

Makale

SU GEÇİRİMLİLİĞİNİN PUZOLAN MALZEME İLE AZALTIMASI*

Yrd. Doç. Dr. Hasan BİRİCİK Yıldız Teknik Üniversitesi

1943 yılında doğan Yrd. Doç. Dr. Hasan BİRİCİK 1972 yılında Ankara Atatürk Lisesi 'ni, 1982 yılında Yıldız Üniversitesi İnşaat Fakültesi'ni bitirdi. 1995 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde doktora yaptı. Yabancı dil olarak Almanca bilen H. BİRİCİK; 1992 yılında "Akış-kanlaştırıcı Katkı Maddelerinin Beton Özelliklerine Etkileri" adlı MMLS Tezi ve 1995 yılında "Buğday Sapı Külünün Pozolanik Özellikleri ve Külün Çimento Harcının Dayanıklılığına Etkisi" adlı Doktora tezi vardır.

ÖZET

Su doğada nehir, göl, deniz gibi yerüstü su kaynakları, yeraltı su kaynakları ve atmosferde bulunan su buharı olmak üzere üç şekilde bulunur. Beton, taş, tuğla gibi seramik bünyeli yapı malzemeleri doğası gereği boşluklu malzemelerdir. Bu tür yapı malzemesi kullanılarak üretilen yapı sistemleri genelde bu ortamlardan birinde bulunur ve ortamdaki etkilenir. Yapının su içinde bulunması durumunda etken, yapı elemanının boşluk sistemi ve suyun basıncıdır. Yapının veya elemanın su ile yüzeysel olarak temasında ise su, malzeme yapısındaki kılcal kanallarda kapiler basınç etkisi ile hareket eder. Yapı sistemlerini suyun etkisinden korumak için yapı malzemelerinde var olan boşluk sistemleri azaltılır ya da yapı sistemi suya karşı yalıtım malzemeleri kullanılarak yalıtılır. Önemli yapı malzemelerinden, bilhassa betonun boşluk miktarını azaltmak, niteliklerini iyileştirmek, dayanıklılığını arttırmak ve ekonomikliği sağlamak amacı ile beton üretiminde çimento ile birlikte bazı katkı maddeleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada betonun boşluk miktarını ve boyutunu azaltmak, kılcal boşlukların sürekliliğini engellemek, geçirimsizliğini en aza indirmek ve betonun niteliklerini iyileştirmek amacı ile pozolan malzemelerden buğday sapı külünün bu özelliklere etkileri araştırılmıştır.

1. GİRİŞ

Yapı üretiminde kolay şekil verilebilen ve sürekli yapı elemanı üretimine olanak sağlayan beton, yaygın olarak kullanılmaktadır. Beton yapılar günümüzde yapı sistemlerinin önemli bir kısmını oluştururlar. Bir yapının farklı bölümleri atmosferde, zeminde ya da su içinde bulunabilir ve sudan etkilenir. Bu çalışmada betonun önemli bir özelliği olarak bilinen basınç dayanımı ile su emmesi, kılcal su emmesi ve ağırlık değişimi arasındaki ilişki araştırılmıştır. Betonun boşluklu yapısı, özellikle baraj gövdesi, su deposu, su kanal ve kanaletleri gibi su yapılarında geçirgenlik nedeni ile önem kazanır. Diğer yapılardaki geçirimsizlik ise suya doymuş gözenekli betonun donma-çözülme sonucunda hasara uğraması, zararlı suların korozif etkisi ve çimentoda zamanla çözünen $Ca(OH)_2$ gibi bileşenlerin su ile yıkanması sonucu boşluk boyutunu artırması ve betonu zayıflatması açısından oldukça önemlidir.

Betonun iç yapısında gözle görülen ya da görülmeyen büyüklü küçüklü, sürekli veya süreksiz boşluklar bulunur. Boşlukların özellikle büyük ve sürekli olanları malzeme içerisinden sıvı ve gazların geçmesine ya da dış yüzeyleri tarafından gaz ve sıvıların emilmesine neden olurlar. Malzeme içerisindeki boşluk yapısı düzensiz ve çok karışık olduğundan tam bir sınıflandırma yapmak zordur, ancak boşlukları genel olarak sürekli (açık) ve süreksiz (kapalı) boşluklar olmak üzere iki grupta toplamak mümkündür. Beton içerisindeki boşluklar aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir, a) Agregatanelerinin kendi yapıları içindeki boşluklar. Agregat boşlukları genellikle küçük çaplı olup; agreganın cinsine, çap ve şekline göre değişir, b) Sertleşmiş çimento hamuru içerisindeki boşluklar jel, kılcal ve büyük boşluklardır. Sertleşmiş çimento hamuru içinde $(10-35)A^\circ$ boyutundaki boşluklar jel boşlukları, $(60-106)A^\circ$ boyutundaki boşluklar da kılcal boşluklar olarak tanımlanır. Bu boşlukların miktar, çap ve şekilleri betonun su/çimento oranına, hidrasyon derecesine, agreganın en büyük tane boyutuna, çimento cinsine vs. bağlı olarak değişir. Betonda geçirimsizlik ve donma-çözülme olayı büyük ölçüde bu sistem içerisinde gerçekleşir. Genellikle birbirine bağlı olan kılcal boşluklar, zamanla hidrasyon olayının gelişmesi sonucu tıkanarak sürekliliklerini kaybedebilirler. Çimento hamuru içindeki büyük boşlukların boyutları ise 0.1 mm'den daha büyüktür. c) Agregat yığını içerisinde kalan boşluklardır. Bu boşluklar özellikle betonun iyi yerleştirilmemesinden kaynaklanır, kuru kıvamdaki betonlarda görülür. Agregataneleri arasındaki boşlukları ince malzeme doldurmadığı durumlarda ortaya çıkar. d) Betonun farklı oturmasının yol açtığı boşluklar, betonun oturmasının herhangi bir şekilde engellenmesi nedeni ile ve özellikle iri agregatanelerinin bu oturmayı takip edememesi sonucu, iri agregatanelerinin altında oluşan boşluklardır. e) Plastik kıvamındaki betonun çimento hamurunun agregatanelerinin arasını doldurması sırasında meydana gelen küresel biçimdeki hava boşluklarıdır. Betonda ayrıca rötre neden olduğu çatlak ve boşluklar da bulunur. Hidrasyon ilerledikçe çimento ve suyun mutlak hacmi kademeli olarak azalır. Hidrasyon sonunda herhangi bir su/çimento oranına sahip çimento hamuru, taze çimento hamurunun başlangıçta doldurduğu hacmi tamamen dolduramaz, rötre çatlakları oluşur[1,2,3,4]. Yukarıda belirtilen bu boşluk sistemlerinin sürekli ve büyük olması betonun permeabilitesi, basınç dayanımı ve durabilitesi bakımından önemlidir.

Beton içerisindeki su ve hava boşlukları birbirleri ile bağlantılı olduklarından betonsu geçirgen bir malzemedir. Betonda bağlayıcılık işlevi gören çimento pastasının geçirgenliği betonun dayanıklılığında karar verici bir faktördür. Çimento pastasının geçirgenlik katsayısı yalnız

porozitenin değil aynı zamanda hidrate ürünlerin yüzey alanının ve akış için serbest enerjinin bir fonksiyonudur(6). Bundan başka özgül yüzey alanı fazla olan çimento pastaları denge durumunda çok miktarda su muhafaza edebilir böylece nemin hareketi daha yavaşlar(7). Puzolanlardan uçucu kül katılarak üretilen portland çimentosu pastalarında dayanım ile ilgili olan mekanizmaya bakıldığında uçucu kül katkılı çimento pastasında, örneğin su geçirmezlik ve yüksek kimyasal direnç gibi özellikleri görülür. Uçucu kül partiküllerinin pastada çimento hidratasyon ürünlerinin hızlı ve kolay nükleasyonunu sağladığı varsayılırsa, bu ürünler tek tek uçucu kül senosferlerini tıkaıyıp örtebilir. İlk devreden sonra porozite ve dayanımın değişmesinin ve puzolanik reaksiyonların bir sonucu olarak ilki artar sonraki azalır(8).

Yapı sistemlerine etki yönünden en tehlikeli suların saf sular, sülfat, klörür, nitrat gibi anorganik asitlerin tuzlarını içeren çözeltiler, asetik asit, laktik asit gibi organik asitli çözeltiler sayılabilir. Bu suların etkilenen beton yapılarında zamanın bir fonksiyonu olarak korozyondan söz edilmektedir. Beton korozif ortam etkilerine maruz kaldığında, ortamdaki çözeltilerle çimento hidratasyon ürünleri $Ca(OH)_2$ ile $3CaO \cdot Al_2O_3$ arasındaki reaksiyonlar sonucu yeni bileşikler oluşur. Bu reaksiyon ürünleri hacim genişmesi, yumuşama ve beton yapısının çözülmesine neden olur. Bunun sonucu olarak beton özelliklerinde çözeltilerin türüne, konsantrasyonuna, sıcaklığına ve etki süresine bağlı olarak olumsuz değişimler meydana gelir. Bu tip korozif problemleri en aza indirmek için alınacak önlemler; özel tip çimentolar ile beton üretmek, özel katkı maddeleri kullanmak veya her ikisini birlikte kullanarak beton üretmek şeklinde özetlenebilir. Puzolanlı çimentolar da, «betonla ilgili bu tip sorunlara belirli oranda çözüm getirmektedir. Puzolanın agresif ortamda daha dayanıklı oluşunu, $Ca(OH)_2$ 'in azalmış oluşuna, ürünün düşük geçirgenliğine, çimento jelinin farklı kompozisyonuna, puzolanlı çimentoda oluşan etringitin kararsızlığına bağlanmaktadır[9].

2. PUZOLANLAR

Puzolanlar, kimyasal olarak çok miktarda aktif SiO_2 ve az miktarda Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO gibi oksitler içeren maddelerdir. Puzolan malzeme içindeki camlaşmış aktif silis kireçle karıştırıldığında, nemli ortamda bağlayıcılık özelliği kazanır ve suda erimeyen kalsiyum silikat tuzuna dönüşür. Çimentonun hidratasyon ürünü olan ve suda eriyen $Ca(OH)_2$ ile de birleşerek suda erimeyen silikat tuzu oluşturur. Bu özelliği nedeni ile puzolanlar, çimentonun suya karşı dayanıklılığını olumlu yönde etkiler(10). Çimentonun bir kısmı yerine puzolan ilave edilmesi, betonun plastikliğini artırır, su kuma ve çözülme olaylarını önler, hidratasyon ısısını ve betonun geçirgenliğini azaltır(11) Puzolanlar oluşum şekillerine göre doğal veya yapay olmak üzere ikiye ayrılırlar(4,11,12).

2.1. Doğal Puzolanlar

Doğal puzolan olarak bilinen maddeler volkanik küller, killi şist, diatome toprağı, ponza taşı v.b.'dir. Bunlar dünyanın belirli bölgelerinde bulunmaktadır. Puzolanın kimyasal yapısı ve aktivitesi bulunduğu bölgeye göre değişiklik gösterir. Özgül ağırlıkları 2000 ile 2200 kg/m^3 arasındadır. Doğal puzolanlar kalsinasyon işlemine tabi tutulabilir. Böylece kalsinasyon sonucu varsa yapıdaki karbonatlar bozularak oksitli bileşenlere dönüşür. Doğal puzolanlar, killer ve tortul şistler, opaller ve volkanik tüfler, sünger taşları olarak üç gruba ayrılır (4,12,13)

2.2. Yapay Puzolanlar

Yapay puzolanlar, kalsinasyon işlemi ile elde edilen puzolanlardır. Bunlar çoğunlukla endüstri artığı maddelerdir. Metal silis ve silis alaşımlarının üretiminden silis dumanı, termal elektrik güç santrallerinden uçucu kül, demir çelik endüstrisindeki font üretiminden cüruf, tarım artıklarından pirinç kapçığı külü, buğday sapı külü gibi malzemelerdir(9, 14).

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada, betonun geçirimliliğini, geçirimliliğe puzolan malzemelerin etkisini ve geçirimlilik ile dayanım arasındaki ilişkiyi araştırmak amacı ile yapılan bir deneysel çalışmadan yararlanılmıştır. Deneylerde puzolan malzeme olarak tarım artığı buğday sapı külü kullanılmıştır(15).

Buğday sapı külleri ile kül katkılı ve katkısız harçlar üretilmiş, küllerin harçların eğilme ve basınç dayanımına, kılcal geçirimliliğine, hacimce su emmesine ve ağırlık değişimine etkileri incelenmiştir. Kül çimento ağırlığının %8'i, %16'sı ve %24'ü oranında çimento ile yer değiştirmeli olarak katılmıştır. Külün özgül yüzeyinin büyük olması nedeni ile harcın karma suyu ihtiyacı artırmıştır. Taze harçlarda eşit işlenebilmeyi sağlamak için üretimde piyasadan temin edilen akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır. Kül katkılı ve katkısız harçlar, üretiminden 24 saat sonra kalıptan çıkartılarak, $20 \pm 2^\circ C$ 'da su içinde 27 gün saklanmıştır. Deney programında belirlenen 28., 56., 84., 112. ve 208. günlerde eğilme ve basınç deneyleri, hacimce su emme ve kılcal su emme deneyleri yapılmıştır. Deney gününe kadar su içerisinde bekletilen numunelerde ayrıca 14 gün ara ile ağırlıklar ölçülmüştür.

3.1. Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada, numuneler TS. 24'e göre üretilmiştir. Üretimde, standart RİLEM kumu, özellikleri Tablo 1 ve 2'de verilen Portland çimentosu (PC 42.5), puzolan malzeme olarak özellikleri Tablo 3 ve 4'te verilen buğday sapı külü ve piyasadan temin edilen akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır. Üretimde kullanılan malzeme

miktarları ve kül oranına göre numune kodları Tablo 5'te, taze harçlarda yapılan yayılma ve birim ağırlık deney sonuçları Tablo 6'da verilmiştir.

Sertleşmiş harçlarda üretimden itibaren 28., 56., 84., 112. ve 208. günlerde eğilme, basınç, hacimce su emme, kılcal su emme deneyleri yapılmış, sonuçlar bağıl değerlerin zamana bağlı değişimi olarak Şekil 1-5'te verilmiştir. Bağıl değerlerin belirlenmesinde kül katkısız şahit harcın 28. gündeki değeri esas alınmıştır. Numunelerdeki ağırlık değişimi ise harcın kalıptan çıkarıldığı gün başlangıç kabul edilerek 14 gün ara ile tartından yapılmış, başlangıç değerlerine oranlanarak bağıl ağırlığın zamana bağlı değişimi Şekil 6'da verilmiştir.

Tablo 1 Çimentonun Fiziksel ve Mekanik Özellikleri için: **bakınız: 01**

Tablo1. Çimentonun Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Fiziksel Özellikler		Mekanik Özellikleri			
Ozgül Ağırlık (gr/cm ³)	3.05	Günler	2	7	28
Priz Başlangıcı (dakika)	110	Eğilme Dayanımı (N/mm ²)	4.8	6.1	7.6
Priz Sonu (dakika)	215	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	19	30.4	42.5
Hacim Sabitliği (mm)	3.0				
Ozgül Yüzey (Blaine) (cm ² /gr)	3204				
200µ (900 göz) elek kalıntısı (%)	0.2				
90µ (4700 göz) elek kalıntısı (%)	5.2				

Tablo 2 Çimentonun Kimyasal Analizi, Modüller ve Minerolojik Bileşenleri için: **bakınız: 02**

Tablo 2. Çimentonun Kimyasal Analizi, Modüller ve Minerolojik Bileşenleri

Kimyasal Analiz:	(%)	Modüller:	
SiO ₂ (Çözünen)	20.60	Hidrolik Mod.	2.09
Çözünmeyen Kalıntı	0.38	Silikat Mod.	2.09
Al ₂ O ₃	6.14	Alüminyum Mod.	1.65
Fe ₂ O ₃	3.72	Kireç Standardı	91.87
CaO	63.65		
MgO	1.29		
SO ₃ -	2.55		
Kızdırma Kaybı	1.42		
Tayin Edilemeyen	0.25		
Serbest (CaO)	2.08		
		Mineralojik Bileşenler:	
		C ₃ S *	40.18
		C ₂ S	28.83
		C ₃ A	9.98
		C ₄ AF	11.32

Tablo 3 Buğday Sapının Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri için: **bakınız: 03**

Tablo 3. Buğday Sapının Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Fiziksel özellikler		Kimyasal özellikler	
Nem (%)	9.54	Ekstraktif madde (%)	4.23
Kül (%)	8.6	Kül (%)	8.6
Ozgül ağırlık (gr/cm ³)	2.31	Lignin (%)	15.03
Yoğunluk (gr/cm ³)	0.07	Karbonhidrattaki holosellüloz (%)	45.13

Tablo 4 Puzolan Malzemenin Kimyasal ve Fiziksel Analizi için: **bakınız: 04**

Tablo 4. Puzolan Malzemenin Kimyasal ve Fiziksel Analizi

Kimyasal Bileşenler	(%)	Fiziksel Özellikler	
SiO ₂ (Çözünen)	54.24	Özgül Ağırlık (kg/m ³)	2.41
SiO ₂ (Çözünmeyen)	29.56	İncelik: 90 m'da kalıntı(%)	2.6
Al ₂ O ₃	4.55	200 m'da kalıntı(%)	1.6
Fe ₂ O ₃	1.05	Özgül Alan (cm ² /gr)	5520
CaO	12.54		
MgO	2.39		
SO ₃	1.49		
K	-		
Na	-		
Ca	-		
Kızdırma Kaybı	7.22		
Tayin Edilemeyen	-		
Silis Modülü	9.69		
Alüminyum Modülü	4.33		

Tablo 5 Harç Karışımlarına Giren Malzeme Miktarları için: **bakınız: 05**

Tablo 5. Harç Karışımlarına Giren Malzeme Miktarları

Harç Cinsi	Kül (%)	Kodu	Çimento (kg)	Kül (kg)	Kum (kg)	Su (kg)	Akış (kg)	H.Boş (%)
Şahit	0	PCA	480	0	1440	240	0	6.1
Kül Grubu	8	PCB	443	38	1443	238	2.4	5.7
	16	PCC	403	77	1440	235	4.3	5.6
	24	PCD	363	115	1434	229	9.6	5.6

Tablo 6 Taze Harçlarda Yayılma ve Birim Ağırlık için: **bakınız: 06**

Tablo 6. Taze Harçlarda Yayılma ve Birim Ağırlık

Harç Kodu	Kül (%)	Yayılma Y- R _g /100	Birim Ağırlık (Kg/dm ³)
PCA	0	1.2	2.16
PCB	8	1.2	2.17
PCC	16	1.2	2.14
PCD	24	1.2	2.13

3.2. Mekanik Deneyler

Üretimin 28. günü sudan çıkarılan numunelerin her iki grubunda da şahit grubu temsilen mekanik ve fiziksel deneyler yapılmıştır. Diğer numuneler eğilme, basınç, hacimce su emme ve kılcal su emme deneylerinin yapılacağı 28., 56., 84., 112. ve 208. güne kadar 20±2°C sıcaklıktaki kirece doymun suda saklanmıştır. Puzolanik özelliklere sahip olduğu fiziksel, kimyasal ve mekanik deneyler ile belirlenen buğday sapı külünün harçlara yaptığı etkileri araştırmak için, 28., 56., 84., 112. ve 208. günlerde eğilme ve basınç deneyleri, aynı günlerde hacimce su emme, kılcallıkla su emme deneyleri yapılmış ve ağırlıkları ölçülmüştür.

Eğilme deneyi:

Numunelerde eğilme deneyleri kür yaşına göre 28., 56., 84., 112. ve 208. günlerde TS 24'e uygun olarak üretilen 40x40x160 mm boyutlu 3 adet prizma numunede, Michaelies eğilme aletinde yapılmıştır. Prizma numuneler orta kesitlerinden yüklenerek eğilme etkisinde kırılmaya neden olan kuvvet belirlenmiştir. Eğilme dayanımı aşağıdaki (1) bağıntısından yararlanılarak hesaplanmıştır. Şahit harcın 28. gündeki ortalama eğilme dayanımına oranlanarak bulunan bağıl değerın zamana bağılı değişimi Şekil 1'de verilmiştir.

$$f_{ce} = (P_k \times L / 4) / b \times V_6 - 1.5 (P_k \times L / b_3) \quad (1)$$

Bağıntıda fce eğilme dayanımını (N/mm²), Pk kırılma kuvvetini (N), L mesnetler arası uzaklığı (mm), b numunenin kesit boyutunu (mm) göstermektedir.

Basınç Deneyi:

Eğilme deneyinde kırılan parçalar üzerinde, TS 24'e göre 40x40 mm'lik çelik başlıklardan yararlanılarak 6 adet numunede küp basınç deneyi yapılmıştır. Deneyde 350 kN kapasiteli Universal Press kullanılarak Pk kırılma kuvveti belirlenmiş, basınç dayanımı (2) bağıntısından hesaplanmıştır. Bu değerler şahit harcın 28. gündeki basınç dayanımına oranlanarak bağıl değerler bulunmuş ve Şekil 2'de gösterilmiştir.

fc_b - P_k / b² (2)

3.3. Fiziksel Deneyler

Numunelerin fiziksel özelliklerindeki değişimi belirlemek için birim ağırlık, hacimce su emme, kılcal su emme ve ağırlık değişimi deneyleri yapılmıştır.

Hacimce Su Emme Deneyi

Boyutları 40x40x50 mm olan numunelerde, 28., 56., 84., 112. ve 208. günlerde bütün gruplarda yapılan ölçüm değerlerinden ve aşağıdaki (3) bağıntısından yararlanılarak hacimce su emme değerleri bulunmuş, bağıl değerlerin zamana bağılı değişimi grafiği Şekil 3'te verilmiştir.

hs = (W_{sh} - W_k)100 / (W_{sh} - W_{ss}) (3)

Burada hs hacimce su emme (%) oranını, W_k numunenin kuru ağırlığını (gr), W_{sh} suya doymuş haldeki numunenin havadaki ağırlığını (gr), W_{ss} suya doymuş haldeki numunenin su içindeki ağırlığını (gr) göstermektedir.

Kılcal Su Emme Deneyi

Kılcal su emme deneyi 40x40x50 mm boyutlu numunelerde 28., 56., 84., 112. ve 208. günlerde yapılmıştır. Deneyde öncelikle etüvde 105±5 °C'de değişmez ağırlığa kadar kurutulup, desikatörde oda sıcaklığına kadar soğutulan numunelerin kuru ağırlığı W_k belirlenmiştir. Deneyde numunelerin su ile temas edecek olan 40x40 mm lik yüzeyi 1/20 verniyer taksimatlı kumpasla ölçülmüş, yüzeylerin ortalama gerçek değerleri hesaplanmıştır. Numuneler, su terazisi ile tesviye edilen emaye küvet içindeki cam bağetler üzerine yerleştirilmiş ve numunelerin yüzeyden su ile teması sağlanmış, başlangıçtan itibaren 1., 4., 9., 16., 25., 36., 49. ve 64. dakikalarda tartım yapılarak yüzeyden kılcallıkla emilen su miktarları (Q) belirlenmiştir. Kılcallık katsayısının belirlenmesi için Q/F ile Vt arasında lineer regresyon analizi yapılmış, buradan bulunan kılcal su emme katsayısı (K) şahit harcın 28. gündeki değerine oranlanarak bulunan bağıl değerlerinin zamana bağılı değişimi grafiği Şekil 4'te verilmiştir. (4) bağıntısından K, kılcallık katsayısı (cm²/sn) olarak hesaplanmıştır.

(2) K - (Q²/F²)/t (4)

Bağıntıda K kılcallık katsayısını (cm²/sn), Q numunenin emdiği su miktarını (cm³), F numunenin kılcal su emdiği yüzeyini (cm²), t numunenin kılcallıkla su emme zamanını (sn) göstermektedir.

Ağırlık Değişimi Deneyi

Ağırlık değişimi deneyleri 40x40x50 mm boyutlu 3 adet prizma numunede yapılmıştır. 28. günde sudan çıkartılan numuneler dış yüzeyleri hafifçe kurularak 0.1 gr duyarlıklı terazide tartılmıştır. Suda kür edilen numuneler, 14'er günlük periyotlarla 180. güne kadar buldukları ortamdan çıkarılarak aynı şekilde tartılmıştır. Aşağıdaki (5) bağıntısından hesaplanan değerler şahit harcın 28. gündeki ortalama ağırlık değerine oranlanmış, bulunan bağıl değerlerin zamana bağılı değişimi Şekil 5'te verilmiştir.

W_d = (W_H - W_o)100 / W_o (5)

Bağıntıda, W_d ağırlık değişimi oranı (%), W_t t süredeki numune ağırlığı (gr), W_o başlangıçtaki numune ağırlığıdır (gr).

4. DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ

Puzolan malzemelerin içerdiği SiO₂, Al₂O₃ v.b. aktif elemanlar çimento hidrasyon ürünü olan ve suda eriyen kireci bağlar ve suda erimeyen kalsiyum silikat hidrateyi meydana getirir. Puzolan malzemelerin hidrasyon ısı ve hızını düşürmesi nedeni ile erken yaşlarda dayanımı düşürür ancak nihai dayanımı önemli ölçüde etkilerler. Puzolanlar serbest kireci tespit ederek dayanıklılığı artırır, reaksiyona girmese bile çok ince oldukları için çok küçük olan bu tanecikler pasif agrega işlevi yaparak doluluğu artır, boşluk boyutunu küçültür, kılcal boşlukları tıkmak sureti ile sürekliliği engeller, geçirimsizliği azaltır.

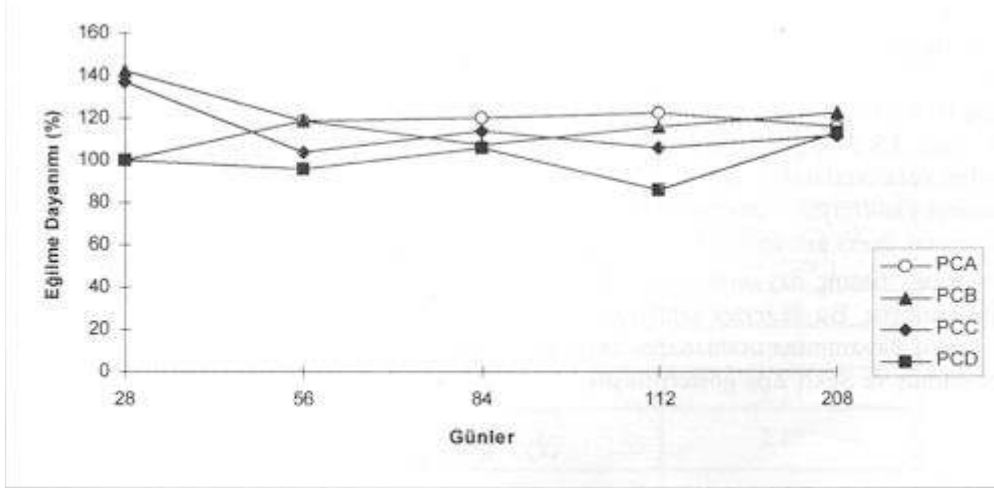
Bu çalışmada puzolanik malzeme olarak kullanılan buğday sapı külü katkılı harç numunelerin erken yaşlardaki

dayanımı, şahit külsüz numunelere göre daha düşük olmuştur. Ancak ileri yaşlarda dayanımların kül oranına bağlı olarak zamanla arttığı, hacimce su emmenin ve kılcal su emmenin azaldığı görülmüştür.

Eğilme dayanımının zamana ve kül oranına bağlı değişimi Şekil 1'de görüleceği gibi, küllü ve külsüz harçlarda benzerdir. Bazı kül gruplarında erken yaşlarda artış olduğu görülse de 56. günden sonra eğilme dayanımı değerleri 208. günde aynı mertebededir. Külün eğilme dayanımına etkisinden söz etmek zordur.

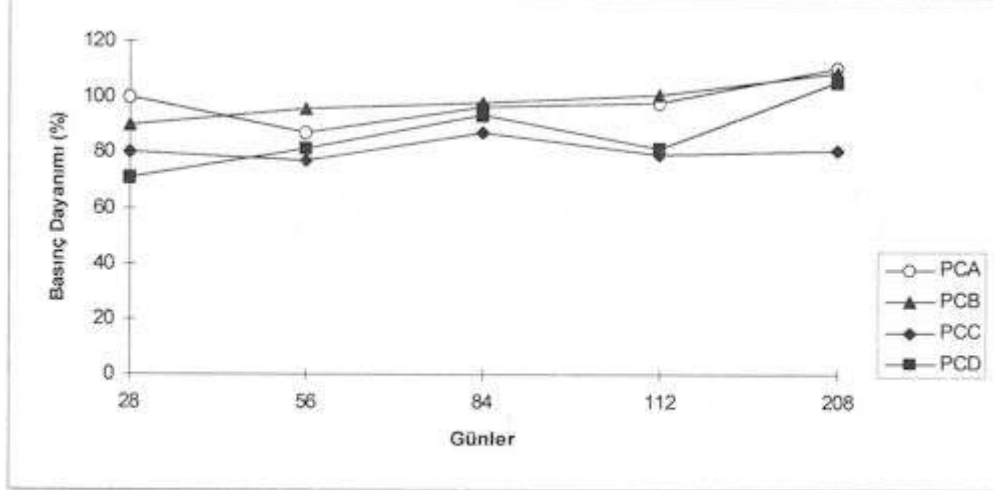
Basınç dayanımının zamana ve kül oranına bağlı değişimi incelendiğinde, basınç dayanımında erken yaşlarda kül oranına bağlı olarak düşme gözlenirken, 208. günde kül oranı ile orantılı olarak artmıştır (Şekil 2). Örneğin; başlangıçta %71 olan dayanım 208. günde %34'lük artışla %105 değerine ulaşmıştır.

Şekil 1 Eğilme Dayanımı Zaman Grafiği için: **bakınız: 07**



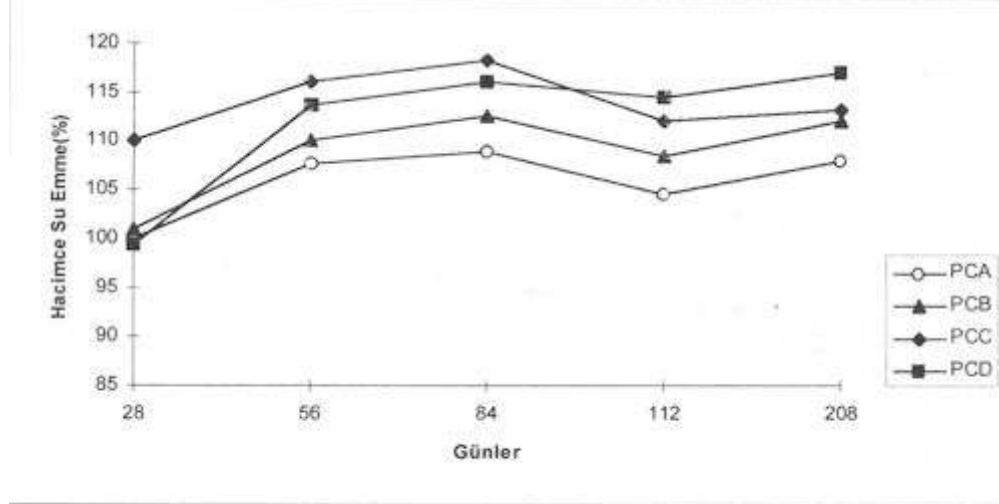
Şekil 1. Eğilme Dayanımı- Zaman Grafiği

Şekil 2 Basınç Dayanımı Zaman Grafiği için: **bakınız: 08**



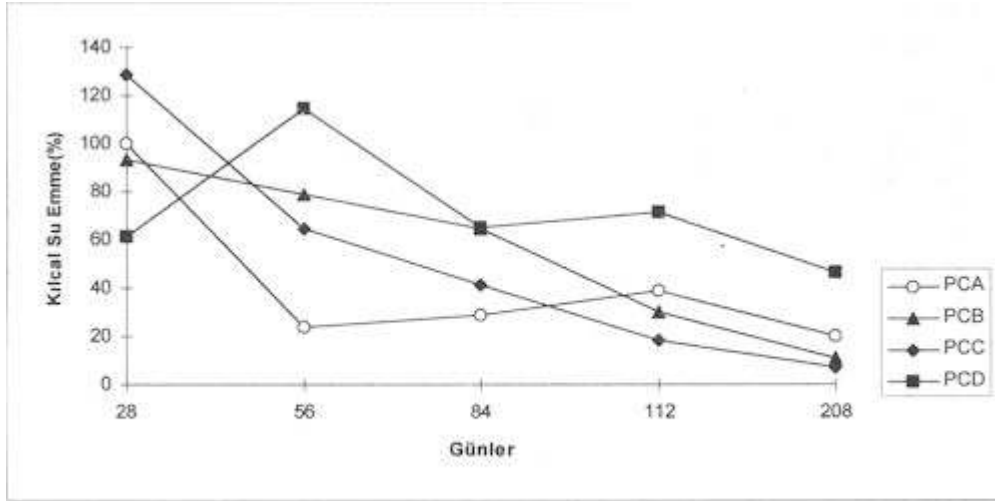
Şekil 2. Basınç Dayanımı- Zaman Grafiği

Şekil 3 Hacimce Su Emme Zaman Grafiği için: [bakınız: 09](#)



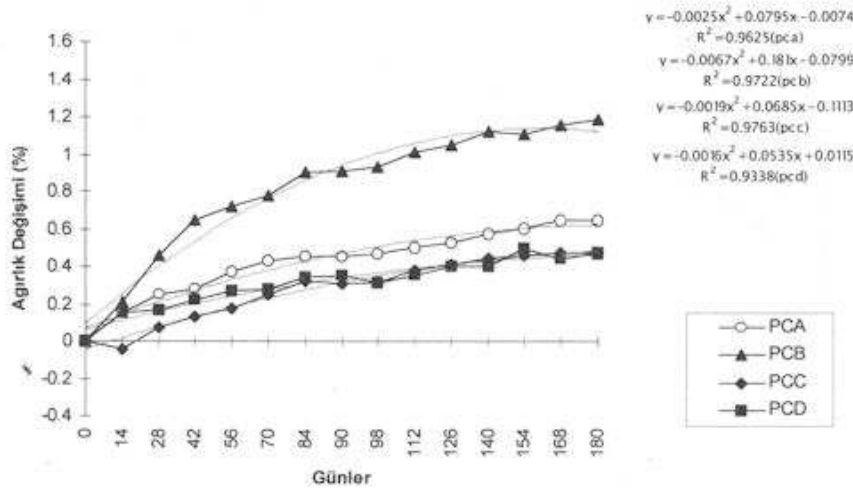
Şekil 3. Hacimce Su Emme- Zaman Grafiği

Şekil 4 Kılcal Su Emme Zaman Grafiği için: [bakınız: 10](#)



Şekil 4. Kılcal Su Emme- Zaman Grafiği

Şekil 5 Ağırlık Değişimi Zaman Grafiği için: [bakınız: 11](#)



Şekil 5. Ağırlık Değişimi- Zaman Grafiği

k

Hacimce su emmenin zamana ve kül oranına bağlı değişiminin verdiği Şekil 3 incelendiğinde tüm grupların su emmeleri zamana ve kül oranına bağlı olarak artış göstermiştir. Ağırlık değişiminin ve kılcal su emmenin kül oranı ile azalmasına rağmen hacimce su emmenin artmış olması, etkin porozitenin artmış olmasına bağlanamaz. Bu durum, hacimce su emme (etkin porozite) ile geçirimsizlik arasındaki bilinen ilişkiye uymamaktadır. Hacimce su emmenin kül oranı ile artışı, özgül yüzeyi fazla olan külün adsorbe etme özelliğine ve kül içindeki karbon oranına bağlanabilir(9).

Şekil 4 incelendiğinde %8 ve %24 kül katkı grupların kılcal su emmesinin başlangıçta, %8 ve %16 katkı grubun ise 112. ve 208. günlerde katkısız grubun kılcal su emmesinden düşük olduğu görülmektedir. Külün kılcal boşlukları tıkamak suretiyle sürekliliğini kestiği ya da kılcal boşlukları daraltmış olabileceği söylenebilir. Buradan kılcal geçirimsizlik bakımından etkin kül oranının %8 ve %16 olduğu, geçirimsizliğin ileri yaşlarda azalmış olduğu sonucuna varılabilir.

Ağırlığın kül oranı ve zamana bağlı değişimi ile ilgili olarak Şekil 5 incelendiğinde, tüm gruplarda zamanla ağırlıkta artış görülmüştür. Ancak ağırlık artış değerleri çok küçük mertebededir. %8 kül katkı grup hariç diğer iki küllü grubun ağırlık değişimi şahit numuneninkinden daha azdır. Tüm gruplarda ağırlık artışları 90. günden sonra sabitleşme eğilimine girmiştir. Başlangıç değeri dikkate alınırsa ağırlık değişiminin kül oranına bağlı olduğu görülür. Ağırlık artışında azalma yönündeki değişim, hidrasyon sırasındaki yeni oluşumlara bağlanmaktadır(8).

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Yukarıda yapılan incelemeler sonucunda;

- Buğday sapı külünün özgül yüzeyinin çimentonunkinden daha küçük oluşu ve aktif silis içeriği nedeni ile çimento hidrasyon ürünü olan serbest kireci bağladığı ve ayrıca reaksiyona girmeyen kül taneciklerinin pasif agrega işlevi yaparak poroziteyi azalttığı,
- Puzolanik özelliğe sahip buğday sapı külü ile üretilen harçlarda erken yaşlarda dayanımın düştüğü, ileri yaşlarda dayanımın artmasına neden olduğu,
- Buğday sapı külünün, hidrasyon ürünü olan kireci tespit etmiş olması yanında pasif agrega işlevi yaparak boşluk boyutunu küçülttüğü, kılcal kanalları tıkadığı ve kılcal sürekliliği azaltarak kılcal su emmeyi düşürdüğü görülmüştür.
- Bu araştırmada 670 °C sıcaklıkta elde edilen buğday sapı külü kullanılmış ve deney süresi 208 gün ile sınırlandırılmıştır. Farklı sıcaklıklarda elde edilecek kül ile daha uzun süreli deneylerin yapılması ilginç olacaktır.

KAYNAKLAR

- (1) Uyan, M, 1975, *Beton ve Harçlarda Kılcallık Olayı, t.T.UYayınları Doktora Tezi.*
- (2) Powers, TC, 1956, *The Physical Structure of Cement and Concrete, Cement and Lime Manufacture, Vol.29, No.2, pp. 13-24.*
- (3) Auskern, A., Horn, W., 1973, *CaoİlaryPorosity in Hardened Cement Paste, Journal of Testing and Evaluation. Vol.L, No.1, pp. 74-79.*
- (4) Postacı oğlu, B., 1969, *Yapı Malzemesi Dersleri, t.T.U. Yayınları.*
- (5) Mc. Graw- Hill Civil Engineering Seri es, *Composition and Properties of Concrete. Völ.U, p.261.*
- (6) Powers, TC, 1979, *The specific surface area of hydrated cement obtained from permeability data, Mater.Const. (Paris) Völ.12, No.69, pp. 159-168.*
- (7) Hogan F.J. and Meusel J. W., 1981, *Evaluation of ground granulated blast- furnace slag. Cem.Concr.Aggr. Vol.3., pp.40-52.*
- (8) Montgomery, 1981, D.G., Hughes, D.C and Williams, R.I. T, *Fly ash in concrete: a microstructural study, Cem.Concr.Res. Vol.II, pp.591-603.*
- (9) Massazza F, 1989, *Puzolanlı Çimentolar ve Kullanım Alanları, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Mayıs, Ankara.*
- (10) Lea, F.M., 1970, *The Chemistry of Cement and Concrete, 3rd ed., p.442, London.*
- (11) Kocataşkm, F, 1959, *Beton Teknolojisi, İ.TUKütüphanesi, Sayı. 400, pp.58-60.*
- (12) Neville, A.M., 1995, *Properties of Concrete, Longman Scientific & Technical, pp. 77-80.*

(13) Erguvanlı, K., 1983, Mühendislik Jeolojisi, İ.TU Maden Fakültesi, İstanbul.

(14) Mehta, P.K., 1983, Pozzolanic and Ce-mentitious by Products as Mineral Admixtures for Concrete, Fly Ash, Silica Fume, Slag and other Mineral by Products in Concrete, Vol 1, ACI SP 79, pp. 1-46.

(15) Biricik, H, 1995, Buğday Sapı Külünün Pozolanik özellikleri ve Külün Çimento Harcının Dayanıklılığına Etkisi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.

*** Bu makale Yapıda Yalıtım Konferansı Bildiriler Kitabı 'ndan alınmıştır. 11-12 Şubat 1999 İstanbul.**