



YAPAY ALÇI - UÇUCU KÜL ESASLI BAĞLAYICILARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

(*MECHANICAL PROPERTIES of ARTIFICIAL GYPSUM-FLY ASH BASED BINDERS*)

Halit YAZICI*

ÖZET/ABSTRACT

Kömür ile çalışan elektrik santrallerinde kömürün yanması ile çeşitli atık maddeler meydana gelir. Bunlar arasında; baca gazı temizleme ürünü yapay alçı, uçucu kül, taban külü ve kazanaltı curufu sayılabilir. Bu çalışmada, Orhaneli termik santrali baca gazı temizleme ürünü yapay alçı, yine aynı santrale ait uçucu kül, kireç ve çimento değişik oranlarda kullanılarak hazırlanan bağlayıcıların mekanik özellikleri incelenmiştir. Karışımlarda yapay alçının ağırlıkça %20-40 oranında kullanımı basınç dayanımında genellikle artışlar sağlarken daha yüksek oranda kullanımı düşüşlere yol açmıştır. Deney sonuçları, geliştirilen bağlayıcının blok eleman, panel eleman gibi taşıyıcı olmayan elemanların üretiminde kullanılabilceğini göstermektedir.

During coal-fired electric power generation, several types of coal combustion by-products (CCBs) are produced. These by-products are; flue gas desulphurization (FGD) wastes, fly ash, bottom ash and boiler slag. In this experimental study, mechanical properties of FGD gypsum, fly ash, lime and cement binder were investigated. Using 20-40% FGD in the mix increased the compressive strength of the specimens however, further increasing in FGD content caused reduction in compressive strength. Test results shown that these binders may be utilized in production of construction elements such as blocks and separation walls.

ANAHTAR KELİMELER/KEY WORDS

Yapay alçı, uçucu kül, kireç, çimento, basınç dayanımı, termik santral
FGD gypsum, fly ash, lime, cement, compressive strength, power station

*DEÜ Mühendislik Fak. İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir.

1. GİRİŞ

Ülkemizde artan enerji ihtiyacı kömür ile çalışan termik santrallerin yaygınlaşmasını kaçınılmaz hale getirmiştir. Bu santraller genellikle diğer alanlarda kullanım imkanı bulunmayan düşük kalorili kömür yataklarının yakınına kurulmakta ve herbiri önemli çevre sorunlarına yol açmaktadır. Bu sorunları atmosfere bırakılan gazlardan kaynaklanan hava kirliliği ve atık sahalarında depolanan kömür yanma ürünlerinin yol açtığı toprak kirliliği olarak sıralamak mümkündür.

Kömür yanma ürünleri elektro-filtrelerde tutularak depolanan uçucu kül ve nispeten kaba tanelerden oluşan taban külü olarak iki ana sınıfa ayrılır. Ülkemizde açığa çıkan uçucu kül miktarının yıllık 15 milyon ton olduğu tahmin edilmektedir (Yazıcı, ve Baradan, 2002; Malhotra ve Mehta, 2002)

Uçucu kül ve baca gazı desülfürizasyon (FGD- Flue Gas Desulfurisation Wastes) ürünlerinin ikisine birlikte baca gazı temizleme ürünleri (FGC- Flue Gas Cleaning Wastes) adı verilir. Çoğu durumda uçucu kül ve baca gazları farklı sistemlerle kontrol edilir ve atıkları ayrı ayrı depolama alanına gönderilir. Bazı santrallerde ise baca gazları ve uçucu kül aynı anda tutularak veya karıştırılarak birlikte depolanır.

Bir çok termik santralde atmosfere bırakılan SO_x gazlarını tutabilmek için kullanılan baca gazı desülfürizasyon sistemleri kalsiyum sülfat hemihidrat (CaSO₃·0.5H₂O) veya kalsiyum sülfat dihidrat (alçıtaşı) esaslı çamur meydana getirmektedir. Ülkemiz santrallerinde kullanılan kalsiyum esaslı yıkayıcı kule sistemleri de yan ürün olarak yapay alçı çamuru (YA) ortaya çıkarmaktadır (Özkul, 1991; Özkul, ve Koral, 1993).

Diğer atık maddelerin, özellikle uçucu külün inşaat sektöründe kullanımı oldukça yaygın olmasına rağmen, kimyasal alçı adıyla da anılan baca gazı temizleme ürünü için aynı şeyi söylemek pek mümkün değildir. Bu madde ülkemiz açısından oldukça yenidir ve özellikleri tam anlamıyla bilinmemektedir.

Yapay alçı çamurunun fiziksel özellikleri, işlenmelerini, taşınmalarını, kurutulmalarını ve su kusabilme özelliklerini etkiler. Fiziksel özellikleri arasında, partikül büyüklüğü ve dağılımı, nem/katı miktarı, birim hacim ağırlığı ve sıkışabilirliği sayılabilir. Fiziksel özelliklerin geliştirilmesi oksidasyonla ya da uçucu kül, taban külü, kireç gibi maddelerle stabilizasyonla sağlanabilmektedir (Zhao, 1996; Walker, 2000).

Oksidasyonla alçıtaşına dönüştürülmüş yapay alçı çamurunun alçı panel eleman yapımı, çimento üretimi ve tarımsal toprak iyileştirilmesi alanlarında değerlendirilme potansiyeli yüksektir. Stabilize edilmiş yapay alçı çamuru ise zemin benzeri bir malzemedir ve inşaat uygulamalarında yapısal dolgu, yol temel tabakası, alt temel tabakası, taşıyıcı olmayan blok eleman yapımı gibi alanlarda değerlendirilebilir (Skalny, 1992; Dick vd., 2000).

Bu çalışmada, değişik oranlarda olmak üzere kireç ve çimento miktarları sabit, uçucu kül ve yapay alçı oranları farklı karışımlar hazırlanmış, örneklerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları, etüv kuru su birim hacim ağırlıkları ve su emme oranları belirlenmiştir. Ayrıca, etüv kuru su örneklerin 28 günlük basınç dayanımları da tespit edilmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneysel çalışmada kullanılan malzemeler, Orhaneli (Bursa) termik santralinden temin edilen desülfürizasyon atığı yapay alçı (YA), uçucu kül, PÇ 42.5 çimentosu ve sönmüş toz kireçtir.

Yapay alçı çamuru kurutularak elek analizi yapılmıştır. Buna göre, malzemenin %68'i 53µm elekten geçmiştir. Kullanılan yapay alçı ve uçucu külün kimyasal analizi Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Yapay Alçı ve Uçucu Külün Kimyasal Analizi (%)

Yapay Alçı	SO ₃	CaO	MgO	Cu	Mn	Fe	Pb	Sr
	40.5	30.1	0.30	0.015	0.007	0.17	0.037	0.009
Uçucu Kül	SiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	SO ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	S.CaO
	40.4	19.9	4.2	1.27	3.44	7.41	18.8	1.97

Karışımlarda, çimento ve kireç miktarları sabit tutularak yapay alçı çamuru kullanım oranının artması ve dolayısıyla sistemdeki uçucu kül oranlarının azalmasıyla örneklerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarının değişimi incelenmiştir. Karışımların basınç dayanımlarının belirlenmesi amacıyla 5 cm ayrıtlı küp formunda örnekler hazırlanmıştır. Yapay alçı çamur halindedir ve herhangi bir işlem görmemiş yüzey suyu bir miktar süzildükten sonra kullanılmıştır. Örnekler deney gününe kadar laboratuvar ortamında havada kür edilmiştir. Ayrıca, su emme ve birim hacim ağırlık deneyinde kullanılan etüv kurusu örneklerin (80 °C'de 2 gün) basınç dayanımları da belirlenmiştir.

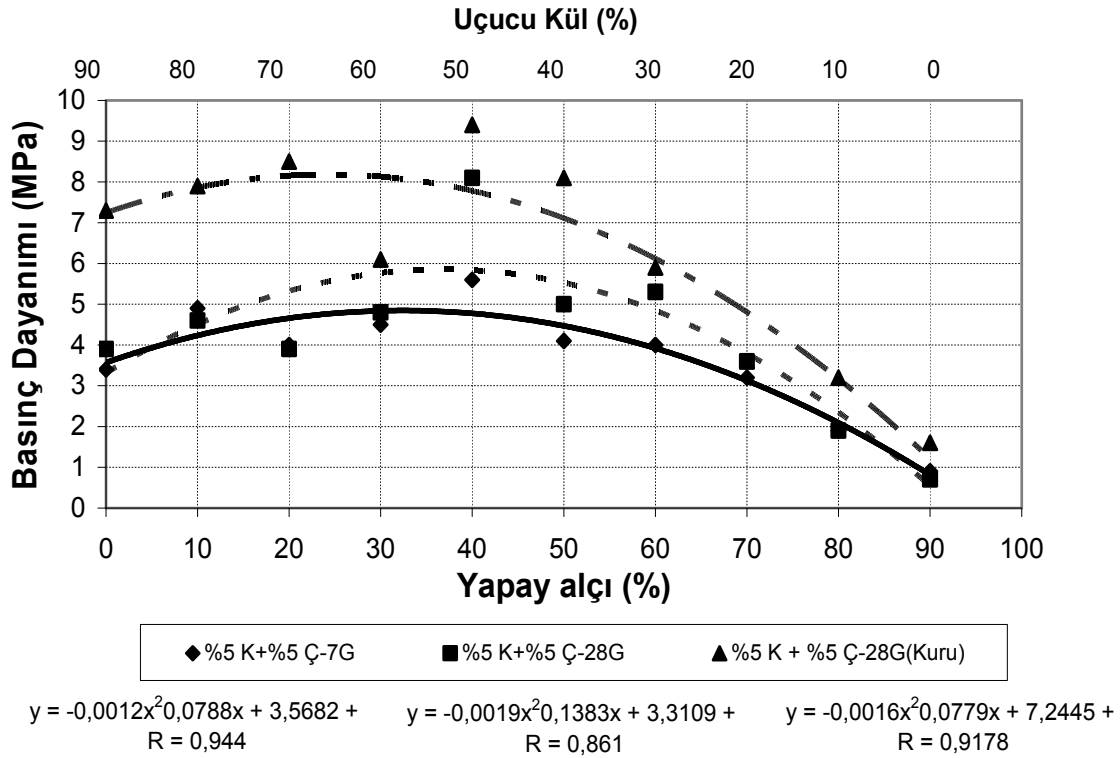
Karışımlarda az miktarda çimento kullanılmasıyla priz süresinin ve kalıp alma süresinin makul seviyelere çekilmesi ve erken dayanımlarda artış amaçlanırken, kireç kullanımıyla, işlenebilirliğin artırılması ve uçucu kül-kireç puzolanik reaksiyonuyla ilerleyen yaşlarda da basınç dayanımında artış hedeflenmiştir. Kireç ve çimentonun mümkün olan en az miktarlarda kullanımının en önemli nedenlerinden biri de ekonomi sağlamaktır. Ayrıca, bol miktarda sülfat içeren böyle bir sistemde yüksek oranda çimento kullanımı malzemenin uzun dönemli dayanımı ve dayanıklılığını belirsiz hale getirebilmektedir. Sülfatların nemli ortamda hidrate çimento bileşenleri ve kireçle yaptıkları kimyasal reaksiyon sonucu oluşan ürünlerin genleşmeye yol açarak malzemenin çatlamasına, dağılıp, parçalanmasına yol açtıkları bilinen bir olgudur.

Çizelge 2 %5 çimento ve % 5 kireç içeren örneklerin yapay alçı (YA) oranının artmasına bağlı olarak taze ve sertleşmiş haldeki özelliklerini göstermektedir. Çizelge 2'de karışım oranları kütlece toplam bağlayıcı miktarına bağlı olarak ifade edilmiştir. Örneğin % 10 yapay alçı çamuru içeren karışımda, yapay alçı, bağlayıcı miktarının (yapay alçı+uçucu kül+çimento+kireç) kütlece %10'u kadar bulunmaktadır. Benzer şekilde karışımlarda kullanılan su miktarı kullanılan diğer malzemelerin toplam miktarına oranla verilmiştir. Yapay alçının çok yüksek oranda kullanıldığı bazı karışımlarda dışarıdan ayrıca su eklenmesine gerek kalmamıştır. Hazırlanan karışımların işlenebilirliği yayılma tablası deneyi ile belirlenmiştir.

Çizelge 2. Ağırlıkça %5 çimento ve % 5 kireç içeren örneklerin karışım oranları ve basınç dayanımları

Yapay Alçı Çamuru %	Uçucu Kül %	Çimento %	Kireç %	Su %	Yayılma (%-10 düşme)	B. Dayanımı (7G-MPa)	B. Dayanımı (28G-MPa)
0	90	5	5	23.1	106	3.4	3.9
10	80	5	5	20.7	109	4.9	4.6
20	70	5	5	18.7	107	4.0	3.9
30	60	5	5	14.6	110	4.5	4.8
40	50	5	5	11.5	105	5.6	8.1
50	40	5	5	8.8	111	4.1	5.0
60	30	5	5	5.8	106	4.0	5.3
70	20	5	5	3.7	111	3.2	3.6
80	10	5	5	0	125	1.9	1.9
90	0	5	5	0	140	0.9	0.7

Şekil 1. %5 kireç ve %5 çimento içeren örneklerin yapay alçı içeriklerine bağlı olarak 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarını göstermektedir.



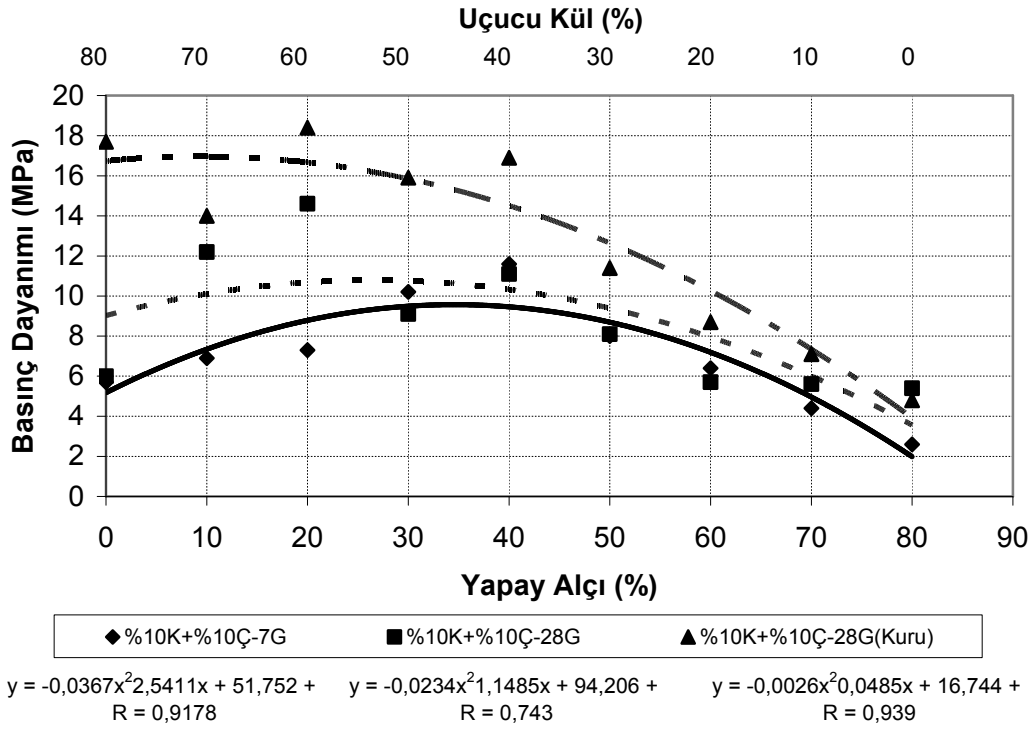
Karışımdaki YA miktarının artışına bağlı olarak örneklerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları bir miktar artmakta ancak çok yüksek oranda YA içeren örneklerin basınç dayanımları ise hızla düşmektedir (Şekil 1). Ayrıca 28 günlük örneklerin etüvde değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulup basınç dayanımları belirlendiğinde, bu örneklerin aynı yaştaki (28 gün) hava kuru örneklerle kıyasla daha yüksek dayanıma sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca, örneklerin kuru birim hacim ağırlıklarının YA oranının artışına bağlı olarak $1,53 \text{ g/cm}^3$ ile $1,4 \text{ g/cm}^3$ arasında değiştiği, su emme değerlerinin ise %18 ila %20 civarında olduğu, % 30 ve daha az YA içeren örneklerin çatlaklı bir yapı oluşturduğu belirlenmiştir.

Çizelge 3, %10 çimento ve % 10 kireç içeren örneklerin karışım oranlarını ve yapay alçı oranının artmasına bağlı olarak basınç dayanımlarının değişimini göstermektedir.

Çizelge 3. Ağırılıkça %10 çimento ve % 10 kireç içeren örneklerin basınç dayanımları

Yapay Alçı Çamuru %	Uçucu Kül %	Çimento %	Kireç %	Su %	Yayılma (%-10 düşme)	B. Dayanımı (7G-MPa)	B. Dayanımı (28G-MPa)
0	80	10	10	23.1	109	5.7	6.6
10	70	10	10	21.5	118	6.9	12.2
20	60	10	10	18.4	114	7.3	14.6
30	50	10	10	15.4	113	10.2	9.1
40	40	10	10	12.3	111	11.6	11.1
50	30	10	10	9.2	109	8.0	8.1
60	20	10	10	6.5	108	6.4	5.7
70	10	10	10	3.8	120	4.4	5.6
80	0	10	10	0	120	2.6	5.4

Şekil 2, ağırlıkça %10 kireç ve %10 çimento içeren örneklerin basınç dayanımlarını göstermektedir.



Şekil 2. Ağırlıkça %10 çimento ve % 10 kireç içeren örneklerin basınç dayanımları

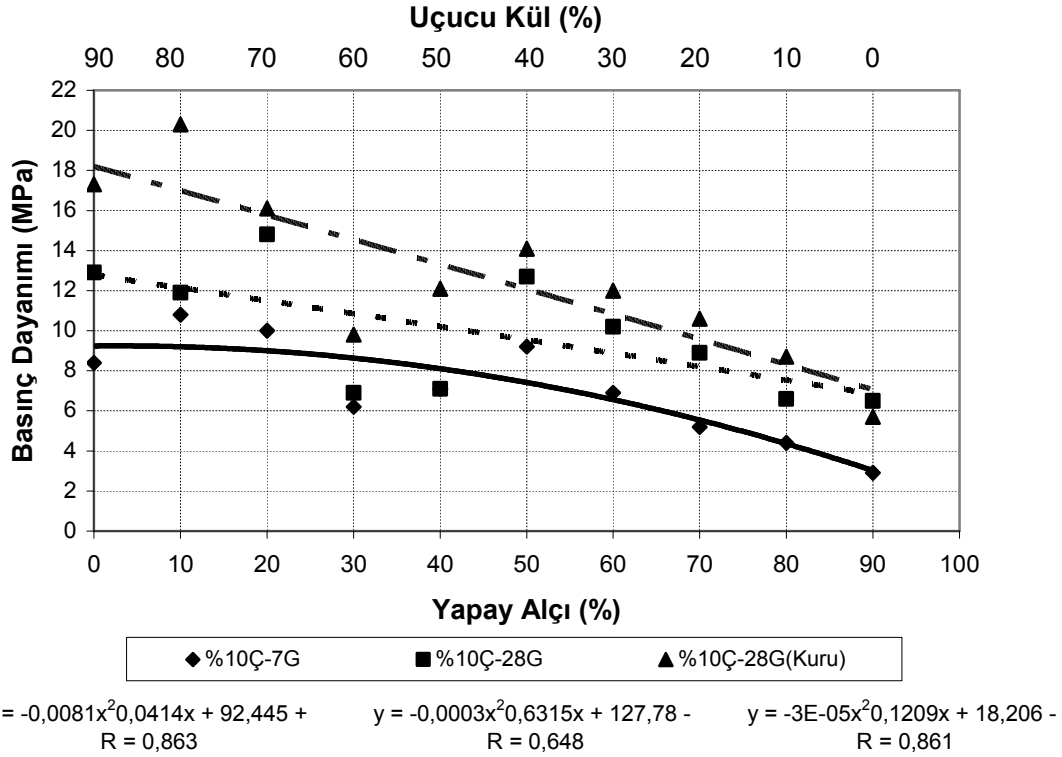
Bu seride de (Şekil 2) YA oranının artışına bağlı olarak basınç dayanımları önce bir miktar artmakta, ağırlıkça %60 ve daha fazla yapay alçı içeren örneklerde ise durum tersine dönmekte ve dayanım hızla düşmektedir. Kurutulmuş kırılan örneklerin dayanımları genellikle hava kurusu örneklerin dayanımından oldukça fazladır. Yapay alçı oranının artışına bağlı olarak örneklerin kuru birim hacim ağırlıklarının 1.6 g/cm^3 ten 1.5 g/cm^3 civarına düştüğü, su emmelerinin ise %16 civarından %19 civarına yükseldiği, %20 ve daha az oranda yapay alçı içeren örneklerin çatlaklı bir yapıya sahip olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4, ağırlıkça %10 çimento içeren örneklerin karışım oranlarını ve 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarını göstermektedir.

Çizelge 4. Ağırlıkça %10 çimento içeren örneklerin karışım oranları ve basınç dayanımları

Yapay Alçı Çamuru %	Uçucu Kül %	Çimento %	Kireç %	Su %	Yayıma (%-10 vuruşta)	B. Dayanımı (7G-MPa)	B. Dayanımı (28G-MPa)
0	90	10	--	21.5	112	8.4	12.9
10	80	10	--	19.2	107	10.8	11.9
20	70	10	--	18.5	122	10.0	14.8
30	60	10	--	14.6	108	6.2	6.9
40	50	10	--	12.3	108	7.1	7.1
50	40	10	--	9.2	114	9.2	12.7
60	30	10	--	5.6	108	6.9	10.2
70	20	10	--	6.1	105	5.2	8.9
80	10	10	--	0	107	4.4	6.6
90	0	10	--	0	135	2.9	6.5

Şekil 3, ağırlıkça %10 çimento içeren örneklerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarını göstermektedir. Bu seride örneklerin yapay alçı içeriklerine bağlı olarak 7 günlük basınç dayanımlarının 2.9-10.8 MPa, 28 günlük basınç dayanımlarının ise 6.5-14.8 MPa arasında değiştiği, kurutularak kırılan örneklerde ise hava kuruşu örneklere kıyasla dayanımın arttığı görülmektedir. Örneklerin kuru birim hacim ağırlıklarının ortalama 1.54 g/cm^3 olduğu, su emme miktarlarının ise ortalama %18.1 olduğu belirlenmiştir. Yapay alçı miktarının artışıyla birim hacim ağırlıklarda düşme, su emme miktarlarında ise artış görülmektedir.



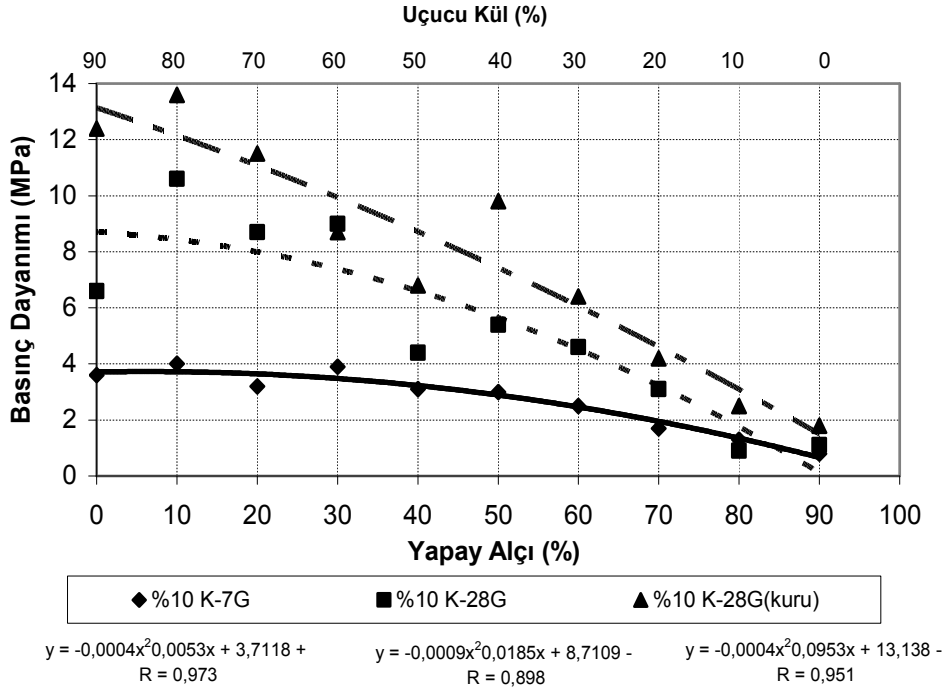
Şekil 3. Ağırlıkça %10 çimento içeren örneklerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları

Çizelge 5, ağırlıkça %10 kireç içeren örneklerin karışım oranlarını ve 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarını göstermektedir.

Çizelge 5. Ağırlıkça %10 kireç içeren örneklerin karışım oranları ve basınç dayanımları

Yapay Alçı Çamuru %	Uçucu Kül %	Çimento %	Kireç %	Su %	Yayıma (%-10 vuruşta)	B. Dayanımı (7G-MPa)	B. Dayanımı (28G-MPa)
0	90	--	10	25.5	112	3.6	6.6
10	80	--	10	21.6	110	4.0	10.6
20	70	--	10	19.2	108	3.2	8.7
30	60	--	10	15.4	109	3.9	9.0
40	50	--	10	13.1	109	3.1	4.4
50	40	--	10	10.0	115	3.0	5.4
60	30	--	10	6.7	110	2.5	4.6
70	20	--	10	3.0	107	1.7	3.1
80	10	--	10	0.7	120	1.3	0.9
90	0	--	10	0	145	0.8	1.1

Şekil 4, ağırlıkça %10 kireç içeren örneklerin basınç dayanımlarının YA içeriğiyle değişimini ifade etmektedir. Bu seride 7 günlük dayanımlar 0.8-4.0 MPa arasında değerler alırken, 28 günlük dayanımlar 0.9-10.6 MPa arasında değişmektedir. Özellikle yüksek uçucu küllü karışımlarda 7 günlük dayanımlarla 28 günlük dayanımlar arasında zaman zaman büyük farklar bulunması dikkat çekicidir. Kurutulmuş kırılan örneklerin dayanımları da diğer tüm serilerde olduğu gibi daha yüksek değerler almaktadır. Örneklerin ortalama kuru birim hacim ağırlıkları 1.45 g/cm^3 ve kütlece su emme değerleri ortalama %18.6 dır. %40 ve daha az oranda yapay alçı içeren örneklerin çeşitli yoğunlukta çatlaklar içerdiği görülmüştür.



Şekil 4. Ağırlıkça %10 kireç içeren örneklerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları

Şekil 5'te tüm serilerin 28 günlük basınç dayanımı yapay alçı içeriği ilişkisi birarada gösterilmiştir.

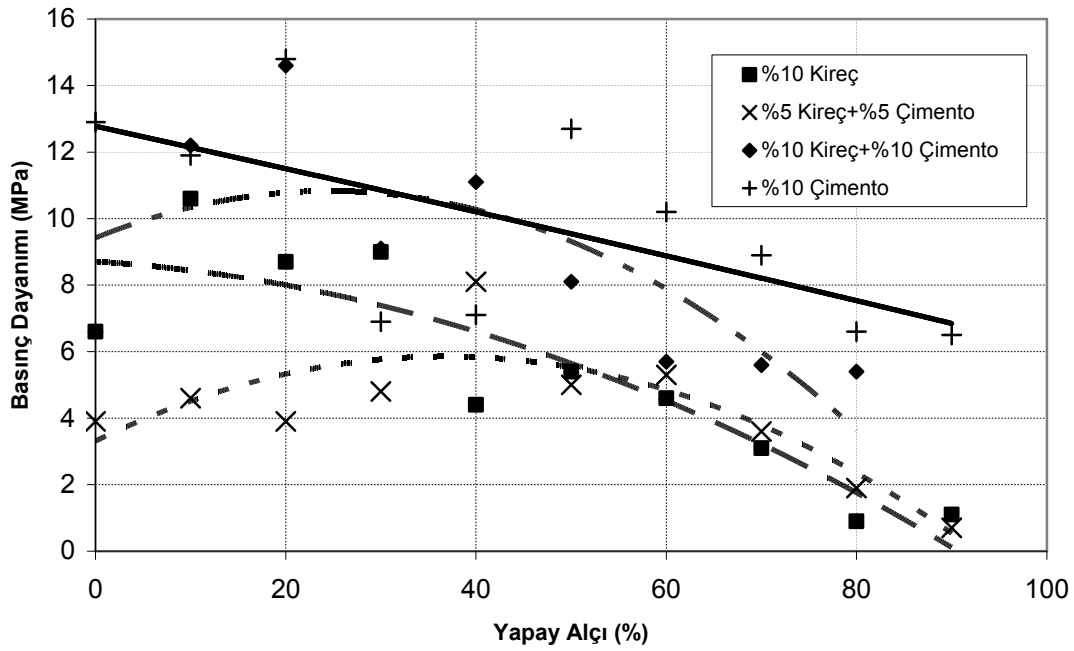
Genel olarak tüm serilerde yapay alçı miktarının artırılmasının (%20-40) basınç dayanımlarında artışlara yol açtığı (Şekil 5) ancak %50 ve daha fazla yapay alçı kullanımının basınç dayanımlarının hızla düşmesine yol açtığı söylenebilir.

3. SONUÇLAR

Bu deneysel çalışma ile, yapay alçı-uçucu kül esaslı karışıma düşük miktarlarda çimento ve kireç katılarak, özellikle taşıyıcı olmayan elemanların üretiminde kullanılacak düşük maliyetli ve çevre dostu bir bağlayıcı geliştirilebileceği görülmüştür. Elde edilen bulgular şu şekilde özetlenebilir;

Ağırlıkça %10 kireç içeren seride basınç dayanımları 0.9 ile 10.6 MPa aralığındadır ve en yüksek değer %10 YA içeren örneklerden elde edilmiştir. %0-30 aralığında genel olarak basınç dayanımlarında artıştan söz edilebilir.

%5 kireç + %5 çimento içeren seride basınç dayanımları 0.7 ile 8.1 MPa arasında değişmektedir. Dayanımlarda %40 YA içeriğine kadar artışlar mevcuttur ve en yüksek değer %40 YA içeren örneklerden elde edilmiştir.



Şekil 5. Değişik oranlarda çimento ve/veya kireç içeren örneklerin 28 günlük basınç dayanımları

%10 kireç + %10 çimento içeren örneklerin dayanımları 5.4 ile 14.6 MPa aralığındadır. En yüksek değer %20 YA içeriği ile elde edilmiştir. %40 YA içeriğine kadar dayanımlarda artışlardan söz edilebilir.

%10 çimento içeren örneklerde basınç dayanımları 6.5-14.8 MPa arasındadır. %20 YA içeriğine kadar dayanımda artma eğilimi belirgindir. En yüksek basınç dayanımı da bu değerde elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Dick A.W. et. all (2000): "Beneficial Uses of Flue Gas Desulfurization By-products and Case Studies of Land application", USA, Land application of Agricultural, Industrial and Municipal By-Products.
- Malhotra V.M., Mehta P.K. (2002), "High Performance, High Volume Fly Ash Concrete", Ottawa, Supplementary Cementing Materials for Sustainable Development Inc.
- Özkul, H. (1991): "Kimyasal alçının kullanılma olanakları", Ulusal Alçı Kongresi, Yapı-Endüstri merkezi.
- Özkul H., Koral, S. (1993): "Atık Kimyasal Alçılar ve İnşaat Mühendisliği Alanında Değerlendirilmesi", Ankara, Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu, TMMOB İnşaat Müh. Odası Ankara Şubesi.
- Sayıl B., Özkul H. (1997): "Endüstriyel atıklardan desülfojips ve uçucu külün bağlayıcı malzeme olarak kullanılabilirliğinin araştırılması", Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu, Eskişehir, TMMOB İnşaat M. O. Ankara Şubesi.
- Skalny J. (1992): "Materials Science of Concrete III", USA, American Ceramic Society.
- Walker W.H. (2000): "Minimization and Re-Use of Coal Combustion By-Products (CCBs): Concepts and Application", The Handbook of APC and Waste Minimization.
- Yazıcı H., Baradan B. (2002): "Endüstri atığı yapay alçıların inşaat sektöründe değerlendirilmesi", İzmir, Dokuz Eylül Üniversitesi Araştırma Projesi.
- Zhao Jie, (1996): "Flue Gas Desulfurization Wastes", Detroit,U.S., Wayne State University.