

BETON BİLEŞİMİNİN ve ORTAM KOŞULLARININ PLASTİK RÖTREYE ETKİSİ

M. Hulusi ÖZKUL

Doç. Dr.

İstanbul Teknik Üniversitesi

Erbil ÖZTEKİN

Prof. Dr.

Sakarya Üniversitesi

ÖZET

Genel kural olarak yeni dökülen taze betonda yüzey suyunun buharlaşma hızı, betonun terleme hızından daha büyük olursa plastik rötre çatlakları oluşabilir. Bu çatlaklar durabilite ve giderek yapısal sorunlar doğurabilir. Bu çalışmada terleme ve buharlaşma olayı ele alındı. Terleme üzerine beton bileşimi ve çimento dozajının etkisi incelendi. Buharlaşma olayı, yaygın olarak kullanılan Menzel bağıntıları ile karşılaştırıldı. Son olarak hazır beton kullanılan 35 adet yapıda plastik rötre çatlakları oluşumu bu bağıntı ışığında incelendi.

1. GİRİŞ

Yüksek ortam sıcaklığı, düşük bağıl nem, yüksek hızla esen rüzgar ve güneş radyasyonu bir arada veya tek tek bulunduğu anda beton üretiminde, taşınmasında, yerleştirme ve bakımında sorunlar beklenebilir [1,2]. Bu sorunlar, çimentonun erken yaşlardaki hidrasyon hızının yükselmesi ve beton yüzeyinde su buharlaşma hızının artmasından ileri gelir.

Sıcak ve nemli iklimlerde (bağıl nem \geq %85) çimentonun hidrasyon hızının yükselmesi erken yaşlardaki dayanımı artırır. Ancak oluşan hidrate elemanların boyutları daha iri ve dağılımı düzensizdir; bu ise ileri yaşlarda (28 günden sonraki) dayanımın azalmasına neden olur [3].

Öte yandan sıcak ve kuru (bağıl nem $<$ %40) iklimli bölgelerde hızlı buharlaşma nedeni ile beton suyunu hızla kaybeder, bunun sonucu beton içindeki kılcal kanallar kapanır, etkin su/çimento oranı düşer ve beton yoğunlaşır. Sonuçta dayanım artabilir ve ileri yaşlardaki rötre ve sünme azalabilir [4]. Ancak buharlaşma çok hızlı olursa betonun terlemesinin bu hıza uyamaması sonucu plastik rötre çatlakları oluşur [5], eğer buharlaşma büyük boyutlara ulaşırsa çimentonun hidrasyonu yavaşlar ve giderek durabilir.

Plastik rötre çatlakları betonun geçirimsizliğinin artmasına yol açacağı için kalıcılığını (durabilite) azaltır ve betonun içindeki çelik donatının korozyona uğrama olasılığını artırır. Bu konu yurdumuzdaki araştırmacıların da ilgisini çekmiş, çatlak oluşumu ve alınması gereken önlemler geniş olarak tartışılmıştır [6-9].

1.1. BETON SUYUNUN BUHARLAŞMASI

Beton yüzeyinden buharlaşan su miktarı, hava ve beton sıcaklığı ile ortamın bağıl nem oranı ve rüzgar hızına bağlıdır. Örneğin sıcak ve yüksek nemli havada buharlaşma miktarı, sıcak ve orta nemlilikteki durumdan 3.5 kat, sıcak ve kuru ortamlardan ise 7.5 kat daha azdır. Öte yandan rüzgarsız bir havadaki buharlaşma, sadece rüzgar hızının 15 km/saat'e çıkması durumunda 4 kat, 40 km/saat'e yükselmesinde ise 9 kat artar [10].

Buharlaşan su miktarını, hava ve beton sıcaklığı, nem oranı ve rüzgar hızına bağlayan grafikler Menzel bağıntısından yararlanılarak çıkarılmıştır [2]. Ancak son yıllarda yapılan çalışmalar bu bağıntının bazı durumlarda tam gerçek değerleri veremediğini göstermiştir [4,11]. Örneğin sıcak ve nemli bir havada, rüzgar hızı 15 km/saat civarında iken Menzel bağıntısı buharlaşmayı gerçeğe oldukça yakın bir şekilde verirken, aynı koşullarda ancak rüzgarın bulunmadığı durumda öngördüğü değerler, gerçek miktardan yaklaşık %80 daha azdır [4]. Aynı şekilde, bu bağıntı, yeni dökülen bir betonun yüzeyinde terleme suyu henüz varikenki buharlaşmayı doğru olarak öngörürken, eğer terleme suyu birikmemişse gerçek

değerlerden daha az miktarda vermektedir. Benzer şekilde gölgedeki betondan ve akşam üstü yada gece dökülen betondan buharlaşan su miktarını daha yüksek olarak öngörmektedir [11].

Mahter [12], Menzel bağlantısının göl, gölet, su haznesi yada beton yüzeyindeki terleme suyu birikintisinden buharlaşan su miktarının tahmininde doğru sonuç vereceğini eğer beton yüzeyinde su birikintisi yoksa geçerli olamayacağını belirtmiştir.

1.2. BUHARLAŞMA ve TERLEMAYA BETON BİLEŞİMİNİN ETKİSİ

Su/çimento oranı düşük olan betonlarda, özellikle ilk saatlerde hidrasyon hızı artmakta, bunun sonucu olarak erken buharlaşma hızlanmaktadır.

Aynı şekilde, yüksek dayanımlı çimento kullanmak, yada ince çimento kullanmak da hidrasyon hızı üzerinde etkili olduğundan beton sıcaklığı yükselir. Bu nedenle, sıcak iklimlerde çimentonun bir bölümünü uçucu kül yada cüruf ile değiştirmek önerilir [1]. Ayrıca su azaltıcı ve geciktirici katkıların buharlaşma üzerinde etkili oldukları bilinmektedir. Öte yandan agreganın düşük su gerektiren tipte olanının seçilmesi yararlıdır. Agreganın aynı zamanda terlemeyi de etkiler. İncesi fazla olan agreganın, inceliği yüksek dozajlı çimento kullanımını durumundaki gibi taze betonun su tutuculuğunu artırır, ancak bu durumda belirli bir kıvamı sağlamak için gerekli su miktarı da artar ve aradaki fark terleme lehine olabilir [13].

Burada sunulan çalışmanın ilk bölümünde plastik rötre çatlakları üzerine önemli etkisi olan terleme ve buharlaşma olayları ele alınacak, ikinci bölümde ise döşeme betonlarında oluşan taze beton çatlakları üzerine yerinde yapılan gözlemler, Menzel bağlantısının öngörülleri ile karşılaştırılacaktır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Plastik rötre çatlaklarının oluşumu üzerinde etkili olan iki olay terleme ve terleyen suyun buharlaşması bu bölümde ele alınacaktır. Terlemeye betonda kullanılan ince agreganın cinsi

ve miktarının, ayrıca çimento dozajının etkisi araştırılacaktır. Buharlaştırma için Menzel bağlantısının öngörülerini deneysel olarak sınanacak, ayrıca bu olayın beton bileşiminden etkilenip etkilenmediği incelenecektir.

2.1. TERLEME

Malzeme

Beton üretiminde kalker kökenli 3 ayrı kırmataş ile bir tanesi kırma, üç tanesi doğal olmak üzere dört ayrı kum kullanıldı. Agregaların granülometrik bileşimleri ile özgül ağırlık ve ince malzeme oranları Tablo I'de verildi.

TABLO I. Agrega Özellikleri

Tane boyut dağılımı		Elekten geçen malzeme (%)						
Elek boyutu (mm)	31.5	16	8	4	2	1	0.50	0.25
Kum I	100	100	100	95	83	75	53	10
Kum II	100	100	100	99	97	95	81	13
Kum III	100	100	94	91	84	80	74	9
Kırmakum	100	100	100	99	59	38	20	7
Kırmataş I	100	100	100	99	37	4	2	1
Kırmataş II	100	93	30	19	13	11	5	3
Kırmataş III	100	25	3	1	1	1	0	0
Fiziksel özellikler								
	Özgül Ağırlık (kg/m ³)		İnce Madde (%)		İncelik Modülü			
Kum I	2.57		3.7		1.85			
Kum II	2.60		1.2		1.16			
Kum III	2.63		0.7		1.32			
Kırmakum	2.71		2.5		2.78			
Kırmataş I	2.71		-		3.57			
Kırmataş II	2.71		-		5.20			
Kırmataş III	2.72		-		6.69			

Çimento olarak PÇ 32.5 kullanıldı. Betonlar 50 litre kapasiteli düşey paletli laboratuvar betoniyesinde karıştırıldı. Beton karışım oranları ve taze beton özellikleri Tablo II'de yer almaktadır. İlk 4 karışımda, 4 ayrı kum kullanıldı ve agregaya bileşimi TS 706'da verilen A32-B32 eğrileri arasında kalacak şekilde seçildi. 5. karışımın agregaya bileşimi de aynı bölgede kaldı, ancak bu karışımda doğal kum ile kırmakum birlikte kullanıldı. Sonraki 4 betonda agregaya karışım eğrisi B32-C32 arasında kalacak şekilde düzenlendi.

TABLO II. Beton Birleşimi ve Taze Beton Özellikleri

Karışım No:	1 m ³ betona giren malzemeler (kg)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Çimento	303	304	299	295	300	297	305	295	295
Su	203	197	180	197	197	220	220	227	197
Kum I	363	-	-	-	-	-	707	-	-
Kum II	-	353	-	-	-	-	-	533	-
Kum III	-	-	333	-	280	411	-	-	583
Kırmakum	-	-	-	373	383	784	-	-	-
Kırmataş I	153	153	213	380	-	-	333	547	557
Kırmataş II	800	787	780	557	420	677	313	360	437
Kırmataş III	573	563	573	560	827	233	347	343	237
Çökme (cm)	10.5	11	12	9	12	10.5	9.5	12	12
Birim A (kg/m ³)	2.36	2.41	2.37	2.36	2.39	2.32	2.26	2.31	2.32

Terlemenin Ölçülmesi

ASTM C-232 Standardına uygun olarak 25 cm iç çapındaki silindirik çelik kap 28 cm yüksekliğe kadar taze beton ile dolduruldu. Belirli aralıklarla beton yüzeyinde biriken su özel pipetlerle toplanarak miktarı belirlendi.

2.2. BUHARLAŞMA

Taze betondan su buharlaşması iki ayrı karışım üzerinde ölçüldü: 1. karışım plastik rötne çatlakları gözlemlerinin yapıldığı yapılara beton veren Hazır Beton Firmasına aitti. 2. karışım ise aynı malzemeler kullanılmakla birlikte kırmakum oranı artırılarak daha ince bir bileşim elde edildi. Bu betonlara ait bileşimler Tablo III'de verildi.

Hazırlanan beton 40x40x10 cm boyutlarındaki altı kapalı ahşap kalıp içine yerleştirildi ve açık havada tutuldu. Beton yüzeyinden buharlaşan su belirli aralıklarla bir baskül yardımıyla ölçüldü. Aynı sürelerde hava nemi, rüzgar hızı, hava ve beton sıcaklıkları belirlendi.

TABLO III. Buharlaşma Deneylerinde Kullanılan Beton Bileşimi
(1. Karışım Aynı Zamanda Hazır Beton Firmasınca Kullanılmaktadır)

	Çimento (*)	Su	Kum	K.Kum	K.Taş I	K.Taş II	Birim Ağ. (kg/m ³)	Çökme (cm)
1. Karışım	290	210	470	360	430	640	2.37	11
2. Karışım	290	210	470	549	241	640	2.35	8

(*) Karışımlarda çimentonun %0.5'i oranında akışkanlaştırıcı kullanıldı.

3. DENEY SONUÇLARI veİRDELENMESİ

3.1. TERLEME SONUÇLARI

Tablo II'de yer alan beton karışımları kullanılarak yapılan terleme deney sonuçları Tablo IV'de verildi. Bu betonlardan ilk 4'ünün agrega bileşimi A32-B32 eğrileri arasında ve incelik modülleri 4.84-4.91 arasında kalmaktadır. En az terlemeyi kırmakum içeren 4. karışımın yaptığı, en çok terlemeye ise kum III içeren 3. betonun sahip olduğu görülür. Kum III, denenen kumlar içinde en az ince madde içeren ve kıvamı sağlamak için en az su

gerektiren ince agregadır. 5. karışım granülometri açısından ilk 4 karışıma benzerdir, ancak kırmataş I bulunmadığı ve kırmataş II miktarının azaldığı görülmektedir. Bu karışımın terlemesi kırmakum içermeyen 3. karışım ile sadece kırmakum içeren 4. karışım arasında değer almıştır. 6. karışım içerdiği malzemeler açısından (kırmakum ve kum III) 5. karışıma benzemekle birlikte granülometri birleşimi B32-C32 kalır, yani daha ince bir karışımdır (agrega incelik modülü: 3.69). Ayrıca bu beton istenilen kıvamı sağlamak için diğerlerinden daha fazla su gerektirmiştir. 6. karışımın terlemesi 5. karışım ile aynı miktarda (1 saatte) görülmektedir, daha ince bir bileşime sahip 6. karışımın daha az terleme yapmaması bileşime giren suyun fazlalığına bağlanabilir. Loedolff da [13] bu duruma değinmiş ve karışım incelerken su gereksinmesi artabileceğinden sonuçta terleme miktarının değişmeyebileceğini yada artabileceğini belirtmiştir.

Yukarıda yapılan son değerlendirme 2 ve 8 nolu karışımlar için de geçerlidir. Daha ince olan 8. karışımda daha çok su kullanılmıştır, ayrıca toz malzeme içeren kırmataş I 8. karışımda daha küçük oranda bulunmaktadır. Benzer değerlendirmeler 3. ve 9. karışımlar için de söylenebilir; 9. karışım daha çok doğal kum içermekle birlikte, bu kum hem temizdir, hem de bu betonda kırmataş malzeme içeren kırmataş I'den daha az kullanılmıştır.

TABLO IV. Terleme Deney Sonuçları

Karışım:	Terleme miktarı (ml) (*)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Süre (saat)									
1/2	18	25	26	18	21	21	14	32	33
1	50	56	66	40	52	52	36	81	79
2	96	102	113	78	99	106	80	143	146
3	129	128	133	108	130	148	128	169	170
4	130	131	135	109	132	150	137	170	175

(*) 25 cm iç çaplı silindir yüzeyinden buharlaşma miktarları

Çimento dozajının terlemeye etkisini belirlemek amacıyla, kırmataş II ve III, kırmakum ve kum (III)'den oluşan ve agrega bileşimi A32-B32 arasında kalan karışımlar hazırlandı. Tablo V'de bu betonların çimento ve su miktarları ile çökme değerleri ve 1 saatlik süre sonunda ölçülen terleme miktarları verilmiştir. Buna göre çimento dozajı artarken su miktarlarının da artmasına karşın terleme azalmıştır; bu durum çimento tanelerinin su tutuculuğuna bağlanabilir.

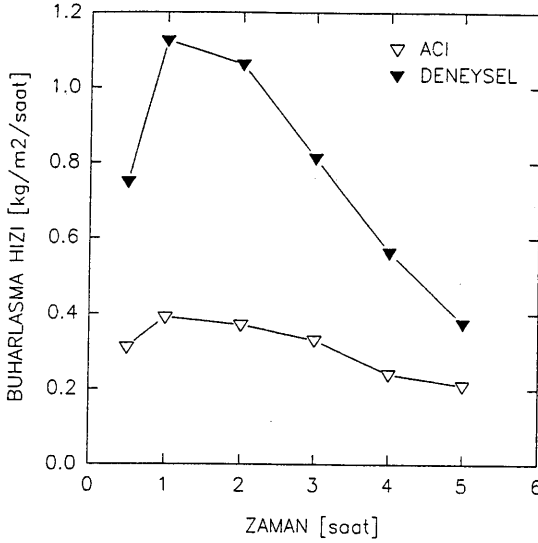
TABLE V. Terlemeye Çimento Miktarının Etkisi

Karışım	Çimento (kg/m ³)	Su (kg/m ³)	Çökme (cm)	1 saatlik Terleme (ml)
1	350	180	11	45
2	420	196	10	34
3	470	207	10	22

3.2. BUHARLAŞMA SONUÇLARI

Bileşimleri Tablo III'de verilen iki ayrı beton hazırlanarak 40x40x10 cm'lik kalıplara dolduruldu. Beton yüzeyinden buharlaşan su miktarı ağırlık kaybı olarak ölçüldü. Aynı anda hava ve beton sıcaklığı ile hava nem oranı ve rüzgar hızı ölçüldü. Bu son ölçüm değerleri Menzel bağıntısından yararlanarak çıkarılan grafiklere [2] taşındı, böylece bu bağıntının verdiği buharlaşma hızları belirlendi. Bu değerler, doğrudan ölçülen buharlaşma miktarı ile karşılaştırıldı. Toplam 5 ayrı günde deney yapıldı, böylece iki ayrı beton karışımı için 10 deney sonucu elde edildi. Şekil 1'de bu ölçümlerden tipik bir örnek verilmiştir: Yatay ekseninde zaman, düşey ekseninde ise doğrudan ölçülen buharlaşma hızları ile Menzel bağıntısının verdiği öngörüler bir arada yer almıştır. Şekilde görüldüğü gibi her iki ölçüm sonucu genel gidiş olarak birbirine benzemekte, ancak büyüklük olarak Menzel bağıntısı daha az değerler vermektedir. Eldeki 10 ayrı deney sonucunda, her bir deneyde 6 ayrı ölçüm olmak üzere toplam 60 noktada karşılaştırma yapıldı. Her bir nokta için (doğrudan ölçülen buharlaşma/Menzel bağıntısının verdiği buharlaşma) oranları hesaplandı; 60 değerlerin ortalaması 2.3 olarak elde edildi. Buna göre söz konusu bağıntı gerçek değerlerin ancak %43'ünü verebilmektedir. Bu çalışmada ölçülen nem oranları %50'den az ve rüzgar hızları

ise oldukça küçüktür. [4] nolu kaynakta rüzgarsız havada Menzel bağıntısının gerçek değerden %80 daha az tahminde bulunduğu belirtilmiştir.



Şekil 1. Deneysel verileri ile ACI'nın önerdiği grafikten elde edilen değerlerin karşılaştırılması

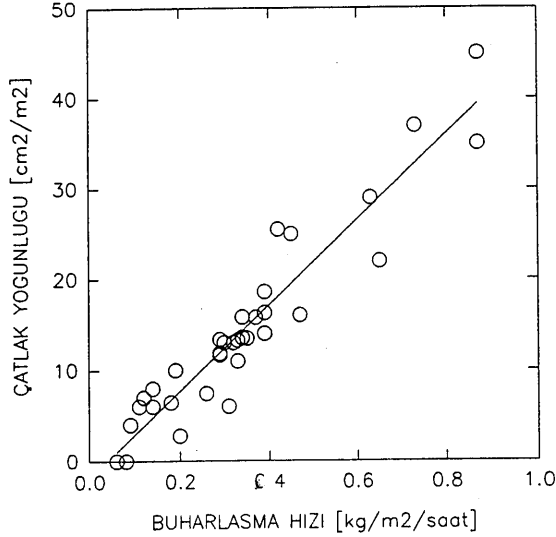
4. YERİNDE YAPILAN GÖZLEMLER

Hazır beton firmasının beton verdiği inşaatlara gidilerek döşemelere dökülen betonlar dökümü izleyen ilk birkaç saat içinde gözlemlendi. Plastik rötore çatlaklarının bulunduğu 2mx2m boyutlarında bir alan seçilerek, bu alanda oluşan çatlakların toplam uzunluğu bir şerit metre ile ölçüldü. Her bir çatlak parçasının ortalama genişliği bir çatlak dürbünü ile belirlendi; tüm çatlaklar için (çatlak uzunluğu x ortalama çatlak genişliği) toplamı hesaplandı. Bu değer gözlem alanı büyüklüğüne (4 m^2) bölünerek "ortalama çatlak yoğunluğu" belirlenmiş oldu. Aynı yerde hava ve beton sıcaklığı ile hava bağıl nemi ve rüzgar ortalama hızı ölçülerek elde edilen değerler Menzel bağıntısından çıkarılan ACI'nin önerdiği [2] grafikte yerine kondu. Bu grafiğin verdiği buharlaşma hızları ile gözlem yapılan yapıda elde edilen çatlak

yoğunlukları Şekil 2'de bir arada verildi. Buna göre çatlak yoğunluğu ile betondan buharlaşma hızı arasında doğrusal bir ilişki kurulabilir: En küçük kareler doğrusunun denklemi;

$$\text{Çatlak yoğunluğu} = 47.33 \times \text{Buharlaşma hızı} - 1.80$$

olarak elde edildi ve bu regresyonun korelasyon katsayısı 0.95 olarak belirlendi. Şekil 2'de verilen değerlerden görülüyor ki hiçbir noktada buharlaşma hızı ACI'nın verdiği $1 \text{ kg/m}^2/\text{saat}$ değerini aşmamakla birlikte döşemelerde çatlaklar oluşmuştur. Bu kısmen ACI'nın kullandığı Menzel bağıntısının, burada ölçüm yapılan aralıkta, gerçekten daha küçük değerler vermesine, kısmen de sınır değerlerin gerçekçi olmamasına bağlanabilir. Bir başka neden olarak da, betonda kullanılan kırmakum'un terlemeyi azaltması yüzünden, buharlaşma hızının terleme hızını kolayca aşması ileri sürülebilir.



Şekil 2. Yapılarda yesinde yapılan gözlemlerde çatlak yoğunluğunun buharlaşma hızı ile değişimi (Gözlem sayısı : 35)

5. SONUÇ

1- Terleme üzerine yapılan deneylerden ince malzeme cinsinin ve agrega granülometrisinin etkili olduğu görülmüştür. Beton bileşimi incelerken aynı kıvamı sağlamak amacı ile su miktarı artırırsa, bu durumda inceliğin azalttığı terleme miktarı karma suyundaki artışla dengelenebilir. Öte yandan çimento dozajının artışı ile birlikte betonun su tutuculuğu da artar ve terleme azalır.

2- Taze beton yüzeyindeki buharlaşmayı kestirmeye yarayan ve Menzel bağıntısından yararlanarak çıkarılan ACI'nın önerdiği grafikler, gerçek buharlaşmanın ancak küçük bir bölümünü vermektedir.

3- Yapılarda oluşan çatlakların yoğunluğu ile ACI'nın grafiklerindeki hesaplanan buharlaşma arasında doğrusal ilişkiler kurulabilir, ancak ACI'nın önerdiği çatlak oluşum sınırı gerçekçi görülmemektedir.

KAYNAKLAR

1. "Making Good Concrete in Hot Weather", Concrete International, April 1992, pp.55-57.
2. ACI Committee 305, "Hot Weather Concreting", ACI Materials Journal, 88,4,1991, pp.417-36.
3. BERHANE, Z., "The Behaviour of Concrete in Hot Climates", Materials and Structures, 25,1992, pp.157-162.
4. BERHANE, Z., "Evaporation of Water from Fresh Mortar and Concrete at Different Environmental Conditions", ACI Journal, 81,6,1984, pp.560-65.
5. LERCH, W., "Plastic Shrinkage", ACI Journal, 53,8,1957, pp.797-802.

6. AKMAN, S., "Beton Yapılarda Çatlaklar", Beton Semineri, DSİ Basım ve Foto Film İşl. Müd. Matb., 1984.
7. ÖZKUL, H., "Soğuk ve Sıcak Havalarda Beton Üretimi", Beton Semineri, DSİ Basım ve Foto Film İşl. Müd. Matb., 1984.
8. ÖZKUL, H. ve Uyan, M., "Taze Beton Çatlakları", 1. Ulusal Beton Kongresi, I.M.O., Mayıs 1989, s.79-89.
9. ERDOĞAN, T.Y., "Sıcak İklim Koşullarının Beton Özellikleri Üzerindeki Etkileri", Kuzey Kıbrıs 1. Beton Kongresi, KTMMOB., 1990, s.144-158.
10. ROBINS, P.J., Austin, S.A., and Issaad, A., "Suitability of GGBFS as a Cement Replacement for Concrete in Hot Arid Climates", Materials and Structures, 25, 1992, pp.598-612.
11. HASSANAIN, G.S.; Khallaf, T.A. and Mahmood, K., "Water Evaporation from Freshly Placed Concrete Surfaces in Hot Weather", Cement and Concrete Research, 19, 1989, pp.465-75.
12. MATHER, B., "Discussion of Paper by Z. Berhane", ACI Journal, 82, 1985, pp.930.
13. LOEDOLFF, G.F., "A New Approach to Testing of Concrete Bleeding", Concrete 2000, Proceedings, Vol.2, E. and FN Spon, 1993, pp.1163-75.

TEŞEKKÜR

Deneylerin yapımındaki katkılarından ötürü Ar. Gör. Abdülkadir Başkoca'ya ayrıca öğrencilerimiz İnş. Mühendisleri Enis Eren, Barış Esen, Avni Doğan, Oğuz Öztahtacı ve F.Emre Tükeltürk'e teşekkür ederiz. Aynı zamanda T.B.S. Hazır Beton Firmasına teşekkürü borç biliriz.