

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİNERAL KATKILI KENDİLİĞİNDEN
YERLEŞEN HARÇLARIN
DAYANIM ÖZELLİKLERİNE KÜR ŞARTLARININ ETKİSİ

Yakup BAKIR

Yüksek Lisans Tezi

Yapı Anabilim Dalı

Yrd. Doç. Dr. Mehmet KARATAŞ

ELAZIĞ - 2014

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİNERAL KATKILI KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN HARÇLARIN
DAYANIM ÖZELLİKLERİNE KÜR ŞARTLARININ ETKİSİ

Yüksek Lisans Tezi

Yakup BAKIR

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 24.01.2014

Tezin Savunulduğu Tarih: 14.02.2014

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Mehmet KARATAŞ

Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Zülfü Çınar ULUCAN

Doç. Dr. Uğur ÇALIGÜLÜ

M. Karataş
Z. Çınar
U. Çaligülü

ELAZIĞ – 2014

ÖNSÖZ

Tezle deneylerin yürütülmesinde birlikte çalıştığımız, tez konusunun belirlenmesinde ve tezin her aşamasında bilgilerinden istifade ettiğim; yardımlarını esirgemeyen ve bana hep destek olan danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Mehmet KARATAŞ'a teşekkür ve saygılarımı sunarım. Tecrübeleriyle ve yardımlarıyla tez çalışmamda katkıda bulunan laboratuvar teknisyeni Seyfettin ÇİÇEK'e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışma sürecinde, destek ve sabırla her zaman yanımda olan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	V
SUMMARY.....	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VII
TABLolar LİSTESİ.....	IX
KISALTMALAR LİSTESİ	X
SİMGELER LİSTESİ.....	XI
1. GİRİŞ.....	1
2. BETONDA KÜR.....	4
2.1. Su ile Kür Yapılması	4
2.1.1. Su Göleti	5
2.1.2. Su Püskürtmek	5
2.1.2. Islak Örtüler	6
2.2. Beton Yüzeyini Örtü ile Kaplayarak Kür Yapılması	6
2.2.1. Polietilen Örtüler	7
2.2.2. Kalıp Koruması	7
2.3. Kimyasal Kür Malzemesi	8
2.3.1. Yaygın Olarak Kullanılan Kür Malzemesi Tipleri.....	9
2.3.1.1. Parafin Emülsiyonu Esaslı	9
2.3.1.2. Akrilik Dispersiyon Esaslı	9
2.3.1.3. Hidrokarbon Reçine Esaslı	9
2.3.1.4. Akrilik Reçineler.....	10
2.3.1.5. Silikat Esaslı Kür Malzemeleri	10
2.3.1.6. ASTM C 309'a Göre Kür Malzemeleri.....	10
2.3.1.7. Kürün Beton Dayanımına Etkisi	11
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	15
3.1. Deney Programı	15
3.2. Malzeme Özellikleri	15
3.2.1. Portland Çimentosu	15
3.2.2. Agrega Tipi	16

3.2.3.	Kimyasal Katkı	17
3.2.4.	Şehir Şebeke Suyu.....	17
3.2.5.	Uçucu Külün Özellikleri.....	18
3.2.6.	Silis Dumanının Özellikleri	18
3.2.7.	Beton Kür Malzemesi.....	19
3.3.	Numune Boyutları.....	19
3.4.	Numunelerin Kür Edilmesi.....	20
3.5.	KYH’da Karışım Hesabı	20
3.6.	Deney Metotları	22
3.6.1.	Mini Çökme-Yayılma Deneyi.....	22
3.6.2.	Mini V-Hunisi Deneyi.....	23
3.6.3.	Vikozitenin Belirlenmesi	24
3.6.4.	Üç Noktalı Eğilme ve Basınç Değerleri	25
3.6.5.	Kapiler Su Emme Deneyi	27
4.	DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA	31
4.1.	Mini Çökme-Yayılma ve Mini V-Hunisi Deney Sonuçları.....	31
4.2.	Viskozite Deneyi Sonuçları	34
4.3.	Eğilmede Çekme ve Basınç Dayanımı Deney Sonuçları	36
4.4.	Kapiler Su Emme Katsayısı, Toplam Su Emme Kapasitesi ve Porozite.....	54
5.	SONUÇLAR	59
	KAYNAKLAR	62
	ÖZGEÇMİŞ.....	66

ÖZET

Gerçekleştirilen deneysel çalışmada mineral katkı olarak uçucu kül (UK) ve silis dumanı (SD) ile üretilen harçların çeşitli kür şartlarında dayanımları araştırılmıştır. Bu kapsamda %10, %20 ve %30 UK ikameli; %6, %10, %14 ikameli ve %10UK+%6SD, %10UK+%10SD, %10UK+%14SD, %20UK+%6SD, %20UK+%10SD ikameli ikili karışımlar olmak üzere kontrol harcıyla birlikte 12 seri harç numuneleri üretilmiştir. Toplam 144 adet 40×40×160 mm harç numuneleri hazırlanmış ve farklı kür sürelerinde sırasıyla şehir şebeke suyu, havada, ıslak bezde ve parafınle kaplanarak bekletilmiştir. Tüm kür türleri için harç numunelerinin farklı kür sürelerinde eğilmede çekme dayanımları ve basınç dayanımları ölçülmüştür. Çalışma sonucunda standart küre maruz harçlarda en yüksek dayanıma, şebeke suyunda ve ıslak bezde bekletilen harç numunelerinin sahip olduğu belirlenmiştir. Parafınle kaplanan harçlarda eğilme de çekme dayanımının yüksek çıktığı görülmüştür. Mineral katkılara göre iyi sonucu %10 UK içeren numuneler vermiştir. Ayrıca SD içeren numunelerin basınç dayanımında olumlu etkisi olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Uçucu kül, Silis dumanı, Şehir şebeke suyu, Islak bez, Parafin, Eğilme, Dayanım,

SUMMARY

EFFECT OF CURING CONDITIONS ON THE STRENGTH PROPERTIES OF MINERAL COMPOUNDED SELF-COMPACTING MORTAR

Strength of mortars that were manufactured with fly ash (FA) and silica fume (SF) under various curing conditions was investigated in the experimental study performed. Within this context, 12 series of mortar samples were produced together with the control mortar being 10%, 20% and 30% FA substituted; 6%, 10%, 14% SF-substituted samples and 10% FA+ 6%SF, 10%FA+ 10%SF, 10%FA+ 14% SF, 20%FA+ 6%SF, 20%FA+ 10%SF substituted binary mixtures. Total 144 40x40x160 mm mortar samples were prepared, and they were in turn closed with city water, air, damp cloth and paraffin and kept in this way at for different curing periods. Tensile strength and compression strength of mortar samples were measured for all curing types and curing periods at deflection. At the end of the study, it is established that mortars samples kept in city water and damp cloth among those subjected to standard curing had the highest strength. It is observed that tensile strength of mortars coated with paraffin was high. Samples containing 10%FA gave the best result in comparison to mineral additives. Also, positive effect was observed on the compression strength of samples containing SF.

Keywords: Fly ash, Silica fume, City water supply, Damp cloth, Paraffin, Deflection, Strength

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Su göleti	5
Şekil 2.2.	Beton yüzeyine su püskürtülmesi.....	5
Şekil 2.3.	Islak örtülerle kür	6
Şekil 2.4.	Polietilen örtülerle kür	7
Şekil 2.5.	Polietilen örtülerle kalıp koruması	8
Şekil 3.1.	Kuma ait analiz grafiği	17
Şekil 3.2.	40×40×160 mm’lik prizmatik numuneler.....	19
Şekil 3.3.	KYH için mini çökme-yayılma aparatı	22
Şekil 3.4.	Mini çökme-yayılma deneyi	23
Şekil 3.5.	KYH için mini V-hunisi deneyi	24
Şekil 3.6.	Brookfield DV-E model viskozimetre aleti	25
Şekil 3.7.	(a) Üç noktalı eğilme deneyi; (b) Eğilme deneyinde numunenin kırılması....	26
Şekil 3.8.	(a) ve (b) Basınç deneyi;	27
Şekil 3.9.	Kapiler su emme düzeneği.....	28
Şekil 3.10.	(a) Etüvde bekletilmiş numuneler; (b) İzole edilmiş numuneler	29
Şekil 3.11.	(a) Numunelerin su emmesi; (b) 24 saat sonunda su emmiş numunelerin görünümü	30
Şekil 4.1.	Tüm karışımlara ait bağıl çökme-yayılma grafiği.....	32
Şekil 4.2.	Tüm karışımlara ait bağıl V-hunisi hızı grafiği.....	33
Şekil 4.3.	Mineral katkısız ve ikili sistemli KYH’lerin viskozite değişimleri	35
Şekil 4.4.	Mineral katkısız ve üçlü sistemli KYH’lerin viskozite değişimleri	36
Şekil 4.5.	Şehir şebeke suyunda kür edilen numunelerin eğilmede çekme dayanımı grafiği.....	37
Şekil 4.6.	Şehir şebeke suyunda kür edilen numunelerin basınç dayanımı grafiği	38
Şekil 4.7.	Havada kür edilen numunelerin eğilmede çekme dayanımı grafiği.....	39
Şekil 4.8.	Havada kür edilen numunelerin basınç dayanımı grafiği	40
Şekil 4.9.	Islak bezle kür edilen numunelerin eğilmede çekme dayanımı grafiği	41
Şekil 4.10.	Islak bezle kür edilen numunelerin basınç dayanımı grafiği	42
Şekil 4.11.	Parafınle kaplanan numunelerin eğilmede çekme dayanımı grafiği	43
Şekil 4.12.	Parafınle kaplanan numunelerin basınç dayanımı grafiği	44
Şekil 4.13.	Kür türlerinin eğilmede çekme dayanımına göre karşılaştırılması (3 gün)	45

Şekil 4.14.	Kür türlerinin basınç dayanımına göre karşılaştırılması (3 gün)	46
Şekil 4.15.	Kür türlerinin eğilmede çekme dayanımına göre karşılaştırılması (7 gün)	47
Şekil 4.16.	Kür türlerinin basınç dayanımına göre karşılaştırılması (7 gün)	48
Şekil 4.17.	Kür türlerinin eğilmede çekme dayanımına göre karşılaştırılması (28 gün) ..	49
Şekil 4.18.	Kür türlerinin basınç dayanımına göre karşılaştırılması (28 gün)	50
Şekil 4.19.	Kür türlerinin eğilmede çekme dayanımına göre karşılaştırılması (56 gün) ..	51
Şekil 4.20.	Kür türlerinin basınç dayanımına göre karşılaştırılması (56 gün)	52
Şekil 4.21.	Kür türlerinin eğilmede çekme dayanımına göre karşılaştırılması (180 gün)	53
Şekil 4.22.	Kür türlerinin basınç dayanımına göre karşılaştırılması (180 gün).....	54
Şekil 4.23.	Kapiler su emme katsayıları grafiği	55
Şekil 4.24.	Porozite grafiği.....	58
Şekil 4.25.	Toplam su emme kapasitesi grafiği.....	58

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 3.1.	CEM I 42,5 N çimentosunun kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri.....	16
Tablo 3.2.	Kuma ait elek analiz sonuçları	16
Tablo 3.3.	Kimyasal katkının özellikleri	17
Tablo 3.4.	C sınıfı uçucu külün kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri	18
Tablo 3.5.	Silis dumanının kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri	18
Tablo 3.6.	Karışım oranları.....	21
Tablo 4.1.	UK+SD içeren ikili harçların mini çökme - yayılma değerleri.....	31
Tablo 4.2.	UK + SD içeren üçlü harçların mini çökme - yayılma değerleri	31
Tablo 4.3.	UK+SD içeren ikili harçların mini V-hunisi değerleri	33
Tablo 4.4.	UK+SD içeren üçlü harçların mini V-hunisi değerleri.....	33
Tablo 4.5.	Farklı açısız hız değerleri için viskozite ölçümleri	34
Tablo 4.6.	Şehir şebeke suyunda kür edilen harç numunelerin dayanım değerleri	37
Tablo 4.7.	Havada kür edilen harç numunelerinin dayanım değerleri	39
Tablo 4.8.	Islak bezle kür edilen harç numunelerinin dayanım değerleri	41
Tablo 4.9.	Parafin esaslı sıvı bir kür malzemesi ile kür edilen harç numunelerin dayanım değerleri	43
Tablo 4.10.	Numunelerin etüv kurusu, doymuş kuru yüzey ve su içindeki ağırlıkları (gr)	56
Tablo 4.11.	Harç numunelerin yoğunlukları (gr/cm^3).....	57
Tablo 4.12.	Harç numunelerin toplam su emme kapasitesi ve porozite (%).....	57

KISALTMALAR LİSTESİ

KYB	: Kendiliğinden Yerleşen Beton
KYH	: Kendiliğinden Yerleşen Harç
UK	: Uçucu Kül
SD	: Silis Dumanı
TS EN	: Türk Standartları Enstitüsü
ASTM	: Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu
EFNARC	: European Federation of National Trade Associations
C₃A	: Trikalsiyum alüminat ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$)
CH	: Kalsiyum Hidroksit ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)
C-S-H ($\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$)	: Kalsiyum Silika Hidrat Jel ($x\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$)
MH	: Brusit ($\text{Mg}(\text{OH})_2$)
M-S-H	: Magnezyum Silika Hidrat ($x\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$)
C-A-H	: Kalsiyum Alüminat Hidrat
CaCO₃	: Kalsiyum Karbonat
SiO₂	: Silisyum dioksit
Ca(OH)₂	: Kalsiyum Hidroksit
CaO	: Kalsiyum Oksit
gr	: Gram
lt	: Litre
kg	: Kilogram
N	: Newton

SİMGELER LİSTESİ

τ	: Eşik kayma direnci
η	: Viskozite
γ	: Deformasyon hızı
SR	: Elek ayrışma direnci (%)
R_f	: Eğilme dayanımı
b	: Prizmanın kare kesitinin kenar uzunluğu
F_f	: Prizmanın kırıldığı anda ortasına uygulanan kuvvet
I	: Mesnet silindirleri arasındaki uzaklık
R_c	: Basınç dayanımı
F_c	: Kırılmadaki en büyük yük
A	: Kesit alanı
$\mathcal{C}$	: 1 m ³ betondaki çimento miktarı
W	: 1 m ³ betondaki su miktarı
K	: 1 m ³ betondaki kimyasal katkı miktarı
S	: 1 m ³ betondaki silis dumanı miktarı
U	: 1 m ³ betondaki uçucu kül miktarı
H	: 1 m ³ betondaki hava miktarı
δ_ϕ	: Çimentonun özgül ağırlığı
δ_s	: Silis dumanının özgül ağırlığı
δ_u	: Uçucu külün özgül ağırlığı
δ_k	: Kimyasal katkının özgül ağırlığı
δ_{kum}	: Karışımda kullanılan kumun özgül ağırlığı
K	: Kapilarite katsayısı
A	: Su ile temas eden alan
t	: Geçen zaman
Q	: Emilen su miktarı
W_1	: Etüv kurusu ağırlık
W_2	: Su içindeki ağırlık
W_3	: Doygun kuru yüzey ağırlık

1. GİRİŞ

Kendiliğinden yerleşen betonlar (KYB), iyi işlenebilir bir betonun taze haldeki temel özelliklerinden olan kolay yerleşebilmeyi vibratör uygulamadan gerçekleştirmekte, aynı zamanda ikinci özellik olan ayrışma direncini de yüksek oranda sağlamaktadırlar. Seksenli yılların sonlarında Japonya’da geliştirilen KYB’lar [1] doksanlı yıllarda dünyaya yayılmaya başlamış, Türkiye’de kullanımı ise 2000’li yıllara rastlamaktadır. Klasik beton tasarımından farklı olarak KYB’da; kimyasal katkılar, akışkanlaştırıcılar ve puzolanik mineral katkıların tümünün veya bir kısmının kullanılması ihtiyacı doğmaktadır. Bu malzemelerin seçimi ve beton tasarımına uygun olarak kullanılmasına yönelik yeni deney yöntemleri ve dolayısıyla standartlar geliştirilmektedir. Günümüzde KYB’ların üretiminde kullanılan EFNARC (2005) standardıdır.

KYB’ların en önemli üstünlükleri sıkıştırma aygıtları gerekmeden sık donatılı ve karmaşık şekilli kalıpları bile kolayca ve boşluk bırakmadan doldurabilmesidir. Bilindiği gibi geleneksel betonun en önemli aşamalarından birisi vibratör kullanılarak sıkıştırılmasıdır. Bunun için yeterli özelliklere sahip vibratörlerin yanında eğitimli elemanlara da ihtiyaç vardır. Yeterli sıklıkta, doğru derinlikte, doğru eğimde ve yeterli sürede uygulanmayan vibratör betonu tam olarak yerleştiremez. Diğer taraftan aşırı süre uygulanan vibratör betonun ayrışmasına yol açabilir. KYB’lar bu sorunları ortadan kaldırmakta, kötü işçilik nedeniyle ortaya çıkabilecek problemleri önlemektedir.

KYB’nin iki temel özelliği vardır. Bunlar kalıpları doldurma yeteneği ve yüksek ayrışma direncidir. Kalıpları doldurma yeteneği, süper akışkanlaştırıcılar ile sağlanır. Yüksek ayrışma direnci ise, ince malzeme (uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu, taş tozu, tuğla tozu vb.) miktarının yüksek tutulması ve viskozite düzenleyici bir katkıyla sağlanabilir [2]. UK ve SD birer mineral katkı maddesidir. Bunlar, genellikle harç ve beton üretiminde çimentonun ağırlık yüzdesi oranında çimentonun bir kısmı yerine veya ilave olarak çimentoya önceden karıştırılarak katkılı çimento şeklinde kullanılır. Bu tür mineral katkıları kullanılmadaki başlıca amaç; maliyeti yüksek olan portland çimentosundan tasarruf sağlayıp beton dayanımını ve durabilitesini arttırmaktır.

Beton ve harcın kürü, yerleştirme işleminin hemen sonrasında çimentonun hidratasyonunun optimum şekilde gelişmesine olanak verecek uygun nem ve sıcaklık koşullarının sağlanması sürecidir. Bu nem ve sıcaklık koşullarının sağlanması kritik

önemdedir; çünkü tüm çimento esaslı malzemelerde hidrasyon ancak uygun nem koşullarının var olması ile ilerleyebilir. Normal olarak taze betondaki nem miktarı, çimento hidrasyonu için gerekenden fazladır, ancak ortamdaki su buharlaşır ve bağıl nem %80'in altına düşerse çimento hidrasyonu durabilir [3]. Çimentonun hidrasyonu ilerledikçe dayanım artar ve geçirimsizlik azalır. Hidrasyon durduğunda dayanım ve dayanıklılık gelişimi de durur [4].

Sıcak, düşük nemli ve rüzgarlı havalarda beton dökümü, beton neminin korunması anlamında daha da büyük önem kazanır, çünkü bu hava koşullarında beton yüzeyinden buharlaşan nem miktarı artacaktır. Bilindiği gibi beton yüzeyinden suyun buharlaşma hızı beton suyunun terleme hızını aşarsa, beton yüzeylerinde plastik rötre çatlakları oluşur. Bu ise betonun geçirimsiz olmasına, dolayısıyla durabilitesinin düşmesine neden olur. Betona ideal kür uygulama metodu, 7 gün ve tercihen 14 gün sürekli nemli tutulmasının sağlanmasıdır. Çimentonun hidrasyon gelişimi inceliğine, karmaşık bileşenlerinin oranlarına ve puzolan içerip içermediğine bağlı olmakla birlikte ilk 7 günde hidrasyonun %60-80'ini tamamladığı söylenebilir; bu nedenle özellikle ilk günlerde kür önemlidir.

Su kullanarak uygulanan kür yöntemlerinde; suyun temiz olmasına, betonla zararlı kimyasal reaksiyonlara girecek veya beton yüzeyinde lekelenmeler oluşturacak miktarda zararlı maddeler içermemesine dikkat edilmelidir [5].

Islak telis çuvalı yanında ıslak kum, saman ya da ahşap talaş ile kaplama gibi metotlar uygulanabilir [3]. Bu yöntemler etkin bir kür sağlamakla birlikte işçilik, maliyet ve zaman gibi nedenlerden ötürü çoğu zaman tercih edilmezler [6]. Kullanılan malzemenin homojen yayıldığından, sürekli nemli tutulduğundan ve beton yüzeyine yapışmadığından emin olunmalıdır.

Betonun mevcut suyunun kaybının engellenmesi polietilen ve polivinil esaslı plastik kür örtüleri ile sağlanabilir [3]. Plastik örtüler ve özel kağıtlar kullanılarak yüzeyin kaplanması ile yapılan kür işleminin gerek işçilik maliyeti gerekse rüzgarlı havalarda kullanılamama gibi dezavantajları vardır.

Kür malzemeleri kolay kullanımları, uygulanmalarından sonra işçilik gerektirmemeleri gibi avantajlara sahiptir [6]. Tipik olarak bir reçine ve çözücünden oluşan kür malzemeleri uygulanma sonrası çözücünün yüzeyden uzaklaşarak geride kalan reçinenin yüzeyde geçirimsiz bir film tabakası oluşturması prensibine dayanır. Ancak bu

kür malzemelerinin betondaki etkinliği, oluşan filmin kalitesine, kalınlığına ve uygulanmış yüzeydeki homojenliğine bağlıdır. Yüzeyine kür malzemesi uygulanmamış beton yollarda yüzey özellikleri ile iç tabakaların özelliklerinin birbirinden farklı olduğu, ancak kür malzemesi uygulanmış betonlarda iç ve dış özelliklerin uniformluk gösterdiği belirtilmiştir [7]. Laboratuvar ve saha gözlemleri dört hafta boyunca muhafaza edilen etkin bir film tabakasının 14 günlük sürekli nem kürüne eş sonuç verdiğini göstermiştir [8].

Kendiliğinden yerleşen betonlarda aranan özellikleri etkileyen önemli faktörlerden biri de arıların taze özelliğidir. Bu anlamda, bu tip betonların karışım oranlarını hesaplamada Kendiliğinden Yerleşen Harçların (KYH) reolojik özellikleri dikkate alınır. Bu nedenle, birçok araştırmacı harçların reolojik özelliklerini incelemişlerdir. Ayrıca, mineral katkıların KYH'ların işlenebilme, ayrışma direnci ve priz alma süresi gibi özelliklerine etkileri incelenmiştir [9-10]. Buna karşın, kendiliğinden yerleşen betonların reolojik özellikleri de harç fazı ayrıştırılmadan incelenebilmektedir [11].

Bu alışmada KYH içinde imento yerine ikame yöntemiyle C sınıfı uçucu kül (UK) ve silis dumanı (SD) mineral katkı olarak kullanılmış ve bu mineral katkılarla üretilen harç numunelerinin farklı kür ortamlarındaki dayanımları incelenmiştir. Öncelikle karışım oranlarını belirlemek için işlenebilirlik ve kıvam deneylerinden yararlanılmıştır. Bununla birlikte harç karışımlarıyla hazırlanan 40×40×160 mm numuneler üzerinde eğilmede çekme ve basınç dayanımları; 50 mm küp numuneler üzerinde de kapiler su emme deneyleri gerçekleştirilmiştir.

2. BETONDA KÜR

Betona kür uygulanması çimento hidratasyonunun ilerlemesi için betondaki ısı ve nem değişikliklerini kontrol altında tutma usulüdür. Betonda hidratasyon reaksiyonlarının gerçekleşmesi için bakımının iyi yapılması, sıcaklık ve nemin korunması gerekir. Bu yüzden betona kür uygulanmasının amacı, taze çimento hamuru üzerindeki su ile dolu boşlukların, çimento hidratasyonu sonucu meydana gelen ürünler ile en yüksek düzeyde doldurulana kadar betonu doymun ya da doymuna yakın halde tutmaktır.

Betona uygulanan kür yöntemleri şu şekilde sınıflandırılabilir:

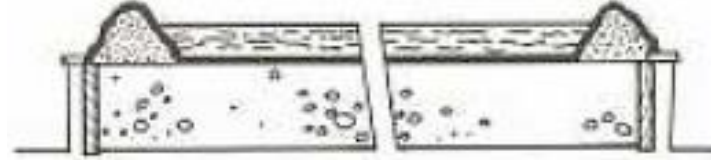
1. Su ile Kür Yapılması
 - a. Su Göleti
 - b. Su Püskürtmek
 - c. Islak Örtüler
2. Beton Yüzeyini Örtü ile Kaplayarak Kür Yapılması
 - a. Polietilen Örtüler
 - b. Kalıp Koruması
3. Kimyasal Kür Malzemeleri

2.1. Su ile Kür Yapılması

Betonun, beklenen özellikleri sağlaması için, üretiminden hemen sonra belirli sıcaklık ve nem altında tutulması işlemi olan kür, hidratasyonun sürekliliği ve dayanım için gereklidir. Uygun kür ortamları betonun özellikleri açısından olumlu etki yapmaktadır. Kür havuzu veya odası denilen yerlerde kirece doyurulmuş su $22\pm2^{\circ}\text{C}$ içinde bekletilerek uygulanır. Kirece doymun su kullanılmasının sebebi betonun içindeki alçıtaşının çözülmesine engel olmak içindir. Su küründe maksat kılcal boşluklarda bulunan hidratasyon için gerekli suyun kaybına engel olmak ve hidratasyon için gerekli ısıyı sağlayarak hidratasyon reaksiyonunun da devamlılığını sağlamaktır. Beton numuneler döküm yapıldıktan 24 saat sonra kalıplardan alınarak suya koyulmaktadır. Buhar kürü tekniğinde erken yaşlardaki dayanımlar yüksek olmasına rağmen ileriki yaşlarda düşme olmaktadır. Su kürü kür yönteminde bu durumun tam tersi olarak erken yaşlarda dayanım düşüktür, fakat ilerleyen yaşlarda artışlar gözlenmektedir. Nihai dayanım açısından en ideal kür yöntemi su kürüdür.

2.1.1. Su Göleti

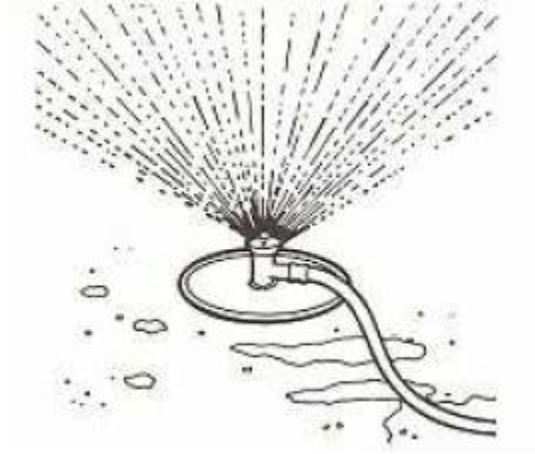
Düz yüzeyli beton yollarda, döşemelerde ve kaldırımlarda su dolu göletler oluşturulur. Suyun kapalı bir alanda hapis kalması için etrafına topraktan veya kumdan setler yapılır. 5 cm lik bir su tabakası yeterli olur. Bu sayede hem betonun su kaybetmesi engellenir hem de eş dağılımlı bir sıcaklık sağlanır. Genelde küçük işlerde uygulanır.



Şekil 2.1. Su göleti

2.1.2. Su Püskürtmek

Sürekli olarak beton yüzeyine su püskürtülmesi mükemmel bir su ile kür yoludur. Eğer bu işlem aralıklarla yapılıyorsa beton yüzeyinin kuru kalmamasına dikkat gösterilmelidir. Hortumla beton yüzeyine saçılan su, beton yüzeyinde oluşacak çatlamları yok denecek kadar azaltır. Bu sistemin tek dezavantajı maliyetidir. Sistemin uygun işlemesi için yeterli miktarda su ve tecrübeli, uygulamacı gerekmektedir.



Şekil 2.2. Beton yüzeyine su püskürtülmesi

Su püskürtme sırasında betonun yıkanmaması ve su basıncı nedeniyle zarar görmemesi sağlanmalıdır. Kullanılan kür suyu ile beton sıcaklığı arasındaki farkın 11 °C'nin altında kalması veya betonda büyük sıcaklık farklarına neden olmaması için 11 °C'nin altında kalması sağlanmalıdır. Aslında, betona kesintili su kürü uygulandığında yüzeyin ıslanma-kuruma

çevrimlerine maruz kalması nedeni ile başka problemlere yol açacağı unutulmamalıdır. Ancak su/çimento oranı çok düşük karışımlarda ($s/\ç \ll 0,4$) iç kurumanın (self-desiccation) önlenmesi için ıslak küre ihtiyaç duyulacağı unutulmamalıdır [4].

2.1.2. Islak Örtüler

Genelde telis bezi veya diğer su tutucu örtüler kullanılır. Yüzeyde hasar oluşumunu engellemek için beton sertleşir sertleşmez su tutucu örtüler serilmelidir. Özellikle döşeme köşelerinde daha dikkatli ve özenli olunmalıdır. Kullanılan malzemenin homojen yayıldığından, sürekli nemli tutulduğundan ve beton yüzeyine yapışmadığından emin olunmalıdır.



Şekil 2.3. Islak örtülerle kür

Islak telis çuvalı yanında ıslak kum, saman ya da ahşap talaş ile kaplama gibi metotlar da uygulanabilir [12]. Bu yöntemler etkin bir kür sağlamakla birlikte işçilik, maliyet ve zaman gibi nedenlerden ötürü çoğu zaman tercih edilmezler [6]. Kullanılan malzemenin homojen yayıldığından, sürekli nemli tutulduğundan ve beton yüzeyine yapışmadığından emin olunmalıdır.

2.2. Beton Yüzeyini Örtü ile Kaplayarak Kür Yapılması

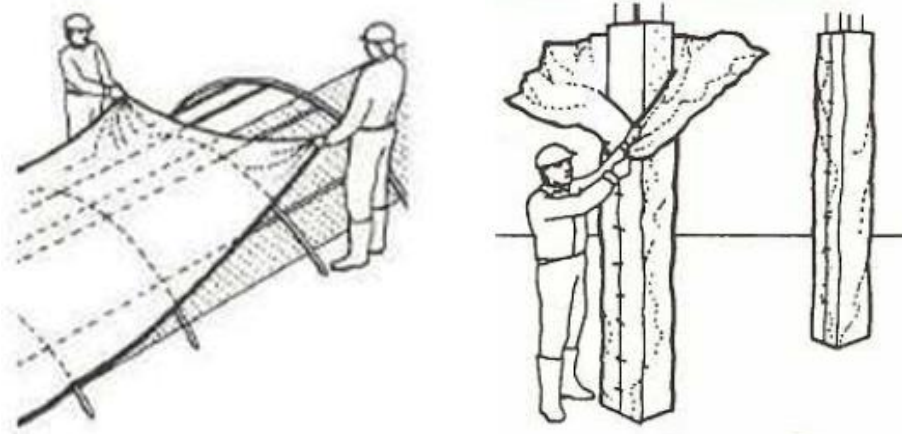
Beton yüzeyinin örtülerle kaplanması her uygulamada gerekli ve verimli olmasa da bazı özel uygulamalar için zorunludur. En büyük avantajları, hem yatay hem düşey elemanlarda kolayca uygulanabilir olmalarıdır.

2.2.1. Polietilen Örtüler

Betonun mevcut suyunun kaybının engellenmesi polietilen ve polivinil esaslı plastik kür örtüleri ile sağlanabilir [12]. Polietilen örtüler yatay elemanlarda kalıplar söküldükten sonra en geç yarım saat içinde ve döşemelerde beton yeteri sertliği kazanır kazanmaz uygulanmalıdır. Beton üzerindeki suyun buharlaşması beklenmeli ancak beton kurumadan önce başlanmalıdır.

Eğer beton, baskı beton ya da desenli yol ise örtüler hafif bir iskelet üzerine yerleştirilmelidir. Bu sayede beton yüzeyi bozulmamış olur. Bu tarz bir kürde polietilen örtüler yerleştirilmeden önce betondaki suyun terleyip buharlaşmasını beklemeye gerek yoktur. Kür uygulaması beton yerleştirildiğinde başlanabilir. Plastik örtüler ve özel kâğıtlar kullanılarak yüzeyin kaplanması ile yapılan kür işleminin gerek işçilik maliyeti gerekse rüzgârlı havalarda kullanılamama gibi dezavantajları vardır.

Düşey elemanlarda kalıplar söküldükten en çok yarım saat içerisinde polietilen örtüler kullanılmalıdır. Döşemelerde ise beton yeteri sertliğe ulaşınca uygulamaya başlanmalıdır.



Şekil 2.4. Polietilen örtülerle kür

2.2.2. Kalıp Koruması

Kolon ve perde duvar gibi düşey elemanlarda kalıp, belli bir miktarda koruma yapar. Ancak özellikle kolon başları ve duvarların üst tarafları dış ortamla temas ettiğinden ek bir koruma gerektirir. Kolonun dış ortamla temas eden bölgesi polietilen örtü ile kaplanır.



Şekil 2.5. Polietilen örtülerle kalıp koruması

2.3. Kimyasal Kür Malzemesi

Kür malzemeleri kolay kullanımları, uygulanmalarından sonra işçilik gerektirmemeleri gibi avantajlara sahiptir [6]. Tipik olarak bir reçine ve çözücünden oluşan kür malzemeleri uygulanma sonrası çözücünün yüzeyden uzaklaşarak geride kalan reçinenin yüzeyde geçirimsiz bir film tabakası oluşturması prensibine dayanır. Ancak bu kür malzemelerinin betondaki etkinliği, oluşan filmin kalitesine, kalınlığına ve uygulanmış yüzeydeki homojenliğine bağlıdır. Yüzeyine kür malzemesi uygulanmamış beton yollarda yüzey özellikleri ile iç tabakaların özelliklerinin birbirinden farklı olduğu, ancak kür malzemesi uygulanmış betonlarda iç ve dış özelliklerin uniformluk gösterdiği belirtilmiştir [7]. Laboratuvar ve saha gözlemleri dört hafta boyunca muhafaza edilen etkin bir film tabakasının 14 günlük sürekli nem kürüne eş sonuç verdiğini göstermiştir [8].

Kür malzemelerinin uygulanmasında dikkat edilmesi gereken noktalar vardır. Bunlardan ilki malzemenin yüzeye üniform biçimde ve kesintisiz bir şekilde uygulanması gerektiğidir. İkincisi de uygulama zamanının doğru seçilmesidir. Membran oluşturan kür malzemesinin etkinliği, kür malzemesinin uygulama zamanı ve cinsine bağlı olduğu belirtilmiştir [13]. Terlemenin durduğu, yüzeyde serbest su kalmadığı ve yüzeyin parlaklığını kaybettiği an optimum uygulama zamanı olarak kabul edilir. Tamamen kurumuş yüzeye uygulanmış kür malzemesi yüzey tarafından emileceğinden dış tabakanın hidrasyonuna engel olacak, yüzeyde de suyu tutmaya yarayan geçirimsiz tabaka oluşmamış olacaktır [3]. Diğer taraftan kür malzemesi henüz terlemesi devam eden betona uygulanır ise beton yüzeyine yakın bölgede su/çimento oranı artacak ve devam eden terleme ile geçirimsiz tabaka zarar görecektir ve işlevini kaybedecektir [6]. Kür malzemeleri

kimyasal yapılarına bağılı olarak, beton yüzeyine yapılacak kaplamaların aderansını olumsuz etkileyebilirler. Bu nedenle bu tür aderansı olumsuz etkileyen kür malzemelerinin kaplama yapılmadan önce yüzeyden uzaklaştırılması gerekir.

2.3.1. Yaygın Olarak Kullanılan Kür Malzemesi Tipleri

2.3.1.1. Parafin Emülsiyonu Esaslı

Parafinin uygun bir emülgatörle su içinde dağıtılmış versiyonudur. Türkiye’de kullanımı en yaygın kür malzemelerinden biridir. Emülsiyonun içindeki suyun yüzeyden buharlaşması ile oluşan film tabakası, daha sonraki uygulamalar için ayırıcı bir tabaka oluşturur. Yüzeye yapılacak sonraki sıva, şap, kinci beton tabakası gibi uygulamaların aderansını olumsuz etkileyebilir. Aynı zamanda, kaydırıcı etkisi nedeni ile havaalanı iniş ve kalkış pistlerinde kullanımı sorun yaratabileceğinden, bazı şartnamelerde önerilmemektedir.

2.3.1.2. Akrilik Dispersiyon Esaslı

Bu malzemeler de, bileşiğın içindeki suyun buharlaşması ile beton yüzeyinde akrilik bir film tabakası oluşmasına dayanır. Bir sonraki uygulamanın aderansını olumsuz etkilemesi beklenmez. Su esaslı olması nedeniyle kapalı alanlarda kullanımı idealdir.

2.3.1.3. Hidrokarbon Reçine Esaslı

Uygun solventlerde çözünebilen termoplastik reçinelerdir. Solventin buharlaşması sonucu kırılğan ve zayıf bir film oluşur. Bu film, mekanik etkiler ve UV ışığı altında kısa sürede yüzeyden kalkar. Bu özelliğı ile havaalanı pist ve apronlarda kullanımı yaygındır. Kapalı ortamlarda kullanılacak ise, düşük organik uçucu madde (VOC) özelliğıne sahip solventlerde çözünmesi tavsiye edilir. Sonradan yüzeye bir uygulama düşünölüyorsa mekanik olarak veya solvent ile silinerek yüzeyden uzaklaştırılması tavsiye edilir.

2.3.1.4. Akrilik Reçineler

Bu malzemeler de uygun solventlerde çözünerek uygulanır ve solventin buharlaşması ile güçlü bir film oluşur. Akrilik reçinenin kimyasal yapısına göre, oluşan film eğer yapışma özelliğine sahip değilse, yüzeyden mekanik olarak kaldırılması tavsiye edilir. Bazı akrilik tipleri kullanılan monomer cinsine göre bir sonraki uygulama ile daha iyi aderans sağlayacak özelliğe sahip olabilir.

2.3.1.5. Silikat Esaslı Kür Malzemeleri

Kür etkinliği zayıf olmakla beraber, tozmayı engelleme özelliği ile kür maddesi olarak kullanılabilmektedir.

2.3.1.6. ASTM C 309’a Göre Kür Malzemeleri

Betonun kürlenme işlemi için likit membran oluşturma prensibine dayalı olarak çalışan kür malzemelerinin tipleri, sınıfları ve sağlamaları gereken genel gereklilikler, ASTM C 309’da şu şekilde verilmektedir [14].

Tanımlanan Tipler ve Sınıflar

Tip 1 - Açık veya yarısaydam (boyasız)

Tip 1 D - Açık veya şeffaf (uçucu boyalı)

Tip 2 - Beyaz Pigmentli

Sınıf A - Kısıtlama olmayan genel sınıf

Sınıf B – Reçine bazlı karışımlar

Genel gereklilikler

- Üniform bir görüntüye sahip olmalıdır,
- Yüzeyde süreksizlik içermeyen bir membran oluşturmaktadır,
- Betonla, betona zarar verecek bir reaksiyona girmemelidir,

•Prizini almış ya da uygulamaya direnç gösterebilecek ölçüde sertleşmiş beton yüzeyine yapışmalıdır,

- Su kaybı 72 saatte 0,55 kg/m²'yi aşmamalıdır (ASTM C156),
- Tip 2'nin günışığı yansıtma kapasitesi %60'tan az olmamalıdır (ASTM E 1347),
- Kuruma süreleri saati aşmamalıdır.

2.3.1.7. Kürün Beton Dayanımına Etkisi

Hidratasyonun ideal hızla yer alabildiği durum, betondaki kapiler boşlukların suyla dolu olduğu durumdur. Bunun için beton içerisindeki suyun kaybolmasının önüne geçilmelidir. Yerine yerleştirilen taze betonun içerisindeki suyun bünyeden uzaklaşmasının en önemli nedeni buharlaşmadır. Buharlaşma hızı ise havadaki rölatif neme, hava sıcaklığına, betonun sıcaklığına ve rüzgâr hızına bağlıdır [5]. Çimentonun hidratasyonunu maksimize etmek için bu etkenleri kontrol altına almak gerekmektedir. Dolayısıyla betona uygulanacak bakımın önemi kendiliğinden ortaya çıkmaktadır.

Malolepszy ve Deja [15], %5 ve %10 silis dumanı içeren harçlarda dayanımların kür şartlarından çok etkilendiğini gözlemişlerdir. Hava kürünün, basınç dayanımlarında %40'a varan azalmalara neden olduğunu rapor etmişlerdir. Yeterli hidratasyon oranına ulaşmadan önce kesilen kür rejiminin silis dumanı içeren yüksek dayanımlı betonun basınç dayanımını, normal dayanımlı betona göre daha fazla etkilediği görülmüştür [16]. Bu sonuç iyi bir kür rejiminin yüksek dayanımlı beton için çok daha fazla önemli olduğunu göstermektedir.

Şancı (2001); yaptığı çalışmada kür şartlarının beton dayanımına etkisini araştırmıştır. Bu çalışmada su/çimento oranı 0.55 alınarak 300 dozlu PKÇ/B32.5 R portland kompeze çimentosu kullanmıştır. Üretilen beton numuneler cling film altında, laboratuarda açıkta ve standart kür havuzunda olmak üzere üç farklı ortamda 3, 7, 14 ve 28 gün süre ile bekletilmiştir. Kür periyotları sonunda 7 günlük basınç dayanımları cling film altında 11.26 Mpa, açıkta (hava kurusu) bekletilenlerde 11.58 Mpa ve su havuzu küründe bekletilen numunelerde 13.4 Mpa olarak bulunmuştur. 28 günlük basınç dayanımları cling film altında 18.79 Mpa, açıkta (hava kurusu) bekletilenlerde 16.05 Mpa ve su havuzu küründe bekletilen numunelerde 23.4 Mpa bulunmuştur [17].

Karahan, O. ve diğ. (2005) yaptıkları bir çalışmada Kayseri yöresi çimento fabrikalarında piyasaya sunulmakta olan PÇ-32.5, PÇ-42.5 ve PKÇ/B-32.5 R türü

çimentolarla üretilen betonların, 2, 7, 8, 180 ve 360 günlük dayanımları farklı kür çeşitlerinde karşılaştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışma sonucunda PKÇ/B-32.5R çimentolu betonların, çok az da olsa suya, PÇ-42.5 çimentolu betonlardan daha fazla ihtiyaç duyduğu görülmüştür. Genel olarak kürün beton dayanımlarına etkisi her iki çimento için yaklaşık olarak, 28 günde $\approx\%17$, 180 günde $\approx\%28$ ve 360 gün sonunda ise $\approx\%30$ dayanım kaybı olarak bulunmuştur. İlk günden itibaren laboratuarda havada bekletilen betonların 360-günlük dayanımları 28-günlük dayanıma göre yaklaşık $\%20$ kadar artmıştır. Bu durum rüzgârdan, sıcaktan ve buna benzer dış ortam etkilerinden korunan laboratuarda geçerlidir [18].

Uygunoğlu, T ve Ünal, O (2007) yaptıkları bir çalışmada, pomza hafif agregası ile üretilen hafif beton harçlarının otoklavda basınçlı buhar ile kür edildikten sonra fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Beton harçların üretiminde 0-4 mm boyutundaki Isparta yöresi pomza agregası kullanılmıştır. Harçların çimento miktarı 300 kg/m^3 ve su/çimento oranı 0.15 olarak sabit tutulmuştur. Üretilen numuneler kalıptan alındıktan 24 saat sonra 2, 4, 6, 8 ve 10 saat süreyle otoklavda basınçlı buhar kürüne tabi tutulmuşlardır. Aynı özellikteki numunelerden bir bölümü 7 ve 28 gün olmak üzere havada ve suda kür edilmişlerdir. Numuneler üzerinde basınç dayanımı, birim hacim ağırlık, görünen porozite ve su emme değerleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, havada ve suda kür edilmiş olan numunelerin özellikleri ile karşılaştırılmış ve pomzalı harç numunelerinin 8 saat basınçlı buhar kürüne tabi tutulmaları ile fiziksel ve mekanik özelliklerinin havada ve suda kür edilen numunelere göre daha iyi performans gösterdiği görülmüştür [19].

Coşkun, A. ve Tanyıldızı, H. (2007) yaptıkları bir çalışmada, agrega olarak pomza taşı, mineral katkı olarak silis dumanı kullanılarak elde edilen taşıyıcı hafif betonun basınç dayanımı ve ultrasonik ses geçirgenliği arasındaki ilişkiye kür şartlarının etkisi araştırılmıştır. Mineral katkı olarak çimento ağırlığının $\%10$ 'u oranında silis dumanı kullanılmış. Numunelerin hazırlanmasında maksimum tane çapı 16 mm olan pomza taşı kullanılmış ve 150 mm küp numuneler hazırlanmıştır. 3, 7, 14 ve 28 gün süre ile su havuzunda, açık havada ve naylon torbada kür edildikten sonra tüm numunelerin ultrasonik ses geçirgenliği ve basınç dayanımı değerleri belirlenmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre en yüksek ultrasonik ses geçirgenliği ve basınç dayanımı değerleri, suda kür edilen numunelerde elde edilmiştir [20].

Topçu, İ. B. ve Topkara, Y. Ö. (2009) yaptıkları bir çalışmada uçucu küllü harçların basınç dayanımına mikrodalga kür yönteminin etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada cam ve ekstrüde polistren köpük (XPS) kalıplar kullanılarak uygulanan mikrodalga kürün 4x4x16 cm boyutlarında uçucu kül (UK) katkılı (çimento yerine ağırlıkça % 10, 20 ve 30) harç numunelerinin 8 saat, 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarına etkileri incelenmiş ve mikrodalga kür yönteminin çimentonun hidratasyon reaksiyonlarını hızlandırarak betonun erken dayanımını artırdığı bulunmuştur. Mikrodalga kür (45 dk, 90 W) ile 8. saatte 23.67 MPa basınç dayanımı elde edilmiştir. Cam kalıplar ile mikrodalga kür uygulanması XPS kalıplara göre 8 saatlik basınç dayanımlarını % 10-30 artırmıştır. Cam kalıplarda mikrodalga kür uygulanan harçlarda çimento yerine % 20 UK kullanılması harçların 8 saat, 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarını sırasıyla % 31, 21 ve 16 oranlarında azaltmıştır [21].

Gönen, T. ve Yazıcıoğlu, S. (2009) yaptıkları bir çalışmada bazaltik pomza ve genleştirilmiş perlit agregası ile üretilen kendiliğinden yerleşen hafif betonların mekanik özelliklerine kür ortamı ve agrega tipinin etkisi araştırılmıştır. Çalışmada üretilen kendiliğinden yerleşen hafif betonların toz fazı CEM I 42,5 N tipi çimento ve C sınıfı uçucu külden oluşmaktadır. Agregada fazında ise bazaltik pomza ve genleştirilmiş perlit agregası farklı oranlarda yer değiştirilerek kullanılmıştır. Üretilen kendiliğinden yerleşen hafif betonların dere agregalı normal ağırlıklı kendiliğinden yerleşen betonların ve vibrasyonla sıkıştırılan hafif betonların mekanik özellikleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Farklı kür ortamlarında bakımı yapılan numunelerin 7, 28 ve 90 günlük basınç ve eğilme dayanımları incelenmiştir. Elde edilen deney sonuçları; hafif agrega ile 28 günde 50 MPa basınç dayanımına sahip kendiliğinden yerleşen hafif betonların üretililebildiğini ve bu betonların kür ortamından fazla etkilenmediğini göstermiştir [22].

Uysal, M. ve diğ. (2011) yaptıkları bir çalışmada beyaz Portland çimentosu, beyaz kalker agregası ve mermer tozu kullanılarak elde edilen beyaz betonun, taşıyıcı elemanlarda kullanımı için en önemli özelliklerinden olan basınç dayanımı üzerinde farklı kür şartlarının etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla beyaz Portland çimentosu dozajı 250-650 kg/m³ aralığında değiştirilerek ve kimyasal katkı oranı sabit tutularak, katkılı ve katkısız olmak üzere 10 ayrı karışıma sahip numuneler üretilmiştir. Hazırlanan beton karışımları 20±2°C kirece doymuş su içerisinde, laboratuvar ortamında (20±3°C sıcaklık ve %68 nem) açık olarak ve naylon örtü içerisinde sarılı olmak üzere üç farklı kür yöntemi uygulanmak suretiyle 7, 28 ve 90 gün boyunca bekletilerek bu süreler sonunda basınç dayanımı

deneyine tabi tutulmuştur. Üretilen betonlar üzerinde basınç dayanım deneyleri yapılmıştır. Bulunan basınç deneyi sonuçları değerlendirilerek farklı dozajda üretilen numunelerde süper akışkanlaştırıcı katkının ve farklı kür şartlarının beton basınç dayanımları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre, üretilen betonlarda özellikle ilk günlerde su kürü yönteminin uygulanması ve kimyasal katkı kullanımının beton basınç dayanımının artmasında etkili olduğu görülmüştür [23].

Wang, K., ve diğ. (2007) yaptıkları çalışmada çeşitli kür kimyasallarının ve uygulama teknolojilerinin beton yüzey özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Laboratuvar araştırmasında üç farklı kür kimyasalı taze harç numuneler üzerine dökümden sonra belirli saatlerde uygulanmıştır. Tek ve çift katman olmak üzere iki farklı uygulama tekniği kullanılmıştır. Nem oranı, iletkenlik, kılcal geçirimsizlik ve hidrasyon derecesi numunenin farklı derinliklerinde ölçülmüştür. Harçların eğilmede çekme ve basınç dayanımları da ölçülmüştür. Malzeme özellikleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Araştırma sonuçları kür kimyasalının harcın nem muhtevasını ve çimento hidrasyonunu önemli şekilde arttırdığını ve yüzeye yakın bölgelerde kılcal geçirimsizliği düşürdüğünü ortaya koymuştur. Öte yandan, test edilen 334 malzeme ve karışım oranları için en uygun uygulama zamanı hava koşullarıyla birebir ilintilidir. Yüksek etkinlik endeksli kür kimyasalı uygun zamanda uygulandığında çift katmana gerek duyulmamıştır. Yapılan çalışmanın sonunda; uygulanan bütün test yöntemleri arasında değişik kür malzemeleri ve metotları nedeniyle beton yüzeyine yakın alanlardaki mikro yapıdaki küçük değişimlere bile duyarlı olan kılcal geçirimsizlik deneyinin, en hassas deney olduğu görülmüştür. Kılcal geçirimsizlik deneyi nem içeriği ve hidrasyon derecesiyle de yakın ilişkilidir [24].

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, değişik oranlarda uçucu kül ve silis dumanı kullanılarak hazırlanan ve farklı kür ortamlarında (Şehir şebeke suyunda, ıslak bezde, havada ve emülsifiye parafin esaslı sıvı bir kür malzemesiyle kaplayarak) farklı kür sürelerinde (3, 7, 28, 56 ve 180 gün) bekletilen KYH'lerin dayanımlarındaki değişimler incelenmiştir.

3.1. Deney Programı

Mineral katkı olarak C sınıfı uçucu kül ve silis dumanı kullanılarak hazırlanan taze ve sertleşmiş haldeki KYH harç numuneleri üzerinde işlenebilirlik ve dayanım deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bunun için dozajı 630 kg/m^3 olan, mineral katkı içeren ve içermeyen toplam 12 karışım hazırlanmıştır. Bu amaçla C sınıfı uçucu kül ağırlıkça %10, %20, %30 ve silis dumanı ağırlıkça %6, %10, %14 oranlarında portland çimentosu yerine ikame edilerek ikili karışımlar hazırlanmıştır. Üçlü karışımlarda ise mineral katkı oranı çimentonun %30'unu geçmeyecek şekilde %10 uçucu kül ile %6, %10, %14 silis dumanı ve %20 uçucu kül ile %6, %10 silis dumanı çimentonun yerine ikame edilerek kullanılmıştır. KYH'lerin taze haldeki özellikleri, mini V-hunisi, mini çökme-yayılma ve viskozite ölçümleri ile belirlenmiştir. Sertleşmiş haldeki $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}$ boyutlarındaki numuneler 3, 7, 28, 56, 180 gün süre ile farklı kür ortamlarında bekletildikten sonra üç noktalı eğilme ve basınç deneylerine tabi tutulmuşlardır. Ayrıca hazırlanan 50 mm'lik küp numuneler üzerinde kapiler su emme deneyi yapılmıştır. Bu deneylerden elde edilen sonuçlarla tüm numunelerin poroziteleri (%), toplam su emme kapasiteleri (%) ve yoğunlukları belirlenmiştir.

3.2. Malzeme Özellikleri

Bu çalışmada kullanılan malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri aşağıda verilmiştir.

3.2.1. Portland Çimentosu

Bu çalışmada, Elazığ Altınova Çimento Sanayi Tic. A.Ş.'den temin edilen CEM I 42,5 N tipi çimento kullanılmıştır. Bu çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. CEM I 42,5 N çimentosunun kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri

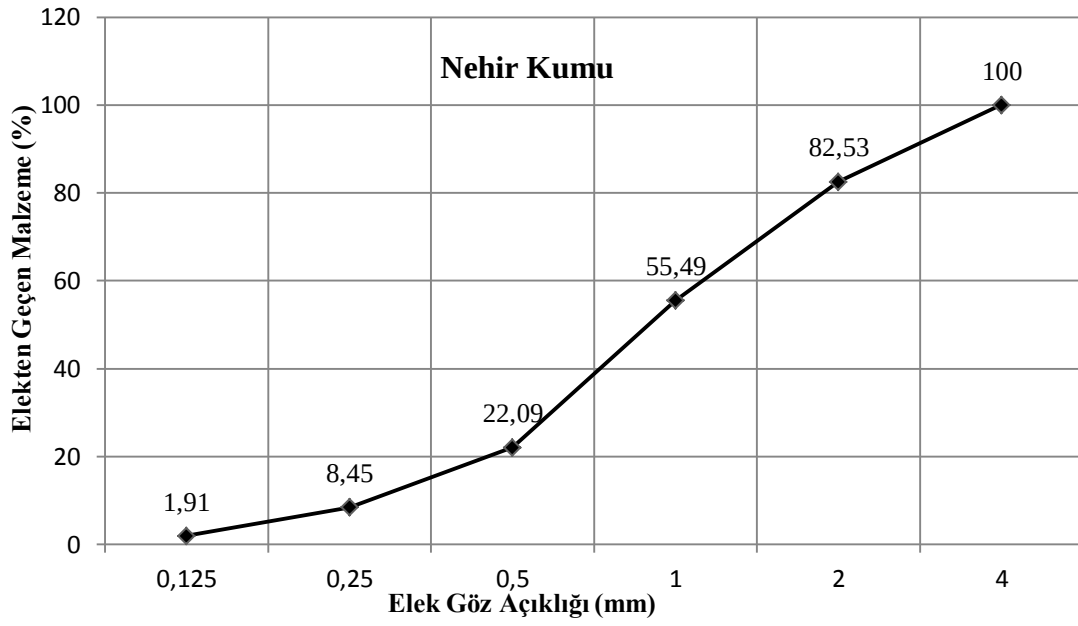
ÖZELLİK	CEM I 42,5 N
SiO ₂ (%)	21,12
Al ₂ O ₃ (%)	5,62
Fe ₂ O ₃ (%)	3,24
CaO (%)	62,94
MgO (%)	—
SO ₃ (%)	2,66
Klorür (Cl ⁻) (%)	0,0044
Kızdırma Kaybı (%)	3,52
Özgöl Ağırlık (gr/cm ³)	3,1
Özgöl Yüzey Alanı (cm ² /gr)	3490

3.2.2. Agrega Tipi

Agregalar Elazığ Murat Nehrinden temin edilmiştir. KYH için kullanılan agreganın (kumun) maksimum tane çapı 4 mm olarak seçilmiştir. Doygun kuru yüzey özgül ağırlığı 2.63 gr/cm³ olarak bulunan agreganın su emmesi % 1.91 olarak belirlenmiştir. Yapılan elek analizi sonucundaki değerler tablo 3.2.'de verilmiştir. Bu değerlere ait granülometri eğrisi de şekil 3.1.'de verilmiştir.

Tablo 3.2. Kuma ait elek analiz sonuçları

Elek No (mm)	Elek Üzerinde Kalan Miktar (gr)	Elek Üzerinde Kalan Miktar (%)	Elek Üzerinde Kalan Yığılımlı Miktar (%)	Elekten Geçen Miktar (%)
4	0	0	0	100
2	349,3	17,47	17,47	82,53
1	540,7	27,04	44,51	55,49
0,5	668,2	33,40	77,91	22,09
0,25	272,8	13,64	91,55	8,45
0,125	130,8	6,54	98,09	1,91
Kap	38,2	1,91	100	0
Toplam	2000			



Şekil 3.1. Kuma ait analiz grafiği

3.2.3. Kimyasal Katkı

KYH’de kimyasal katkı olarak 1.06 gr/cm^3 yoğunluğa sahip modifiye polikarboksilat esaslı polimer bir süper akışkanlaştırıcı (SA) olan ViscoCrete Hi-Tech 36 mineral katkı içermeyen ve sadece C sınıfı uçucu kül içeren karışımlarda 7 kg/m^3 , silis dumanı içeren karışımlarda 7 kg/m^3 oranlarında kullanılmıştır. Süper akışkanlaştırıcının özellikleri tablo 3.3.’de verilmiştir.

Tablo 3.3. Kimyasal katkının özellikleri

Kimyasal Yapı	Modifiye polikarboksilat esaslı polimer
Yoğunluk (gr/cm^3)	1,06
pH Değeri	3 – 7
Donma Noktası ($^{\circ}\text{C}$)	-4
Suda Çözünebilir Klorür (%)	En fazla % 0,1 (TS EN 934-2)
Alkali Miktarı (% Na_2O Eşdeğeri Olarak)	En fazla % 3 (TS EN 934-2)

3.2.4. Şehir Şebeke Suyu

Bu çalışmada harç karışımlarında ve kür uygulamasında Elazığ şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

3.2.5. Uçucu Külün Özellikleri

Sivas Kangal Termik Santralinden elde edilen C sınıfı uçucu kül ağırlıkça %10, %20, %30 oranlarında portland çimentosu yerine ikame edilerek kullanılmıştır. Kangal Termik Santrali Uçucu Külü %33-35 silika, %11-15 alümina ve %26-30 CaO içermektedir. Dolayısıyla bu kül C sınıfına girmekte ve şiddetli olmasa da pozzolanik özellik göstermektedir. Kangal Termik Santrali C sınıfı uçucu külün kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri Tablo 3.5.'de verilmiştir.

Tablo 3.4. C sınıfı uçucu külün kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri

Özellik	C Sınıfı Uçucu Kül
SiO ₂ (%)	38,34
Al ₂ O ₃ (%)	16,69
Fe ₂ O ₃ (%)	5,11
CaO (%)	27,62
MgO (%)	1,60
SO ₃ (%)	4,44
Kızdırma Kaybı (%)	0,79
Blaine (cm ² /gr)	1343
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	2,50

3.2.6. Silis Dumanının Özellikleri

Bu çalışmada, Antalya Eti Elektrometalurji A.Ş.'den temin edilen silis dumanı kullanılmıştır. Silis dumanı ağırlıkça %6, %10, %14 oranlarında portland çimentosu yerine ikame edilerek kullanılmıştır. Silis dumanının kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri Tablo 3.6.'da verilmiştir.

Tablo 3.5. Silis dumanının kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri

Özellik	Silis Dumanı
SiO ₂ (%)	91
Al ₂ O ₃ (%)	0,58
Fe ₂ O ₃ (%)	0,24
CaO (%)	0,71
MgO (%)	0,33
SO ₃ (%)	–
Kızdırma Kaybı (%)	1,84
Blaine (cm ² /gr)	96,5% < 45µm
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	2,20

3.2.7. Beton Kür Malzemesi

KYH’de beton kür malzemesi olarak ASTM C 309–81 standardına uygun $0.96 \pm 0.02 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluğa sahip parafin esaslı sıvı bir kür malzemesi olan Antisol-EXC, numune yüzeylerine ince bir tabaka halinde sürülerek kullanılmıştır. Kullanılan bu kimyasal kür malzemesi, parafinin uygun bir emülgatörle su içinde dağıtılmış versiyonudur ve Türkiye’de kullanımı en yaygın kür malzemelerinden biridir. Kür malzemesinin yüzeye uygulanmasından sonra emülsiyonun içindeki suyun yüzeyden buharlaşması ile bir film tabakası oluşmakta ve taze dökülmüş betonda hızlı su kaybı önlenmektedir.

3.3. Numune Boyutları

Üç noktalı eğilme ve basınç deneyleri için hazırlanan harç numuneleri TS EN 196-1’e uygun olarak $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}$ ’lik kalıplara yerleştirilmiştir (Şekil 3.2.). Ayrıca kapiler su emme deneyi için 50 mm ’lik küp numuneler hazırlanmıştır.



Şekil 3.2. $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}$ ’lik prizmatik numuneler

3.4. Numunelerin Kür Edilmesi

Ağırlıkça %10, %20, %30 oranlarında uçucu kül, ağırlıkça %6, %10, %14 oranlarında silis dumanı portland çimentosu yerine ikame edilerek mineral katkı ve mineral katkısız hazırlanan 12 adet karışıma ait numuneler 1 gün kalıpta bekletildikten sonra, şehir şebeke suyu ile doldurulan 20 ± 2 °C sıcaklıktaki kür havuzunda, havada, ıslak bezde ve parafin esaslı sıvı bir kür malzemesi ile ince bir film tabakası ile kaplanarak 3, 7, 28, 56 ve 180 gün süre ile bekletilmişlerdir.

3.5. KYH'da Karışım Hesabı

Harç karışımları TS EN 196-1'e göre hazırlanmıştır. Bu çalışmada CEM I 42,5 N tipi çimento, uçucu kül ve silis dumanı kullanılmıştır. Bu malzemelerle kontrol numunesi dahil olmak üzere 12 karışım hazırlanmıştır.

İkili karışımlara ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranlarında uçucu kül ve %6, %10, %14 oranlarında silis dumanı portland çimentosu yerine ikame edilerek kullanılmıştır. Üçlü karışımlar uçucu kül ve silis dumanı oranı %30'u geçmeyecek şekilde hazırlanmıştır. Üçlü karışımlar portland çimentosuyla ikameli olarak, ağırlıkça %10 oranında uçucu küle %6, %10, %14 oranlarında silis dumanı; %20 oranında uçucu küle ise %6 ve %10 silis dumanı katılarak hazırlanmıştır.

Karışım hesapları mutlak hacim yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Bu metotta hesaplara başlamadan önce kullanılacak çimento ve katkı miktarları belirlenmiştir. Belirlenen miktarlara göre denklem (3.1) kullanılarak toplam kum hacmi hesaplanmıştır.

$$V_{kum} = 1000 - \left(\frac{C}{\delta_c} + W + \frac{K}{\delta_k} + \frac{S}{\delta_s} + \frac{U}{\delta_u} + H \right) \quad (3.1)$$

Burada;

V_{kum} : Kum hacmi (dm^3),

C : 1 m^3 betondaki çimento miktarı (kg),

W : 1 m^3 betondaki su miktarı (kg),

K : 1 m^3 betondaki kimyasal katkı miktarı (kg),

- S : 1 m³ betondaki silis dumanı miktarı (kg),
- U : 1 m³ betondaki uçucu kül miktarı (kg),
- H : 1 m³ betondaki hava miktarı (dm³),
- δ_{ϕ} : Çimentonun özgül ağırlığı (kg/dm³),
- δ_s : Silis dumanının özgül ağırlığı (kg/dm³),
- δ_u : Uçucu külün özgül ağırlığı (kg/dm³),
- δ_k : Kimyasal katkının özgül ağırlığı (kg/dm³)'dır.

Karışımda kullanılacak kumun hacmi denklem (3.2) yardımı ile hesaplanmıştır.

$$A_{kum} = V_{kum} \cdot \delta_{kum} \quad (3.2)$$

Burada;

A_{kum} : Karışımda kullanılan kumun ağırlığı (kg),

δ_{kum} : Karışımda kullanılan kumun özgül ağırlığı (kg/dm³)'dır.

Deneme üretimleri sonucunda elde edilen harç karışımlarındaki oranlar Tablo 3.7.'de verilmiştir.

Tablo 3.6. Karışım oranları

Numune Adı	Muhteva (kg/m ³)						
	CEM I 42,5 N	UK	SD	Kum	Viscocrete Hi-Tech 36	Su/Toz (Hacimce)	Su/Toz (Ağırlıkça)
U0+S0	630	0	0	1306,24	7,00	1,21	0,39
U10	567	63	0	1271	7,00	1,24	0,41
U20	504	126	0	1238	7,00	1,27	0,43
U30	441	189	0	1154	7,00	1,39	0,48
S6	592,2	0	39	1324	8,00	1,13	0,37
S10	567	0	58,5	1282	8,00	1,17	0,40
S14	541,8	0	78	1240	8,00	1,22	0,42
U10+S6	529,2	63	37,8	1278	8,00	1,18	0,40
U10+S10	504	63	63	1236	8,00	1,23	0,42
U10+S14	478,8	63	88,2	1211	8,00	1,25	0,44
U20+S6	466,2	126	37,8	1282	8,00	1,15	0,39
U20+S10	441	126	63	1207	8,00	1,26	0,44

3.6. Deney Metotları

KYH üzerinde uygulanan deneyler, işlenebilirlik ve mekanik özellikleri belirlemek amacıyla laboratuvar şartlarında taze harçlar ve sertleşmiş harç numuneleri için ayrı ayrı uygulanmıştır. Bu deneyler aşağıda açıklanmıştır.

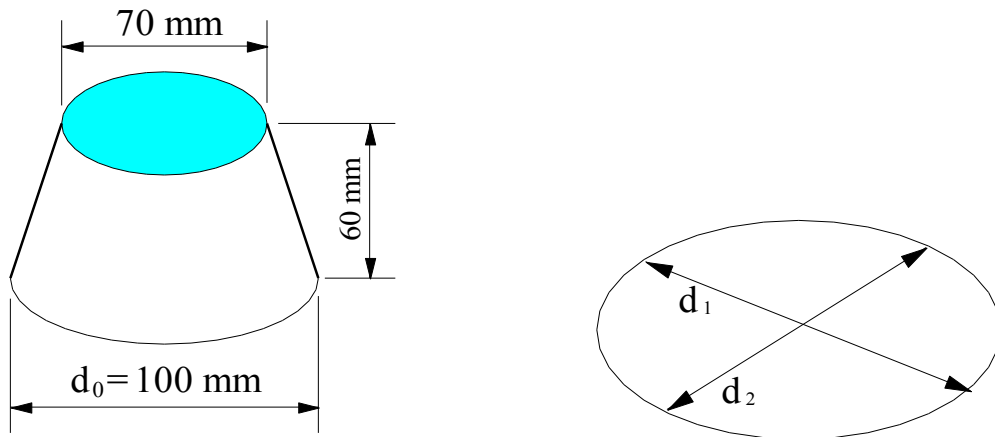
3.6.1. Mini Çökme-Yayılma Deneyi

Bölüm 3.5.'e göre hazırlanan harç karışımları EFNARC (2002) tarafından işlenebilirlik deneyi olarak tavsiye edilen mini çökme-yayılma deneyine tabi tutulmuşlardır. Bu deneyde çökme-yayılma değerinin 24-26 cm arasında olması sağlanmıştır.

Mini çökme - yayılma deneyinde şekil 3.3.'deki gibi tepesi kesik koni kalıp harçla doldurulduktan sonra yukarı kaldırılır. Harcın yayıldığı çap karşılıklı iki yönde ölçülür ve ortalaması yayılma çapı olarak kaydedilir. Bağlı çökme - yayılma değeri (3.3) ve (3.4) bağıntılarından hesaplanır.

$$\Gamma_m = \left(\frac{d}{d_0} \right)^2 - 1 \quad (3.3)$$

$$\text{Buradan; } d = \frac{d_1 + d_2}{2}, \text{ dir.} \quad (3.4)$$



Şekil 3.3. KYH için mini çökme-yayılma aparatı

Şekil 3.4.' de cam yayılma tablası üzerinde çökme yayılma deneyi görülmektedir.



Şekil 3.4. Mini çökme-yayılma deneyi

3.6.2. Mini V-Hunisi Deneyi

Bölüm 3.5.'e göre hazırlanan harç karışımları EFNARC (2002) tarafından işlenebilirlik deneyi olarak tavsiye edilen mini V-hunisi deneyine tabi tutulmuşlardır. Bu deneyde V-hunisi akma zamanının 7-11 sn arasında kalması sağlanmıştır.

Bu deneyde Şekil 3.5.'daki gibi bir V- hunisi harçla tamamen doldurulduktan sonra altındaki kapak açılır ve harcın akması sağlanır. Kapağın açıldığı andan üstten bakıldığı ışığın görüldüğü ana kadar geçen süre t süresi olarak kaydedilir. Kaydedilen değerlere göre bağıl huni hızı değeri de (3.5) bağıntısından hesaplanır.

$$R_m = \frac{10}{t} \quad (3.5)$$



Şekil 3.5. KYH için mini V-hunisi deneyi

3.6.3. Viskozitenin Belirlenmesi

Bölüm 3.5.'e göre hazırlanan harç karışımlarına viskozite ölçümleri Brookfield DV-E model bir cihaz kullanılarak yapılmıştır (Şekil 3.6.). Harç karışımlarının viskozite değerleri 1, 2.5, 5, 10, 20, 50, 60 ve 100 devir/dk açısal hızlarda ve karıştırma işleminden hemen sonra ölçülmüştür. Böylece, her bir KYH karışımı için farklı açısal hızlardaki viskozite değerleri (cP) elde edilmiştir.

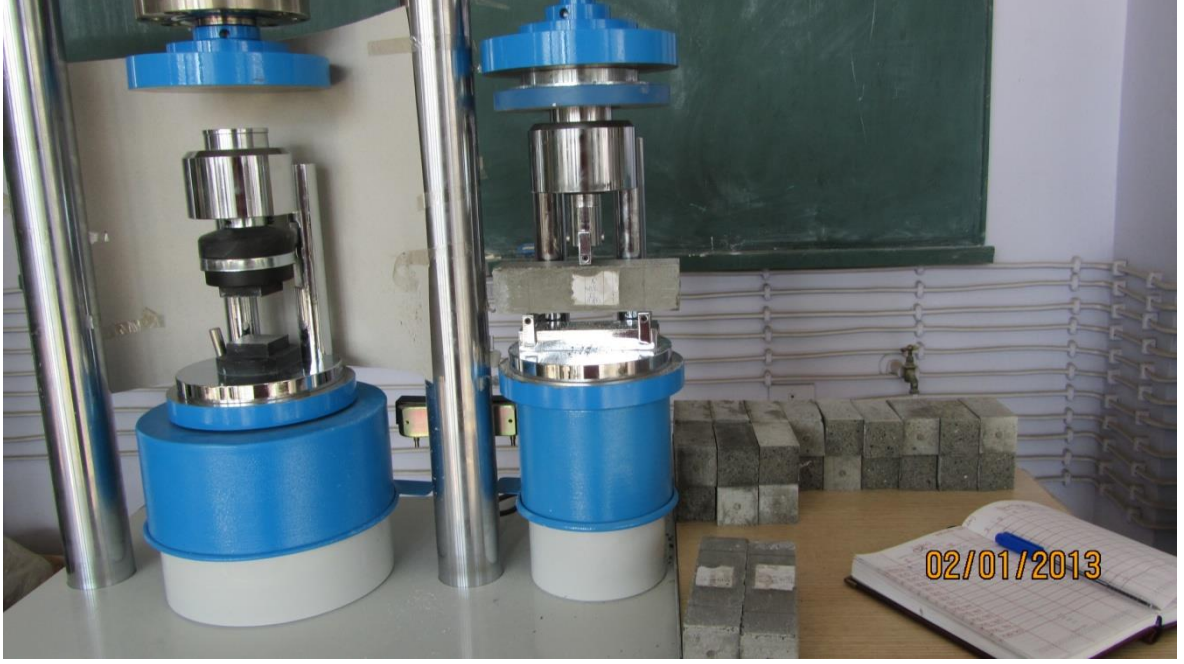


Şekil 3.6. Brookfield DV-E model viskozimetre aleti

Bu deneyde harç beher içinde bulunur. Daire şeklindeki dönel ucun çapı numuneye göre belirlenir. Karıştırıcı uç dönmeye başladığında uca karşı harcın oluşturduğu burulma momenti (tork) ölçülür. Ucun hızı arttıkça okunan değerler doğrultusunda viskozite değişimleri elde edilir.

3.6.4. Üç Noktalı Eğilme ve Basınç Değerleri

Bölüm 3.5.'e göre hazırlanan harç numuneleri TS EN 196-1 standardına göre çimento deneylerine tabi tutulmuşlardır. Hazırlanan 12 karışımın her birinden 4 seri 40×40×160 mm boyutlarında numuneler şehir şebeke suyu ile doldurulan 20±2 °C sıcaklıktaki kür havuzunda, havada, ıslak bezde ve parafin esaslı sıvı bir kür malzemesi ile ince bir film tabakası ile kaplanarak 3, 7, 28, 56 ve 180 gün süre ile bekletilmişlerdir. Her bir kür periyodu sonunda kürden çıkarılan numuneler 25 ton basınç, 15 ton eğilme kapasiteli UTEST UTCM 6420 makinesinde eğilme ve basınç deneylerine tabi tutulmuşlardır (Şekil 3.7.-3.8).



(a)



(b)

Şekil 3.7. (a) Üç noktalı eğilme deneyi; (b) Eğilme deneyinde numunenin kırılması



(a)



(b)

Şekil 3.8. (a) ve (b) Basınç deneyi;

3.6.5. Kapiler Su Emme Deneyi

Betonların kapiler su emme katsayıları 28 gün suda kür edilen 50 mm'lik küp numuneler üzerinde belirlenmiştir. Numuneler sabit ağırlığa gelinceye kadar $105^{\circ}\text{C} \pm 5'$ de hava sirkülasyonlu etüvde bekletilmiştir. Etüvden çıkarılıp soğutulan numuneler yan

yüzeyleri izole edildikten sonra, su içerisine 5 mm batacak şekilde düzeneğe yerleştirilmiştir (Şekil 3.9). Düzeneğe yerleştirilen numuneler 5, 10, 20, 30, 60, 180, 360 ve 1440 dakikalık sürelerde, numunelerin yüzeylerindeki serbest su nemli bir bez ile silinerek, 0.01 g hassasiyetli tartı ile tartılıp kütle artışları belirlenmiştir. Numunelerin başlangıçtaki ağırlıklarına göre, ağırlık farkları hesaplanarak kapiler su emme değerleri bulunmuştur. Kapiler su emme deneyi, TS 4045 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Kapilerite katsayısı hesaplamasında denklem (3.6)'deki formül kullanılmıştır.

$$K = \frac{Q^2}{A^2 \cdot t} \quad (3.6)$$

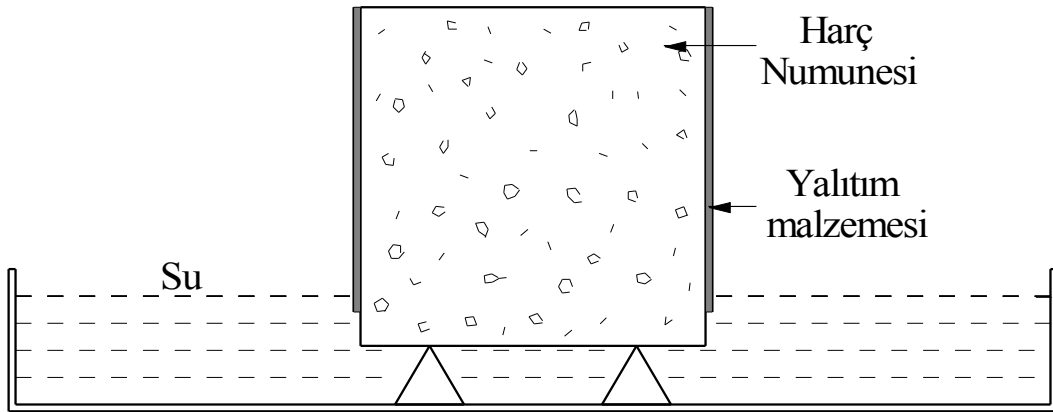
Burada;

K : Kapilerite katsayısı (cm^2/s),

A : Su ile temas eden alan (cm^2),

t : Geçen zaman (s),

Q : Emilen su miktarı (cm^3)'dır.



Şekil 3.9. Kapiler su emme düzeneği

Kapiler su emme deneyi Şekil 3.10. ve Şekil 3.11.'de verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3.10. (a) Etüvde bekletilmiş numuneler; (b) İzole edilmiş numuneler



(a)



(b)

Şekil 3.11. (a) Numunelerin su emmesi; (b) 24 saat sonunda su emmiş numunelerin görünümü

4. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Mini Çökme-Yayılma ve Mini V-Hunisi Deney Sonuçları

Silis dumanlı ve Uçucu küllü karışımların çökme - yayılma değerleri kontrol harcı ile birlikte Tablo 4.1.'de; uçucu kül ve silis dumanı içeren karışımların çökme - yayılma değerleri kontrol harcı ile birlikte Tablo 4.2.'de verilmiştir. Harçların karışım oranları belirlenirken EFNARC (2002)'ın önerdiği çökme yayılma değer aralığı (24 - 26 cm) göz önünde bulundurulmuştur [25].

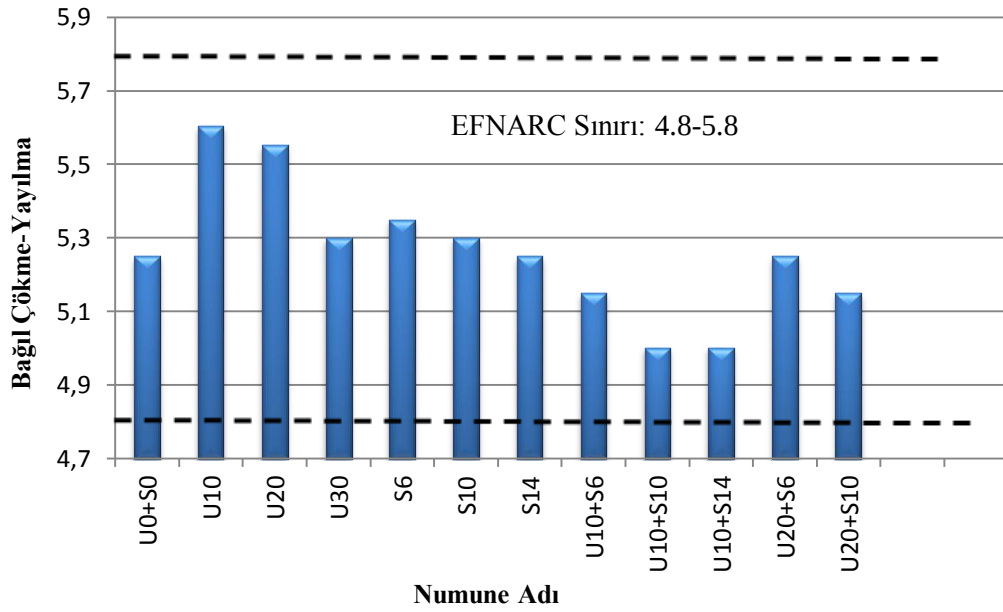
Tablo 4.1. UK+SD içeren ikili harçların mini çökme - yayılma değerleri

Numune Adı	U0+S0	U10	U20	U30	S6	S10	S14
Çökme-Yayılma Değerleri (mm)	250	257	256	251	252	251	250
Bağıl Çökme - Yayılma Değerleri	5,3	5,6	5,6	5,3	5,4	5,3	5,3

Tablo 4.2. UK + SD içeren üçlü harçların mini çökme - yayılma değerleri

Numune Adı	U0+S0	U10+S6	U10+S10	U10+S14	U20+S6	U20+S10
Çökme-Yayılma Değerleri (mm)	250	248	245	245	250	248
Bağıl Çökme - Yayılma Değerleri	5,3	5,2	5,0	5,0	5,3	5,2

Tablo 4.1. ve Tablo 4.2.'deki bağıl çökme-yayılma değerleri Şekil 4.1.'deki grafikte verilmiştir.



Şekil 4.1. Tüm karışımlara ait bağıl çökme-yayılma grafiği

Bağıl çökme-yayılma grafiği incelendiğinde tüm değerlerin referans aralığında olduğu görülmektedir. Silis dumanlı karışımların çökme-yayılma değerlerinin genelde düşük çıktığı görülür.

Silis dumanlı beton, sadece Portland çimentosu ile yapılmış olan betondan çok daha koheziftir. Gerek yüksek kohezyondan ve gerekse ince katı taneciklerin arasında daha çok temas olmasından, silis dumanlı betonların işlenebilmesi azdır. Betona katılan silis dumanının oranı çimento ağırlığının %5'inden daha yukarılara çıktıkça, beton daha yapışkan olmakta, yüzey düzeltme işlemlerinde kullanılan malzemelere yapışarak güçlük çıkarmaktadır. [36]

Uçucu küllü ve silis dumanlı ikili karışımların mini V-hunisi akma zamanı kontrol harcı ile birlikte Tablo 4.3.'de; uçucu kül ve silis dumanı içeren üçlü karışımların mini V-hunisi akma zamanı değerleri kontrol harcı ile birlikte Tablo 4.4.'te verilmiştir. EFNARC (2002)'ın önerdiği mini V-hunisi akma zamanının 7 - 11 sn arasında kalması sağlanmıştır.

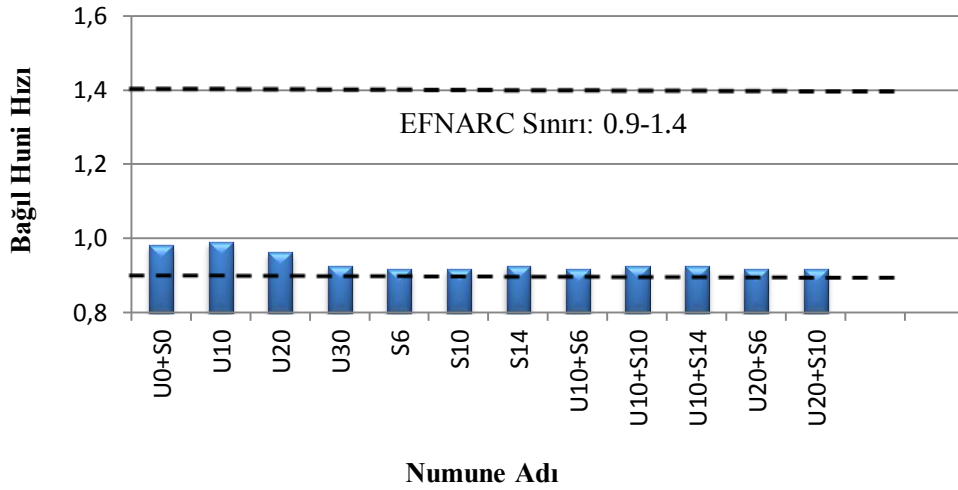
Tablo 4.3. UK+SD içeren ikili harçların mini V-hunisi değerleri

Numune Adı	U0+S0	U10	U20	U30	S6	S10	S14
V- Hunisi Akma Zamanı (sn)	10,20	10,10	10,40	10,80	10,90	10,90	10,80
Bağlı Huni Hızı	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9

Tablo 4.4. UK+SD içeren üçlü harçların mini V-hunisi değerleri

Numune Adı	U0+S0	U10+S6	U10+S10	U10+S14	U20+S6	U20+S10
V- Hunisi Akma Zamanı (sn)	10,20	10,90	10,80	10,80	10,90	10,90
Bağlı Huni Hızı	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9

Tablo 4.3. ve Tablo 4.4.'teki bağlı huni hızı değerleri Şekil 4.2.'deki grafikte verilmiştir.



Şekil 4.2. Tüm karışımlara ait bağlı V-hunisi hızı grafiği

Bağlı huni hızı değerleri incelendiğinde tüm değerlerin EFNARC tarafından belirlenen referans aralığında olduğu görülmektedir.

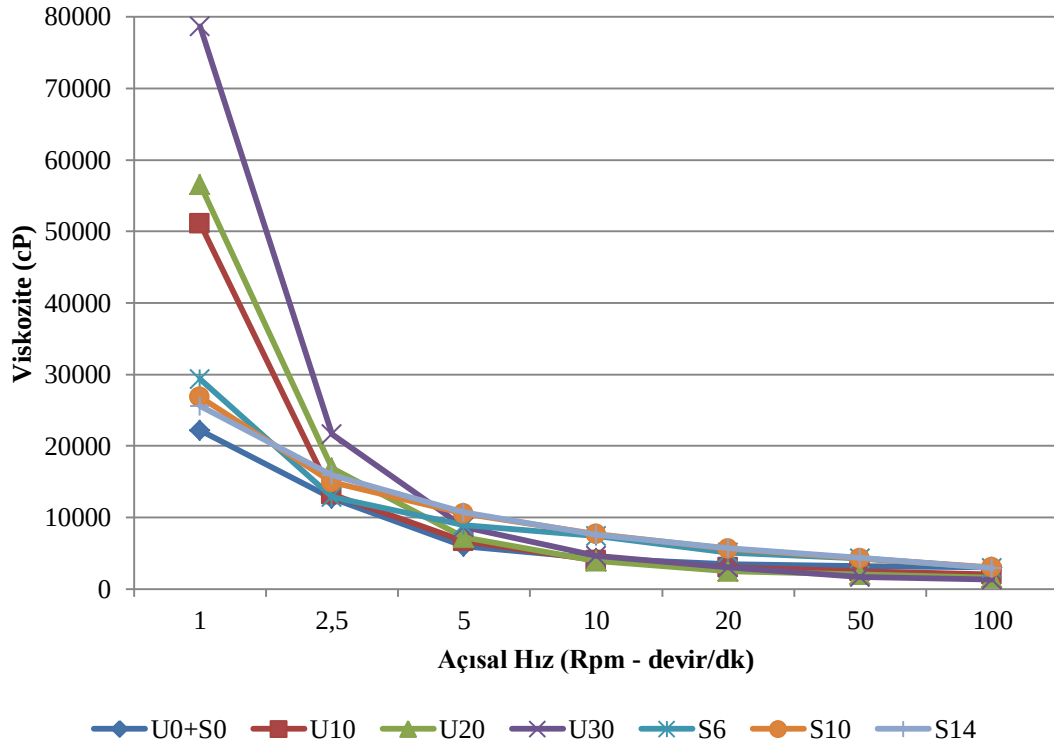
4.2. Viskozite Deneyi Sonuçları

Her karışımın viskozitesi 1, 2.5, 5, 10, 20, 50, 60 ve 100 devir/dk açısal hızlarda ve karıştırma işleminde sonra ölçülmüştür. Böylece, her bir KYH karışımı için farklı açısal hızlardaki viskozite değerleri (cP) elde edilmiş (Tablo 4.5) ve bu değerlere göre viskozite- açısal hız grafikleri çizilmiştir.

Tablo 4.5. Farklı açısal hız değerleri için viskozite ölçümleri

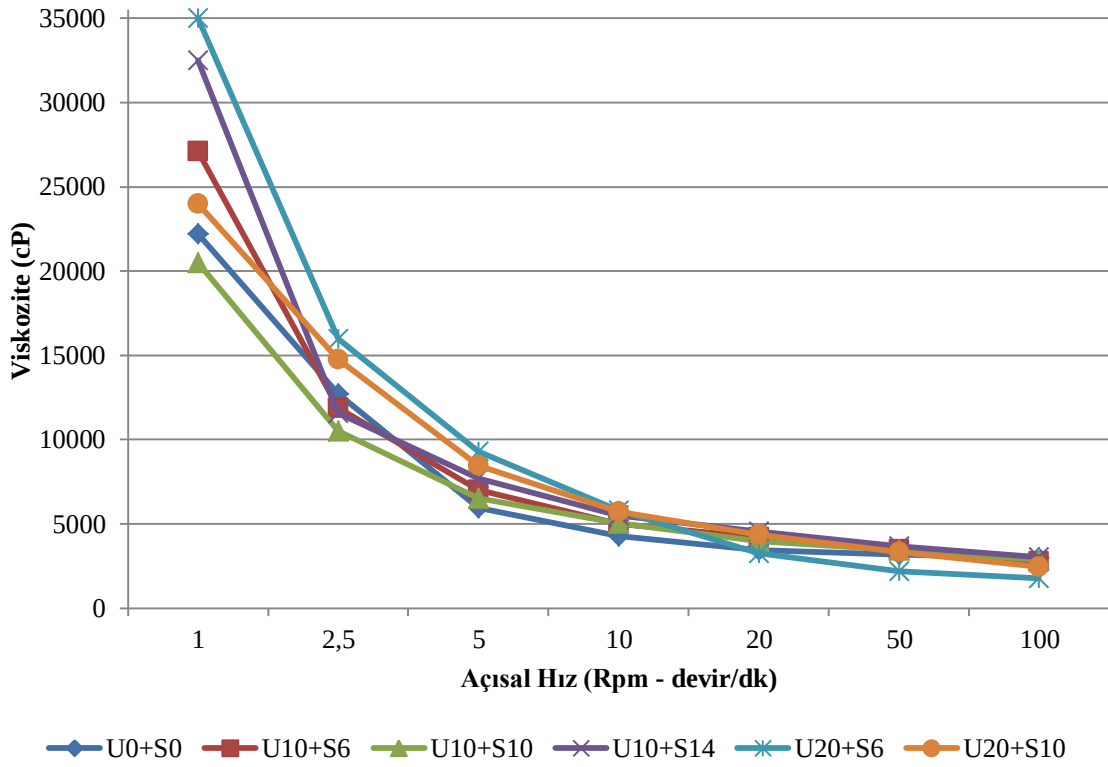
Numune Adı	Açısal Hız (Rpm)							
	1	2.5	5	10	20	50	60	100
U0+S0	22200	12720	5960	4260	3440	3191	3030	3000
U10	51100	13200	6660	3970	2985	2490	2038	2000
U20	46600	16920	7180	3860	2505	1996	1655	1600
U30	78700	21600	8660	4620	3025	1691	1560	1280
S6	29300	12840	8880	7410	5095	4258	3460	2925
S10	26800	14960	10520	7660	5635	4249	3750	2980
S14	25600	15920	10700	7550	5715	4314	3395	2895
U10+S6	27100	11880	7020	4990	4200	3487	3090	2755
U10+S10	20500	10520	6530	5040	3980	3460	3210	2875
U10+S14	32500	11560	7700	5510	4560	3682	3255	3015
U20+S6	35000	16000	9300	5800	3250	2200	2035	1755
U20+S10	24000	14760	8440	5710	4355	3340	2725	2440

Harçların genelinde dönel ucun açısal hızının artmasıyla viskozite azalmış ve viskozite eğrileri X eksenine doğru asimptotik bir yaklaşım göstermiştir.



Şekil 4.3. Mineral katkısız ve ikili sistemli KYH'lerin viskozite değişimleri

Şekil 4.3 ve Şekil 4.4 incelendiğinde açısal hızın 1 devir/dk'den 100 devir/dk'ye belirli bir oran ile artmasıyla KYH'lerin viskoziteleri düzenli olarak azalmaktadır. Şekil 4.3'te görüldüğü gibi UK içeren harçların viskoziteleri mineral katkısız ve SD içeren harçlara göre oldukça yüksektir. Karışımlardaki UK miktarı arttıkça viskozite değerleri de artmaktadır. SD içeren harçların viskozite değerleri de mineral katkısız kontrol harcına göre yüksektir. Şekil 4.3'ten görüldüğü gibi Harçlarda SD içeriği arttıkça viskozite değerleri de düşmektedir. Açısal hızın artmasıyla SD içeren karışımların viskozite değerleri mineral katkısız ve UK içeren harçlara göre daha yüksek çıkmaktadır. Tohumcu İ. ve Bingöl A. F., yaptıkları bir çalışmada SD ve UK katkılı KYB'lerin taze beton özellikleri incelenmiş ve böyle ince malzeme kullanımının, V hunisi deney sonuçlarına göre betonun viskozitesini artırdığı belirtilmiştir [27].



Şekil 4.4. Mineral katkısız ve üçlü sistemli KYH'lerin viskozite değişimleri

Şekil 4.4 incelendiğinde üçlü sistemli KYH'lerde UK içeriğinin viskoziteyi belirlemede daha etkili olduğu söylenebilir. Düşük açısal hızlarda UK içeriği fazla, SD içeriği düşük olan karışımlarda viskozite değeri yüksekken, açısal hız arttıkça bu durumun tam tersi görülmektedir.

4.3. Eğilmede Çekme ve Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

Hazırlanan karışımlar dört farklı kür ortamında bekletildikten sonra farklı kür süreleri sonunda eğilmede çekme ve basınç deneylerine tabi tutulmuştur (TS EN 196-1). Deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

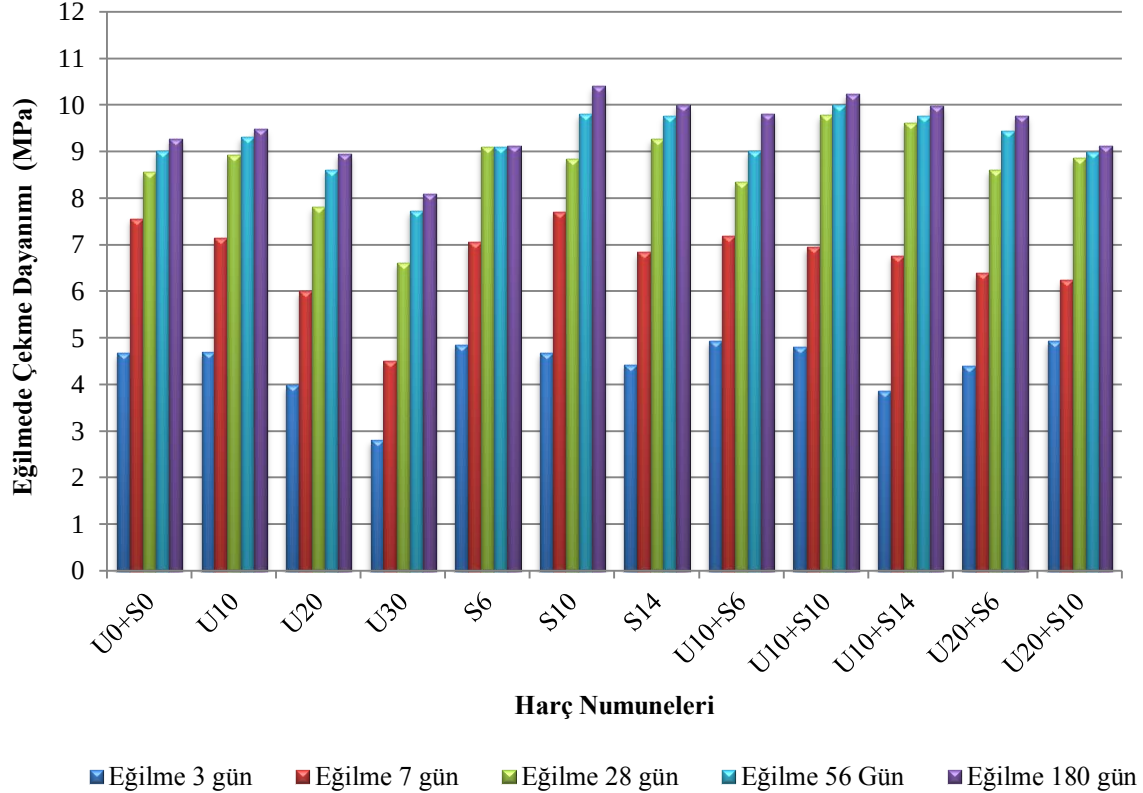
1. 3, 7, 28, 56 ve 180 gün süre ile şehir şebeke suyu ile doldurulan 20 ± 2 °C sıcaklıktaki kür havuzunda bekletilen harç numunelerinin üç noktalı eğilmede çekme ve basınç dayanımı değerleri Tablo 4.6.'da verilmiştir.

Tablo 4.6. Şehir şebeke suyunda kür edilen harç numunelerin dayanım değerleri

Numune Adı	Suda Kür Edilen Numunelerin Dayanım Değerleri									
	Eğilmede Çekme Dayanımı (N/mm ²)					Basınç Dayanımı (N/mm ²)				
	3 gün	7 gün	28 gün	56 gün	180 gün	3 gün	7 gün	28 gün	56 gün	180 gün
U0+S0	4,370	7,562	8,553	9,004	9,278	34,478	49,115	62,207	73,321	79,962
U10	4,353	7,140	8,920	9,313	9,491	26,275	39,453	50,686	70,383	74,654
U20	3,832	6,005	7,812	8,610	8,952	22,890	32,605	47,428	54,816	65,087
U30	2,632	4,495	6,617	7,728	8,098	16,261	23,128	33,977	46,768	47,532
S6	4,258	7,053	9,080	9,093	9,108	27,887	52,653	67,722	78,640	82,781
S10	4,289	7,701	8,844	9,805	10,402	24,657	46,742	58,152	71,510	74,999
S14	4,003	6,845	9,267	9,759	10,003	25,121	43,990	58,862	76,103	79,959
U10+S6	5,115	7,176	8,338	9,008	9,819	21,867	42,108	61,713	78,952	71,496
U10+S10	4,042	6,958	9,786	9,989	10,225	20,253	37,240	60,323	76,241	81,314
U10+S14	4,023	6,769	9,626	9,764	9,987	19,879	37,033	63,088	74,472	75,137
U20+S6	4,159	6,388	8,609	9,431	9,763	22,191	35,997	51,663	69,007	67,699
U20+S10	4,100	6,246	8,871	8,987	9,121	19,293	33,733	54,110	59,700	61,387

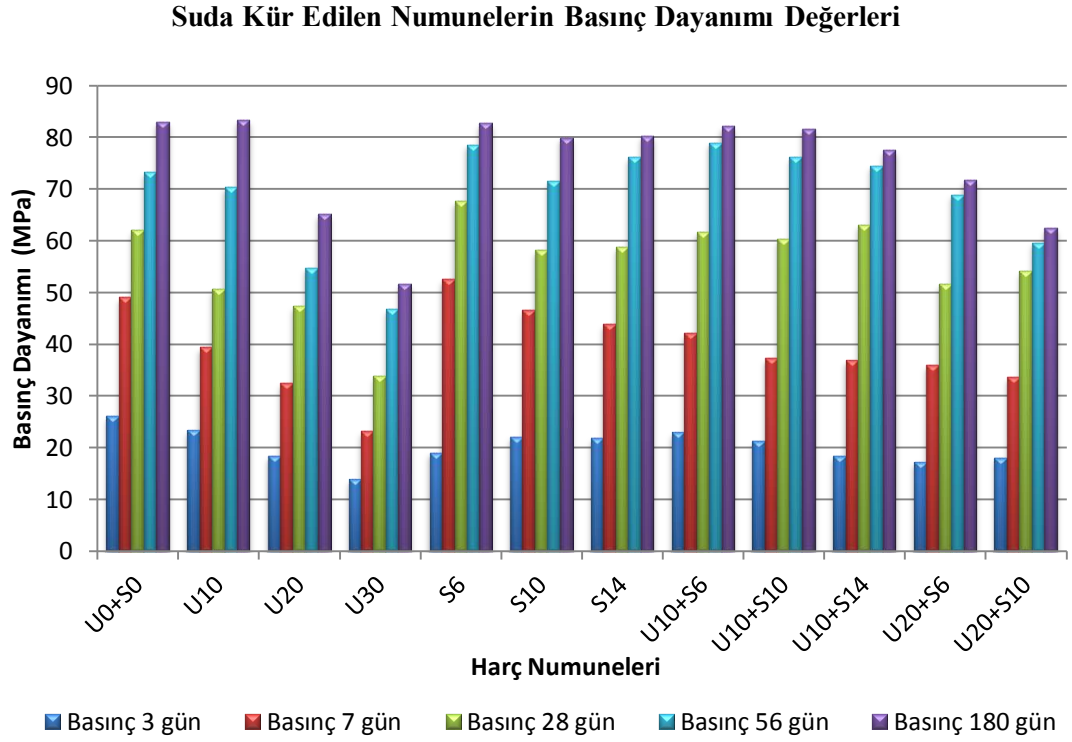
Tablo 4.6.'daki değerlere göre eğilmede çekme ve basınç dayanımı grafiği çizilmiştir. Bu grafikler Şekil 4.5. ve Şekil 4.6.'da verilmiştir.

Suda Kür Edilen Numunelerin Eğilmede Çekme Dayanımı Değerleri



Şekil 4.5. Şehir şebeke suyunda kür edilen numunelerin eğilmede çekme dayanımı grafiği

• Şekil 4.5 incelendiğinde Suda kür edilen numunelerin eğilmede çekme dayanımlarının her geçen gün yükseldiği görülmektedir. SD miktarındaki artış eğilme dayanımına olumlu yönde yansımıştır.



Şekil 4.6. Şehir şebeke suyunda kür edilen numunelerin basınç dayanımı grafiği

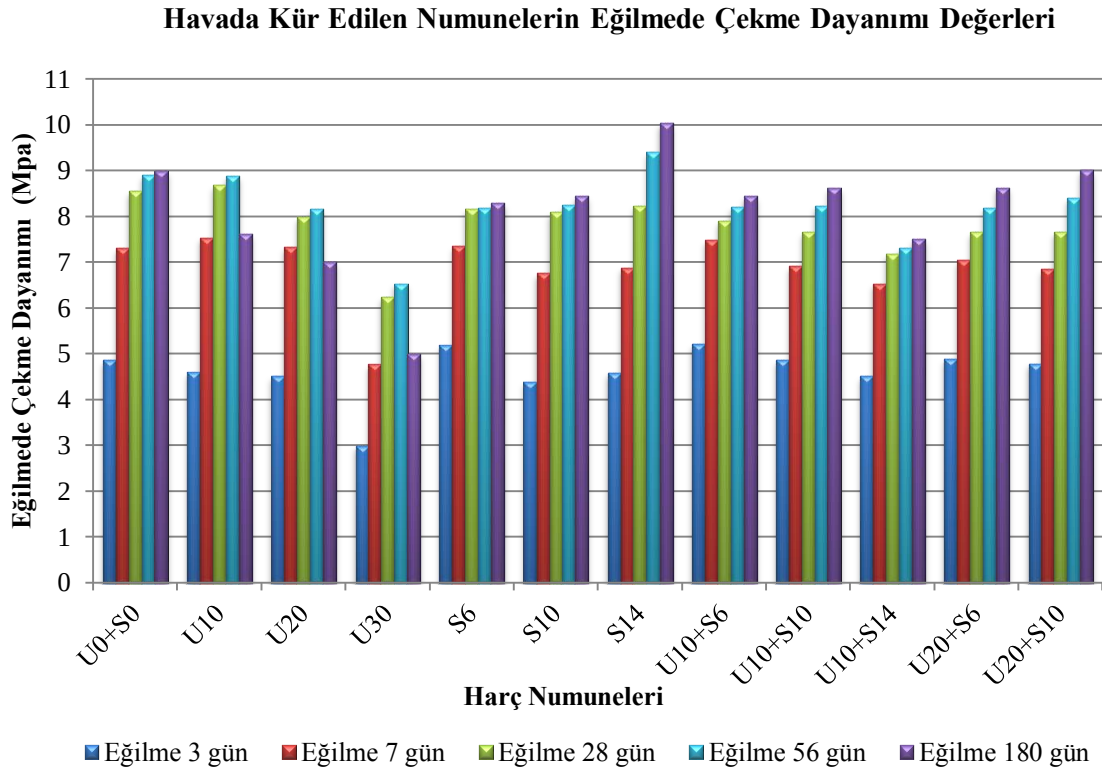
• Şekil 4.6 incelendiğinde, SD beton basınç dayanımına olumlu etkisi erken yaşlarda daha belirgindir. SD miktarının artması beton basınç dayanımını arttırdığı görülmektedir. U10'dan sonra UK miktarındaki artışın basınç dayanımında düşüşe neden olduğu görülmektedir.

2. 3, 7, 28, 56 ve 180 gün havada kür ortamında bekletilen harç numunelerinin üç noktalı eğilmede çekme ve basınç dayanımı değerleri Tablo 4.7.'de verilmiştir.

Tablo 4.7. Havada kür edilen harç numunelerinin dayanım değerleri

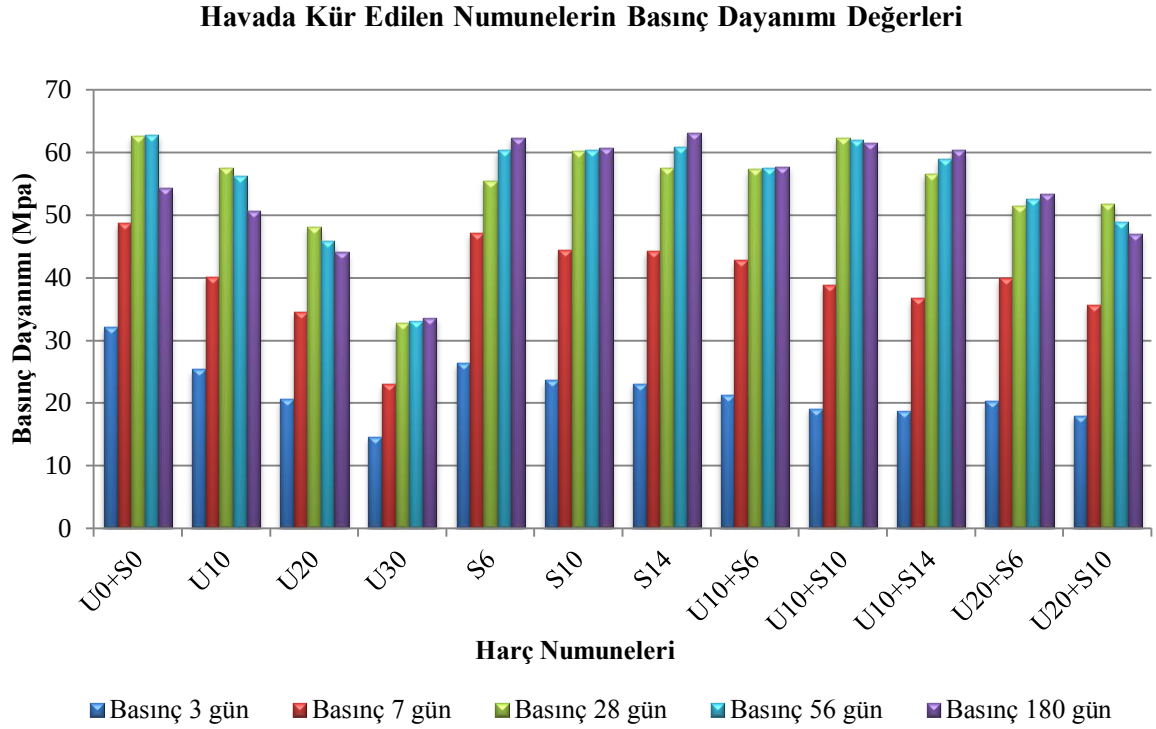
Numune Adı	Havada Kür Edilen Numunelerin Dayanım Değerleri									
	Eğilmede (N/mm2)		Çekme Dayanımı			Basınç Dayanımı (N/mm2)				
	3 gün	7 gün	28 gün	56 gün	180 gün	3 gün	7 gün	28 gün	56 gün	180 gün
U0+S0	4,870	7,311	8,557	8,890	8,994	32,135	48,657	62,540	62,745	54,245
U10	4,600	7,532	8,678	8,885	7,627	25,320	40,148	57,372	56,128	50,699
U20	4,500	7,333	7,985	8,156	7,002	20,670	34,435	47,987	45,760	44,003
U30	2,991	4,761	6,239	6,535	4,997	14,530	23,015	32,768	32,976	33,574
S6	5,184	7,358	8,167	8,185	8,289	26,357	47,103	55,502	60,345	62,300
S10	4,385	6,761	8,091	8,245	8,442	23,671	44,335	60,177	60,298	60,668
S14	4,583	6,878	8,235	9,395	10,038	23,118	44,258	57,483	60,862	63,109
U10+S6	5,203	7,486	7,904	8,212	8,441	21,285	42,795	57,248	57,479	57,711
U10+S10	4,870	6,905	7,653	8,231	8,615	19,163	38,775	62,212	61,853	61,513
U10+S14	4,507	6,529	7,176	7,315	7,513	18,679	36,732	56,597	58,859	60,339
U20+S6	4,890	7,043	7,657	8,187	8,627	20,321	39,888	51,502	52,579	53,314
U20+S10	4,785	6,855	7,652	8,387	9,001	17,993	35,600	51,772	48,877	47,027

Tablo 4.7.'deki değerlere göre eğilmede çekme ve basınç dayanımı grafiği çizilmiştir. Bu grafikler Şekil 4.7. ve Şekil 4.8.'de verilmiştir.



Şekil 4.7. Havada kür edilen numunelerin eğilmede çekme dayanımı grafiği

•Şekil 4.7 incelendiğinde Havada kür edilen numunelerde, SD oranındaki artışın eğilimde çekme dayanımında azalmaya neden olduğu görülmektedir. UK içeren karışımların 56 günden sonra eğilimde çekme dayanımlarında düşüş olduğu görülmektedir. Bu da hem UK hem de SD'nin dayanım kazanmaları için suya ihtiyaçları olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.8. Havada kür edilen numunelerin basınç dayanımı grafiği

•Şekil 4.8 incelendiğinde UK içeren karışımlarda 28 günden sonra basınç dayanımında düşüş olduğu görülmektedir. Bu sonuç UK karışımlarının suya ihtiyaç duyduğunu göstermektedir.

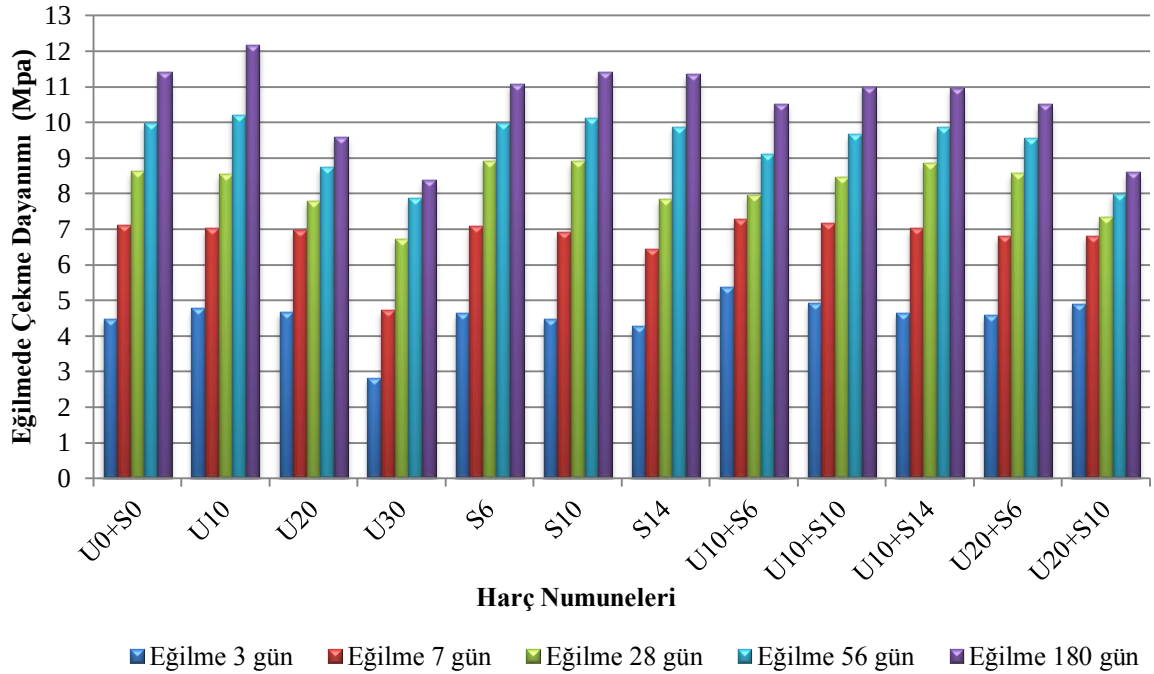
- 3, 7, 28, 56 ve 180 gün süre ile ıslak bezle kür edilen harç numunelerinin üç noktalı eğilimde çekme ve basınç dayanımı değerleri Tablo 4.8.'de verilmiştir,

Tablo 4.8. Islak bezle kür edilen harç numunelerinin dayanım değerleri

Numune Adı	Islak Bezle Kür Edilen Numunelerin Dayanım Değerleri									
	Eğilmede Çekme Dayanımı (N/mm ²)					Basınç Dayanımı (N/mm ²)				
	3 gün	7 gün	28 gün	56 gün	180 gün	3 gün	7 gün	28 gün	56 gün	180 gün
U0+S0	4,470	7,105	8,623	9,974	11,400	34,146	50,183	60,390	72,376	87,969
U10	4,783	7,012	8,554	10,213	12,151	25,875	39,212	51,590	69,543	80,701
U20	4,672	6,989	7,786	8,750	9,582	22,489	36,067	44,890	53,847	63,491
U30	2,802	4,709	6,706	7,858	8,384	15,760	23,758	33,737	45,348	51,613
S6	4,648	7,086	8,921	9,983	11,089	26,987	47,132	63,488	69,653	69,491
S10	4,459	6,901	8,904	10,125	11,422	23,237	44,425	60,987	69,548	74,733
S14	4,273	6,436	7,841	9,879	11,344	23,341	44,365	59,415	76,873	81,072
U10+S6	5,355	7,284	7,962	9,128	10,500	21,297	41,585	60,153	77,985	83,279
U10+S10	4,912	7,173	8,463	9,679	10,994	19,353	39,960	63,437	75,381	80,081
U10+S14	4,643	7,031	8,875	9,865	10,955	19,179	37,988	59,428	72,459	78,106
U20+S6	4,589	6,796	8,574	9,551	10,512	21,221	33,448	56,603	69,487	73,411
U20+S10	4,888	6,809	7,348	7,990	8,593	19,193	31,197	54,055	59,784	62,198

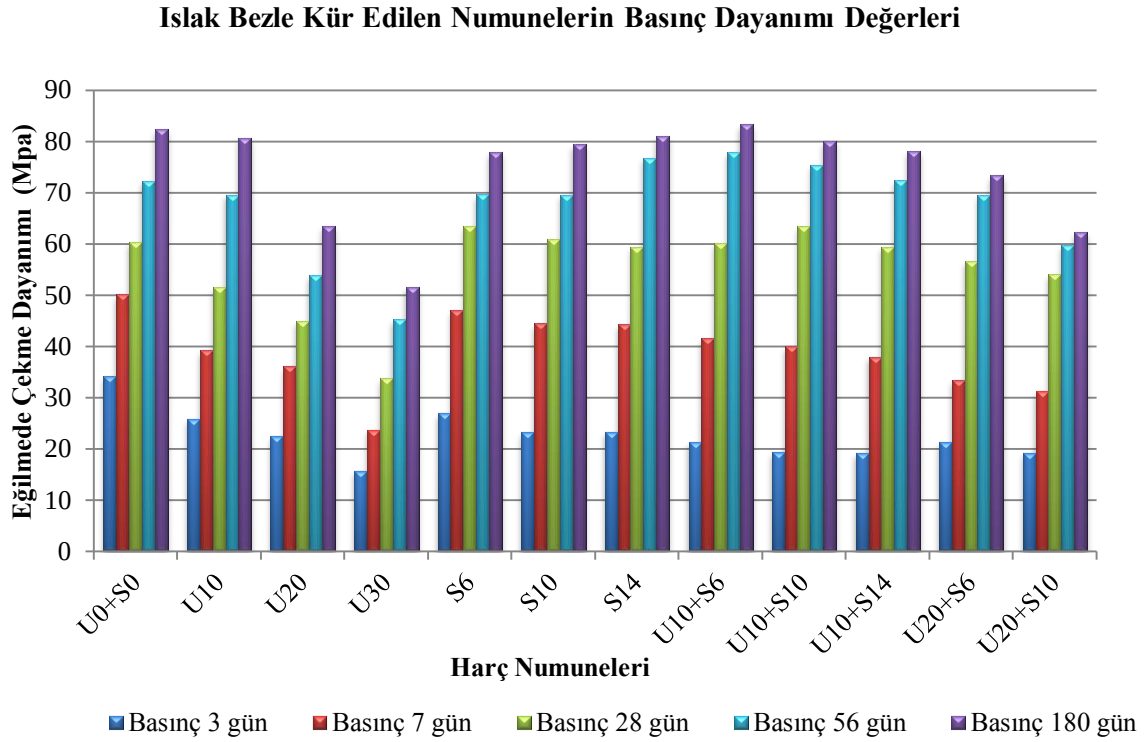
Tablo 4.8.'deki değerlere göre eğilmede çekme ve basınç dayanımı grafiği çizilmiştir. Bu grafikler Şekil 4.9. ve Şekil 4.10.'da verilmiştir.

Islak Bezle Kür Edilen Numunelerin Eğilmede Çekme Dayanımı Değerleri



Şekil 4.9. Islak bezle kür edilen numunelerin eğilmede çekme dayanımı grafiği

•Şekil 4.9 incelendiğinde Islak bezle yapılan kürde tüm numunelerin eğilmede çekme dayanımlarının arttığı görülmektedir.



Şekil 4.10. Islak bezle kür edilen numunelerin basınç dayanımı grafiği

Şekil 4.10 incelendiğinde UK miktarındaki artışın U10'dan sonra dayanımı düşürdüğü ancak SD miktarındaki artışın ise dayanıma olumlu yönde etki yaptığı görülmektedir. Tüm numunelerin ıslak bezdeki dayanımlarının arttığı görülmektedir.

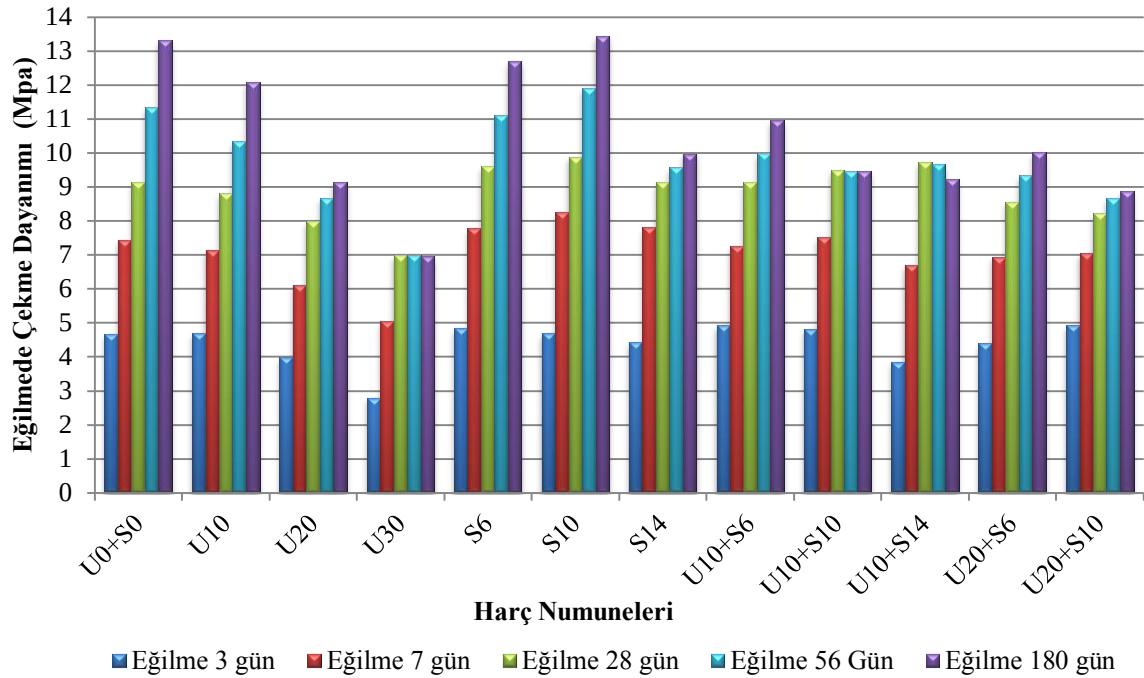
4. Parafin esaslı sıvı bir kür malzemesi ile ince bir film tabakası ile kaplanarak 3, 7, 28, 56 ve 180 gün süre ile bekletilen harç numunelerinin üç noktalı eğilmede çekme ve basınç dayanımı değerleri Tablo 4.9.'da verilmiştir,

Tablo 4.9. Parafin esashı sıvı bir kür malzemesi ile kür edilen harç numunelerin dayanım değerleri

Numune Adı	Parafin Esashı Sıvı Bir Kür Malzemesi İle Kür Edilen Numunelerin Dayanım Değerleri									
	Eğilmede Çekme Dayanımı (N/mm ²)					Basınç Dayanımı (N/mm ²)				
	3 gün	7 gün	28 gün	56 gün	180 gün	3 gün	7 gün	28 gün	56 gün	180 gün
U0+S0	4,670	7,437	9,118	11,348	13,301	26,146	40,338	49,767	56,347	61,962
U10	4,683	7,129	8,803	10,335	12,090	23,375	35,203	41,963	54,783	64,598
U20	3,992	6,118	7,982	8,678	9,125	18,372	27,945	35,018	45,691	53,268
U30	2,802	5,029	6,970	6,970	6,953	13,821	19,323	28,928	41,452	47,330
S6	4,858	7,787	9,598	11,114	12,687	19,127	37,738	57,647	59,321	59,996
S10	4,679	8,231	9,869	11,900	13,438	22,189	32,640	52,308	56,742	58,871
S14	4,433	7,810	9,120	9,577	9,977	21,982	32,217	52,643	57,582	61,619
U10+S6	4,925	7,254	9,126	9,985	10,951	22,997	35,250	53,563	61,582	66,492
U10+S10	4,812	7,500	9,489	9,468	9,459	21,356	33,288	52,163	60,452	64,454
U10+S14	3,853	6,692	9,733	9,645	9,215	18,379	31,597	54,007	54,800	54,966
U20+S6	4,399	6,935	8,567	9,345	10,016	17,321	29,500	52,563	55,978	57,280
U20+S10	4,918	7,059	8,222	8,672	8,857	18,143	27,328	47,112	55,786	58,266

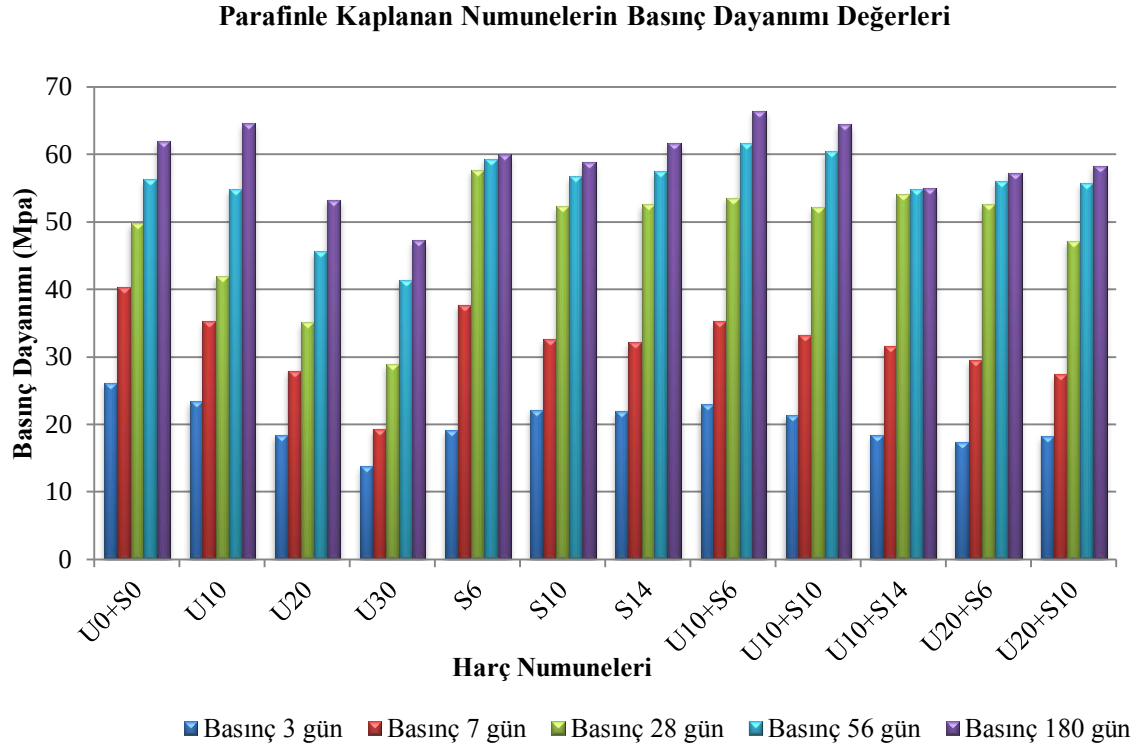
Tablo 4.8.'deki değerlere göre eğilmede çekme ve basınç dayanımı grafiği çizilmiştir. Bu grafikler Şekil 4.11. ve Şekil 4.12.'de verilmiştir.

Parafinle Kaplanan Numunelerin Eğilmede Çekme Dayanımı Değerleri



Şekil 4.11. Parafinle kaplanan numunelerin eğilmede çekme dayanımı grafiği

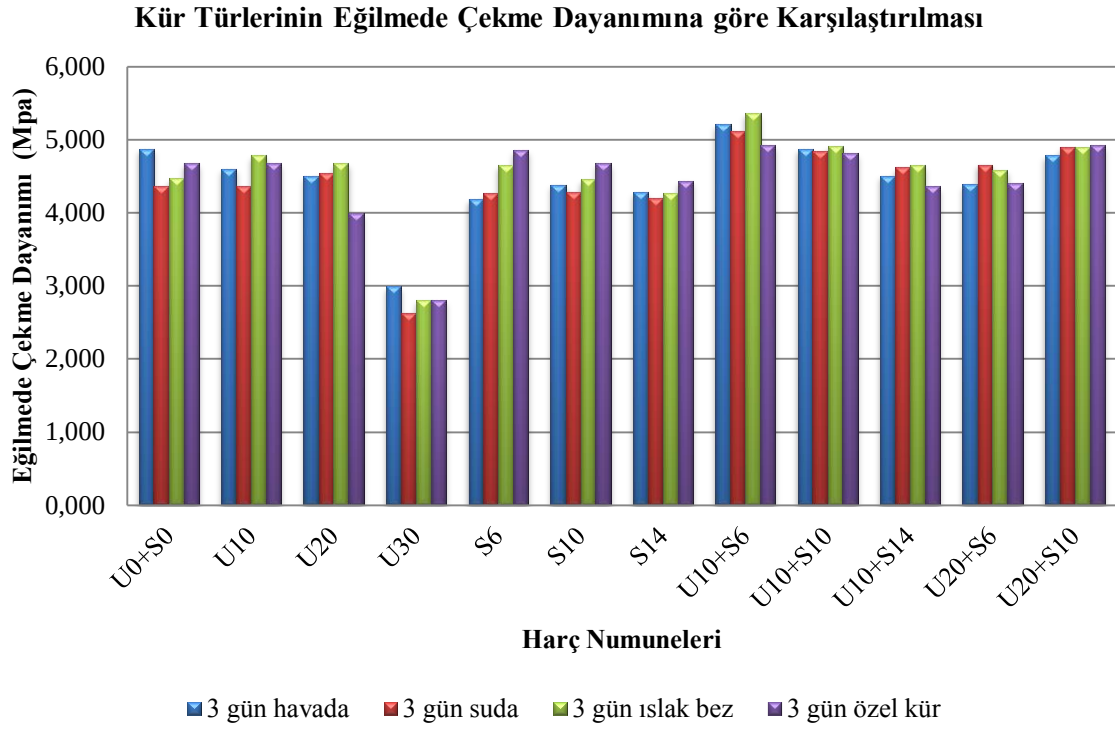
Şekil 4.11 incelendiğinde parafinle kaplanan tüm numunelerin zamanla eğilmede çekme dayanımlarının arttığı görülmektedir. Bu da parafinin eğilmede çekme dayanımına olumlu yönde etki ettiğini göstermektedir.



Şekil 4.12. Parafinle kaplanan numunelerin basınç dayanımı grafiği

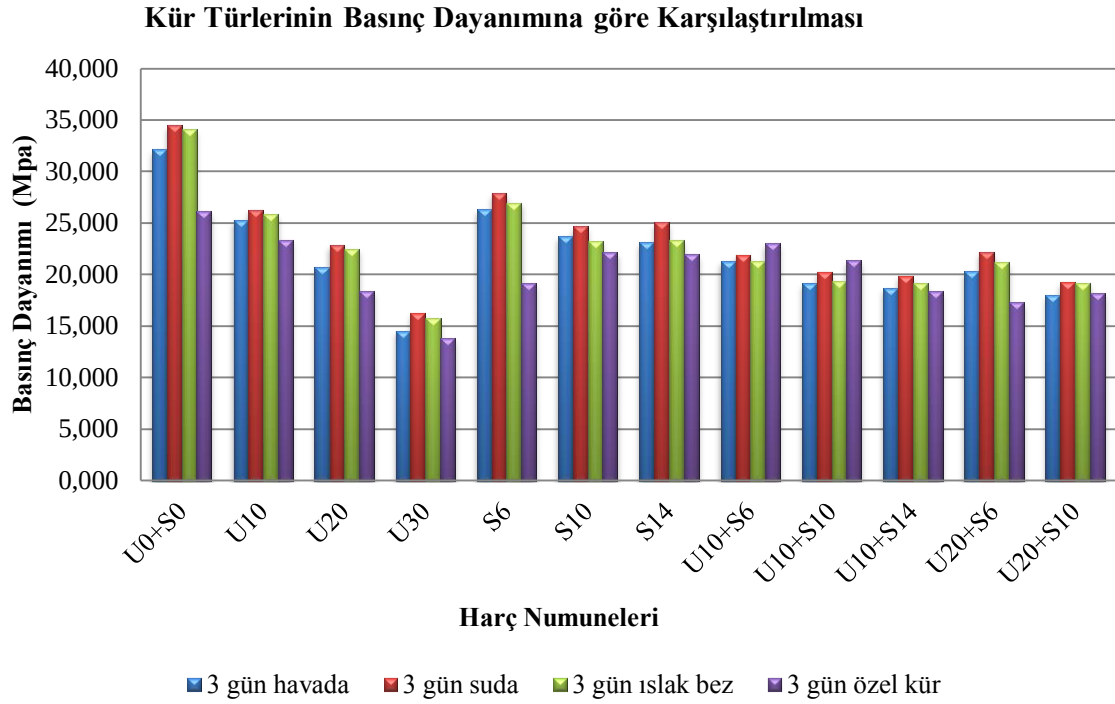
Şekil 4.12 incelendiğinde parafinle kaplanan tüm numunelerin zamanla basınç dayanımlarında artma olduğu görülmüştür. U10'dan sonraki UK miktarındaki artış eğilmede çekme dayanımlarının düşmesine neden olmuştur. SD miktarındaki artış çekme dayanımında olumlu yönde etki yapmıştır.

5. Kür çeşitlerinin 3 günlük eğilmede çekme dayanımı değerlerinin karşılaştırılması
Şekil 4.13’de gösterilmektedir.



Şekil 4.13. Kür türlerinin eğilmede çekme dayanımına göre karşılaştırılması (3 gün)

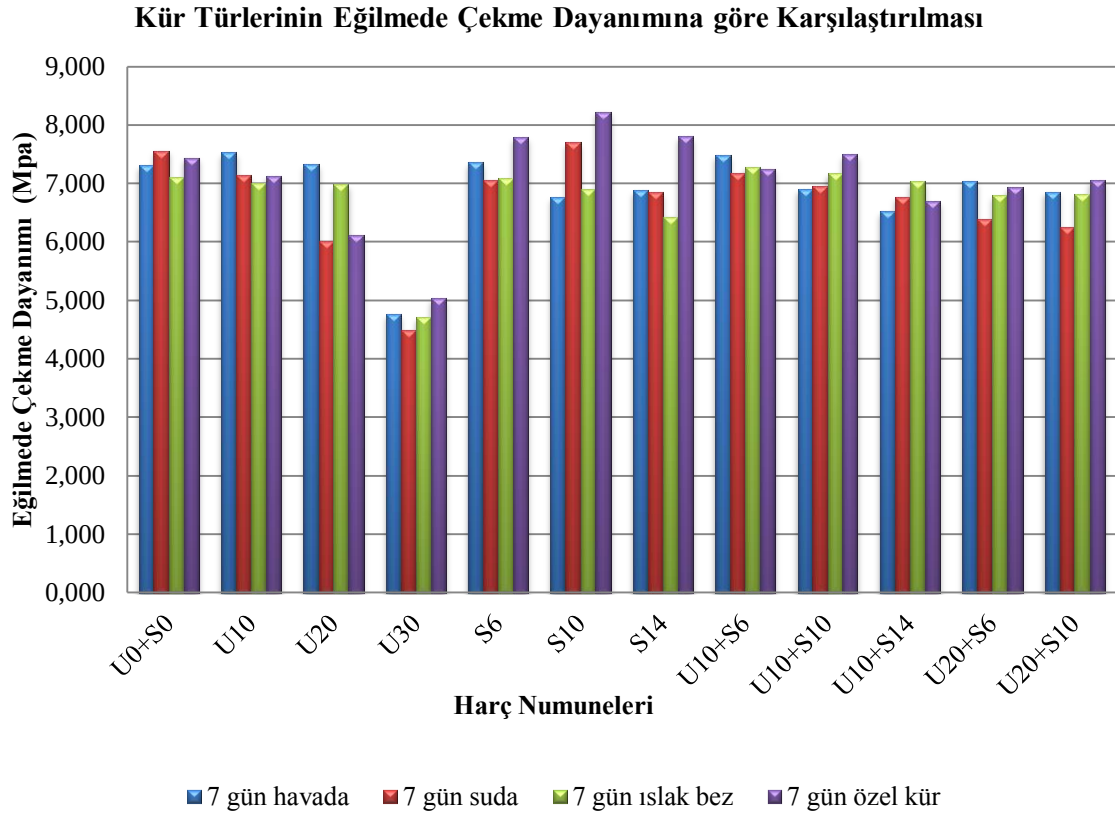
6. Kür çeşitlerinin 3 günlük basınç dayanımı değerlerinin karşılaştırılması Şekil 4.14 de gösterilmektedir.



Şekil 4.14. Kür türlerinin basınç dayanımına göre karşılaştırılması (3 gün)

Şekil 4.13 ve Şekil 4.14 incelendiğinde tüm numuneler için ilk günlerdeki eğilmede çekme ve basınç dayanımlarının kür çeşidinden fazla etkilenmediği söylenebilir.

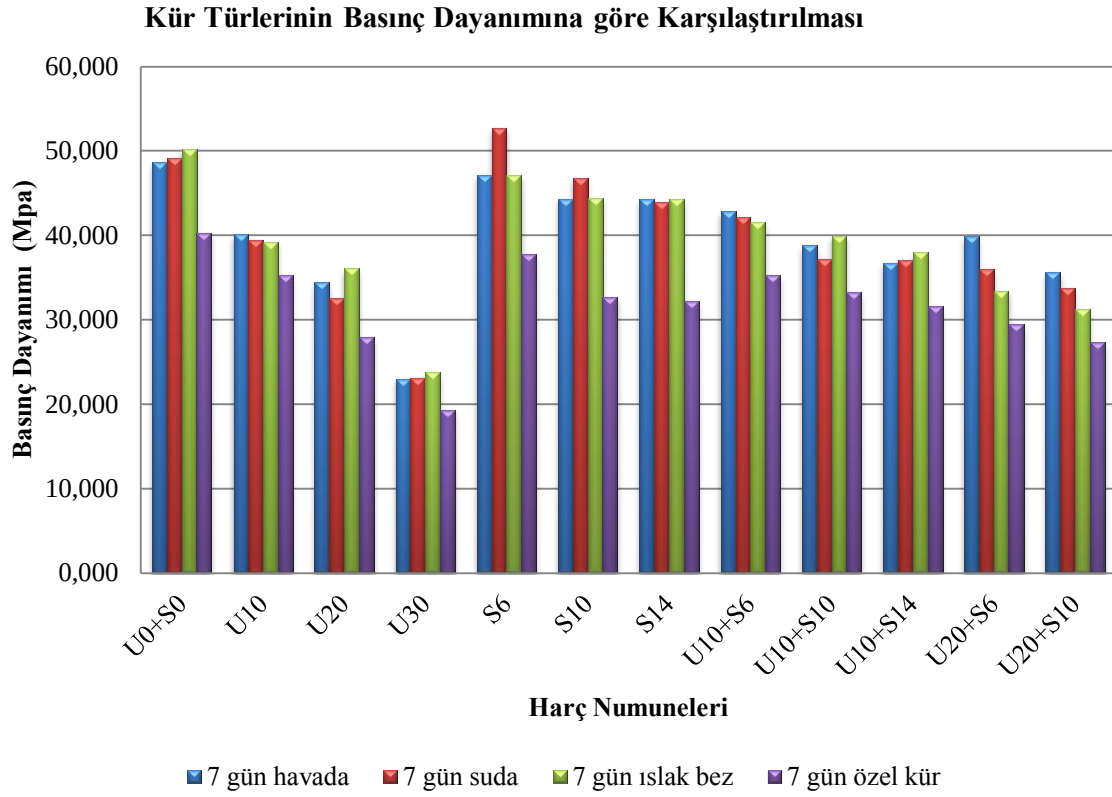
7. Kür çeşitlerinin 7 günlük eğilmede çekme dayanımı değerlerinin karşılaştırılması
şekil 4.15 de gösterilmektedir.



Şekil 4.15. Kür türlerinin eğilmede çekme dayanımına göre karşılaştırılması (7 gün)

Şekil 4.15 incelendiğinde tüm numuneler için 7 günlük eğilmede çekme dayanımlarının kür çeşidinden fazla etkilenmediği görülse de, suda bekletilen numunelerde ve parafinle kaplı numunelerde artmaya başladığı söylenebilir.

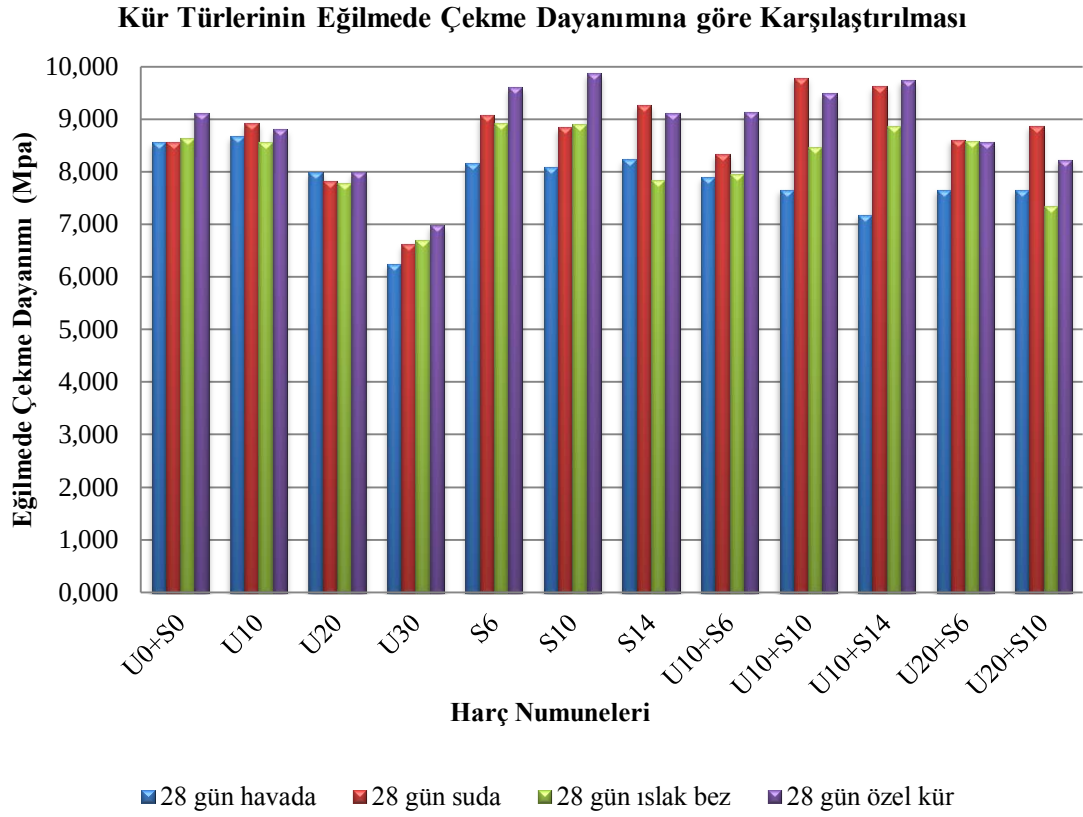
8. Kür çeşitlerinin 7 günlük basınç dayanımı değerlerinin karşılaştırılması Şekil 4.16 de gösterilmektedir.



Şekil 4.16. Kür türlerinin basınç dayanımına göre karşılaştırılması (7 gün)

Şekil 4.16 incelendiğinde su ve ıslak bezdeki numunelerde 7 günlük basınç dayanımlarının arttığı söylenebilir. SD miktarındaki artışın, beton dayanımında belirgin bir olumsuz etki yapmadığı görülmektedir.

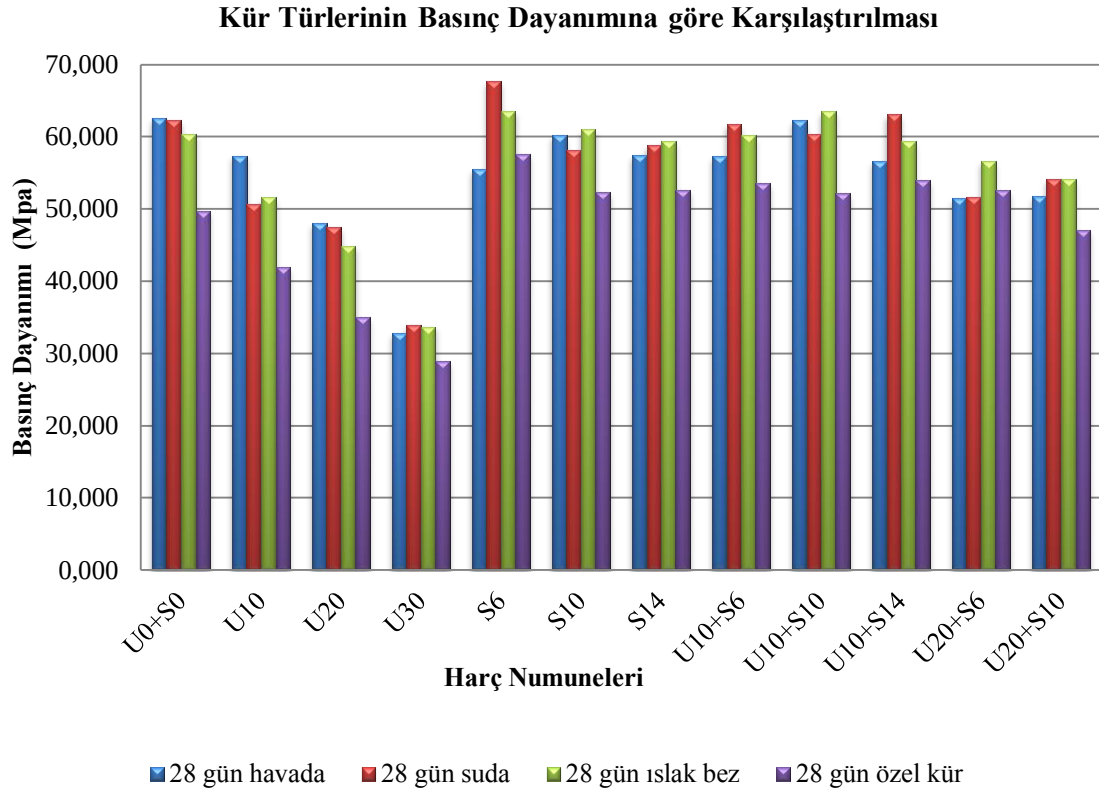
9. Kür çeşitlerinin 28 günlük eğilmede çekme dayanımı değerlerinin karşılaştırılması
şekil 4.17’ de gösterilmektedir.



Şekil 4.17. Kür türlerinin eğilmede çekme dayanımına göre karşılaştırılması (28 gün)

Şekil 4.17 incelendiğinde 28 günlük eğilmede çekme dayanımlarında, parafinle ve su da bekletilen numunelerde artış olduğu söylenebilir.

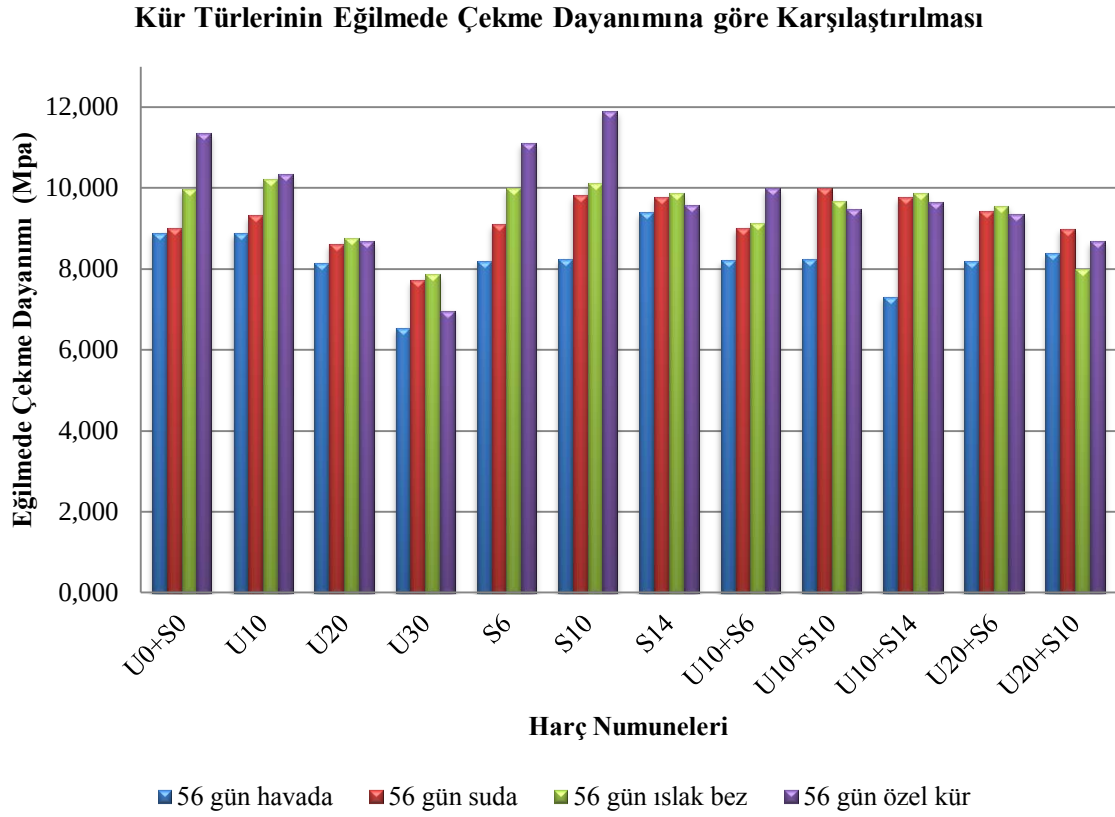
10. Kür çeşitlerinin 28 günlük basınç dayanımı değerlerinin karşılaştırılması şekil 4.18 de gösterilmektedir.



Şekil 4.18. Kür türlerinin basınç dayanımına göre karşılaştırılması (28 gün)

Şekil 4.18 incelendiğinde tüm numuneler için 28 günlük basınç dayanımlarında suda ve ıslak bezde bekletilen numunelerde artış olduğu söylenebilir. Parafınle kaplı numunelerde ise düşüş görülmektedir.

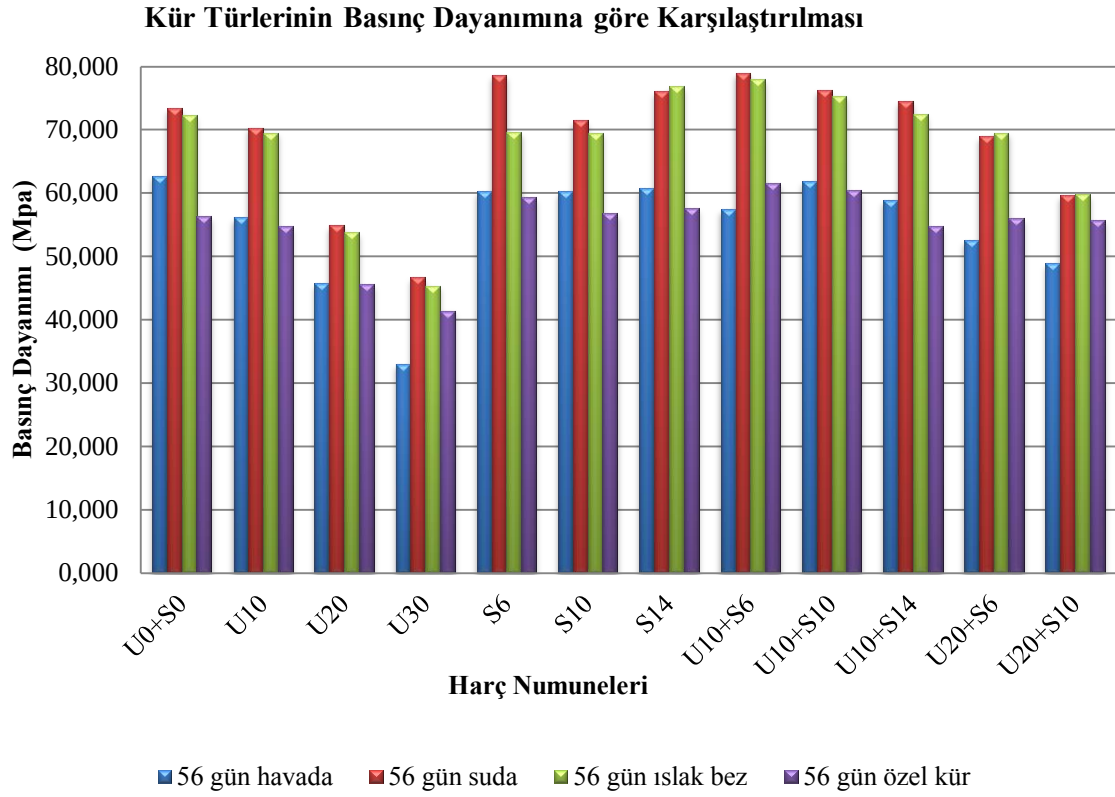
11. Kür çeşitlerinin 56 günlük eğilmede çekme dayanımı değerlerinin karşılaştırılması
Şekil 4.19 da gösterilmektedir.



Şekil 4.19. Kür türlerinin eğilmede çekme dayanımına göre karşılaştırılması (56 gün)

Şekil 4.19 incelendiğinde tüm numuneler için 28 günlük eğilmede çekme dayanımlarının parafinle kaplı numunelerde yüksek çıktığı söylenebilir.

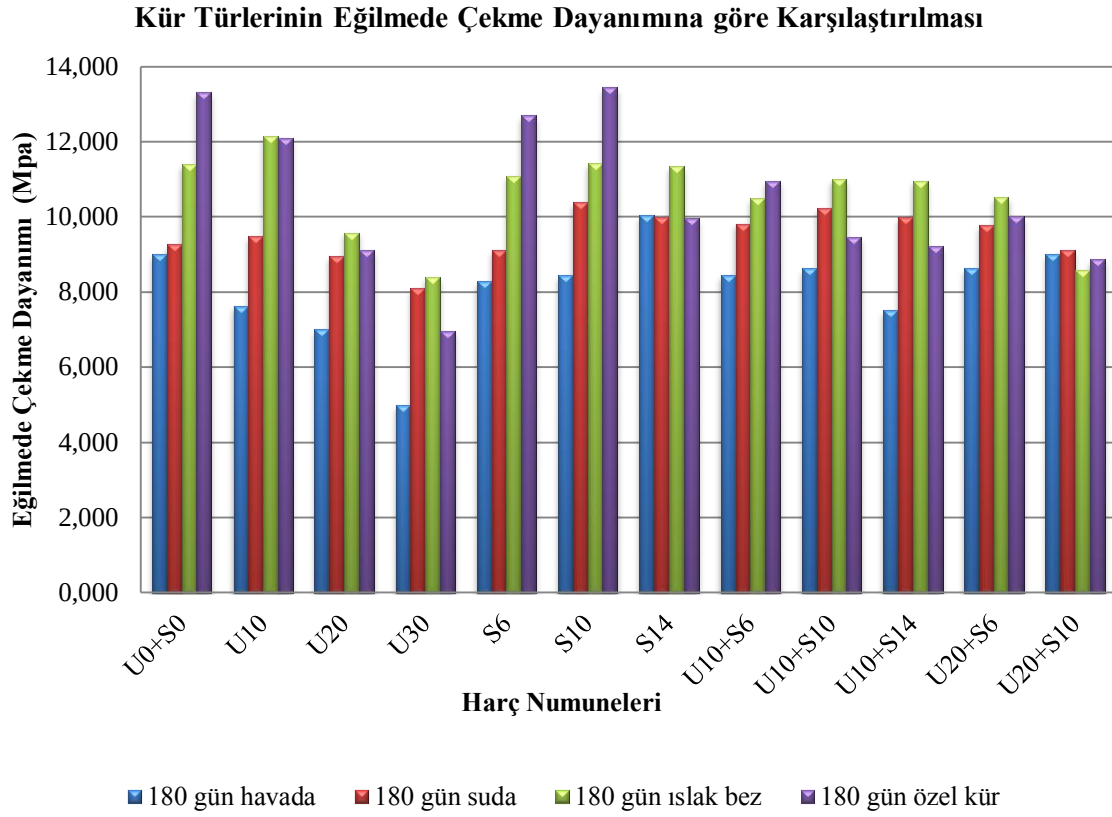
12. Kür çeşitlerinin 56 günlük basınç dayanımı değerlerinin karşılaştırılması Şekil 4.20 de gösterilmektedir.



Şekil 4.20. Kür türlerinin basınç dayanımına göre karşılaştırılması (56 gün)

Şekil 4.20 incelendiğinde tüm numuneler için 56 günlük basınç dayanımlarında suda ve ıslak bezdeki artışın daha ön plana çıktığı, parafinin uzun süreli basınç dayanımlarında su ve ıslak bez kadar etkili olmadığı söylenebilir.

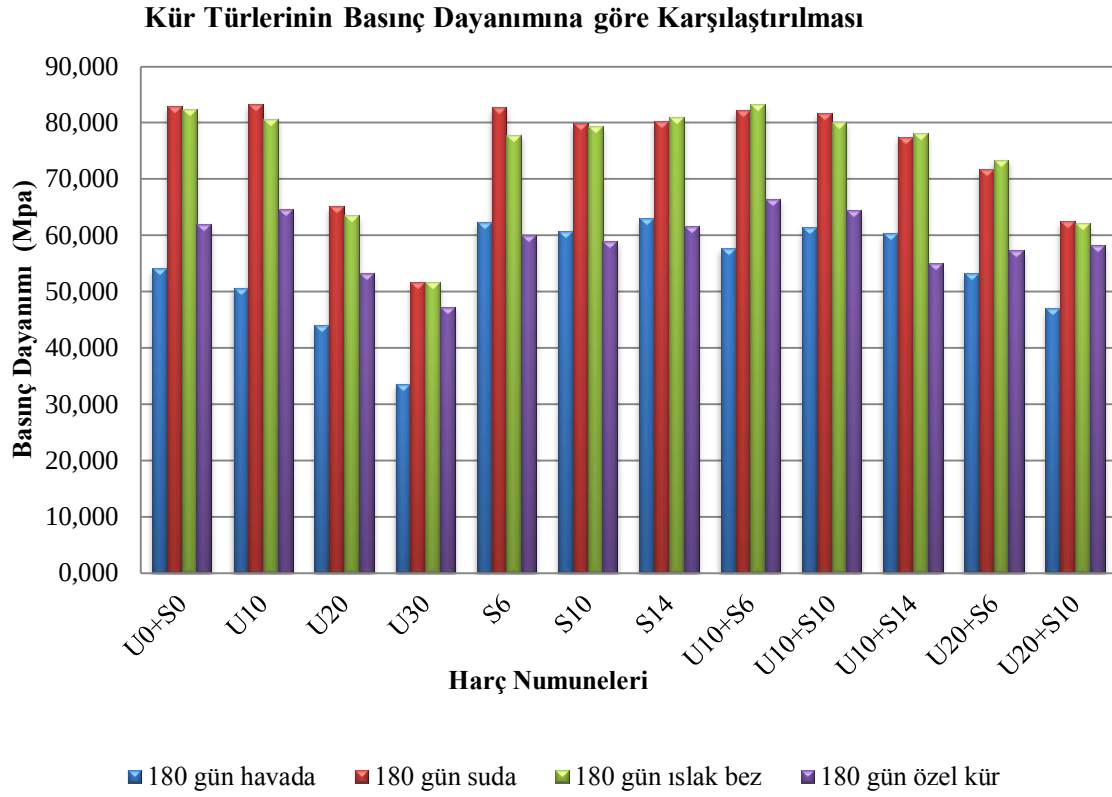
13. Kür çeşitlerinin 180 günlük eğilmede çekme dayanımı değerlerinin karşılaştırılması
Şekil 4.20 de gösterilmektedir.



Şekil 4.21. Kür türlerinin eğilmede çekme dayanımına göre karşılaştırılması (180 gün)

Şekil 4.21 incelendiğinde parafinin eğilmede çekme dayanımına etkisinin yüksek olduğu görülmekle beraber, UK oranındaki artış parafinle kaplı numunelerde düşüşe neden olmuştur. Bu UK miktarının artmasının, suya ihtiyacı da arttırdığını göstermektedir. Aynı şekil açık havada bekletilen numunelerin de UK miktarının artmasıyla eğilmede çekme dayanımlarında düşüşe neden olmuştur. Bu da su ihtiyacını göstermektedir.

14. Kür çeşitlerinin 180 günlük basınç dayanımı değerlerinin karşılaştırılması Şekil 4.21 de gösterilmektedir.

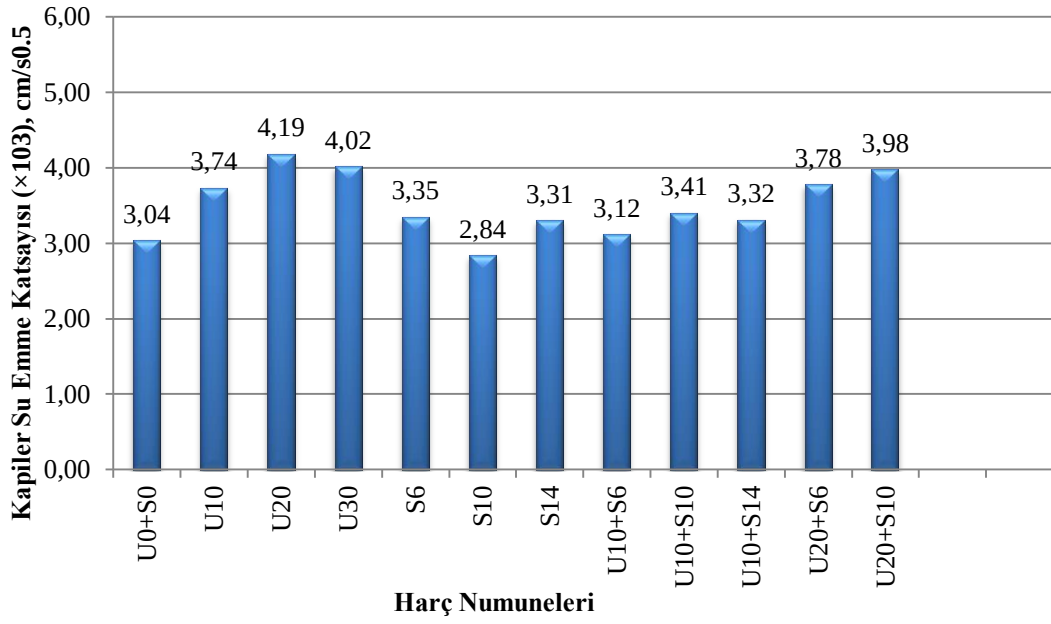


Şekil 4.22. Kür türlerinin basınç dayanımına göre karşılaştırılması (180 gün)

Şekil 4.22 incelendiğinde tüm numuneler için 180 günlük basınç dayanımları için su ve ıslak bezin yakın değerler verdiği görülmüştür.

4.4. Kapiler Su Emme Katsayısı, Toplam Su Emme Kapasitesi ve Porozite

Bölüm 3.5.'deki değerlere göre hazırlanan 50 mm'lik küp numuneler 28 gün suda kür edildikten sonra etüvde kurutulup yan yüzeyleri yalıtım malzemesiyle kaplanmış ve su emme deneyi için hazırlanan düzeneklere yerleştirilmiştir. Bu numuneler belirli aralıklarla tartılıp su emme miktarları belirlenmiştir. Denklem (3.6) kullanılarak hesaplanan kapiler su emme katsayısı Şekil 4.23.'deki grafikte verilmiştir.



Şekil 4.23. Kapiler su emme katsayıları grafiği

Şekil 4.23. incelendiğinde en yüksek su emmenin en fazla inceliğe sahip SD ilaveli karışımlarda olduğu gözlenmiştir. Çok ince yapıya sahip olan SD beton içerisinde birbirleriyle bağlantılı boşluk çaplarının daha az olmasını sağlamaktadır. Ayrıca su/çimento oranının artması da su emmeyi arttırmaktadır.

İlker Ustabaş yaptığı çalışmasında, mineral katkısız, UK ilaveli, SD ilaveli ve yüksek fırın cürufu ilaveli numunelerin 1, 2, 4 ve 24 saatlik ölçümler üzerinde kılcal su emme deneyi yapmıştır. Yaptığı deney sonucunda en çok su emme değerinin SD ilaveli numunelere ait olduğunu belirtmiştir. Mineral katkısız betonun su emmesinin en az olduğunu bun sırasıyla UK ilaveli, yüksek fırın cürufu ilaveli ve SD ilaveli numunelerin takip ettiğini belirtmiştir.[28]

Fatih Özcan çalışmasında, SD katkılı 28 günlük numuneler üzerinde farklı su/çimento oranlarında su emme deneyi yapmıştır. SD miktarıyla beraber su/çimento miktarının da artmasıyla birlikte su emme miktarlarının da arttığını belirtmiştir. Özellikle %40 SD katkılı ve 0,60 su/çimento oranına sahip harçlarda su emmenin daha fazla olduğunu gözlemlemiştir. Harçlara ait boşluk oranı değerlerinin de su emme değerleriyle orantılı olarak SD değeri yüksek karışımlarda arttığını belirtmiştir.[28]

Numunelerin etüv kurusu ağırlıkları, doymun kuru yüzey ağırlıkları ve su içindeki ağırlıkları Tablo 4.10.'da verilmiştir.

Tablo 4.10. Numunelerin etüv kurusu, doymun kuru yüzey ve su içindeki ağırlıkları (gr)

Numune Adı	Etüv Kurusu Ağırlık (W1)	Su İçindeki Ağırlık (W2)	Doymun Kuru Yüzey Ağırlık (W3)
U0+S0	257,77	163,43	285,74
U10	257,67	159,94	280,72
U20	254,42	157,89	278,33
U30	257,20	159,49	282,37
S6	258,52	159,96	284,92
S10	254,06	156,93	281,24
S14	249,12	153,69	277,07
U10+S6	244,61	150,84	273,09
U10+S10	241,08	148,66	269,94
U10+S14	238,22	146,85	267,54
U20+S6	246,42	152,47	274,05
U20+S10	258,80	160,40	284,55

Tablo 4.9.'da sunulan değerler denklem (4.1), (4.2), (4.3) ve (4.4)'te yerine yazılarak toplam su emme kapasitesi (%), porozite (%) ve numunelerin yoğunlukları hesaplanmış ve bu değerler Tablo 4.11. ve Tablo 4.12.'de verilmiştir.

$$\text{Porozite (\%)} = \frac{W_3 - W_1}{W_3 - W_2} \times 100 \quad (4.1)$$

$$\text{Toplam su emme kapasitesi (\%)} = \frac{W_3 - W_1}{W_1} \times 100 \quad (4.2)$$

$$\text{Doymun kuru yüzey yoğunluk } \delta_{dyk} = \frac{W_3}{W_3 - W_2} \quad (4.3)$$

$$\text{Görünür yoğunluk } \delta_g = \frac{W_1}{W_1 - W_2} \quad (4.4)$$

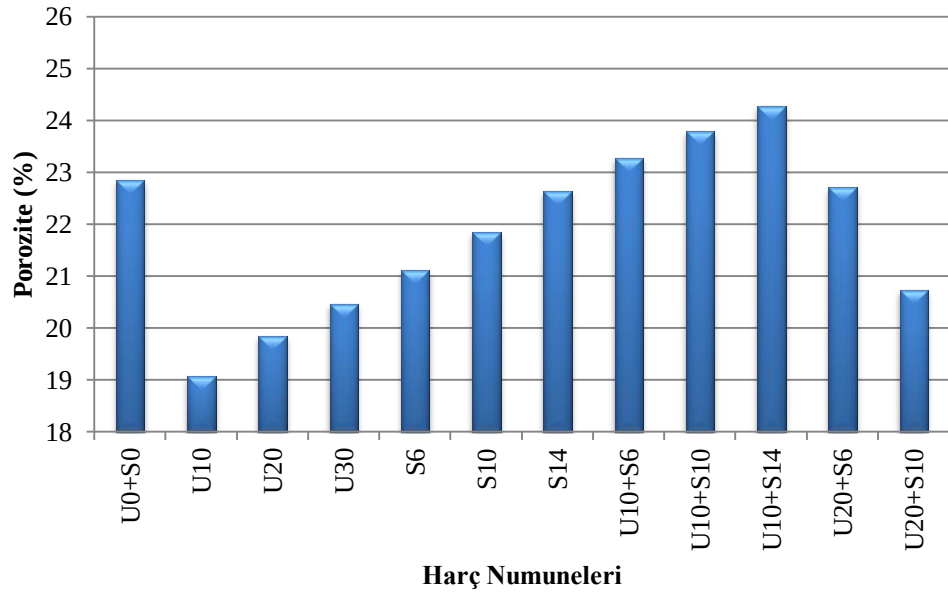
Tablo 4.11. Harç numunelerin yoğunlukları (gr/cm³)

Numune Adı	Doygun Kuru Yüzey Yoğunluk	Görünür Yoğunluk
U0+S0	2,34	2,73
U10	2,32	2,64
U20	2,31	2,64
U30	2,30	2,63
S6	2,28	2,62
S10	2,26	2,62
S14	2,25	2,61
U10+S6	2,23	2,61
U10+S10	2,23	2,61
U10+S14	2,22	2,61
U20+S6	2,25	2,62
U20+S10	2,29	2,63

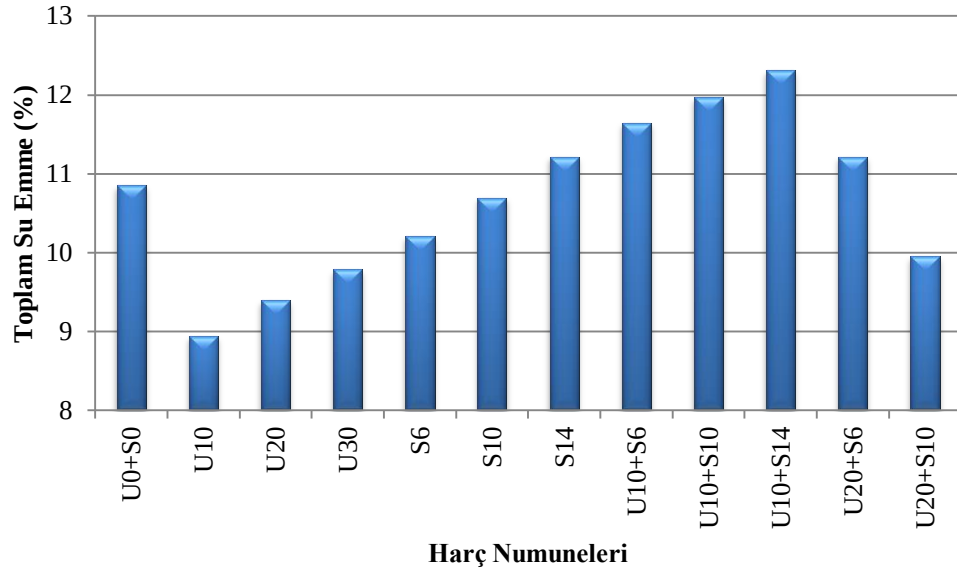
Tablo 4.12. Harç numunelerin toplam su emme kapasitesi ve porozite (%)

Numune Adı	Toplam Su Emme Kapasitesi	Porozite
U0+S0	10,85	22,87
U10	8,95	19,08
U20	9,40	19,85
U30	9,78	20,48
S6	10,21	21,13
S10	10,70	21,86
S14	11,22	22,65
U10+S6	11,64	23,30
U10+S10	11,97	23,80
U10+S14	12,31	24,30
U20+S6	11,21	22,73
U20+S10	9,95	20,74

Tablo 4.12.'deki değerlere ait grafikler Şekil 4.24. ve Şekil 4.25.'de verilmiştir.



Şekil 4.24. Porozite grafiği



Şekil 4.25. Toplam su emme kapasitesi grafiği

Porozite ve toplam su emme değerlerinde de SD miktarı arttıkça değerlerin arttığı görülmektedir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, işlenebilirlik ve kıvamı tayin etmek için mini çökme-yayılma deneyi, mini V-hunisi deneyi ve viskozimetre deneyi yapılmıştır. Mekanik özellikleri belirlemek için farklı kür şartlarında, eğilmede çekme dayanımı ve basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Ayrıca Kapiler su emme deneyinden elde edilen değerlerle kapiler su emme katsayısı, porozite ve toplam su emme değerleri bulunmuştur.

- Portland çimentosu ve UK içeren karışımlarda UK oranının artmasıyla işlenebilirliğin arttığı görülmüştür. SD içeren ve içermeyen harçlarda SD miktarının artmasıyla karışımın su tutma özelliğinin arttığı belirlenmiştir. Böylece, EFNARC (2002)'in önerdiği yayılma çaplarını elde edebilmek için karışımdaki su miktarı artırılmıştır.
- SD ve UK mineral katkılarının çimentoyla birlikte kullanıldığı harç numunelerinde UK oranı sabit tutulup SD oranı değiştirildiğinde karışımlarda SD'nin hâkim olduğu görülmüştür.
- Silis dumanı taze halde betonun işlenebilirliğini azaltmakta ise de, sertleşmiş betonun bir çok özelliğini iyileştirmektedir [29].
- Parafınle kaplı numunelerde eğilmede çekme dayanımlarının arttığı görülmüştür.
- SD'nin basınç dayanımını artırma etkisi 3 günde kendini gösterememekteyse de 28 günde belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır.
- Havada kür edilen UK içeren numunelerde 28 günden sonra basınç dayanımında düşüş olduğu görülmektedir. Bu UK'nın suya ihtiyacı olduğunu göstermektedir.
- 56 gün suda ve ıslak bezde kür edilen numunelerin basınç dayanımlarındaki artışın, daha ön plana çıktığı görülmüştür.
- Şekil 4.13 ve Şekil 4.14 incelendiğinde, farklı kür koşullarındaki tüm numuneler için ilk günlerdeki eğilmede çekme ve basınç dayanımlarının, birbirine yakın olduğu görülmektedir.
- Tüm numunelerin, suda ve ıslak bezde kür koşullarındaki basınç ve eğilmede çekme dayanımları artmıştır.

- Parafinle kaplı numunelerde basınç değerleri kendi içinde artmış olsa da, su ve ıslak bez kür koşullarındaki kadar basınç dayanımı artmamıştır.
- Şekil 4.15 incelendiğinde tüm numuneler için 7 günlük eğilmede çekme dayanımlarının kür çeşidinden fazla etkilenmediği görülse de, suda bekletilen numunelerde ve parafinle kaplı numunelerde artışın başladığı söylenebilir.
- Portland çimentosuyla birlikte SD ve UK mineral katkılarını birlikte içeren harç numunelerinde UK oranı sabit tutulup SD oranı değiştirilmiştir. Bu durumda işlenebilirliğin düştüğü görülmüştür. Üçlü karışımlarda SD'nin karışımın işlenebilirlik özelliği üzerindeki etkisinin daha ön planda olduğu söylenebilir.
- Harç karışımlarına yapılan kılcal su emme sonuçlarına göre su/çimento oranı arttıkça geçirimsizlik de artmıştır. Özellikle bu durum SD'li karışımlarda SD oranı arttıkça daha belirgin olmuştur ve %14 SD'li karışımda maksimum seviyeye çıkmıştır. UK ve SD'nin birlikte kullanıldığı karışımlarda su/çimento oranı azaldığı için geçirimsizlik de azalmıştır. Geçirimsizliğin arttığı harç numunelerinde porozite değerleri de arttığı için toplam su emme değerleri artmıştır. SD içeren numunelerde işlenebilirlik artırılan süperakışkanlaştırıcı oranı ile sağlandığı için, porozite ve toplam su emme oranları da diğer karışımlara göre yüksek çıkmıştır.
- Geçirimsizliği azaltmaktaki en önemli amaç dayanıklılığı arttırmaktır. Bu çalışmada geçirimsizlik için UK ve SD kullanılmış olsa bile su/çimento oranının fazlalığı geçirimsizliği arttırmıştır.
- Silis dumanının betona ilavesi basınç dayanımını oldukça arttırmaktadır. Silis dumanının betondaki boşlukları doldurma ve puzolanik etki olmak üzere iki işlevi vardır. Bunlardan hangisinin belirleyici olduğu yönünde değişik görüşler vardır. Ancak silis dumanının puzolanik etkisinin betonda en zayıf halka olarak bilinen agrega: çimento hamuru temas yüzeyini güçlendirmede önemli olduğu, mikro yapısal ve mekanik incelemelerle kanıtlanmıştır. [30]
- SD tanecik yapısının çok ince olması nedeniyle çimento tanecikleri arasına girerek boşlukları doldurmakta ve agrega - çimento hamuru ara yüzeyini geliştirmektedir.[31]
- Silis dumanının beton basınç dayanımına olumlu etkisi erken yaşlarda daha belirgindir. Betonun 28 günlük dayanımını artırmayı amaçlayan çalışmalarda silis

dumanın genellikle çimentonun %10-20'si oranında betona katıldığı ve gerekli işlenebilmeyi sağlamak için %10'dan yukarı miktarların süper akışkanlaştırıcı katkılarla birlikte kullanıldığı görülmektedir.[32]

KAYNAKLAR

- [1] **OKAMURA, H. AND OUCHI, M.**, J Adv. Conc. Tech., vol. 1, pp. 5-15, 2003.
- [2] **SELLEVOLD, E.J. ANDRADJY, F.F.**, 1983. Condensed Silica Fume Concrete: Water Demand and Strength Development, Proceedings First International Conference on the Use of Fly Ash, Silica Fume, Slag and Other Mineral By-Products in Concrete. ACI-SP79, pp. 677-694.
- [3] **NEVILLE, A.M.** (1996), Properties of Concrete . J. Wiley, New York.
- [4] **N.M., SNYDER M.B.** http://mnconcretecouncil.org/2003meetings/03-Nancy%20paper_MCC.pdf (Whiting (2003), A Study of the Effectiveness of Portland Cement Concrete Curing Compounds).
- [5] **ERDOĞAN, T.Y.**, 2003, Beton, Metu Press, Ankara.
- [6] **WANG, K. VE DİĞ.** (2007), Beton Yol Kür Kimyasallarının Etkinliğinin İncelenmesi. 2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyum ve Sergisi, Bildiriler Kitabı, s. 333-356
- [7] **WANG, K.J. VE DİĞ.** (2006) Evaluation of pavement curing effectiveness and curing effects on concrete properties.J. Materials in Civil Eng., Vol. 18, No.3, pp. 377-389
- [8] **MURDOCK, L.J. VE DİĞ.** (1991). Concrete Materials and Practice. Edward Arnold, London.
- [9] **PARK, C.K., NOH, M.H., AND PARK, T.H.**, “Rheological Properties of Cementitious Materials Containing Mineral Admixtures,” Cement Concrete Research, Vol. 35, 2005, pp. 842-849.
- [10] **ŞAHMARAN, M., CHRISTIANTO, H.A., AND YAMAN, İ.Ö.**, “The Effect of Chemical Admixtures and Mineral Additives on the Properties of Self-Compacting Mortars,” Cement and Concrete Research, Vol. 28, 2006, pp. 432–440

- [11] SAĞLAM, A.F. AND ÖZKUL, M.H., “Kendiliğinden Yerleşen Betonların Reolojik Özelliklerine Bileşim Parametrelerinin Etkisi,” İTÜ Dergisi, Cilt 5, Sayı1b, Şubat 2006, ss. 239-250.
- [12] NEVİLE, A.M. (1996), Properties of Concrete. J. Wiley, New York.
- [13] WANG, J., VE DİĞ. (1994) Membrane Curing of Concrete. Cement and Concrete Research, Vol. 24, No. 8, pp. 1463-1474.
- [14] ASTM C 309-06, Standard Specification for Liquid Membrane-Forming Compounds for Curing Concrete.
- [15] MELOLEEPSZY, J., DEJA, J., 1992, ‘The Effect of Variable Curing Conditions on the Properties of Mortars with Silica Fume’, ACI SP-132. 2, 1075-1087.
- [16] AİTCİN, P.C.; LAPLANTE, P., BEDARD, C., 1985, ‘Development and Experimental Use of a 90 Mpa Field Concrete’ , High Strength Concrete ACI SP-87, pp.51-70, 1985 Detroit.
- [17] ŞANCI, M., Değişik Yöntem ve Kür Koşullarında Beton Dayanımı, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, 2001.
- [18] KARAHAN, O., Arı, K., H, T. ve Cengiz D. Atış, C. D. “ Farklı Portland Çimentolu Betonların Dayanımına Zaman ve Kür Etkisinin Araştırılması” Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 21 (1-2), 62-68, 2005.
- [19] UYGUNOĞLU, T. VE ÜNAL, O., “Buhar Kürü Pomzalı Hafif Betonun Özellikleri”, Gazi Üniversitesi Politeknik Dergisi Cilt 10, Sayı 1 (2007).
- [20] COŞKUN, A. VE TANYILDIZI, H., “Silis Dumanı Katkılı Hafif Betonun Asınç Dayanımı Ve Ultrasonik Ses Geçirgenliğine Farklı Kür Koşullarının Etkisi”, Dumlupınar Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 14. Sayı, s. 119-128, Aralık 2007.

- [21] **TOPÇU, İ. B. VE TOPKARA, Y. Ö.** (2011), “Mikrodalga Kürün Uçucu Küllü Harçların Basınç Dayanımına Etkisi” Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi Cilt:XXIV, Sayı: XXIV, No:1, s. 109-118.
- [22] **GÖNEN, T. VE YAZICIOĞLU, S.** (2010), “Kendiliğinden Yerleşen Hafif Etonun Mekanik Özelliklerine Kür Ortamı Ve Agrega Tipinin Etkisi”, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., Cilt 25, No 3, 459-467.
- [23] **UYSAL, M., MERCAN, N. VE YILMAZ, K.,** “Farklı Dozlarda Üretilen Beyaz Betonların Basınç Dayanımına Farklı Kür Şartlarının Etkisi”, SAÜ. Fen Bilimleri Dergisi, 15. Cilt, 2. Sayı, s.139-145, 2011.
- [24] **WANG, K., K. CABLE, J. K., G., Z. VE CEYLAN, H.** (2007), “Beton Yol Kür Kimyasallarının Etkinliğinin İncelenmesi”, Uluslararası Katılımlıyapılarda Kimyasal Katkılar 2. Sempozyumu ve Sergisi12-13 Nisan 2007, ANKARA.
- [25] **FELEKOĞLU, B., TOSUN, K., BARADAN, B., ALTUN, A., AND UYALGAN, B.,** “The Effect of Fly Ash and Limestone Fillers on the Viscosity and Compressive Strength of Self-Compacting Repair Mortars,” Cement Concrete Research, Vol. 36, 2006, pp. 1719-1726.
- [26] **YEĞİNOBALI, A.,** 2007. Silis Dumanı ve Çimento ile Betonda Kullanımı, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Ar-Ge Enstitüsü, Ankara.
- [27] **TOHUMCU, İ. VE BİNGÖL, A. F.,** Silis Dumanı Ve Uçucu Kül Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Taze Beton Özellikleri Ve Basınç Dayanımları, DEÜ Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi Cilt: 15, Sayı: 2, sh. 31-44, Ocak2013.
- [28] **ÖZCAN F.,** 2005. Silis Dumanı İçeren Harç Ve Betonların Özellikleri Ve Hızlandırılmış Kür İle Dayanım Tahmini, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 173s, Adana.

- [29] **KHAYAT, K.H., AİTCİN, P. C.**, 1992. Silica Fume in Concrete -An Overview, ACI SP-132. 2, 835-872.
- [30] **EFNARC**, 2002. Specifications and Guidelines for Self-Compacting Concrete, EFNARC, Association House, 99 West Street, Farnham, UK, www.efnarc.org, ISBN 0953973344, 32p.
- [31] **TOUTANJİ, H., DELATTE, N., AGGOUN, S., DUVAL, R., DANSON, A.**, 2004. Effect Of Supplementary Cementitious Materials On The Compressive Strength And Durability Of Short-Term Cured Concrete, Cement And Concrete Research. 311:319.
- [32] **YEĞİNOBALI A**, 1993. Silis Dumanının Betonda Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi. Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu Bildirileri, Ankara, s.149:167.

ÖZGEÇMİŞ

Yakup BAKIR, 1982 yılında Elazığ'da doğmuştur. İlköğretimini Bahçelievler ve Namık kemal İlk Öğretim Okullarında, lise öğretimini Mehmet Akif Ersoy Lisesi'nde tamamlamıştır. 2002 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü kazanıp 2006 yılında mezun olmuştur. 2009 yılı güz döneminde Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başlamıştır ve halen devam etmektedir.