerin basınç dayanımları belirlendikten sonra volkanik tüf ve uçucu külün puzolanik dayanım indeks değerleri Eşitlik 1’e göre hesaplanmıştır (Tablo 5).

Tablo 5. Puzolanik aktivite indeksleri (%).

Puzolan	Puzolanik Aktivite İndeksi (%)		
	7 günlük	28 günlük	Otoklav (8 saat)
Tüf	85,60	84,99	94,83
Uçucu Kül	62,49	66,41	75,35

Buna göre volkanik tufün puzolanik aktivite indeksi 7 günlük ve 28 günlük su kürü ve 8 saat otoklav kürü uygulamaları sonunda yeterli puzolanik aktivite değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Buna karşı uçucu külden 7 günlük ve 28 günlük su kürü uygulaması sonunda bu değerlerin % 75'in altında kaldığı belirlenmiştir.

Daha ince uçucu kül ve daha az karbon içeriği puzolanik aktiviteyi arttırdığı ve aynı işlenebilirliğe sahip betonda dayanıma daha büyük katkı yaptığı ve bununla birlikte oda sıcaklığındaki puzolanik reaksiyon oranının çok az olduğu ve kimyasal reaksiyonun 40-50 °C sıcaklıkta puzolanik reaksiyonu başarıyla gerçekleştirdiği belirtilmektedir [15]. Uçucu küllü örneklerin mevcut laboratuvar koşullarındaki sıcaklıkta yeterli hidrasyon ürünlerinin gelişmediği ve 28 günlük puzolanik aktivite indeksinin, TS EN 450'de istenilen % 75 [16] değerinden daha düşük kaldığı düşünülmektedir.

Mineraller aynı kompozisyonla farklı aktivite gösterdikleri için puzolanik aktivite sadece kimyasal bileşim ile ilgili değildir [17]. Uçucu kül içeren betonların erken yaştaki dayanımlarını arttırmak için $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ve uçucu kül arasında puzolanik reaksiyonu hızlandırmak için farklı metotların kullanıldığı belirtilmekte ve uçucu külün inceliği arttıkça puzolanik aktivitenin de artacağı belirtilmiştir. Ayrıca uçucu küllü betonların erken dayanımlarını arttırmak için de kür sıcaklığının artırılması gerekir. Doğal puzolanların puzolanik reaksiyonlarını arttırmada kimyasal aktivatörlerin etkili bir biçimde reaksiyonu hızlandırdığı belirtilmiştir [18].

Uçucu kül içeren karışım örneklerinin porozite ve su emme değerleri diğer örneklere göre daha yüksektir. Bünye içerisinde yeterli reaksiyonun gerçekleşmediği ve/veya tamamlanmadığı ve bunun sonucunda porozite ve su emme değerlerinin yüksek, basınç dayanım değerlerinin ise düşük çıktığı düşünülmektedir. Otoklavda basınçlı buhar kürü uygulanan uçucu kül örneklerin puzolanik aktivite indeks değeri % 75,35 olarak belirlenmiş olup standart değerleri sağlamıştır. Buna göre kısa süreli (8 saat) ve düşük buhar basınçlı (1,5 bar) otoklav kürünün yeterli hidrasyon reaksiyonunu sağladığı düşünülmektedir. Tuf örneklerinin de tüm kür şartlarında istenilen puzolanik aktivite indeks değerlerini sağladığı belirlenmiştir.

SONUÇ

İncelemesi yapılan Afyon yöresi volkanik tüflerin yeterli dayanım indeksine sahip olduğu çimento ve beton üretiminde puzolanik katkı olarak kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır. Yeterli kür koşullarının sağlanması durumunda, Seyitömer uçucu külünün yeterli dayanım gösterebileceği, çimento ve beton üretiminde puzolanik katkı olarak kullanılabilmesi belirlenmiştir. Bununla birlikte bu malzemeler ile ilgili daha ayrıntılı deneysel çalışmaların sürdürülmesinin yararlı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. TOPÇU, İ. B., CANBAZ, M., "Uçucu Kül Kullanımının Betondaki Etkileri" *Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi C. XIV*, S. 2, 2001.
2. TÜRKMENOĞLU, A.G., TANKUT, A., "Use of Tuffs From Central Turkey as Admixture in Pozzolanic Cements", *Cement and Concrete Research*, V:32, I:4, Sf: 629-637, 2002.
3. BİNAL A., KASAPOĞLU, K.E., GÖKÇEOĞLU, C., "Eskişehir-Yazılıkaya Çevresinde Yüzeyleyen Volkanosedimanter Kayaçların Donma-Çözülme Etkisi Altında Bazı Fiziksel ve Mekanik Parametrelerinin Değişimi", *Yerbilimleri 19(1997)*, Sf: 17-40, 1997.
4. SIVAPULLAİAH, P.V.; PRASHANTH, J.P., SRIDHARAN, A., NARAYANA, B.V., "Technical Note Reactive Silica and Strength of Fly Ashes", *Geotechnical and Geological Engineering*, Volume: 16, N.:3, Sf:239-250, September 1998.

5. SHAH, P. S., WANG, K., “Development of Green Cement for Sustainable Concrete Using Cement Kiln Dust and Fly Ash”, *Proceedings of The International Workshop On Sustainable Development & Concrete Technology*, S: 15-23, Beijing-China, 2004.
6. MERAL Ç., “Use of Perlite as A Pozzolanic Addition in Blended Cement Production”, M.E.T.U., *Thesis Of Master Of Science*, 2004.
7. AYDIN, A. C., 2006, “Yapı Malzemeleri ve İleri Beton Teknolojisi”, *Ders Notu*, (<http://muhendislik/atauni/insaat/dersler/acaydin/yapimalz.pdf>), 18.01.2006
8. Türk Standardları Enstitüsü, “TS EN 197-1 Beton-Bölüm 1; Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri”, Ankara, Mart 2002.
9. TÜRKER, P., ERDOĞAN, B., KATNAŞ, F., YEĞİNOBALI, A., “Türkiyede Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri”, TÇMB, Ankara, 2003.
10. Türk Standardları Enstitüsü, “TS 25 Tras”, Ankara, Nisan 1975.
11. KAVAS, T., GÖRHAN, G., "Study on Physical and Mechanical Properties of Cement with Muscovite", *FAE 4th International Symposium, European University of Lefke, Volume I*, S.: 143-146, 2006.
12. ERDOĞAN, T. Y., “Beton”, 2003, Metu Press, 1. Baskı.
13. YALÇIN, H., GÜRÜ, M., “Çimento ve Beton”, ISBN: 9944-341-16-9, S:45, Palme Yay., Ankara, 2006.
14. MIN, W. B., JIU, L. W. “Development of Studies and Applications of Activation Techniques of Fly Ash”, *Proceedings of The International Workshop on Sustainable Development & Concrete Technology*, S: 159-169, Beijing-China, 2004.
15. KARLHANS, W., “Fly Ash in Concrete”, ISBN: 0419157905, Spon Pres., Sf. 18-19, 1990.
16. Türk Standartları Enstitüsü, “TS EN 450, Uçucu Kül - Betonda Kullanılan - Tarifler, Özellikler ve Kalite Kontrol”, Ankara, Nisan 1998.
17. MARY S.J.G., “Cement and Concrete”, ISBN: 0412790505, Spon Press UK, 1997.
18. POON, C.S., KOU, S.C., LAM. L., LIN., “An Innovative Method in Producing High Early Strength PFA Concrete” Sf. 131-138, *Modern Concrete Materials; Binders, Additions and Admixtures*, ISBN: 0727728229, Thomas Telford Pres, 1999.