

BETONARME YAPI ELEMANLARI ÜZERİNDEKİ BASINÇLI YERALTI SU GEÇİRİMLİLİĞİNE PUZZOLAN KATKI MADDELERİNİN ETKİSİ

*Zuhal ŞİMŞEK**
*Nilüfer AKINCITÜRK**

Özet: Su, insan yaşamının sürekliliği açısından zorunlu olan bir maddedir. Su, yaşamın devamı kadar, yapay ortamları oluşturan yapıların uygulama sürecinde kullanılan malzemeler açısından da önem taşır.

Yapıların hizmet ömrü boyunca suyun zararlı etkilerinden korunabilmesi için, yapı üzerindeki her nokta, su etkisine karşı direnç gösterecek detaylar ve malzemeler ile üretilmeye çalışılmaktadır. Zeminin de yapı kadar etkili olduğu, özellikle suyun uzun süreli kullanımında ve zemin suları ile olan sürekli temaslarında korozyon vb. etkilerin ön plana çıkarak yapıyı kullanılmaz duruma getirmektedir. Yapı üzerinde oluşturduğu tahribatlar göz önünde bulundurulduğu zaman, bu etkileşimindeki en büyük rol basınçlı yeraltı suyunun oynadığı görülmektedir.

Drenaj ve diğer su yalıtım tekniklerine karşı gelişen ve karmaşıklaşan yapı ve taşıyıcı öğelerinin kesişen ara kesitlerinde, yalıtım malzemeleri ile istenilen performans ortaya konulamamaktadır. Her türlü yalıtımın bünyesinde taşıdığı zayıf noktalar ile bu yalıtımların yapı-su geçirimsizliği açısından ömürleri sorgulanmaya başlanmıştır. Bu nedenle, günümüzün etkin kullanılan yapı malzemesi olan betonun dış etmenlere karşı dirençli, suya karşı ise geçirimsiz bir konumda üretilmesi yöntemi araştırılmıştır.

İstenilen performans da, dirençli ve geçirimsizliği sağlanmış beton malzemenin laboratuvar ortamında, farklı oranlarda mineral katkı ile oluşturulan çok sayıda numune üzerinde deneyler yaparak oluşturulmasına çalışılmıştır (Şimşek 2005).

Anahtar Kelimeler: Temeller, su yalıtımı, geçirimsiz beton, puzzolanik katkı maddeleri.

The Role of Pozzolan Admixtures on Reinforced Concrete Structures Effected from Hydrostatic Pressure

Abstract: Water is a substance vitally needed for continuity of the human living. Apart from being an element of survival, water is important for structures constituting artificial media. Trying to produce structures that will be unaffected by water throughout their service life, humans are trying to work out details and devices that will ensure that each point on a structure is resistant to the effects of water. Nowadays it has been understood that it is insufficient to conduct such works on structures only, ground being as important as the structure itself, and especially that the water is dominant in the interaction between the structure and the ground, rendering the structure unusable.

Efforts to keep the water away from structures using extra-structural means such as draining have been tried, solutions also being sought in various types of structural insulation. Despite all these measures, structures that have been developing and becoming more complex, and insulation devices on intersections of bearing elements have not yielded the desired performance. In the meanwhile, lives of insulation types have come into question in the sense of structural water resistance and weak points such insulation structures have.

Solution aiming to work out a type of concrete that would be resistant and non-permeable, which is the desired performance, has been obtained in laboratory conditions by testing numerous samples composed with various mineral additions.

Keywords: Fundament, water insulation, non-permeable concrete, pozzolanic admixtures.

1. GİRİŞ

Yaşamın sürdürülebilirliği için gerekli temel faktörlerden biri sudur. Özellikle yapıyı oluşturan birçok harcın ve betonun yapımını gerçekleştiren öğe oluşu, önemini daha da arttırmaktadır. Yapı yapma ey-

* Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 16059, Görükle, Bursa.

leminde en çok kullanılan malzemenin beton olduğu düşünülecek olursa, suyun yapılarda nedenli yaygın olarak kullanıldığı görülür. Suyun bu olumlu etkilerinin yanı sıra, kontrol altına alınmadığı durumlarda yapılarda tamiri çok zor hasarlar oluşturduğu gözlenmiştir. Yapının üst bölümlerinin atmosfer koşullarına açık olmalarından dolayı kar ve yağmur suları, yağış olduğu ve beton yüzeyler üzerinde önlemi alınmadığı durumlarda hasarlara yol açabilmektedir. Fakat yapının sürekli bir su kütlesi ile çevrili olmamasından dolayı oluşabilecek hasar yüzdesi çok daha düşük oranlardadır. Yapının toprak altında kalan bölümlerinin ise zemin ile çevrili olmalarından dolayı, sürekli olarak zemin ve yeraltı suları ile etkileşim halindedirler. Özellikle yapının tüm yüklerini zemine aktaran ve onu taşıyan bölümlerinin sürekli su ile etkileşim halinde bulunması, yapının taşıyıcılığı açısından sorun yaratmaktadır.

Suyun beton malzemenin içine nüfuz etmesi sonucunda yapı yüzeylerinde kir, çiçeklenme, küf ve mantar oluşumu gözlenir (Şekil 1). Bunun yanı sıra, zeminde bulunan sülfat vb. iyonlarının su ile birlikte malzeme içerisine girmesi sonucu kimyasal bozulmalar da gözlenir. Bu kimyasal reaksiyonlar sonucu malzeme içindeki boşluk sayısı hızla artar. Boşluk sayısının artması malzeme içine giren su ve sülfat miktarının da artmasına neden olur. Hasar süreci bu süreklilik içinde artar ve yapının işlevini yitirmesi ile sonlanır.



Şekil 1:
Zemin suyunun bodrum kat betonarme perde duvarlarında oluşturduğu hasarlar (Şimşek 2005)

Su, betonda olduğu kadar içindeki çelik üzerinde de büyük hasarlar oluşturur. Donatı ile bulunduğu noktalarda korozyonu başlatıp, statik ve dinamik tüm yükleri karşılayan ve aktaran yapı bölümlerinin, en küçük bir yüklemeye anında etkisiz kalacak bir duruma gelmesine neden olur (Şekil 2). Bu sebeple, yeraltı suyunun betona işleme derinliği, paspayı değerinden daha az olması gerekmektedir. Ancak bu durumda donatı korozyon olayında korunur ve yapının sürdürülebilirliği sağlanabilir (Şimşek 2005).



Şekil 2:
Korozyona uğramış donatı (Şimşek 2005)

Suyun beton ile etkileşime girerek bu hasarları oluşturabilmesi için onu, malzemenin içine doğru iten bir kuvvet ve suyun ilerlemesine olanak veren birbirleri ile ilişkili boşlukların bulunması gerekir. Beton içindeki kılcal kanallar içinde oluşan kapiler emme kuvvetleri, suyu yerçekimine ters bir yönde, beton içine çekilmesine olanak verir. Yeraltı suyunun hidrostatik kuvveti ise suyun basınçla boşluklara doğru itilmesini sağlar. Bu durumda su, sadece yapı elemanının içine girmekle kalmaz; yapının taşıyıcı bölümlerine basınç uygulayarak zorlanmasına neden olur.

Suyun ilerlemesine olanak veren boşluklar ise ideal granülometrinin hazırlanmadığı, taze betonun iyi sıkıştırılmadığı durumlarda, beton tanecikleri arasında kalan hacimlerden oluşur. Ayrıca yüksek işlenebilirliğin sağlanması için arttırılan su/çimento oranı da boşluk oranını arttıran bir diğer etkidir. Bununla birlikte, yapısına suyu alacak çatlakların oluşmaması için betonun prizini alma aşamasındaki bakım işlemlerine de gereken önem gösterilmelidir.

Betonu suyun zararlı etkilerinden korumak için drenaj ve yalıtım teknikleri ile de çözümler aranmaktadır. Ancak bu çözümler betonun dayanımı arttıracak yönde bir iyileşme sağlayamamakta, suyun yüzeyler ile temasını da kesebilmektedir. Fakat çoğu şantiyede, yalıtım uygulamalarının eksik veya hala uygulanıyor olması, bu sistemin geçerlilik süresini de oldukça kısaltmaktadır. Yalıtım sisteminin hasar gördüğü bir noktadan suyun beton ile buluşması, hasarların tekrar başlamasına neden olur.

Betonun su ile buluşması ile başlayan ve zamanla artan hasarlar, yapının taşıyıcılığını yitirmesi ve insanlar için sonuçlarının düzeltilmesi çok zor maddi, manevi birçok hasarın oluşması ile sonlanacaktır. Özellikle 1999 depremi sonrası, İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin 55.000 konut üzerinde yaptığı araştırmalar sonucunda, konutların % 64'ünün donatı korozyonu nedeniyle hasar gördüğü tespit edilmiştir (Bonfil 2005). Suya karşı alınabilecek önlemler, aslında yapının ömrünü uzatmaya ve dayanımını arttırmaya yönelik atılan en büyük adımdır. İyi sıkıştırılarak yerleştirilmiş, doğru karışım oranına ve düşük su/çimento değerine sahip minimum poroziteli betonun oluşturulmasıyla hem suyun ilerleyebileceği kanalların oluşması engellenmiş olur, hem de yüksek dayanıma sahip bir beton elde edilir. Betonun yüksek dayanım kazanması, yapının olası bir deprem kuvvetine karşı direnerek ayakta kalması açısından önem taşır. Bu konular üzerinde yapılan tüm araştırmalar, yapı malzemelerinin içinde en çok betonda oluşan hasarlar sonucu can ve mal kayıplarının ortaya çıktığını göstermiştir. Bununla birlikte, deprem sonrası ortaya çıkan hasarların oranı düşünülecek olursa, ülkemizde betonun ne kadar yanlış hazırlanıp uygulandığı ortaya çıkacaktır. Yapılarda en yaygın kullanılan malzemenin, kullanımındaki bilgi ve deneyim eksikliği bu çerçevede açığa çıkmaktadır. Fakat uygulamaya gerekli önemin halen verilmediği görülmektedir. Buna karşın son zamanlarda artan hazır beton üretimi ile doğru karışım oranlarına sahip beton üretilebilmektedir. Özellikle yeni nesil akışkanlaştırıcı maddelerinin kullanılması ile düşük su/çimento oranına sahip, yüksek işlenebilirlikte betonlar üretilebilmektedir. Ayrıca, betonun geçirimsizliğinin azaltılması ve dayanımının arttırılması için boşluklarını doldurarak, tanecikler arasında sıkı bağlar kuran ek maddelere de ihtiyaç duyulmaktadır. Firmalarca, laboratuvar koşullarında hazırlanan kimyasal katkıların dışında, çok ince tane çapına sahip ve su ile buluştuğunda hidrasyona uğrayarak bağlayıcılık özelliği kazanan, doğal ve yapay puzzolan maddeler de geçirimsizliğin sağlanması için beton karışımı içine ilave edilen katkı maddeleri arasındadır. Katkı maddesi olarak bu kullanılan maddeler, suyun malzemenin içerisinde ilerlemesini engellemek amacı ile betona ilave edilir. Fakat beton hangi katkılarla iyileştirilirse iyileştirilsin, iyi hazırlanmayıp sıkıştırılmadığı takdirde istenilen performans elde edilemez. Dayanıklı ve dayanımı yüksek ve minimum boşluklu bir beton, suyun oluşturacağı olumsuz etkilere karşı, maksimum direnç gösterir.

Taze betonun karıştırılma işlemi sırasında ilave edilen katkı malzemelerinin karışımın ağırlıkça % 10'dan fazla olması durumunda, ayrı bir katkı malzemesi olarak değil de malzemeyi oluşturan ana bileşen olarak davranmaktadır. Bu nedenle, bağlayıcılık özelliğine sahip puzzolan katkı maddeleri, aynı işlevi gören çimento ile yer değiştirerek karışıma ilave edilmektedir.

Ham demirin üretilmesi sonucunda atık madde olarak açığa çıkan cüruf, termal güç santrallerinde yanma gazları ile birlikte bacadan kolayca dışarıya çıkabilen, ince taneli uçucu küller ve silis alaşımlarının elektrik fırınlarında üretimi sırasında açığa silis dumanı, çimento yerine kullanılabilinen yapay puzzolanlardır. Yapay puzzolan katkıları çimento fırınlarında, çimentodan çok daha ince taneciğe sahip olana kadar öğütülmeleri, hidrasyon yüzeyinin artarak bağlayıcı ve agrega arasındaki bağın çok daha kuvvetli olmasına ve iki malzeme arasında oluşabilecek boşlukların minimuma inmesine sebep olur. Çimentonun, beton karışım hesaplarında belirlenen oranlar dışında, puzzolan katkılarının ilave edilmesi ile daha az oranlarda kullanılması, hem çevresel atıkların değerlendirilmesine olanak verir, hem de üretim sürecinde daha az enerji ve yakıtın kullanılmasına, bunun yanı sıra daha az sera gazları ile zararlı atıkların doğada serbest kalmasına olanak verir. Atıkların çimento endüstrisi yolu ile değerlendirilmesi, daha dolu bir beton elde etmenin yanı sıra çevre açısından da oldukça büyük yararlar sağlamaktadır.

Basınçlı yeraltı suyunun oluşturacağı hasarları en aza indirebilmek için en az boşluk oranına sahip bir betona oluşturmak amaçlanmıştır. Bunun için betonu oluşturan agrega taneciklerini, tamamen saran ve her taneciğin arasını dolduran daha ince çaplara sahip, farklı oranlarda puzzolan katkıları kullanarak beton numuneleri hazırlanmış ve bu numunelerin basınçlı su karşısındaki su işleme derinlikleri ölçülmüştür.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada; betonda minimum basınçlı su geçirimsizliği, dayanıklılık ve sürdürülebilirlik, dolayısıyla ile yüksek performans sağlamak için betonda, yüksek kompasiteli, geçirimsiz bir gözenek yapısının sağlanması yanında, endüstriyel atık olan puzzolanların değerlendirilmesi, ekonomi sağlanması, çoklu bileşimin betonun dayanıklılığına ve sürdürülebilirliğine etkisinin araştırılması amacıyla yapılmıştır. Bu deneyler İstanbul Kültür Üniversitesinin ARGE laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada, karışım kompozisyonu detayları Tablo II’de verilen, dolomitik kalker agregası, deniz kumu ve portland çimentosu 42,5 kullanılmıştır. Su / bağlayıcı oranı 0.33 olarak sabit tutulmuş, işlenebilirliği sağlamak için bağlayıcı oranının %0,9’u oranında Glenium kullanılmıştır. Üretilen her gruptaki, taze betonda birim ağırlık ve çökme deneyleri, sertleşmiş betonda ise basınçlı su geçirimsizliği ve kılcal su emme deneyleri yapılmıştır. Bunlar üçer adet numuneler üzerinde yapılmış, aritmetik ortalamalarından bağlı değerleri hesaplanarak, grafikleri çizilmiştir. İmpermeabilite (TS EN 12390–8 su işleme derinliği standardına göre yapılmış maksimum derinlik ölçülmüştür) ve 15 cm’lik küp numunelerde ölçülmüştür. Su işleme derinliği için 28. ve 90. günlerde 30 adet numune üretilmiştir.

2.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada, tüm karışımlarda aynı çimento ve agrega kullanılmıştır. Hesaplanan agrega granülometrisi, TS 706 standardı A16-B16 referans eğrileri arasında, B16 eğrisine yakın olacak şekilde belirlendi ve tüm çalışmalarda sabit tutulmuştur. Beton üretiminde kum, I ve II nolu kırma taş dane boyutlarına göre elenerek gruplandırılmış ve karışımın her gruptan belirli oranlarda alınması sağlanmıştır. Çimento ve puzzolan olarak silis dumanı, cüruf, uçucu kül, kireç tozu ve kalker filleri katılmıştır. Puzzolan katkıları kullanarak üretilen betonlarda, aynı işlenebilirliği sağlayabilmek amacı ile puzzolan oranına bağlı olarak % 0.9 oranında süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi ilave edilmiştir. Kullanılan tüm bileşenlerin gerçek miktarları Tablo I’de verilmiştir.

Tablo I.
1 m³ taze beton için gerçek malzeme miktarları

Numune Kodu	Şahit	1.Seri	2.Seri	3.Seri	4.Seri
Çimento (kg/m ³)	397	195	192	198,5	198,5
Su (kg/m ³)	131	129	127	131	131
Kum (kg/m ³)	919	903	889	919	919
Kırma Taş No:I (kg/m ³)	443	435	428	443	443
Kırma Taş No:II (kg/m ³)	644	633	623	644	644
Silika Fume (kg/m ³)	-	31,2	31	32	-
Curuf (kg/m ³)	-	163,8	146	151	151
Ucucu kül (kg/m ³)	-	-	-	-	32
Kireç (kg/m ³)	-	-	15	-	-
K.Fil (kg/m ³)	-	-	-	16	16
Gleny.27 (kg/m ³)	3,2	3,5	3,5	3,6	3,6
%H	0,6	2,3	3,8	0,6	0,5

Mineral Katkı Maddeleri:

Üretimde, Antalya Ferrokrom Tesislerinden temin edilen silis dumanı, AkçanSA Çimento fabrikasından temin edilen cüruf, Yatağan Termik Santralinden uçucu kül, Çimsa çimento fabrikasından kalker filleri ve Labor firmasından kireç (CaCO₃) temin edilmiştir. Deneyde kullanılan mineral katkıların kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo III’de verilmiştir.

Kimyasal Katkı maddeleri:

Çalışmada modifiye edilmiş polikarboksilik eter esaslı, erken ve yüksek mukavemet ve dayanıklılığı elde edebilmek için yüksek oranda su ihtiyacını azaltan, yeni nesil bir katkı maddesi olan YKS Glenium 51 kullanılmıştır. Glenium 51 kullanarak düşük su/çimento oranı ile reoplastik beton elde edilebilir, ayrışma ve kasma engellenebilmektedir. Ayrıca vibrasyon süresi kısaldı, buhar küre ortadan kalkar,

yüzey görünümü olumlu yönde etkilenmektedir. Erken ve son mukavemet, elastise modülü, çeliğe aderans, büzülme, sünme ve agresif kimyasallara karşı dayanım artmaktadır.

Tablo II.
Çimento ve diğer mineral katkıların kimyasal analizi ve mineralojik bileşenleri

Kimyasal Analiz:	Çimento (%)	Silis Dumanı (%)	Cüruf (%)	Uçucu Kül (%)	Fiziksel Özellikler	
					Priz Başlangıcı (dakika)	155
SiO ₂	19.86	83.84	35.80	51.50	Priz Sonu (dakika)	190
Al ₂ O ₃	5.50	0.46	13.78	23.08	Hacim Sabitliği (mm)	1.0
Fe ₂ O ₃	3.55	1.32	1.17	6.07	Özgül Yüzey (Blaine) (cm ² /gr)	3670
CaO	64.27	1.35	39.06	10.53		
MgO	1.19	4.84	5.95	2.42	Mekanik Özellikler	
SO ₃	2.66	1.30	1.31	1.32	Günler	Basınç Dayanımı (N/mm ²)
Na ₂ O	0.23	0.53	-	0.77	7	40.8
K ₂ O	0.76	3.63	-	2.54	28	51.0
CaCO ₃ +MgCO ₃	-	0.75	-		Not: Silis dumanının özgül yüzey alanı 14,400 cm ² /gr'dır.	
Klorür (Cl ⁻)	-	0.14	-	0.0028		
Kızdırma Kaybı	1.81	2.47	0.71	1.06	Cürufun özgül yüzey alanı 5500 blaine Uçucu külün tane dağılımı 0.5-30µm	
Çözünmeyen Kalıntı	0.31	-	-	-		
Mineralojik Bileşenler:	(%)	-	-	-		
C ₃ S	54.23	-	-	-		
C ₂ S	16.11	-	-	-		
C ₃ A	8.58	-	-	-		
C ₄ AF	10.80	-	-	-		

2.2. Beton Karışım Hesabı

1m³ yerine yerleşmiş taze beton üretiminde teorik malzeme miktarlarının hesabında kullanılan bağıntılar aşağıda verilmiştir. Üretimde su/çimento oranı 0.33, dozaj 400 kg/m³ olarak alınmıştır.

Numunelerin hazırlanmasında katkısız olarak üretilen beton kontrol amaçla üretilen şahit beton olarak adlandırılmıştır. Diğer tüm serilerde % 50 çimento oranı sabit tutulmuş ve diğer % 50'lik dilimde farklı puzzolan katkıları kullanılmıştır. 1. seride % 42 oranında cüruf, % 8 oranında silis dumanı ilave edilmiştir. 2. 3. ve 4. serilerde % 38 cüruf oranı sabit tutulmuştur. 2. seride buna ek olarak % 8 oranında silis dumanı ve % 4 oranında kireç, 3. seride silis oranı da sabit tutularak kireç yerine aynı oranlarda kalker filleri, 4. seride de 3. seride ise farklı olarak silis dumanı yerine, aynı oranlarda uçucu kül ilave edilmiştir. (Tüm bu kompozisyon oranları yapılan ön deneyler sonucunda belirlenmiştir) Hazırlanan karışım kompozisyonunun detayları Tablo III'de belirtilmiştir

Tablo III.
Karışım kompozisyonu detayları

Karışım Kodu	Çimento (%)	Curuf (%)	Silis Dumanı (%)	Ucucu kül (%)	Kireç (%)	K.Fil (%)
Şahit	100	-	-	-	-	-
1.seri	50	42	8	-	-	-
2.seri	50	38	8	-	4	-
3.seri	50	38	8	-	-	4
4.seri	50	38	-	8	-	4

2.3. Numunelerin Üretimi

Çalışmada karışım Tablo IV'de oranları verilen malzemeler kullanılarak tüm seriler aynı işlenebilirlikte üretilmiştir.

Üretime başlamadan önce, agregalar 0.25 ile 32 mm arasında değişen kare gözlere sahip eleklerden elenerek gruplanmıştır. Tane çaplarına göre gruplanan agregalar, karışım hesapları sonucu elde edilen veriler doğrultusunda, darası alınmış metal kaplarda elektronik hassas kantar ile tartılarak karışım için hazırlanmıştır.

Tüm bileşenler düşey eksenli, cebri karıştırıcı, 50 litrelik laboratuvar tipi betonyer de karıştırılmıştır. İç yüzeyi ıslatılmış olan betonyerde ilk aşamada; kum, çakıl, çimento ve mineral katkıları bir dakika boyunca karıştırılmış, sonra karma suyu ilave edilip üç dakika daha karıştırılmıştır. Karışım işlemi tamamlandıktan sonra taze beton üzerinde birim ağırlık ve kıvam deneyleri yapılmış, daha sonra da elde edilen beton 15 cm kenar boyutlarına sahip yağlı küp kalıplara, içinde boşluk kalamayacak biçimde şişlenerek yerleştirilmiş, kalıpların üst yüzleri master ile düzeltilmiş ve ıslatılmış polimer malzemeler ile örtülerek düz bir yerde 24 saat muhafaza edilmiştir.

Üretimden 24 saat sonra numuneler kalıptan çıkarılarak deneyin yapılacağı güne kadar 20 C° sıcaklıkta kirece doymuş su havuzlarında bırakılmıştır. Üretimden 7., 28. ve 90. günlerde yapılacak olan basınç ve impermeabilite deneyinden 24 saat önce, kılcallık deneyinden ise 48 saat önce kür havuzundan çıkartılarak 18 ± 4 C° sıcaklıkta ve %47.66 bağıl nem değerlerine sahip laboratuvar ortamında kurumaya bırakılmıştır.

2.4. Taze Betonda Yapılan Deneyler

Hazırlanan her numunedен eşit işlenebilirliği elde edebilmek için, karışım işlemi tamamlandıktan sonra birim ağırlık, çökme (slump) ve boşluk miktarı ile ilgili deneyler yapılmıştır.

2.4.1. Birim Ağırlık Deneyi

Birim ağırlık deneyinde, hacmi ve darası belirlenen 1 litrelik kap kullanıldı. Birim hacim kabı standarda uygun olarak şişlenerek dolduruldu ve yüzeyi spatül ile düzeltildikten sonra, kabın etrafı temizlenerek ağırlığı elektronik %1 hassaslıklı terazide tartımı yapıldı (Şekil 3). Taze betona ait birim hacim ağırlığı (1) bağıntısından hesaplanmıştır.

$$\Delta = \frac{W}{V} (gr / cm^3) \quad (1)$$

Δ = taze beton birim hacim ağırlığı,

W = Taze beton ağırlığı,

V = hacim

2.4.2. Çökme Deneyi

Hazırlanan beton serilerinin eşit işlenebilirliğe sahip olması için üretilen her seri taze beton çökme deneyi yöntemi ile kontrol edilmiştir. Deneyde üst çapı 10 cm, alt çapı 20 cm. ve yüksekliği 30 cm. olan kesik koni biçimindeki bir kalıptan oluşan Abrams Konisi kullanılmıştır. Abrams Konisi, düz bir zemin üzerine yerleştirilerek, taze beton ile üç aşamada doldurulmuştur. Betonun minimum boşluk miktarına sahip olması için üç eşit kademede doldurulan harç, her kademede 25 kez standart şişleme çubuğuyla şişlenerek, malzemenin sıkışması sağlanmıştır. Aynı işlem huni, tamamen dolana kadar tekrarlanmıştır. Huni tamamen dolunca, üst yüzeyi mala ile düzlenerek, huninin tam olarak dolması sağlanmıştır. Betonun dolumu tamamlandıktan sonra ani bir şekilde slump hunisi yukarı yönde dik olarak kaldırılmıştır. Bunun sonucunda yerçekimi etkisi altında kendi ağırlığı ile çöken yaş beton, yapısındaki potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüşmesiyle, denge durumuna erişinceye kadar çökmeye devam etmiştir.

Şişleme çubuğu huninin üzerine koyularak çöken betonun üst seviyesinden çubuğun altına kadar olan mesafe ölçülmüştür. Bu uzunluk, taze betonun çökme (slump) değeri olarak adlandırılır.

2.4.3 Taze Betonda Hava İçeriğinin Belirlenmesi

Hazırlanan taze betondaki hava miktarını tespit edebilmek için gazlara ait Mariotte kanunundan faydalanarak çalışan, Şekil 3'de belirtilen, air-mater cihazı kullanılmıştır. Gerekli işlemler yapıldıktan sonra cihaz üzerindeki skaladan beton içerisindeki hava miktarı %'de olarak okunmuştur. Her seriye ait hava içeriği tablo II'de verilmiştir.



Şekil 3:
Taze betonda hava boşluğunun belirlenmesi (Şimşek 2005)

2.4.3.1. Kontrol Deneyleri

Taze beton deneylerinden sonra 150x150x150 mm'lik küp numunelere doldurulup üzerleri ıslak kâğıtla örtülerek, 24 saat laboratuvar koşullarında saklandıktan sonra; deneyin yapılacağı güne kadar kür havuzlarında bekletilen numuneler sudan çıkartılarak, sertleşmiş beton deneylerine tabi tutulmuştur.

2.5. Sertleşmiş Betona Yapılan Deneyler

Betonun geçirimsizliğine olan etkilerinin araştırılması için puzzolan maddeleri ile hazırlanmış numunelerin 28. ve 90. günlerinde sırasıyla impermeabilite (su işleme derinliği) ve kılcallık deneyleri uygulanmıştır.

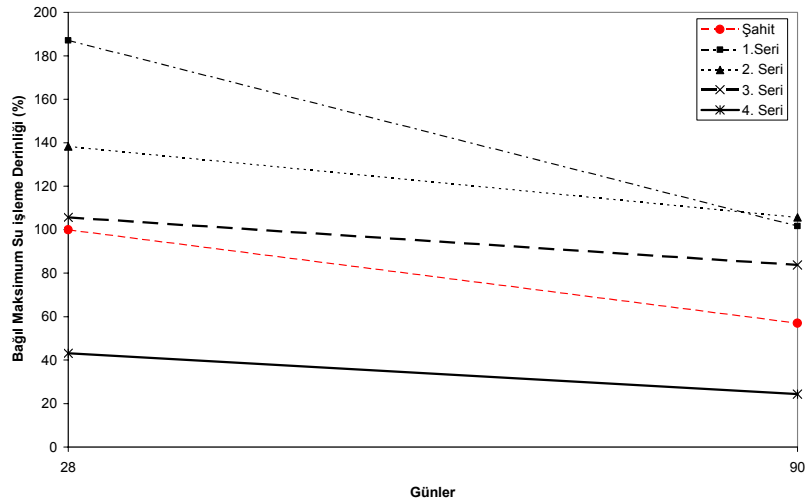
2.5.1. Su İşleme Derinliği (İmpermeabilite) Deneyi

Üretimin 28. ve 90. günlerinde yapılacak deneylerde kullanılacak olan 30 numune, deneyin yapılacağı günden 15 gün önce, sudan çıkartılarak laboratuvar koşullarında kurumaya bırakılmıştır. Deney gününde kuru ağırlıkları tartılan numunelere 72 saat boyunca 5KB basınç altında Şekil 4'deki impermeabilite aleti ile geçirimsizlik deneyi yapıldı. 72 saatin sonunda impermeabilite aletine bağlanmış olan numune, çıkartılarak tekrar hassas kantarda tartılarak, bünyesindeki ağırlık değişimi gözlenmiştir.



Şekil 4:
İmpermeabilite aleti (Şimşek 2005)

Basıncı su geçirimsizliğine tabi tutulan numunelerde suyun ne kadar derinliğe işlediğinin tespiti için, 35 ton kapasiteli Üniversal Pres aleti ile beton, üzerine uygulanan basınçla, kırılmıştır. Bunun sonucunda belirlenen beton içine işleyen suyun derinliğinin ortalama değerleri Tablo IV ve Şekil 5'de belirtilmiştir.



Şekil 5:
Su işleme derinliği zaman grafiği

Tablo IV.
Su işleme derinliğinin gerçek ve bağıl değerleri

Su İşleme Derinliği(mm)					
Grup	Şahit	1. Seri	2. Seri	3. Seri	4. Seri
28	12,3	23	17	13	5,3
90	7,0	12,5	13,0	10,3	3,0
Su İşleme Derinliği(mm)					
Grup	Şahit (%)	1. Seri (%)	2. Seri (%)	3. Seri (%)	4. Seri (%)
28	100	187	138	106	43
90	57	102	106	84	24

3. SU İŞLEME DERİNLİĞİ (İMPERMEABİLİTE) DENEYİ SONUÇLARI

Tablo V’de görülen ortalama değerlere bakıldığında, tüm serilerin su işleme derinliği 90. günde 28. güne oranla azalma göstermektedir. 4. seri dışındaki tüm seriler şahit gruba göre, hem 28 hem de 90. günde daha yüksek değerlere ulaşmışlardır. 3. seri şahit grup ile benzer değerlere sahipken, 1. seri ve 2. seri 28. günde sırasıyla %87 ve %38, 90. günde ise yine sırasıyla %45 ve %49 oranında yüksek su işleme derinliğine sahiptir. 4. seri ise şahit gruba göre 28. günde %57, 90. günde %33 oranında daha düşük değerlere sahiptir. Bu veriler doğrultusunda su işleme derinliği göz önüne alındığında, 1. ve 2. seriler düşük, 4. seri ise yüksek bir performans ortaya koymuştur.

4. SONUÇLAR

Taze ve sertleşmiş beton üzerinde yapılan deneyler sonucunda elde edilen veriler aşağıda belirtilmiştir.

- 4. seride diğer 3 seriden farklı olarak % 8 oranında silis dumanı yerine % 8 oranında uçucu kül ilave edilmiştir. Ayrıca 3. ve 4. serilerde % 4 oranında kalker filleri ilave edilmiştir. Elde edilen su işleme derinlikleri incelendiği zaman, silis dumanının geçirimsizliğe ters oranda bir etkisi olduğu, bunun yanında sıra silis dumanı yerine uçucu kül kullanımı durumunda ise su işleme derinliğinin şahit betona oranla % 33, sırasıyla 1. 2. ve 3. serilere oranla da % 78, %84, % 60 oranında azaldığı gözlemlenmiştir.
- Çimento, cüruf, kalker filleri oranları sabit tutulup 3. serde % 8 oranında silis dumanı 4. seride de % 8 oranında uçucu kül ilave edilmesi durumunda, 4. seride su işleme derinliğinin 3. seriye oranla 7.3 mm düştüğü gözlemlenmiştir.

- 4. seride su işleme derinliğinde 4 mm azalmanın gözlemesi, uçucu külün yanı sıra cürufun da geçirimsizliğin azaltılmasının da etkili olduğunu göstermektedir.
- ve 2. serilerde silis dumanı ve cürufun yanına aynı zamanda kirecin ilave edilmesi, su işleme derinliğini sadece 0.5 mm artmasına neden olmuştur. Fakat 3. seride tüm oranlar aynı tutulup % 4 oranında kireç yerine kalker fillerinin ilave edilmesi, su işleme derinliğinin 2.7mm azalmasına neden olmuştur. Kalker fillerinin su işleme derinliğinin azaltılmasında etkili olduğu tespit edilmiştir.
- Tüm serilerdeki su işleme derinliğindeki artış ve düşmeler göz önünde bulundurularak kalker filleri, cüruf ve uçucu külün su işleme derinliğini azaltıcı yönde etkili olduğu tespit edilmiştir.

Deney sonuçlarından da anlaşılacağı gibi, beton ne kadar kaliteli üretilirse üretilsin azda olsa basınç altında içine su işleyebilmektedir. Önemli olan, suyun donatıya ulaşmasının engellenerek yapının taşıyıcılık özelliğini sürdürmesinin sağlanmasıdır. Bunun yanında, su işleme derinliğini azaltarak, betonun zaman içinde oluşabilecek çatlak vb. etkilere karşı dayanımının ve dayanıklılığının artırılabilmesi ve yüzeysel yalıtım malzemelerinin hasar görmesi durumunda su ile baş başa kalan malzemenin, hasar riskinin azaltılması da önem taşımaktadır. Uygulamanın toprak altında gerçekleşiyor olmasından dolayı, hasar gören yalıtım tabakaları onarılamayacaktır. Bu nedenle, beton malzemenin performansı, yapay puzzolan katkı maddeleri sayesinde oldukça artırılmaya çalışılmıştır. Yapay puzzolan katkı maddelerinin bu yolla beton içinde kullanılması, çimentonun % daha az oranda üretilmesine ve çevresel atıklarında zarar vermeden değerlendirilmesine de olanak vermektedir.

5. KAYNAKLAR

1. Abdul-Moghni, H.S., Al-Hadithy, A. I., Al-Mishhadani, S.A. (2000). The Permeability of Admixture Concrete to Oil Products.
2. Aıtcın, P.C ve A. Neville. (2003). Su-Çimento Orantısı Beton Dayanımını Nasıl Etkiliyor.
3. Akman, S. (1990) Yapı Malzemeleri. İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası.
4. Anonim (1995). Concrete a Material for the New Stone Age, a Mast Module Materials Science and Technology. www.matsel.mase.utnc.edu
5. Bonfil, J (2005) Su Problemine Yapı Bittikten Sonra Çözüm Aranıyor, Yapı ve Yalıtım Teknolojileri Dergisi, 55(10).
6. Çelik, Ö. (2004). Uçucu Kül Silis Dumanı ve Atık Çamur Katkıların Çimento Dayanımına Etkileri. Beton 2004 Kongresi Bildirileri.
7. Erdoğan, T.E. (2003) Beton. ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş Yayını.
8. Erdoğan, K. (1998). Su Yapılarındaki Betonlarda Bağlayıcı Malzeme Seçimi. Çimento ve Beton Dünyası, (2)12:17-23.
9. Legget, R.F. Ground Water, <http://irc.nrc-cnrc.ca/cbd/cbd082e.html>
10. Massazza, F. 2001. Çimentolu Sistemlerin Gelişimi: Geçmiş ve Gelecek, Çimento ve Beton Dünyası, (6)31:39-47.
11. Monfore, G.E, Verbeck, G.J, (1960). Corrossion of Prestressed Wire in Concrete.
12. Neville, A.(2003). Betonun Kendiliğinden İyileşmesi Bir Mucizemi, Çimento ve Beton Dünyası, 43:49-53.
13. Şimşek, Z. (2005) Yapı Yeraltı Kabuğunda Su ve Nem Sorunlarının Geçirimsiz Malzeme ile Giderilmesinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi.