

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONUN
KALICILIK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Ali KANDEMİR

Eylül, 2005
İZMİR

KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONUN KALICILIK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Malzemesi Anabilim Dalı

Ali KANDEMİR

Eylül, 2005

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

ALİ KANDEMİR, tarafından **Yrd. Doç. Dr. SELÇUK TÜRKEL** yönetiminde hazırlanan **‘KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONUN KALICILIK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ’** başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

.....

Yönetici

.....

Jüri Üyesi

.....

Jüri Üyesi

Prof.Dr. Cahit HELVACI

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Bu çalışma süresince araştırma konularının belirlenmesinde, deney programlarının oluşturulmasında, malzeme teminlerinde yardımcılığı ve bilgilendirici desteklerinden dolayı danışman hocam Yrd.Doç.Dr Selçuk Türkel'e, tez konusunun ve deneysel yöntemlerin belirlenmesindeki danışmanlığından dolayı Prof.Dr. Bülent Baradan'a ve "İz Bırakanlar Bursu" aracılığı ile maddi destekleri ve işbirlikleri için T.Ç.M.B. AR-GE Enstitüsü Direktörü Sayın Prof. Asım Yeğınobalı'ya, literatür araştırması ve yönlendirici bilgilerinden dolayı İnş.Yuk.Müh. Burak Felekoğlu'na, tez çalışmam süresince maddi ve manevi desteklerini esirgemeyerek şevkle çalışmamı sağlayan aileme, deneylerin gerçekleştirilmesi sırasındaki yardımlarından dolayı Erhan Yoğurtçu, Emrah Aksin, Ahmet Hilmi Aytaç'a ve tüm çalışmam süresince bana her türlü desteği göstererek teşvik eden İnş.Müh Hatice Hacısüleyman'a teşekkürü bir borç bilirim.

KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONUN KALICILIK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZ

Günümüzde karayollarının büyük çoğunluğunu asfalt yollar oluşturmaktadır. Gelişmiş ülkelerin aksine ülkemizde beton yol uygulamalarına daha yeni başlanmıştır. Beton hammaddelerinin yerel kaynaklardan temin edilebilme imkanı beton yolları cazip hale getiren başlıca etmendir.

Beton teknolojisindeki yeni gelişmeler, sıkıştırma ihtiyacını ortadan kaldırıp işçilik sürelerini azaltan, üretimi hızlandıran pek çok olumlu özellikleri taşıyan kendiliğinden yerleşen beton uygulamalarını kullanılabilir hale getirmiştir.

Bu çalışmada beton yol uygulamalarında kullanılabilmesi amacıyla kendiliğinden yerleşen beton özelliklerini sağlayan karışımlar dizayn edilmiştir. Bazalt ve kireçtaşı olmak üzere iki farklı tip agrega, filler olarak uçucu kül ve taş tozu kullanılan, hava sürükleyici katkı ilave edilen örneklerin donma-çözülme , aşınma ve buz çözücü tuzlara dayanıklılıkları araştırılmıştır. Karışım örneklerinin farklı yaşlarda basınç ve eğilme dayanımları bulunarak mekanik özellikleri incelenmiştir. Bulunan değerler birbirleriyle ve kontrol örnekleriyle karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Kendiliğinden yerleşen Beton, Beton yollar, Basınç dayanımı, Eğilme dayanımı, Donma- Çözülme, Aşınma

THE RESEARCH OF DURABILITY PROPERTIES OF SELF COMPACTING CONCRETE

ABSTRACT

Nowadays, most of the highways in Turkey consists of asphaltic concrete ones. Contrary to most of the developed countries, in our country concrete highway applications have just started. The main item that makes concrete highway construction preferable is to sustain various ingredients of concrete from local resources.

Due to new technologies in ready-mix concrete production, self compacting concrete applications which decrease manpower needs by avoiding vibration and compaction and thus pace the production, become available and affordable.

For this thesis, several trial mixes of concrete having self compacting concrete properties were made especially to be used for concrete roads and highways. By using two different types of aggregate, basalt and limestone based, as filler material fly ash and limestone powder and air entraining agent as admixture, samples were analysed for freezing-thawing durability, abrasion resistance and de-icing salt resistance. In addition to that, samples from various mixes at different ages were tested for mechanical properties such as compressive and flexural strengths. Test result were compared with each groups and against the control group.

Keywords: Self leveling concete, Concrete roads , compressive strength, flexural strengths, freeze-thaw, abrasion

İÇİNDEKİLER

TEZ TESLİM FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT.....	v
BÖLÜM BİR – GİRİŞ	1
BÖLÜM İKİ- BETON YOLLAR (GENEL TANITIM)	3
2.1 Tanımlar	3
2.2 Beton Yolların Tarihçesi	3
2.2.1 Türkiye’de Beton Yollar.....	4
2.3 Üst Yapı Tipleri.....	5
2.3.1 Esnek Üstyapı	5
2.3.2 Rijit Üstyapı.....	5
2.3.2.1 Rijit Üstyapı Elemanları	6
2.2.2.1.1 Taban Zeminleri	6
2.3.2.1.2 Kaplama Altı tabakası	7
2.3.2.1.3 Beton Plaklar	8
2.4 Üst Yapı Tipi Seçiminde Teknik Ölçütler.....	8
2.4.1 Dıştan gelen yüklerin taban zeminine iletilmesi.....	9
2.4.2 Trafik	9
2.4.3 İklim.....	10
2.4.4 Trafiğin Engellenmesi	11
2.4.5 Konfor Ve Güvenlik	11
2.5 Üstyapı Tipi Seçiminde Ekonomik Ölçütler	11
2.5.1 Toplam Ekonomik Maliyet.....	11
2.5.1.1 İlk İnşaat Maliyeti	12
2.5.1.2 Bakım Maliyeti	12

2.5.2 Yolu Kullananların Harcamaları.....	13
2.5.3 Finansman Kaynakları Ve İskonto Oranı	13
2.6 Rijit Üstyapıların Avantajları ve Dezavantajları	15
2.6.1 Rijit Üstyapıların Avantajları	15
2.6.2 Rijit Üstyapıların Dezavantajları	18
BÖLÜM ÜÇ - BETON YOLLARIN ÖZELLİKLERİ.....	20
3.1 Beton Yolların Yüzey Özellikleri.....	20
3.1.1 Geometrik Düzgünlük	21
3.1.2 Yolların Pürüzlülüğü	21
3.1.2.1 Megapürüzlülük	22
3.1.2.2 Makropürüzlülük.....	22
3.1.2.3 Mikropürüzlülük	22
3.2 Beton yolların mekanik özellikleri	22
3.2.1 Basınç Dayanımı.....	22
3.2.2 Eğilme Dayanımı	23
3.2.3 Aşınma direnci.....	24
3.2.4 Komposite (doluluk)	25
3.3 Durabilite Özellikleri.....	27
3.3.1 Donma-Çözülme Dayanımı	28
3.3.2 Kimyasal Maddelere karşı Dayanıklılık	29
3.3.3 Betonun Isıya ve Ateşe Dayanıklılığı	31
3.4 Beton Yollarda Bozulmalar	31
3.4.1 Çatlaklar.....	32
3.4.2 Çukurlar	34
3.4.3 Plak Oturmaları.....	34
BÖLÜM DÖRT - BETON YOLLARDA KULLANILAN MALZEMELER	35
4.1 Beton yollarda Kullanılan Malzemelerin Özellikleri	35
4.2 Çimento	37
4.3 Agregalar	38

4.3.1 Agregaların sınıflandırılması	41
4.3.2 Uygun granulometrinin belirlenmesi	41
4.3.3 Agregada bileşimi ve dokusu	41
4.4 Beton Karma Suyu	43
4.5 Donatı	44
4.6 Hava sürükleyiciler.....	45
BÖLÜM BEŞ - BETON YOLLARDA KULLANILAN BETONLAR	46
5.1 Yol Betonu ile Geleneksel Betonun Farkı.....	46
5.2 Hazır Beton Kullanımı	48
5.3 Akıcı Beton Kullanımı	49
5.4 Silindirle Sıkıştırılabilen Beton kullanımı.....	52
BÖLÜM ALTI - KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON.....	54
6.1 Tanım.....	54
6.2 Kendiliğinden Yerleşen Betonun Tarihçesi	54
6.3 Kendiliğinden Yerleşen Betonun Avantajları ve Dezavantajları	55
6.3.1 Kendiliğinden Yerleşen Betonun Avantajları.....	55
6.3.2 Kendiliğinden Yerleşen Betonun Dezavantajları	56
6.4 Kendiliğinden Yerleşen Betonun Kullanım Alanları	56
BÖLÜM YEDİ - KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON ÖZELLİKLERİ ..	58
7.1 Dizayn Yöntemleri	58
7.2 Bileşenlerinin Seçimleri	62
7.2.1 Çimento Seçimi	62
7.2.2 Agregada Seçimi	63
7.2.3 Toz Madde Seçimi.....	64
7.2.4 Akışkanlaştırıcı Katkı Seçimi	66
7.3 Mekanik Özellikleri.....	66
7.3.1 Basınç Dayanımı.....	67
7.3.2 Erken Dayanım Kazanma Hızı	67
7.3.3 Boşluk Yapısı	6

7.3.4 Geçirimsizlik.....	69
BÖLÜM SEKİZ - KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON DENEY YÖNTEMLERİ.....	70
8.1 Yayılma Deneyi.....	71
8.2 V hunisi Deneyi.....	72
8.3 L kutusu deneyi	73
8.4 J halkası Deneyi.....	74
BÖLÜM DOKUZ - DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	75
9.1 Amaç	75
9.2 Kapsam.....	75
9.3 Deney Programı.....	78
9.4 Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri	79
9.4.1 Çimento.....	79
9.4.2 Agregası.....	80
9.4.3 Taş Tozu	83
9.4.4 Uçucu Kül.....	84
9.4.5 Akışkanlaştırıcı Katkı	85
9.4.6 Su	85
9.4.7 Buz Çözücü Tuz	86
9.5 Karışım Dizaynları	87
9.6 Deneylerin Yapılışı.....	90
9.6.1 Taze Beton Deneyleri	91
9.6.1.1 Yayılma Deneyi ve T50 Süresinin Ölçümü	92
9.6.1.2 V Hunisi Akış Süresi Ölçümü	93
9.6.1.3 Hava Yüzdesi Ölçümü	94
9.6.2 Sertleşmiş Beton Deneyleri	95
9.6.2.1 Serbest Basınç Deneyi	95
9.6.2.2 Eğilme Deneyi	95
9.6.2.3 Donma Çözülme Deneyi.....	97
9.6.2.4 Buz Çözücü Tuzlara Dayanıklılık Deneyi	101
9.6.2.5 Aşınma deneyi	103

9.7 Deney Sonuçları	106
9.7.1 Taze Beton Deney Sonuçları	106
9.7.2 Sertleşmiş Beton DeneyleriSonuçları	107
9.7.2.1 Basınç Dayanımı	107
9.7.2.1.1 Filler Tipinin Etkisi	111
9.7.2.1.2 Agregası Tipinin Etkisi.	115
9.7.2.1.3 Hava Sürükleyicinin Etkisi.....	118
9.7.2.3 Eğilme Dayanımı	122
9.7.2.3.1 Filler Tipinin Etkisi	123
9.7.2.3.2. Agregası Tipinin Etkisi	124
9.7.2.3.3 Hava Sürükleyicinin Etkisi.....	125
9.7.2.4 Aşınma Dayanımı	127
9.7.2.4.1 Filler Tipinin Etkisi	132
9.7.2.4.2 Agregası Tipinin Etkisi.....	135
9.7.2.4.3 Hava Sürükleyicinin Etkisi.....	139
9.7.2.5 Donma-Çözülme Ve Buz Çözücü Tuzlara Dayanıklılık.....	144
9.7.2.5.1 Tuz Konsantrasyonunun Etkisi	150
9.7.2.5.2 Agregası Tipinin Etkisi	153
9.7.2.5.3 Filler Tipinin Etkisi	159
9.7.2.5.4 Hava Sürükleyicinin Etkisi.....	165
BÖLÜM ON - SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	171
KAYNAKLAR	174

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Beton teknolojisinde yaşanan hazır beton, kayar kalıp, geçirimli beton, lifli beton, ön gerilmeli beton, sürekli betonarme gibi yenilikler ve hızlı gelişmelerle beton kaplama, günümüzün modern yolları için asfalt kaplamalara karşı önemli bir alternatif haline gelmiştir.

Yol malzemesi olarak betonun kullanılması, asfalt malzeme kullanılmasına göre çeşitli avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Bunların kullanılacak ortam koşullarına, ülkelerin hammadde kaynaklarına ve ileriki bölümlerde anlatılan çeşitli teknik kriterlere göre incelenip seçiminin yapılması optimum fayda sağlamaktadır.

Beton yollarda genellikle kütle betonu şeklinde kuru kıvamlı betonlar tercih edilmektedir. Kullanılan ekipman ve kalıp sisteminin bu betonlara göre dizayn edilmesi, yol eğimlerinin fazla olması beton ve katkı teknolojisindeki gelişmelerle oluşan daha akıcı ve işlenebilirliği kolay betonların kullanılma ihtimalini kısıtlamaktadır.

Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB), kendi ağırlığı ile sık donatılı dar ve derin kesitlere yerleşebilen, iç veya dış vibrasyon gerektirmeksizin kendiliğinden sıkışabilen, bu özelliklerini sağlarken ayrışma ve terleme gibi problemler yaratmayarak kohezyonunu (stabilitesini) koruyabilen, çok akıcı kıvamlı özel bir beton türüdür (Felekoğlu, 2003).

Kendiliğinden yerleşen beton (**KYB**) birçok araştırmacı tarafından, beton teknolojisinde son birkaç on yılın en önemli atılımı olarak kabul edilmektedir (Wallevik, 2003). 1988 yılında Tokyo üniversitesinde geliştirilen KYB, inşaat süresini kısaltması, özellikle sık donatılı ve dar kesitlerde betonun yerleşmesi ve sıkışmasını garantilemesi ve beton uygulama alanındaki vibrasyon kaynaklı gürültüyü ortadan kaldırması sebepleriyle kullanımı gün geçtikçe artmaktadır (Okamura and Ouchi, 2003).

Bu çalışmada; Kendiliğinden yerleşebilirlik şartlarını yerine getiren betonların, beton yollarda kullanılabilirliği araştırılmıştır. Beton yollar için sabit dozajda , iki farklı agrega tipi, iki farklı toz malzeme ve değişik yüzdelerde hava içerikli kendiliğinden yerleşen beton örneklerinin değişik yaşlardaki basınç ve eğilme dayanımları ile donma-çözülme, buz çözücü tuzlara dayanıklılık ve aşınma dayanım değerleri kıyaslanmıştır.

Kendiliğinden yerleşen betonun, yol kaplamalarında kullanılabilmesi amacıyla, kendiliğinden yerleşebilirlik özelliklerini sağlayan minimum yayılma değerlerinde tutulması hedeflenmiştir. Bu amaçla karışım parametreleri belirlenmesi amacıyla ön beton dökümleri yapılmıştır.

Belirlenen dizayn parametrelerine göre 8 adet karışım hazırlanmıştır. Küp örneklerde 3, 7 ve 28 gün sonlarında basınç dayanımları ve kiriş örneklerde 28 gün sonunda eğilme deneyleri yapılmıştır.

Donma-çözülme deneyi için silindirik ve kiriş örnekler hazırlanmıştır. Karışım örneklerinde çeşitli tuz konsantrasyonlarında 35 çevrimlik donma çözülme deneyi yapılarak ağırlık değişimleri, ultrases geçiş hızları değişimi ve basınç dayanımları incelenerek birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Agrega tipinin, filler tipinin, hava içeriğinin ve buz çözücü tuzların etkileri incelenmiştir.

Aşınma deneyi yapılması amacıyla küp örnekler hazırlanmıştır. 7 ve 28. günlerde aşınma deneyi yapılarak örneklerin hacim ve kütle değişimleri incelenmiştir.

Dizayn parametrelerine göre deney sonuçları diğer karışım örnekleri ve kontrol örnekleriyle karşılaştırılarak parametrelerin etkileri incelenmiştir.

BÖLÜM İKİ

BETON YOLLAR (GENEL TANITIM)

2.1 Tanımlar

Çimento betonu ile yapılan kaplamalara “beton yollar” denir. Yol kaplaması olarak betonun görevi, trafikten gelen şiddetli tekil yükleri tabana iletmek ve bu sırada tabanın deforme olmamasını sağlamaktır. Beton çekme direnci düşük deformasyonlar ile gerilmeler arasında bağlantıları doğrusal olmayan bir malzemedir (Ağar, Sütaş, Öztaş, 1998).

2.2 Beton Yolların Tarihçesi

Yollarda hidrolik ve puzolanik bağlayıcılar ilk olarak Romalılar tarafından, M.Ö. 1.YY’da kullanılmıştır. Taşları birbirine bağlamak için kullanılan bağlayıcı 2 kısım doğal puzolan ve 1 kısım kireçten oluşmuştur (Ağar ve diğer 1998). (Tablo 2.1)

Tablo 2.1 Beton yolun tarihçesi

1865	İskoçya’da ilk beton yol denemeleri
1880	Avustralya’da ilk beton yollar yapılmaya başlıyor
1891	Ohio’da Amerika’nın, bugün de kullanılmakta olan ilk beton yolu yapılıyor
1913	Arkansas’ta Amerika’nın ilk beton otoyolu yapılıyor
1914	Amerika’da 3.500 km beton yol yapımı tamamlanıyor; yol yapımında “Silindirle Sıkıştırılan Beton” (Roller Compacting Concrete) kullanılmaya başlanıyor
1924	Fransa’da beton yol yapımı programı başlatılıyor
1930	Almanya’da 4.000 km uzunluğunda beton otoyol yapımına başlanıyor İsviçre, Belçika başta olmak üzere, diğer Avrupa ülkelerinde de beton yol yapımı başlıyor
1950	Kayar kalıp kullanımıyla beton yol yapımında hız ve kalite artıyor
1960 - 70	ABD ve Kanada’da beton yol yapımı yoğunlaşıyor; ABD’de 70.000 km beton yol yapılıyor.

Fransa'da 20.YY'ın başlarında, Grenoble Bölgesinde, tali yolların kısa kesimlerinde rijit üst yapı kullanılması beton yol konusunda kayda değer ilk uygulama olarak gösterilebilir. 1933 yılından itibaren Endüstriyel döneme girilmesiyle, Almanya'da hem işsizlikle mücadele etmek hem de askeri birimlerin hızlı ve güvenli bir şekilde yer değiştirmeleri için ilk beton otoyol inşaat şantiyesi kurulmuştur. Daha sonra Belçika ve Fransa, beton otoyol yapmaya başlamıştır.

Almanya'da G. Daimler ve C. Benz tarafından ilk otomobilin üretildiği yıllarda (1888), ilk beton yol da Breaslau'da (şimdi Polonya'da) yapılmıştı. 1934'den itibaren otoyolların yapımında da beton kullanılmaya başlandı. Almanya Avrupa'nın ortasında yer aldığından, oldukça yoğun bir trafik yükü altındadır. (Otoyollarda ortalama 8000 kamyon /gün) Dingil yükleri 11.5 Ton'dan 13 Ton'a kadar değişiklik gösterebilmektedir. Bu nedenle, özellikle Doğu Almanya'daki yeni yol projelerinde beton yollar tercih edilmektedir (Akalin, .çev, bt).

Beton yol teknolojisinde yaşanan hazır beton, kayar kalıp, geçirimli beton, lifli beton, ön gerilmeli beton, sürekli betonarme gibi yenilikler ve hızlı gelişmelerle beton kaplama, günümüzün modern yolları için asfalt kaplamalara karşı önemli bir alternatif haline gelmiştir.

Amerika'da 100 yılı, Avrupa'da ise 75 yılı aşkın süredir kullanılan beton yollar, Türkiye'de az sayıdaki bazı kentiçi ve köy yolu çalışmaları dışında ne yazık ki bugüne kadar değerlendirilmemiştir. Beton yol oranı, Avrupa ülkelerinde yüzde 15, ABD ve Kanada'da karayolları içerisinde yüzde 30, bazı ülkelerin otoyollarında ise yüzde 70'dir (Şen, bt).

2.2.1 Türkiye'de Beton Yollar

Karayolları Türkiye'nin ulaşım ve taşımacılığı, bir bakıma ekonomisi açısından yaşamsal öneme sahiptir. Ülkemiz açısından böylesine önem taşıyan karayollarımızın yapımında 50 yıldır kullanılan tek malzeme ise asfalttır.

Bugün otoyollarla birlikte 63.000 km uzunluğundaki karayollarımızın ancak 8.300 kilometrelik bölümü “asfalt betonu” yani sıcak karışım ve sıkıştırma ile yapılan asfalt yol, 50.000 kilometrelik bölümü ise “sathi asfalt kaplama”dır.

2.3 Üst Yapı Tipleri

Üst yapı tipleri; Esnek üst yapı ve rijit üst yapı olmak üzere 2 şekilde incelenir.

2.3.1 Esnek Üstyapı

Devamlı olarak her noktada taban yüzeyi ile sıkı temas sağlayan ve yükleri taban yüzeyine bir üst yapı şeklindedir (Ağar ve diğer 1998).

Esnek üstyapı, çekme dirençleri fazla olmayan malzemelerden yapılmış alttemel, temel ve kaplama tabakalarından oluşur (Ağar ve diğer 1998).

Esnek üstyapı , kaplama temel ve alttemel tabakasından oluşan bir üstyapı tipidir. Kaplama tabakası, aşınma ve binder'den oluşan iki tabaka şeklinde sıcak bitümlü karışımdan ya da sathi kaplama şeklinde soğuk bitümlü karışımdan oluşturulur. Diğer tabakalar ise granüler bir malzeme veya az miktarda bağlayıcı ile işlem görmüş karışımlardır. Esnek üstyapıda yük iletimi alt tabakalarda daha geniş alana yayılarak taban zemininin taşıyacağı değere indirgeme esasına dayanmaktadır (Özey, 1992).

2.3.2 Rijit Üstyapı

Oldukça yüksek eğilme direncine sahip ve Portland çimentosundan yapılmış tek tabakalı plak vasıtasıyla yükleri taban zeminine dağıtan üst yapı tipidir.

Rijit üstyapılar, taban zemini üzerine yapılan beton plakalardan oluşur. Don, pompaj, şişme-büzülme olaylarına karşı ise beton kaplama ile taban zemini arasında kaplama altı tabakası yapılır. Beton plağın elastisite modülü taban

zemininkinden çok büyüktür. Bu nedenle beton yol, elastik zemine oturan bir kiriş şeklinde çalışır. Trafik yüklerini esnek üstyapıya nazaran daha geniş alana yayarak, taban zeminine iletir. Rijit beton plak, taban zemini ile sürekli temas halinde olduğu sürece taşıyıcı eleman vazifesi görür. Taban zemini çeşitli nedenlerle çökerse, taban zemininin deformasyonuna uyamayan rijit beton plak, bu kısımlarda kiriş gibi çalışmaya başlar, betonun düşük olan çekme basıncının aşılması sonucunda kaplama kırılır (Açar ve diğer 1998).

Rijit üstyapı; kaplama tabakası, kum , iri agrega , portland çimentosu ve su karışımından oluşan tek veya iki tabaka halinde dökülen bir üstyapı tipi olup, gerektiğinde granüler bir kaplama altı tabakası da kullanılabilir. Rijit üstyapıda yük büyük oranda elastik temel üzerine oturan plak tarafından karşılanmaktadır (Özey, 1992).

2.3.2.1 Rijit Üstyapı Elemanları

Beton Yol elemanlarını, Taban Zeminleri, Kaplama Altı Tabakası, Beton Plaklar ve Derzler ana başlıkları altında toplamak mümkündür.

2.3.2.1.1 Taban Zeminleri.

Rijit bir üst yapının davranışı taban zemininin, fiziksel özellikleri ve taşıma gücü ile doğrudan doğruya ilgilidir. Bazı taban zeminleri rijit kaplamaların davranışlarına zarar verecek özelliktedirler.

Üstyapının alttemel kısmına uygun malzeme koyarak pompaj olayına yatkın zemin korunmalıdır.

Plastisite indeksi 25'ten az olan zeminler uygun bir deney metoduyla tespit edilen yoğunlukların en az %95'i elde edilecek şekilde sıkıştırılmalıdır.

Yüksek plastisite indeksine sahip killi zeminler alt temel tabakasına ilave olarak yeterli kalınlıkta seçme malzeme ile örtülmelidir.

Don olan alanlarda, önlem olarak dona hassas zemin sıyırılıp atılmalıdır.

Fazla elastik olan zeminlerde yeterli kalınlıkta uygun malzeme ile ek çökmelerin oluşturulacağı zararlı etkilerin önüne geçilir (Ağar ve diğer 1998).

2.3.2.1.2 Kaplama Altı tabakası

Beton kaplamaya zarar verecek aşağıdaki hallerden biri veya birkaçının mevcut bulunduğu hallerde, beton plak ile taban zemini arasında taban zemin üzerine seçme malzeme tabakası serilmesi durumunda, seçme malzeme tabakası ile beton plak arasına daneli malzemedan oluşmuş bir tabaka serilir Bu tabakaya Alttemel veya Kaplama Altı Tabakası denir. (Ağar ve diğer 1998).

Kaplama Altı Tabakasını gerektiren haller :

- Donma etkisi
- Yüksek hacim değişmesi gösteren topraklarda "şişme" ve "büzülme" etkisi
- İnce daneli topraklarda "pompaj" etkisi.

Donma etkisi yer yer şiddetli dalgalanma hareketlerine sebep olur ki bu, kaplama yüzeyinin işe yararlığını yokeder veya tabanda devamlı bu genişleme ve yumuşama haline sebep olur. Sonunda, tabanın taşıma gücü öyle bir değere düşer ki kaplama artık normal yükleri dahi taşıyamaz olur. Silt ve çok ince daneli kumlar gibi kapilaritesi yüksek olan zeminler donma etkisinden en çok etkilenenlerdendir.

Yüksek hacim değişimi gösteren topraklara şişme ve büzülme önlemek için şişme yapmayan granüler malzemedan kaplama altı tabakası yapılır. Bu tabakanın kalınlığı toprağın şişme özelliğine, nemlilik durumuna, o yerin iklimine ve kaplama altı tabakasında kullanılan malzemenin sızdırmazlık yeteneğine bağlıdır. Ancak, minimum alttemel kalınlığı 30 cm alınmalıdır (Ağar ve diğer 1998).

Pompaj olayına karşı yapılan kaplama altı tabakasında (kum + az kil + çakıl) dan oluşmuş granüler malzeme kullanılır. Kaplama altı tabakası en çok 15 cm'lik tabakalar halinde serilir.

2.3.2.1.3 Beton Plaklar

Beton yolların yüzeyleri kayma sakıncası göstermediği ve tutucu, pürüzlü olduğu için %7 ye kadar boyuna eğim uygulanabilir. Daha fazla eğimli bir beton yol isteniyorsa yüzeyin özel olarak pürüzlendirilmesi gerekir. Teknik Şartnamelerde yağış sularının çabuk akması için min boyuna eğim %0,4 olarak belirtilmiştir.

Beton yolun yüzeyinin düzgün olması suların kolayca akmasına müsait olduğundan, enine eğim boyuna eğime bağlı olarak diğer kaplama cinslerine göre daha küçük alınabilir Düşük boyuna eğimlerde enine eğim %2,0; dik boyuna eğimlerde de minimum %1 olmalıdır. Otoyollarda %1,6 - 2 uygundur.

Taban zemini özellikleri nedeniyle plak kalınlığını arttırmak gerekirse, bu kalınlık en çok 25 cm'ye kadar çıkarılabilir. En düşük kalınlığa gelince, mevcut ve sağlam bir altyapı üzerine gelecek beton döşemelerin kalınlığı I.grup yollarda 15 cm, ötekilerde 12 cm'den az olamaz. Bu kalınlıklar betonun tek tabaka olarak dökülmesi hali için verilmiştir (Ağar ve diğer 1998).

2.4 Üst Yapı Tipi Seçiminde Teknik Ölçütler

Dıştan gelen yüklerin taban zeminine iletilmesi, trafik, iklim, trafiğin engellenmesi, konfor ve güvenlik, üst yapı tipi seçiminde incelenmesi gereken teknik ölçütlerdir.

2.4.1 Dıştan gelen yüklerin taban zeminine iletilmesi

Yol üst yapısı, trafikten gelen yükleri daha geniş alanlara yayarak yolun altyapısına iletir. Yolların tahrip olma mekanizması çok karışık olmakla beraber, başlıca iki nedene bağlamak mümkündür.

Taban zemininde veya yol üstyapısını oluşturan tabakaların birinde meydana gelen gerilmelerin, malzemenin sınır gerilme değerlerini aşması ve iç dengenin bozulması ile ortaya çıkan kaymalar.

Taban zemininde veya yol üstyapısı tabakalarının birindeki yüksek basınç gerilmeleri ve rutubet oranındaki önemli değişimler sonucunda oluşan çatlak ve kopmalar (Ağar ve diğer 1998).

2.4.2 Trafik

Karayolu üzerinde seyreden taşıtların ağırlıkları, dingil sayılarına göre değişen büyüklüklerde dingil ve tekerlek bandajları vasıtasıyla üstyapıya iletilmektedir. Üstyapı tabakalarında oluşan gerilme ve deformasyonların şiddeti o yolun üzerinden geçen taşıtın ağırlığına, bu yolun hizmet ömrü ise bu yüklerin tekerrürüne bağlıdır. Karayolu üzerinde seyreden taşıtların ağırlıkları standart olmadığından projelendirmeye esas olarak 8.2 ton'luk standart dingil yükü alınmaktadır. Farklı dingil yükleri ise dingil eşdeğerlik faktörleri yardımıyla standart dingil yüküne dönüştürülmektedir . Proje ömrü boyunca standart dingil yükünün tekerrürü (T8.2) Trafik gruplarının belirlenmesinde de ülkemiz karayollarında seyreden taşıtların tipleri ve ağırlıkları dikkate alınmıştır. Trafik grubu olarak yıllık ortalama günlük ağır taşıt trafiği (YOGATT) 500 den küçük olan yollarımızı temsilen $T8.2=0.5*10^6$ ve $1*10^6$ YOGATT 500 den büyük olan yollarımızı temsilen ise $T8.2=5*10^6$; $10*10^6$; $20*10^6$; $50*10^6$ standart dingil yük tekerrürleri alınmıştır. (Özey, 1992).

Üç farklı beton sınıfı seçilmiş olup; hafif trafik için ($T8.2=0.5*10^6-1.0*10^6$) B30 , orta trafik için ($T8.2=5*10^6 -20*10^6$) B35 , ağır trafik için ($T8.2=50*10^6$) B40 dır. Bu sınıfların bazı özellikleri aşağıda Tablo2.2'de gösterilmiştir (Özey, 1992).

Tablo 2.2 Trafik yoğunluğuna göre beton sınıfları

Beton sınıfı	Dozaj	Elastisite Modülü Kg/Cm ²	Eğilme ek. Ger. Kg/Cm ²
B30	400	300.000	42
B35	450	320.000	49
B40	500	340.000	56

Trafik hacmi ve trafiğin yıllık artış oranı yüksek olan, trafik içindeki ağır taşıt oranı fazla olan yollarda rijit üstyapılar daha uygundur. Düşük trafik artışları halinde, kademeli inşaata elverişli esnek üstyapı ile gelişen trafiğe cevap vermek mümkün olmaktadır.

2.4.3 İklim

Yol altyapısı genellikle, don çözülmesi görülen ilkbahar ile yağışın fazla olduğu sonbahar mevsimi başlarında kolay deforme olur. Kaplama tabakasını oluşturan asfalt ise yazın en düşük taşıma gücüne sahiptir.

Mevsimler arası büyük farklar olan, kara iklimi hüküm süren bölgelerde, asfalt betonunun viskoelastik davranışlı bir malzeme olması sebebiyle, yazın tekerlek izi oluşmasına direnç gösteren, kışın ise çatlamayan bir bitümlü karışımın formule edilmesi güçtür. Bu tip bölgelerde rijit styapıların kullanılması daha uygundur (Ağar ve diğer 1998).

Bitümlü kaplamaların uygulanacağı zeminin kuru veya en fazla %2 oranında rutubetli olması gerekir. Bu zorunluluk ise yağışlı bölgelerde bitümlü kaplamaların uygulama süresinin kısılmasına neden olur. Buna karşılık beton kaplamalar nemli zeminler üzerinde yapılabilir.

2.4.4 Trafiğin Engellenmesi

Beton yolun trafiğe açılabilmesi için, betonun prizini tamamlaması beklenmeli, yolun yapımından sonra en az 7 gün, hata 28 gün geçmelidir. Bu

ise yapım ve onarım sırasında yolun kısmen veya tamamen trafiğe kapatılmasını gerektirir. Tamamen kapatma halinde servis yolu yapılır. Bu da ek bir masrafa neden olur. Buna karşılık bitümlü kaplamaların yapım ve onarımlarında asfalt bağlayıcının kurummasına yetecek kadar bir zaman geçmesi üzerine yani birkaç saat kadar bir sürede yolun trafiğe açılması mümkündür. Ancak bitümlü kaplamalar, beton yollara nazaran daha kolay bozulmakta ve dolayısıyla daha sık bakım ve onarım gerektirmektedir (Ağar ve diğer 1998).

Beton yollarda onarım işlemleri, yeni katkı teknolojileri ile çok kısa sürelerde tamamlanabilmektedir. $360-400 \text{ kg/m}^3$, 0.4 su çimento oranı ile $12/\text{N/mm}^2$ değeri elde edildiğinde yol trafiğe açılabilir. Yüksek akışkanlaştırıcılar kullanılmakta 6 saatte trafiğe rahatlıkla açılabilir. Beton, içten vibratörlü yüzey masterlarıyla bitirilmeli, ayrıca yüzey şekillendirilmesi ve derzler yol açılmadan önce yapılmalıdır. (Akalin, .çev, bt).

2.4.5 Konfor Ve Güvenlik

Her iki kaplama türü yapıldıkları takdirde, güvenli ve konforlu bir seyir imkanı sağlamaktadırlar. Beton yollar açık renkleri ile gece kolay görülürler.

2.5 Üstyapı Tipi Seçiminde Ekonomik Ölçütler

Toplam ekonomik maliyet, ilk inşaat maliyeti, bakım maliyeti, yolu kullananların harcamaları, finansman kaynakları ve iskonto oranı üst yapı tipi seçiminde ekonomik ölçütlerdir.

2.5.1 Toplam Ekonomik Maliyet

Üstyapı tipi seçiminin en önemli kriteri, uzun bir zaman dilimi, proje ömrü için hesaplanan toplam ekonomik maliyettir. Bir karayolunun gerçek ekonomik maliyeti, ilk inşaat maliyeti, proje ömrü süresindeki bakım maliyeti ve bakım işlemleri nedeniyle kullanıcı açısından çıkacak gecikme maliyetlerinin toplamıdır.

2.5.1.1 İlk İnşaat Maliyeti

Kullanılacak malzemelerin maliyetlerinin tesbiti: Üst yapı tipleri için kullanılacak malzemelerin dizayna göre miktarlarının terpit edilip maliyetlerinin hesaplanması ile bulunur. Betonun rijitliği nedeniyle beton yollarda üstyapı kalınlığı azaltılabilmektedir. Bu da agrega tüketimi bakımında beton yollara avantaj sağlamaktadır. Ayrıca beton agregasının bitümlü kaplamalarda kullanılan kadar kaliteli agrega olmasına gerek duyulmamaktadır. Ayrıca beton içinde dayanımı ve kalıcılığı artıran endüstriyel atık maddelerin kullanılması, çimento dozajının azaltılmasına olanak sağlamaktadır (Ağar ve diğer 1998).

Malzemelerin taşınma maliyeti: Bitüm malzemesinin rafineriden nakliye edilmesi gerekliliği, genelde çok daha sık aralıklı fabrikalardan temin edilebilen çimento malzemesi nakline göre çok daha fazla mesafe gerektirmektedir.

İşçilik giderleri: Genellikle beton yol kaplamalarında kalifiye işçi gereksinimi daha fazla olduğundan bitümlü yollara göre işçilik bedelleri daha fazladır.

İnşaat makinesi masrafı: Makinelerin amortisman, işletme ve bakım masrafları hesaplanır. Asfalt betonu karışımları için kurutma ve yeniden ısıtma gibi ek üniteler isteyen pahalı plantler gerekmektedir. Beton yollarda hazır beton kullanılabilir (Ağar ve diğer 1998).

2.5.1.2 Bakım Maliyeti

Trafik ve iklim koşulları yolun bozulmasına neden olan iki önemli faktördür. Bakım ve onarım sırasında, bakımın tipi, yolların bozukluklarının türü ve derecesi, trafik yönünün değiştirilmesi ve iş sonrasındaki kontrolü, bakım yapılacak yolların hizmet ömrü, bakım çalışmaları için ayrılacak süre gibi hususlar önem taşımaktadır (Ağar ve diğer 1998).

Rijit üstyapılar 30-40 yıllık hizmet süreleri için projelendirilirler. Beton yollarda yüzey yenileme ve takviye işlerine gerek duyulmaz. Projelendirme ve yapım işlerinin iyi şekilde gerçekleştirilmesi halinde, beton yollar tüm hizmet ömürleri boyunca az miktarda bakım gerektirirler.

Esnek üstyapılarda genellikle ilk 5 yıldan sonra küçük onarımlar ve yüzey dolguları gerekebilir. 10 yıl sonunda büyük ihtimalle yol yüzeyinin yenilenmesi ve pürüzlendirilmesi gerekecektir (Ağar ve diğer 1998).

2.5.2 Yolu Kullananların Harcamaları

Normal hallerde, lastik erimesi, yağ-yakıt tüketimi gibi işletme masrafları her iki yol tipinde de eşit miktardadır.

2.5.3 Finansman Kaynakları Ve İskonto Oranı

Yapım şeklinin finanse edilme şekline göre üstyapı tipi seçimi değişebilir. Bakım değil de yalnızca yapım malzemelerinin finanse edildiği durumlarda rijit üstyapılar tercih edilir. Bunun tersine artan trafiğe cevap verebilmek için ardarda tabakaların yapılması gibi kademeli inşaat stratejisi gerektiren, sınırlı yatırım kaynakları ve yüksek iskonto oranı gibi durumlarda esnek üstyapıları kullanmak daha avantajlı olmaktadır (Ağar ve diğer 1998).

Beton yol kaplamaları kıt kaynaklı ülkeler için, uygunluğu açısından çekim gücüne sahiptir. Birim yol boyu başına başlangıç yatırımı diğer tür kaplamalara kıyasla bir miktar daha fazla ise de, kendisini makul sürede amorti edebilmektedir. Nitekim yapılan araştırmalara göre, usulüne uygun inşa edildiği takdirde, bitümlü karışım üstyapılara kıyasla 5~7 kat uzun ömürlü olmaktadır. (Sütaş, bt).

Teknik parametrelere göre seçim yapılırsa, taşıma gücü zayıf taban zemini, büyük hacimli trafikte yüksek artış oranı, yüksek ağır taşıt miktarı, yüksek sıcaklık halinde rijit üstyapılar, büyük trafik hacminde düşük yıllık artış oranı ve takviye çalışmalarında esnek üstyapılar uygun görülmektedir.

Ekonomik parametrelere göre üstyapımı seçimi yapılırsa, bitümlü malzeme azlığı, yüksek kaliteli agrega eksikliği, hidrolik bağlayıcı bulunması ve enerji azlığı halinde rijit üstyapılar, ülkedeki iskonto oranının yüksek, yol yatırım kaynağının sınırlı olması halinde esnek üstyapılar seçilir. Özey, (1992) yaptığı çalışmada şu sonuçlara ulaşmıştır.

1-Düşük trafik için esnek üstyapı maliyeti (TL/Km. olarak) rijit üstyapıdan yaklaşık %8 daha ucuzdur . Yüksek trafik için ise, rijit üstyapı maliyeti esnek üstyapı maliyetine(TL/Km) nazaran yaklaşık % 40 daha ucuzdur.

2-Üstyapı hesabı için gerekli olan parametreler ne seçilirse seçilsin, trafik yükünün artmasına paralel olarak esnek üstyapı/rijit üstyapı maliyet oranı da artmaktadır . Yani trafiğin artışı ekonomik açıdan rijit üstyapıyı avantajlı hale getirmektedir.

3-Taban zemininin taşıma gücünün (CBR) düşük olması durumunda, trafik ne olursa olsun rijit üstyapı daha ekonomiktir. Bu durumda aralarındaki maliyet farkı %52'ye kadar çıkmaktadır.

4-Aynı taban zemini için trafik artışı ile esnek üstyapı maliyetinin değişimi rijit üstyapıya nazaran daha fazla olmaktadır.

5-Trafiğin $T_{8.2}=10*106$ (dahil) değerine kadar taban zemininin taşıma gücünün (CBR) artması halinde esnek üstyapı ekonomik olmasına karşın, $10*106$ 'dan daha büyük olduğu durumlarda rijit üstyapı daha ekonomik olmaktadır. Trafik ne olursa olsun taban zemininin taşıma gücünün artması halinde , ekonomik açıdan rijit üstyapının avantajı azalmaktadır.

6-Bölge faktörünün (İklim koşulları) iyileşmesi halinde , esnek üstyapı maliyeti azalmakta bölge faktörünün kötüleşmesi halinde maliyet, rijit üstyapı lehine dönmektedir. (AASHTO metoduna göre rijit üstyapı hesabından bölge faktörü değerlendirilmemektedir)

7-İklim koşullarının don etkisi bakımından hafif olması durumunda trafik değeri ne olursa olsun esnek üstyapı daha ekonomik olmaktadır.

8-Yüksek trafik etkisinde ($T_{8.2} > 5 \cdot 106$) ve hafif iklim koşullarında rijit üstyapı ekonomik olmakta, ağır iklim koşullarında ise durum , esnek üstyapı lehine dönmektedir.

2.6 Rijit Üstyapıların Avantajları ve Dezavantajları

Rijit üst yapının avantajları ve dez avantajları aşağıda belirtilmiştir.

2.6.1 Rijit Üstyapıların Avantajları

Kayma sürtünme katsayıları yüksektir. Kaymaya karşı direnci fazladır. Güven vericidir. Boyuna sürtünme katsayısı 0,70; enine sürtünme katsayısı 0,65 civarındadır. Ayrıca, ıslak oldukları zaman, sürtünme katsayısının küçülmesi diğer plastik bağlayıcılarla yapılan kaplamalara göre daha azdır. Yol yüzeyi düz olduğundan yağmur suları kolay akar ve yüzey çabuk kurur.

Yuvarlanma sürtünme katsayısı, dolayısıyla harekete karşı direnci düşüktür. Vasıtaların yıpranması azalır, mekanik ömürleri artar. Motordan tekerleklere aktarılan kuvvet düzenli olacağından yağ ve yakıt masrafı azalır. Bandaj ve lastik aşınması az olur. Ekonomiktir.

Dayanıklı bir kaplama tipidir. Dayanma bakımından her türlü etkiye karşı koyacak şekilde hazırlanabilirler. Çatlak oluşmasını önlemek için çelik donatı kullanılabilir. Kaplama çatlasa bile çelik donatı sayesinde, çekme gerilmeleri taşınabilir. Çelik donatı uygulanabilen yegane kaplama tipidir.

Yüksek kalitesi dikkate alındığında, beton asfalt, parke kaplamalar gibi eşdeğer kaplamalardan daha ekonomiktir.

Gürültüsüz ve tozsuzdur. Işığı az emer Yüzey pürüzlülüğü az olduğu için yüksek hızda az gürültü yapar. Yüzeyin dayanıklılığı malzemenin ufalanıp toz haline dönüşmesini önler. Açık rengi sayesinde gece kolay görünür. Islak olduğu zaman dahi tehlikeli far ışığı yansımalarına sebep olmaz. (Şekil 2.1) Bu olay trafik güvenliği açısından önem taşır.



Şekil 2.1 Beton yol ve asfalt yolun gece görüntüleri

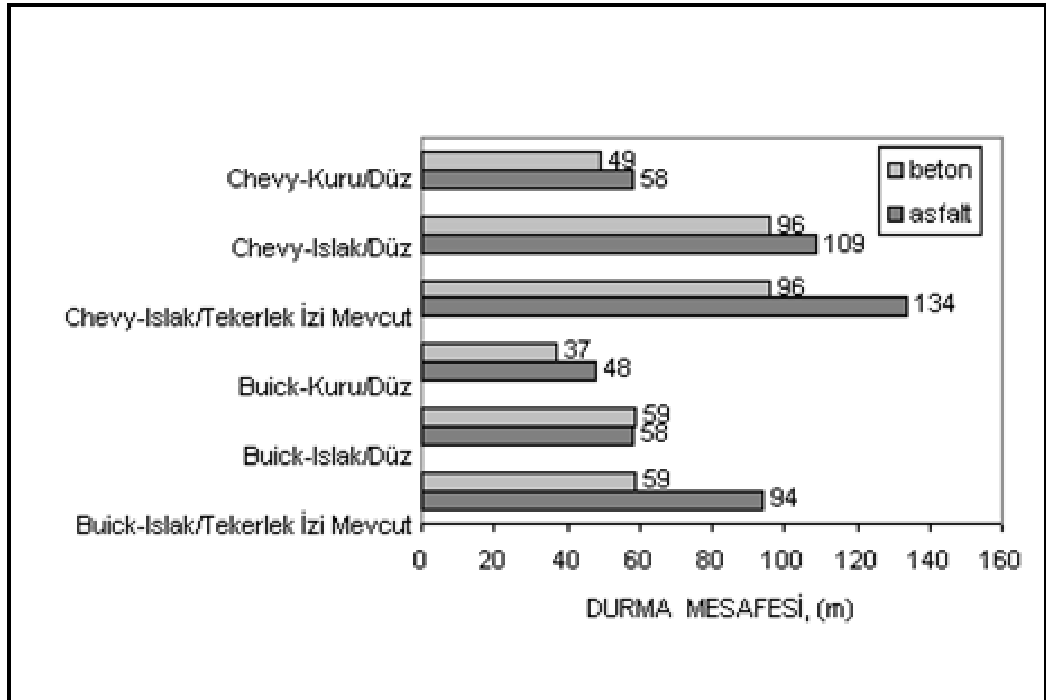
Gereği gibi bakıma tabi tutulduklarında tam bir yüzey geçirimsizliği sağlarlar.

Gerekli önlemler alındığında zayıf zeminler üzerinde de iyi hizmet görebilirler.

Özenle inşa edilen bir beton kaplamanın bakım masrafları Beton Asfalt kaplamalara oranla daha düşüktür. İyi yapılmış beton yolların hiçbir yüzey bakımı olmadan 20 sene kullanılmaları mümkündür.

Beton kaplamanın yüzey pürüzlülüğü, kullanıcılar için sürüş güvenliği göz önüne alındığında önemlidir. Tekerlek izi oluşan kaplamalarda, yağışlar sırasında tekerlek izi içinde su birikir ve taban zemine geçebilir. Ayrıca soğuk havalarda tekerlek izi içine yerleşen su donabilir ve yol güvenliğini azaltabilir (Ağar ve diğer 1998).

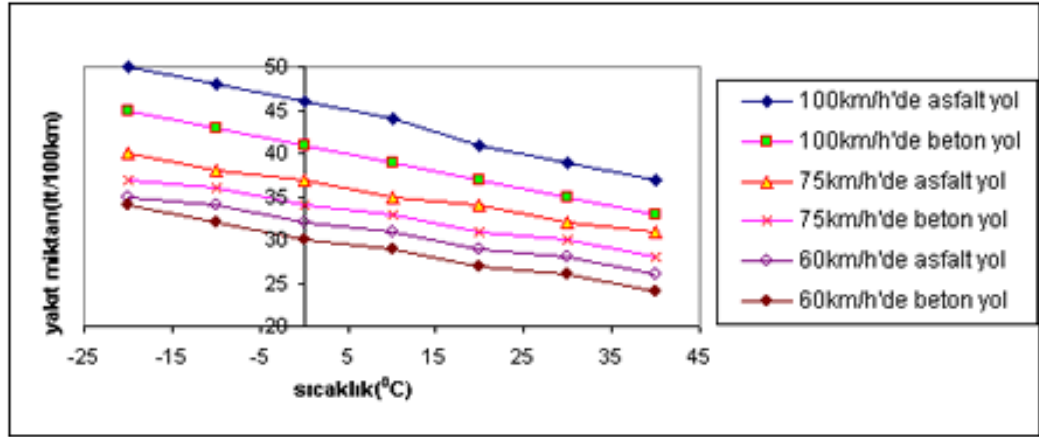
Illinois Üniversitesi tarafından sunulan “ Beton asfalt yol yüzeylerindeki oyulmalar ve tekerlek izinin sürüş güvenliğine etkisi” isimli çalışmada, beton yüzeyindeki durma mesafesinin, beton asfalt yüzeyindeki durma mesafesinden daha kısa olduğunu (özellikle beton asfaltta ıslak ve tekerlek izi oluşmuş durumda), gösterilmiştir. Şekil 2-2’de verilen değerlerde taban zeminine su geçmesi hesaba alınmamıştır. Taban zeminine su geçirme etkisi göz önüne alındığında beton asfalt yüzeyde durma mesafesi daha da azalacaktır (Ağar, Tasdemir, bt).



Şekil 2.2 Beton ve asfalt yolların durma mesafelerinin karşılaştırılması

Ağır taşıtlar, beton asfalt kaplamalarda beton kaplamalara göre daha büyük çökmeye sebep olurlar. Kaplamada oluşan deformasyon nedeniyle taşıt hareket

ederken enerjisinin bir kısmını kaybeder. Bu yüzden, beton asfalt kaplamalarda taşıtın hareketinin sağlanması için daha fazla enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Beton kaplamalarda, Şekil2.3'de görüldüğü gibi yolda deformasyon oluşmadığı için enerji kullanımını azalmaktadır (Ağar, Tasdemir, bt).



Şekil 2.3 Yakıt miktarlarının karşılaştırılması

2.6.2 Rijit Üstyapuların Dezavantajları

Projede veya inşaatta yapılacak küçük bir hata veya ihmal, trafikle ilgili olmadan, kaplamanın çabuk harabolmasına yol açan çatlakların oluşmasına sebep olabilir. Priz sırasındaki rötne ve diğer ısı değişiklikleri çatlakların oluş nedenlerindedir. Trafik etkileri olmadan da, don olaylarının tekrarlanması durumunda, çatlamış olan kaplama tamamen harabolabilir.

Yapım sırasında ve beton prizini tamamlayıncaya kadar yol trafiğe kapalı kalacaktır. Bu süre ise yaklaşık olarak bir ay kadardır. Tamir ve bakım işlemleri yapılırken de aynı sakınca ortaya çıkmaktadır. Çabuk sertleşen (superciment) çimento kullanılarak bekleme süresi kısaltılabilir veya iki ayrı şerit halinde yapım sürdürülerek bir sent kısmen trafiğe açık tutulabilir (Ağar ve diğer 1998).

Asfalt betonunun aksine trafik altında çalışmaya elverişli değildirler. Trafiğe açık bir yolda uygulanmaları durumunda servis yolu inşasını gerektirirler, bu küçük oranda bile olsa bir takım masraf ve güçlükler doğurur.

Beton yollar alt tesisler bakımından güçlük yaratır. Beton yolların yapımından sonra doğalgaz, kanalizasyon, su, telefon tesislerinin yapım ve tamirleri çok güçlükle yapılır Yeraltı tesislerinde oluşacak arızaların yerlerini bulmak güçtür. Anza giderildikten sonra, beton yolların tamir edilen kısımları zayıf kalır. Buna karşılık, suyu geçirmemesinin ve homojen olmasının sonucu olarak trafik yük ve sarsıntılarım, titreşim etkilerini her tarafa yayması dolayısıyla beton kaplamalar en iyi koruyucu tabaka görevini yaparlar (Ağar ve diğer 1998).

Açık rengi dolayısıyla güneşte göz kamaştırmalarına sebebiyet verir. Betona boya karıştırılıp renkli yol yapılarak bu sakıncaları giderilebilir.

Derzlerin varlığı ve kaplama yüzeyinde kaymaya karşı direnç sağlanması için oluşturulan yivler gürültü yapmakta ve sürüş konforunu azaltmaktadır.

Derzlerin yapımı ve bakımı büyük özen ve deneyim gerektirmektedir.

Aşınma etkisi ile kaygan hale gelir. Ancak aşınma, uygun malzeme kullanılarak geciktirilebilir. Ayrıca her tip kaplamada bu sakınca vardır.

Temel ve aşınma tabakası aynı cins malzemedden oluştuğu için, eskiden mevcut bir yolun kalitesinin iyileştirilmesinde ekonomik olarak kullanılamaz.

Rijit üst yapıların diğer önemli bir sakıncası da,, küçük periyotlu (örneğin günlük ısı değişikliklerinden kaynaklanan), plak içi sıcaklık eşitsizliğidir. Güneş ışığına doğrudan maruz kalan plağın üst yüzeyi alt yüzeye kıyasla daha çabuk ısınır. Isı yükselmesi yavaş yavaş derinliklere doğru iner. Alt yüzeyin sıcaklık derecesi maksimum değerine üst yüzeyden bir kaç saat sonra erişir.

BÖLÜM ÜÇ

BETON YOLLARIN ÖZELLİKLERİ

Beton yolların özellikleri; “yüzey özellikleri, mekanik özellikleri, durabilite özellikleri ve beton yollardaki bozulmalar” başlıkları altında incelenmiştir.

3.1 Beton Yolların Yüzey Özellikleri

Modern bir karayolu, taşıtların güvenli, konforlu ve ekonomik bir şekilde seyretmelerine olanak sağlamalıdır. Bu nedenle yolu yapan ve işletenlerin bu üç zorunluluğu yolda gerçekleştirmeleri ve bunları korumaları gerekir :

- Güvenlik Zorunluluğu

Yolda görüş uzunlukları yeterli olmalı ve yolun kaplaması her türlü hava koşullarında kolayca görülebilmelidir. Taşıt sürücüsü fren tedbirine başvurduğu zaman yol yüzeyi ile tekerlek bandajları arasında, yağışlı havada bile, büyük bir aderans sağlanmalıdır

- Konfor Zorunluluğu

Yol yüzeyinde büyük girinti ve çıkıntılar olmamalıdır. Yol yüzeyindeki dalgalanmalar taşıtın düşey yönde sarsılmasına ve seyir gürültüsünün artmasına sebep olur. Gürültü ve sarsıntı konfor bozucu, insanları rahatsız edici ve yorgunluk vericidir.

- Ekonomik Olma Zorunluluğu

Yol sağlam olmalı, uzun yıllar kalitesini koruyabilmeli, yapım ve giderek daha büyük önem kazanan bakım masrafları az olmalı, taşıt işletme giderleri ve trafik kazalarının sosyal maliyeti düşük olmalıdır (Ağar ve diğer 1998).

3.1.1 Geometrik Düzgünlük

Geometrik düzgünlüğünün kalitesi, yol yüzeyinde girinti ve çıkıntı bulunup bulunmamasına bağlıdır. Bu girinti çıkıntılar, yolun teorik (proje) yüzeyi ile gerçek yüzey arasındaki farklardan ileri gelir. İki yüzey arasındaki düşey farkların problemi üç boyutludur. Ancak yol mühendisleri yalnızca enine ve boyuna profilleri inceleyerek problemi iki boyutlu hale indirgemişlerdir.

Bir yolda kalite değerlendirmesi yapılacağı zaman dikkate alınacak en önemli yüzey özelliği geometrik düzgünlüktür (Ağar ve diğer 1998).

Yapım sırasında iyi bir geometrik düzgünlük elde edilmesi aşağıdaki faktörlere bağlıdır :

- Üniform kıvama ve yeterli bir işlenebilirliğe sahip, serme makinalarına uyum sağlayabilen beton kullanılması,
- Beton santral kapasitesinin, serme makinalarını, duraklamalara yol açmayacak şekilde sürekli besleyebilecek düzeyde olması,
- Şantiye uzaklığının, taşıma sırasında betonun sertleşmesinden sakınmak için sınırlandırılması,
- Taban zemininin ve kaplama altının yeterli ve üniform bir stabiliteye sahip olması ve iyi tesviye edilmesi,
- Kalıpların, makinaların geçişleri sırasında yerlerinden oynamayacak şekilde monte edilmesi,
- Taze betona donatıların vibrasyonla gömülmesi sırasında geometrik düzgünlüğün bozulmamasına özen gösterilmesi.

3.1.2 Yolların Pürüzlülüğü

Dalga boyları 50 cm'nin altında olan girinti ve çıkıntılar yolun pürüzlülüğünü oluştururlar. Dalga boylarına bağlı olarak pürüzlülüğü, megapürüzlülük, makropürüzlülük ve mikropürüzlülük olarak üçe ayırmak mümkündür (Ağar ve diğer 1998).

3.1.2.1 Megapürüzlülük

Dalga boyları 5-50 cm arasında, genlikleri 10-50 mm arasında değişen girinti çıkıntılardır.

Megapürüzlülük yolun geometrik düzgünlüğü ile makropürüzlülüğü arasında geçiş bölgesi oluşturur. Bu aralık, büyüklük olarak, tekerlek bandajının yol yüzeyine değme alanı değerindedir.

3.1.2.2 Makropürüzlülük

Dalga boyu 0, 5 mm ile 5 cm, genliği 0, 2 – 10 mm arasında değişen girinti ve çıkıntılardır. Makropürüzlülük, kaplamanın ortalama geometrik pürüzlülüğünü, dolayısıyla su drenajı kapasitesini belirtir.

3.1.2.3 Mikropürüzlülük

Dalga boyları 0, 5mm'nin altında, genlikleri 0-0, 2 mm arasında olan girinti ve çıkıntılardır. Mikropürüzlülükte mineral agrega kristallerinin boyutu söz konusudur. Kaplama agregası ile lastiğin temasının kalitesini etkiler

3.2 Beton yolların mekanik özellikleri

Basınç dayanımı, eğilme dayanımı, aşınma direnci, kompasite(doluluk) incelenen mekanik özelliklerdir

3.2.1 Basınç Dayanımı

Yol betonundan alınacak küp ve kiriş biçimindeki örneklerin 28 günlük dirençleri tabloda gösterilen değerlerde olmalıdır.

Normal Portland çimentolarında 7 gün sonunda tabloda belirtilen direnç değerlerinin en az %70'ine, yüksek kaliteli çimentolarda %80'ine ulaşılmaktadır.

Tek tabaka halinde yapılan plaklarda ya da kaplama betonunda en az 350 kg dozaj, Tablo 3.1 deki 1. grup için 350 kg, 2. grup için 270 kg, 3. ve 4. grup için 250 kg çimento bulunmalıdır (Ağar ve diğer 1998).

Tablo 3.1 Trafik yoğunluklarına göre olması gereken dayanım değerleri

Yolun Cinsi	Basınç Dayanımı Kgf/cm ²	Eğilme-Çekme dayanımı Kgf/cm ²
1.Ağır transit trafiği geçiren yollar 1.sınıf devlet yolları: Temel ve kaplama betonları	370	45
2. Orta ağırlıkta trafikli yollar: kaplama tabakası yada tek tabaka temel betonu	300	35
	250	30
3. lokal trafikli konut yolları, kamyonlu park alanları: kaplama tabakası yada tek tabaka temel betonu	250	30
	200	25
4. Kamyonsuz park alanları: kaplama tabakası yada tek tabaka temel betonu	250	30
	200	20

3.2.2 Eğilme Dayanımı

Gevrek bir malzeme olan betonda, çekme dayanımı karakteristikleri kesin bir temele oturtulamamaktadır. Öncelikle çekme deneylerinin yapılmasında teknik zorluklarla karşılaşılır. Bu nedenle eğilmeye maruz kalan malzemenin durumu en güvenilir biçimde, doğrudan doğruya eğilme deneyi uygulanarak incelenir. Bu deneyde büyük çoğunlukla kare kesitli kirişlerin (4x4x16 cm) kullanılması öngörülür. Malzemenin tamamen gevrek cisim olduğu, ancak kırılma anına kadar Hooke Yasasına uygun davrandığı kabul edilir (Ağar ve diğer 1998).

TS 500 ve diğer yeni standartlarda eğilme dayanımı kavramı yer almamaktadır. Bununla birlikte özellikle yol ve hava meydanı pist kaplamalarının tasarımında betonun en az basınç dayanımı kadar "eğilme - çekme" dayanımı veya "kopma - kılma modülü" kavramına gereksinim duyulur.

28 günlük betondaki bu dayanım değerinin 55 Kgf/cm² altında olmaması gerekir (Ağar ve diğer 1998).

3.2.3 Aşınma direnci

Aşınma ve darbe etkileri, betona fiziksel yönden zarar verebilecek etkenlerin arasında sayılır. Bu nedenle, aşındırıcı ve darbe verici etkenlerin ortamda gerçekleşme olasılıklarının ve etki düzeylerinin araştırılması gerekir.

Yüklü taşıt dingillerinin beton yüzeyde oluşturduğu aşınmaya (abrazyon) aşınma direnci denir. Betondaki aşınma direnci, doğrudan doğruya agrega tanelerinin aşınmaya karşı dayanıklılıklarının fonksiyonudur Çimento harcında daha sert agrega tanelerinin varlığı beton üzerindeki aşındırıcı etkileri durdurur. Aşınmaya uygun bünye gösteren kalker gibi yumuşak taşların bulunduğu, ayrıca yol yüzeyini aşındırıcı etkenlerin çok sık rastlandığı yerlerde kullanılacak betonların, aşınmaya karşı dirençlerinin saptanmış olması gerekir Standartlara uygun boyutta (4x6x10 cm) üretilen numuneler döner tablalı Dorry aletinde, sertlik özellikleri bilinen standart kum, su ve sabit yük altında denir. Aşınmaya karşı direnç, döner tablaya 10 cm'lik kenarı dik olacak şekilde tesbit edilen numunenin boyutundaki yükseklik kaybı yüzdesi olarak belirtilir. Betonda aşınma direnci ile basınç dayanımı arasında belirgin bir korelasyon bulunduğundan şartname ve standartlarda aşınmaya dayanıklı bir betonun 28 günlük basınç dayanımının en az 28 N/mm² düzeyinde bulunması gerekmektedir (Ağar ve diğer 1998).

Aşınmaya karşı direncin yeterli olabilmesi için :

- Kullanılan hidrolik bağlayıcının basınç dayanımının ve inceliğinin yüksek olması;

- Bağlayıcı dozajının bütün agrega tanelerini tamamen saracak düzeyde saptanması; (İri agregalı betonlarda 400 - 450 kg, çimento harçlarında 500 - 550 kg),
- Aşınmaya dayanıklı sert agregaların kullanılması ve sertliğin agregada uniform biçimde dağılması, gerekir.

Aşınmaya son derece dayanıklı beton için, sertliği yüksek olan kuvarz ve korendon gibi doğal kökenli agregalar, çelik tozu gibi metal kökenli agregalar kullanılır (Akkaya, Tasdemir, bt.).

Beton yol plağı yüzeyine yakın yerlerde sert agrega tane boyutunun 25 mm'yi aşmamasına, daha iri ve yumuşak tanelerin alt katmanlarda yer almasına özen gösterilmelidir.

Darbelere karşı direnç tayini, beton döşeme ve plakların, ani tekil yüklere karşı davranışlarının değerlendirilmesinde geçerli olan bir kavramdır. Genel olarak darbeye dirençli betonun çekme dayanımı da yüksektir. Bu bakımdan çekme dayanımını arttıran önlemler betonun darbeye de dayanıklı olmasını sağlarlar. Betonun şekil değişikliği yapma yeteneğinin yani elastisite modülünün küçük olmasının darbeye dayanıklılık üzerinde yararlı etkisi bulunur. Bu durumda malzeme daha az şekil değiştirme işi yaparak darbeyi karşılayabilmektedir. Direnç deneyi üniform kalınlıkta kum şilte üzerine mesnetsiz kalmayacak biçimde, tümüyle oturan numune üzerinde yapılır. Darbelere karşı direnç, küçük boyutla prizmatik numuneler üzerinde de ölçülebilir. Çift mesnet üzerine yerleştirilen numune, belli kütledeki bir ağırlığın serbest düşmesinden kaynaklanan enerji ile denenir. Mesnet açıklığı ve düşen kütle arttıkça, numunenin kırılması için gereken düşme yüksekliği azalır (Akkaya, Tasdemir, bt.).

3.2.4 Komposite (doluluk)

Betonun birim hacminde yer alan çimento, kum ve iri agreganın gerçek (mutlak) hacimlerinin toplamına doluluk "komposite" denir.

Doluluk yüzdesinin küçük olması, betonda su veya hava ile işgal edilmiş boşlukların çok olmasına kanıt oluşturur. Boşluk oranının büyük olmasının malzemenin dayanımını azalttığı bilinmektedir. Betonda bu olgu son derece belirgindir. Çünkü sertleşme sırasında boşluklar genellikle iri agrega ile çimento hamuru arasında meydana gelir ve iki bileşenin arasındaki aderansı önemli derecede azaltır. Aderansın küçülmesi ise betonun direncini önemli ölçüde düşürür.

Bir karışımın doluluğunun yüksek olması, o karışımı oluşturan tanelerin granülometrik dağılımına bağlıdır. Betonun yüksek bir doluluğa sahip olabilmesi için granülometrik yönden aşağıdaki koşullar sağlanmalıdır.

- İri agrega miktarı olabildiğince fazla olmalıdır.
- Kum, iri agrega taneleri arasındaki toplam boşluğu dolduracak miktarda olmalıdır. Bu miktardan fazla veya eksik kullanılması doluluğu azaltır.
- İri agrega boyutları kum danelerinin boyutlarına göre ne kadar büyükse doluluk yüzdesi o denli büyük olur.

Çimento miktarının sabit tutulması durumunda, betonun dayanımının yüksek olması, işlenebilirlik için yeterli ve az miktarda su kullanılmasıyla ve doluluk oranının yüksek tutulmasıyla mümkün olur. Diğer bir deyimle beton, doluluğu belirli bir değerin altına düşmemek koşulu ile, mümkün olduğunca fazla miktarda iri agrega ve yine mümkün olduğu kadar az miktarda kum veya ince agrega kullanılarak üretilmelidir.

Doluluk için yukarıda belirtilen ilkeler yerine getirilmiş olsa bile, beton karıştırıcıdan çıktıktan sonra kalıba taşınarak dökülecek, kalıp içinde hareket ettirilip, sıkıştırılacaktır. Belirtilen süreç dahilinde beton karışımı, karıştırıcıyı terkettikten sonra önemli mekanik işlemlerden geçmektedir. Bu işlemler sonucunda karıştırıcıdan çıktığı andaki homojenliğini, doluluğunu ve sonuçta dayanımını kaybetmesi mümkündür. Bu olumsuzlukları dengelemek için betonun kalıba yerleştirilmesi ve sıkıştırılması aşamasında işlenebilirliği ve doluluk oranını arttırıcı vibrasyon tekniklerinden yararlanılmalıdır (Ağar ve diğer 1998).

Tanelerin birbiri üzerinden kayarak hava boşluğu kalmayacak biçimde sıkıştırılması için, titreşim kaynakları (vibratörler) kullanılır. Vibratör kullanımı su içeriği az olan kuru karışımlarda betonun başarılı bir biçimde yerleşmesini sağlar. İstenen dirençteki beton, daha düşük çimento miktarıyla elde edilir. Akıcı karışımlarda segregasyon tehlikesi nedeniyle vibrasyon uygulanmamalıdır. Vibratör uygulanmasında alet üniform olarak her bölgede çalıştırılmalıdır.

Hava alanı pistleri, liman alanları ve yol plakları gibi geniş yüzeyli beton yapılarında, "yüzey vibrasyonu" tekniği giderek önem kazanmaktadır. Bu teknikte vibrasyon kaynağının beton kütesine daldırılması yerine, titreşim kaynağının yüzeyde sabit hız altında dolaştırılması öngörülür (Ağar ve diğer 1998).

3.3 Durabilite Özellikleri

Betonun üretildiği tarihte kazanmış olduğu özelliklerin zaman boyunca giderek zayıflamaması gerekir. Özelliklerin kalıcı olması betonun dayanıklılığını gösterir. Betonun hizmet ömrü boyunca karşılaşılabileceği olumsuz dış etkenler, donma çözülme, ıslanma -kuruma, ayrıca zararlı kimyasal maddeleri içeren su ve hava gibi taşıyıcı ortamlardır. Çevre koşulları dikkate alınmadan yapılan uygulamalarda betonun ileri tarihlerdeki dayanıklılığı sorun oluşturmaktadır.

Hizmet sırasında betonun bozulmasına neden olan başlıca etkenler donatının korozyonu, soğuk iklimlerde donma - çözülme etkisi, bozuk çevrenin fizikokimyasal etkileridir. Bu özellikler nedeniyle betonun tasarımı sırasında, ana amaç olan mekanik dayanımın yanısıra dayanıklılık özelliklerinin de irdelenmesi gerekir. Betonun dayanıklılığı, yerleştirme ve koruma aşamasında gösterilen özenle değişir. Optimum karışım hesabı, en özenli hazırlama tekniği, uygun olmayan yerleştirme ve koruma ile zedelenebilmektedir (Ağar ve diğer 1998).

Üretim ve yerleştirme sonrasında hizmete girecek betonda dayanıklılığın sağlanabilmesi için gereken başlıca önlemler aşağıda sıralanmıştır, bunlar :

- Su/Çimento oranı ve Çimento dozajının sınırlandırılması.
- Dökümde işlenebilirlik yeteneğinin kazandırılması.
- Maksimum doluluk oranına ulaşılması.
- Yerleştirmede ve sıkılamada özen gösterilmesi.
- Geçirimsizliğin sağlanması,
- Çatlakların oluşumunun engellenmesi; dir.

3.3.1 Donma-Çözülme Dayanımı

Betonun herhangi bir nedenle çatlaması, bu çatlaklardan giren suyun hidrate olmamış tanecikleri aktive edip yeni direnç oluşturması anlamına gelmektedir. Diğer taraftan, zararlı çevre etkilerine karşı betonun dayanıklılık özelliği taşıyabilmesi için yeterli doluluğa sahip olması gerekir. Doluluk üzerinde Su/Çimento oranı yanında minimum çimento miktarı da etkilidir. Mekanik direnç açısından da çimento miktarının sınırlandırılması gerekmektedir.

Ortam ısısının sıfırın altına düşmesi durumunda, beton iç yapısındaki boşluklarda bulunan su donarak yaklaşık %8 - 9 oranında hacim artışı gösterir. Bu olgu betonda çekme gerilmelerinin oluşmasına neden olur. Ortaya çıkan gerilmelerin betonun çekme direncini aşması durumunda betonda çatlaklar ve giderek parçalanmalar gözlenir. Betonun donma sonunda çatlama neden olan en baskın etken içerdiği su miktarıdır. Su miktarı fazlaştıkça betonun donma - çözülme süreci sonunda bozulup dağılma riski artar. Buna karşılık boşluklarında su bulunmayan betonlarda donma - çözülme olgusu zararlı etki yaratmaz (Ağar ve diğer 1998).

Betonun donma - çözülme etkilerine karşı dayanıklı olması için önce karma suyunun az miktarda olması yani Su/Çimento oranının sınırlandırılması, daha sonra çatlaksız ve gözeneksiz yani doluluk oranı yüksek ve geçirimsiz olarak üretilmesi gerekir. Ancak betonun boşluklarının az orandaki bir kısmının su tarafından doldurulması durumunda donma olayı zararlı etki oluşturmaz. Çünkü betonda donma sonucu oluşacak hacim artışını karşılayan boşluk bulunacaktır. Yapılan deney ve gözlemlerden betondaki boşluklara yaklaşık %85 'inden fazlasının su ile dolu olması

durumunda betonun donmadan zarar gördüğü anlaşılmıştır. Buna göre betondaki boşluk miktarının ancak belirli bir kısmının su ile dolmasına izin verilebilir. Bu sınır sağlanamıyorsa sertleşmiş beton içinde ufak bağımsız ve küresel hava boşlukları oluşturan hava sürükleyici katkı maddeleri kullanılarak donma zararları önlenir.

Karma suyu miktarları, Su/Çimento oranının maksimum değerleri belirtilerek sınırlandırılmalıdır. Katkı maddesi kullanılarak oran %30 - %40'a kadar düşürülmelidir.

Şartnameler donma - çözülme etkisine maruz kalacak betonlarda Su/Çimento oranını yapı boyutuna ve iklim koşullarına göre sınırlamaktadır.

Iri boyutlu, su emme yeteneği yüksek olan ve kılcal çatlak içeren agregaların, donma -çözülme olayının sık tekrarlandığı sert iklimli yörelerde kullanılması sakıncalıdır. Bu nitelikteki yörelerde donma - çözülme zararları daha çabuk ortaya çıkar.

Havaalanı pistleri, yollar gibi açık hava ile temas eden büyük yüzeye sahip ve kalınlığı az olan yapılarda, alınacak önlemlerle betonların donmaya dayanıklı olmaları sağlanmalıdır. Özellikle yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu ve kapilarite yolu ile betona girebilecek potansiyele sahip sular ciddi önlemler alınarak uzaklaştırılmalı, kapilarite tehdidi önlenmelidir (Ağar ve diğer 1998).

3.3.2 Kimyasal Maddelere karşı Dayanıklılık

Hidrojen, sülfat, nitrat, magnezyum iyonları içeren kimyasal ortamlar, betonun dayanıklılığını son derece etkileyen ortamlardır.

Çimentoların içinde bulunan zararlı maddeler hacim sabitliğini bozan maddelerdir. Kalsiyum Oksit, Magnezyum Oksit ve SO₃ 'ün belirli oranlardan fazla olmaları tehlikeli olmaktadır. Su karşısında, bu maddeler erken veya geç dönemde önemli hacim artışına neden olurlar.

Betonun iç yapısından kaynaklanan ve dayanıklılığı önemli mertebede değiştiren bir olay da aktif silisyum içeren kayalardan gelen agregaların, çimento bünyesinde yer alan sodyum ve potasyum oksit bileşenleriyle ortaya koyduğu alkali - agreg reaksiyonlarıdır. Bu reaksiyon sonunda sonsuz genişleme yeteneğine sahip bir jel ortamı meydana gelir. Jelin ayrıca su emmesi hacmini defalarca artırır. Olay daha zararlı ve belirgin duruma gelir. Genellikle yavaş gelişen alkali -agrega reaksiyonlarının zararlı etkileri, beton üretiminden en az iki yıl geçtikten sonra, kütlede önemli çatlakların oluşması ve direncin kaybolması biçiminde ortaya çıkar.

Alkali - agreg reaksiyonlarının oluşmaması için, aktif silis içeren opal, riyolit, dasit, andezit ve fillat kökenli agregalardan kaçınılmalı, çimento bileşimindeki alkali yani sodyum ve potasyum oksit oranları %0.6'yı aşmamalıdır.

Beton üretimi aşamasında karma suyu olarak kullanılacak suda %1'den fazla SO_3 ve %3'ten fazla Sodyum Klorür bulunmamalıdır.

Sertlik derecesi düşük saf sular, hidrasyon sonucu oluşan kalsiyum hidroksiti (serbest kireci) eriterek bünyeden uzaklaştırırlar. Kireci izleyerek hidrate C_4A ve hidrate silikatların çözünmesi başlar. Bu reaksiyonlar son derece yavaş gelişir. Ancak suyun, betonun bir yüzünden girip diğerinden çıkması ile hızlanabilirler. Doğadaki suların saf olması oldukça seyrek rastlanan bir olaydır. Sürükledikleri maddelerin etkisiyle sular asit ortamlı ($0 < pH < 7$) veya bazik ortamlı ($7 < pH < 15$) olurlar. Beton $pH = 12$ değeriyle kimyasal yapı yönünden bazik bir karaktere sahiptir. Bu bakımdan tüm anorganik ve organik asitler, konsantrasyon oranlarına göre betona az veya çok zarar verirler.

Doğal sular içinde erimiş olarak bulunan karbon dioksidin oluşturduğu karbonik asit, çimento silikatlarının hidrasyonu sonucu oluşan sönmüş kireçle reaksiyona girerek, suda eriyebilen kalsiyum karbonat oluşturur. Karbonatlaşma adı verilen bu olay, betonun direnci üzerinde olumsuz etki yaratır. Humuslu topraklardan geçen doğal sular hümik asit içerirler. Yüksek konsantrasyonda hümik asit taşıyan sular betonun iç yapısını etkileyip erozyon yaratırlar (Ağar ve diğer 1998).

3.3.3 Betonun-ısıya ve Ateşe Dayanıklılığı

Sızan akaryakıt veya motor yağlarının tutuşması, kaza sonucu araçların yanması gibi durumlarda, beton yol plağının yüksek ısıya maruz kalmış kesimlerinde direnç testleri yapılmalı, malzemenin geri kalan mekanik direnç potansiyeli ve dayanıklılık düzeyi gözden geçirilmelidir. Şüpheli durumlarda yapıdan örnek alınıp laboratuarda mekanik ve kimyasal yoldan performans değerlendirmesi yapılmalı, gerekiyorsa lokal onarım programı geliştirilmelidir (Ağar ve diğer 1998).

3.4 Beton Yollarda Bozulmalar

Beton yolların bakımında izlenecek en uygun davranış, iyi gereç ve uygun yapım yöntemlerine başvurarak onarım gereğinin olabildiğince seyrekleştirilmesidir. Beton yolda görülen kusurlar, taban zemini hazırlanırken önemli bir noktanın gözden kaçırılmış veya beton gereçlerinin seçiminde ya da döşemenin yapımına gerektiği kadar dikkat edilmemiş olmasından ileri gelir.

İyi gereç ve işçilik dışında çok önemli başka bir sorun, yolda görülebilecek yüzey kusurlarının hemen düzeltilmesi ve bunda hiçbir gerekçeyle geç kalınmamasıdır. Aksi takdirde küçük kırıklıklar gittikçe aşınarak büyük çukurlara dönüşür Bunları onarmak için de pahalı işler yapılması gerekir. Beton yüzeyinde oluşacak herhangi bir çatlağın kenarları, üzerinden geçen tekerlek yükü etkisi altında sürekli olarak gerilmelere maruz kalır. Bu yüzden bakımda geç kalınırsa, zamanla bu çatlaklar genişler. Yol yüzeyi, yılda en az bir kez iyice incelenmeli ve çatlaklar onarılmalıdır. Bu şekildeki bir onarım işi genelde ucuza malolur (Ağar ve diğer 1998).

Rijit bir üstyapı olmasına karşın beton yol plaklarında, gerek betonun özellikleri gerekse yan etkiler ve faktörler nedeniyle bazı bozulmaların görülmesi hiç de ender rastlanan hallerden değildir. Bu bozulmalar başlıca; Çatlakların Oluşması, Çukurların Oluşması, Plak Oturmaları, Genleşme Derzlerindeki Bozulmalar, Alt Yapı Tesis İnşaatının Yol Açtığı Bozulmalar ve yüzeysel pürüzlülüğün azalması şekilleriyle kendini gösterir.

3.4.1 Çatlaklar

Plak betonunun dökülüp düzeltilmesinden az sonra ve yolun trafiğe hizmet ettiği daha ileri zamanlarda, beton plak üzerinde oluşmaktadır.

Plak Kalınlığının Yetersizliği: Projelendirme safhasında, göz önünde tutulan parametrelere bağlı olarak saptanmış olan plak kalınlığı, yolun taşıdığı trafik yüküne karşı yetersiz kalmışsa, öngörülen gerilmelerin üzerindeki gerilmelere, bu plağın yeterli ve beklenen direnci gösteremeyeceği açıktır; Bu da ilk aşamada plağın, bütün kalınlık boyunca kırılması şeklinde görülen çatlaklarla ortaya çıkar.

Uygun Olmayan Derz Aralıkları : Derz aralıklarının kesin hesabı için bir yöntem bulunmamakta ve bu aralıklar, deneysel olarak saptanmaktadır. Gözlem ve deneyler sonunda yarım derzler arasının 6 ila 9 metre, genişleme derzlerinin arası ise 25 ila 35 metre kadar olması önerilmektedir Bu değerlerin altındaki açıklıklar, konfor ve maliyeti olumsuz yönde etkilemekte, çok üzerindeki açıklıkların ise genişleme gerilmelerini tek bir yerde toplayamaması; sonucu, çatlamların oluşmasına yol açmaktadır.

İklim Etkisinin ihmali: Çok soğuk veya çok sıcak ve daha da önemlisi günlük sıcaklık farklarında büyük değişmeler olduğu bölgelerde, betonun yapı ve özellikleri nedeniyle doğacak ani gerilmelerin dikkate alınması gerekmektedir. Plaklarda sıcaklık farklarından doğan bu gerilme ve deformasyonlar, bir ölçüde genişleme derzleri ile karşılanmakta, ayrıca plak altında imal edilecek bir Kaplama Altı Tabakası da bu konuda yararlı olmaktadır.

Ağır Yükleme : Projelendirmede göz önünde tutulan parametrelerden biri de o yol üzerinde seyredecek trafiğin yük etkisidir. Taşıt yüklerinin gerek tekerrür sayısı, gerekse tona itibariyle düşük alınması veya artışındaki tahminlerde hataya düşülmüş olması durumlarında hesaplanmış olan geometrik boyutların yetersiz kalması, öngörülenin üzerindeki yüklemeler ve bunun doğuracağı gerilmeler sonunda beton plakta çatlamlar oluşmaktadır.

Betonun Bileşim Hesaplarındaki Hatalar : Bu hesaplar, ideal granülometriye sahip belirli miktardaki bir agreganın, yine belirli bir miktardaki su ve çimento ile bağlanması, istenen dirençte, boşluksuz veya şartname sınırlarını aşmayan boşluk oranındaki betonun yapılmasını amaçlamaktadır. Hesap hataları sonunda, fazla boşlukta, düşük dirençli bir betonun, öngörülen trafik yüklerine dayanması söz konusu olamaz. Bu dayanıksızlık da kendini, betonun çatlama yapması ile göstermektedir (Ağar ve diğer 1998).

Betonun dökülüp mastarlanması ile prizini alması arasındaki sürede bu plağın, önce şişme sonra da rötreten dolayı belirli gerilmelere maruz kaldığı bilinmektedir. Özellikle de rötre gerilmeleri, prizini almakta olan betonda gözle görülür yüzeysel çatlaklar meydana getirir. Perdahlamanın geç yapılması durumunda yerleşik bir özellik gösteren çatlakların yok edilmesi olanak dışı kalır. Bu yüzeysel çatlaklar, beton plağın o kesimlerinde kesit zayıflığına yol açmakta, daha sonra tam kalınlık çatlama ve nihayet çukurlara yol açmaktadır.

Betoniyerde gerekli bir karışma süresi geçirmeden dökülen veya segregasyona uğrayan beton da, değişik noktalarında aynı şiddette gerilmelere maruz kalmasına rağmen farklı davranış göstermekte, zayıf olan yerde de çatlama ve kırılmaktadır.

Betoniyerden yola dökülen ve ilk serme düzeltmesi yapılan betonun, gerektiği şekilde vibratörle sıkıştırılması gerekmektedir. Vibrasyonun hiç uygulanmaması, düşük yoğunluklu, zayıf dirençli bir beton oluşmasına sebebiyet verir. Vibratörün betonda gerekenden uzun sürede tutulması da, iri malzemesi aşağıya çökmüş, ince malzemesi ve çimentosu üstte kalmış, homojen olmayan bir betonun ortaya çıkmasına neden olur. Bu nedenle vibratörü kullanacak kişinin de bu konuda deneyimli bir kişi olmasına özen göstermek ve vibrasyon sırasında da kontrol edilmek zorunluluğu bulunmaktadır (Ağar ve diğer 1998).

Gerek beton bileşimindeki hesaplarda, gerekse betonun bütün imalat ve inşaat safhalarında hiçbir hata yapılmaması, sadece kullanılan malzemenin (agrega, çimento, su) niteliksiz olması durumunda dahi yetersiz kalmakta, kalite malzeme

kullanılmamış olmanın sonucunda da istenen dirençte beton elde edilemeyeceğinden bu zayıf direncin ilk göstergesi olan çatlakların görülmesi veya ortaya çıkması, kaçınılmaz olmaktadır. Bu da inşaat öncesinde, kullanılacak malzemenin seçim, deney ve kontrolünün ne denli önem taşıdığını ortaya çıkarmaktadır.

Beton suyunda, yetersiz koruma nedeniyle oluşacak erken bir su kaçağı, bağlayıcı çimentonun eksik hidrasyon yapması sebebiyle beton direncine olumsuz yönde etkilemekte, böylece öngörülmuş trafik yüklerine maruz kalan daha düşük dirençli betonda çatlaklar meydana gelmektedir (Ağar ve diğer 1998).

3.4.2 Çukurlar

Beton plakta, çizgisel bir bozulma şekli olan çatlakların, yüzeysel bir bozulma olan çukurlara dönüşmesinin, oluşmuş çatlakların ihmal edilip zamanında onarılmaması nedeniyle meydana gelebileceği gibi, betondaki ayrışmalardan da olabileceği söylenebilir.

Homojen olmayan betonda, iyi sıkıştırılmamış betonda ve niteliksiz malzeme ile imal edilmiş betonda da malzeme ayrışmasının yarattığı çukurlar şeklinde kendini göstermektedir. Burada esas neden, betonun yer yer veya bütünü ile boşluklu olmasından ileri gelen dirençsizliği ve malzemesinin iyi olmamasından ileri gelen zayıflığı olmaktadır. Bu durumda bağlayıcı çimento, bu bağlayıcılık görevini gerektiği gibi sürdürememekte ve sıkı bir şekilde bağlanamayıp ayrılan agrega daneleri serbest kalıp çukurların oluşmasına yol açmaktadır (Ağar ve diğer 1998).

3.4.3 Plak Oturmaları

Beton plağın bir bütün olarak düzey değiştirdiği ve göçtüğü gözlenir. Bu bozulmanın nedeni altyapıdan kaynaklanmaktadır. Ayrıca, yeraltı suyu veya pompaj etkisi ile de altyapı zemininin zamanla kaybolması da beton plağın oturmasına neden olmaktadır(Ağar ve diğer 1998).

BÖLÜM DÖRT

BETON YOLLARDA KULLANILAN MALZEMELER

Klasik çimento betonu üst yapı tekniğinde karışım, yerine kalıplama ve vibrasyon yöntemiyle yerleştirilir. Böylelikle malzeme ve bileşenleri işlem sırasında karışıma zarar verici zorlamalara maruz kalmazlar. Bu olgu yapı bünyesine giren bileşenlerin en uygunlarının seçiminde olumlu yönde rol oynar. Sonuçta, yerel malzemelerin en iyi kullanımı ve maliyetlerde tasarruf söz konusu olur.

Betonun bileşenleri çimento, mineral agrega, su, zaman zaman çelik donatı, işlenebilirliği arttıran veya prizi geciktirici kimyasal katkılarıdır. Bu etkenlere, betonun kürü için gereken malzemeler ve derz dolgu malzemeleri de eklenebilir. Belirtilen bileşenlerin her birinin yapıda veya karışımda, çok iyi tanımlanmış rolü ve etkisi bulunmaktadır. Ayrıca her bileşenin, amaçlanan özelliklerin elde edilmesinde önemli katkısı vardır. Bu nedenle her bir bileşenin karışımdaki görevinin gözden geçirilmesi, ilgili kural ve sınırlamaların tayini, kullanım sırasındaki özel koşulların belirtilmesi gerekli olmaktadır.

Beton yol döşeme kalınlıkları genellikle 0, 15 m'den daha fazla olarak imal edilirler. Beton dökme tek geçişle gerçekleştirilir. Bazı bileşenlerin tüketim değerleri son derece büyük miktarlara ulaşacağından, malzeme sağlanması, depolama alanlarının oluşturulması ve şantiyenin optimum düzeyde organizasyonu konularının son derece dikkatli incelenmesi gerekmektedir (Ağar ve diğer 1998).

4.1 Beton yollarda Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

Beton yolu diğer yapı elemanlarından ayıran en önemli özelliği yüzey özellikleridir. Ayrıca şiddetli çevresel etkilere maruzdur. Bu bakımdan diğer bütün yapılarda olduğu gibi beton yollarda da dayanıklılık (dürabilite) önemlidir. Beton yolların tasarımı, dayanımdan çok dürabiliteye göre yapılmalıdır.

Yol yapımında kullanılacak malzemelerden istenilen en önemli özellik, proje şartlarını ekonomik olarak yerine getirmesidir. Bunun yanında, uzun kullanım ömrü, düşük bakım-onarım harcamaları, yapım ve onarım süresinin kısa olması, çevreye uyum, atık maddelerin kullanılabilmesi ve kalite kontrol işlemlerine uygun olma gibi özelliklerde gözönünde bulundurulmalıdır.

Dolayısıyla bir beton yol tasarımında amaç, belirlenen proje ömrünün en ekonomik şekilde karşılanmasıdır. Bu nedenle beton yolun dayanım ve dayanıklılık özellikleri belirlenmeli, uygun bir mekanik model kullanılarak beton yolun ömrü tesbit edilmelidir. Böylece betonun beklenmedik bir şekilde servis ömrünü azaltacak etkenler ortadan kaldırılmalıdır (Akkaya, Taşdemir, bt).

Beton yol projesinde, beton üretiminde kullanılacak malzemelerin özellikleri de gözönünde bulundurulmalıdır. Yolun servis ömrünü karşılayabilmek için inşaatta kullanılacak malzemeler, yeterli dayanım ve dayanıklılığa sahip olan en ekonomik malzemeler olmalıdır.

Yol yapımında kullanılacak beton malzemelerinden istenilen belli başlı özellikler şunlardır:

1. Kullanılacak kimyasal katkıların birbirleriyle ve bağlayıcı malzemelerle etkileşimi ön deneylerle belirlenmelidir.
2. Kullanılacak agregaların sağlanacağı kaynaklar belirlenmeli, kalite kontrol deneyleri geliştirilmeli ve alkali-silika reaktivitesi deneyleri yapılmalıdır.
3. Kullanılacak çimentonun kimyasal özelliklerinin ve inceliğinin beton özelliklerine etkisi belirlenmeli ve kullanılacak agrega tipine göre alkali içeriği tesbit edilmelidir.
4. Kullanılacak su/çimento oranı sistematik bir şekilde belirlenmeli ve bunun geçirimsizliğine olan etkisi tesbit edilmelidir. Su/çimento oranının mikro çatlaklara ve

aşırı büzülmeleere neden olması engellenmeli ve beton dökümü sırasındaki hava durumu ve beton bakım şartlarına göre su/çimento oranında ayarlamalar yapılmalıdır.

5. Kullanılacak malzeme karışım oranları, betonun dayanıklılığı yönünden sorun çıkarmamalı ve donma-çözülme hasarlarına yol açmamalıdır. Malzemelerin çeşidi ve miktarı, betonun taze ve sertleşmiş halde öngörülen özelliklerine uygun olmalıdır. Laboratuvardan inşaat sahasına geçerken yapılacak düzeltmeler belirlenmelidir. Farklı beton karışım zamanları, üretim yerleri ve yerleştirme teknikleri için düzenlemeler yapılmalıdır. Yerleşmiş betonun hava boşluklarını tayin edecek yöntemler geliştirilmelidir. Beton bakımı için kullanılacak kür malzemeleri, beton dökümü sırasındaki hava şartları ve betonda kullanılan karışım oranına göre belirlenmelidir. Agrega şekli ve karışım oranlarına göre agregaların beton içinde nasıl paketlendiğini karakterize edecek bir metod geliştirilmelidir. (Akkaya, Tasdemir, bt).

4.2 Çimento

Beton yol üst yapı uygulamasında standartlara uygun ve çabuk işlenebilme bakımından belirli ek koşulları sağlayan bazı çimento türleri kullanılmaktadır.

Genel tanım olarak çimento, su ile karıştırıldığında, az veya çok akıcı niteliğe kavuşan, sadece suyun etkisiyle priz yapan, katılaştıran ve nihayet sertleşen ince taneli malzemedir. Tane boyutları büyük oranda 90 mikronun altına düşürülmüştür.

Çimento, kimyasal yönden duyarsız iri çakıl, kırma taş, kum gibi mineral malzemelerin büyük miktarlarda ve değişik oranlarda bir araya gelerek katı bir cisim oluşturmasında bağlayıcılık rolü üstlenir. Teknik ve ekonomik yönden genel eğilim, ana bileşen olarak portland klinkeri yanısıra, puzolanların, yüksek finn cüruflarının ve termik santral uçucu küllerinin ikincil bileşen olarak kullanılmasıdır.

Beton yollarda basınç dayanımı yeterli, eğilme çekme dayanımı yüksek, rötresi az ve yavaş priz yapan çimentolar tercih edilir.

Beton yollarda Portland Çimentosu (32.5 - CEM I 32.5) kullanılır. Çimento için bazı ek koşullar da vardır. Çimento çok ince olmamalı ve 2 saatten önce priz almamalıdır. 1980'lerde 5 – 10 yıllık beton yollar üzerinde çatlamlar görüldü. Bu çatlaklar büyüyerek yolun bozulmasına neden oldu. Hasarlı yolların tümünde Na₂O miktarı % 1-1.4 arasında olan çimentolar kullanılmıştı. Bu çatlamların alkali agrega reaksiyonundan kaynaklandığı tam olarak doğrulanamadı. Çünkü, agregalar farklı kaynaklardan elde edilmişti. Yüksek alkali miktarından oluşan reaksiyonlar sonucu iç ve dış gerilmeler artmaktadır. Bu olaylardan sonra alkali oranı % 1' in altında çimentolar kullanılmış ve bir daha bu olaylarla karşılaşılmamıştır (Akalin, bt.).

4.3 Agregalar

Mineral kökenli, genellikle 100 mm'ye kadar çeşitli boyutlarda tanelerden oluşan malzemeye "Agrega" denir. Betonun hacim bazında %60 - %75'ini, ağırlıkça da 4/5'ini agrega oluşturur. Agreganın karakteristikleri taze ve sertleşmiş betonun özelliklerini, karışım oranlarını ve maliyeti önemli ölçüde etkiler.

Beton agregası doğal kum ve çakıl karışımlarından, ayrıca yapay kırmataş (mıcır) malzemedan meydana gelir. Doğal agregalar taş ocaklarından, kurak mevsimde dere ve göl yataklarından, deniz ve nehir tabanlarından, çöllerden elde edilirler. Bu takdirde agregalar yuvarlak biçimli olup, "Doğal Kum" veya "Çakıl" olarak adlandırılırlar. Hedeflenen boyutların elde edilebilmesi için iri taş kütleleri konkasörde kırılıp agrega daha ufak tane boyutuna indirgenebilir. Bu durumda taneler köşeli ve pürüzlü yüzeyli olup, "kırmataş - mıcır" veya "kırma kum" adlarını alırlar (Ağar ve diğer 1998).

Beton üretimine uygun nitelikteki bir agrega temiz, sert ve sağlam olmalı, bu özelliklerinin yanısıra suyun etkisiyle yumuşamamalı, dağılmamalı, çimentoların bileşenleriyle zararlı bileşikler meydana getirilmemeli ve donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye düşürmemelidir. Beton üretiminde kullanılacak agregaların yuvarlak (küresel) biçimde olması, işlenebilirlik yeteneğini ve betonun doluluğunu (kompasitesini) arttıracak nitelik gösterir. Bu bakımdan vibrasyon yöntemiyle kalıba yerleştirilecek olan betonlarda yuvarlak biçimli doğal agrega tercih edilir.

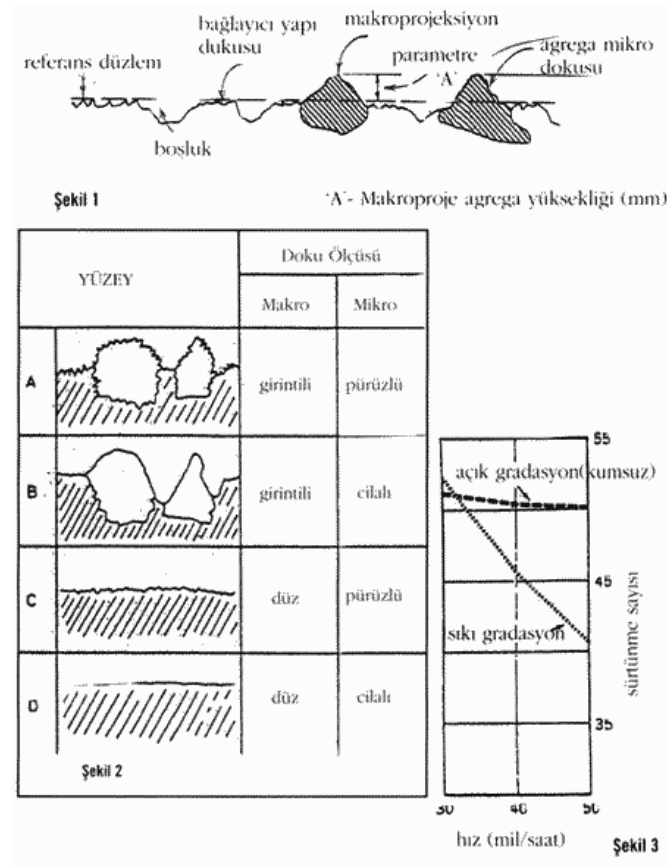
Aşınma tabakasını oluşturan üst betonda uygulanacak agreganın basınç dayanımı yüksek (en az 1500 kgf/cm^2), aşınma direnci büyük ve hava etkilerine dayanıklı malzemeden sağlanması gerekir. Kırmataşın (mıcırın) tane biçimi, kübik forma yeterince yakın olmalıdır.

Yassı ya da uzun tane formlu mıcırlar, betonun işlenebilme yeteneğini azaltırlar. Kırmataş yapımına uygun kayaç cinsleri granit, diyabaz, kuvars, kalker, andezit ve benzerleridir.

Agreganın içinde %2'den fazla lemlı, killi ve siltli toz kısım varsa, bu agrega yığınının yıkanması gerekir. Agregaların jeolojik kökenleri, bunların beton üretiminde kullanılıp kullanılmıyacağını belirler. Agreganın hangi kayaçtan oluştuğu petrografik, içinde hangi minerallerin bulunduğu ise mineralojik analizlerle ortaya çıkar. Çimento hamuru ile en iyi aderansı gerçekleştiren kayaçlar kalsiyum karbonatlar yani kalkerler, en kötü aderansı sağlayanlar kalsiyum sülfatlı kayaçlardır.

Beton yol yapımında kullanılan agregaların niteliğinde yapısal betondaki kullanımdan daha sıkı şartlar getirilmektedir. Betonun üst kısmında bulunan bölümde en az % 50'si 8 mm'nin üzerinde büyüklükte olmalı ve agregaların en az % 35' i kırılmış olmalıdır. Buna ek olarak, donma - çözülme ve aşınmaya karşı dayanıklılık kontrolü, yapısal betona göre daha dikkatli yapılmak durumundadır (Akalin, bt.).

Kaymaya dayanıklı yol kaplama inşaatında ve kayma dayanımının korunmasında önemli olan kaplamanın yüzey yapısıdır. Mikro doku ise, pürüzlülük ve ikinci sıra düzensizlik ile aynı anlama gelmektedir. "Asperitiy" terimi yüzeyin süreksizliği gibi mikro doku ile pürüzlülük özelliklerini tanımlamak için kullanılırlar. Bu yüzey dokusunun özellikleri, Şekil 4.1 ve Şekil 4.2 de gösterilmektedir. Makro doku, bağlayıcı ile birlikte kaba agreganın kullanılmasıyla elde edilir. Yine bu makro doku, araçların lastikleri ile yol kaplamalarının temas noktasındaki ara yüzeyinden suyun sızması için kanalların oluşmasını sağlar. Mikro doku, yalnız kaba agreganın yüzeyi ile ilgilidir ve agreganın dokusuna ve minerolojik yapısına bağlıdır. Her iki yapının da ıslak kaplama üzerindeki kaymayı ve su üzerinde kızaklanmayı önlemesi gerekir. Optimum mikro dokunun korunması, agrega parçacıklarının cilalanmasını ve düzlenmesini de engeller anlamına gelmektedir. Her ne kadar agrega parçacıklarının şekilleri, asfalt kaplamalarda kayma dayanımı için başlıca faktörmüş gibi gözükse de, birçok değişkenin bileşim ve yapı tarafından sağlanması yüzünden, şeklin öneminin daha az olduğu görüşü vardır (Demir, çev, bt.).



Şekil 4.1 Agreganın dokuları

4.3.1 Agregaların sınıflandırılması

Agregalar; üretim şekline göre doğal ve suni olmak üzere 2 ana grupta toplanır. Ayrıca dane büyüklüğüne göre kare delikli (4 mm) veya yuvarlak delikli (7 mm) eleklerden geçen; ince agrega (Kum, Mıçır No :1) , geçmeyen; iri agrega (Çakıl , Mıçır No : 2-3) olmak üzere 2 bölüme ayrılır.

4.3.2 Uygun granülometrinin belirlenmesi

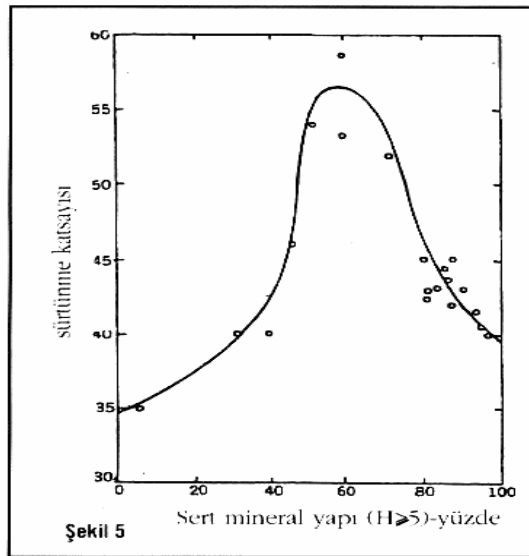
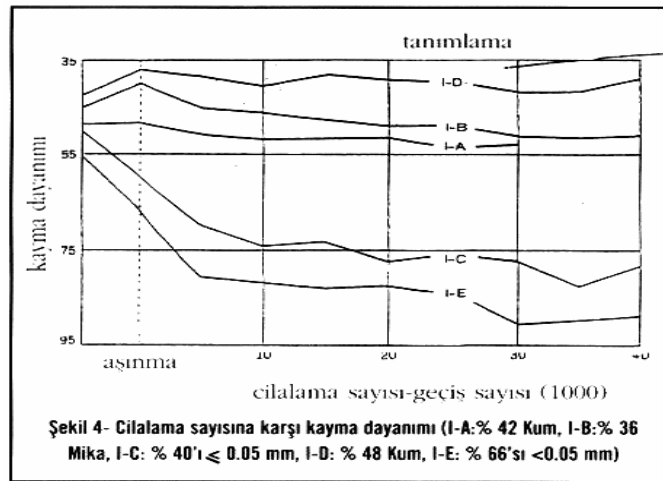
Açık kaba agrega dağılımının, asfalt kaplamasının hareket ve sürtünme yüzeyinde lastik ile kaplamanın temas bölgesinin korunması sırasında drenaja izin vererek kaymayı minimize ettiği bulunmuştur. Yüksek hızlarda kayma direncinin, daha az göz kamaşması, ıslak havalarda da daha az su sıçraması ve daha düz sessiz bir sürüş yüzeyi gibi ek üstünlükleri de vardır (Demir, çev, bt.).

4.3.3 Agregada bileşimi ve dokusu

Asfalt kaplamalarda mikro dokunun kaba agregalar tarafından korunması, aynı trafik koşullarında petrografik karakteristiklerin de ana fonksiyonudur. Bileşim ve tane büyüklüğü, baskın petrografik faktörlerdir. Bileşimle ilgili olarak sert silikat minerallerinin yumuşak karbonatlara göre daha yavaş aşındığı gösterilmiştir. Karbonatların aşınma hızlarında değişiklikler olabilir. Daha kolay aşınanlar, kaba kristal karbonat yapıya ve yüksek oranlarda çözülmez asit malzemelere sahiptir ki, en iyi çözülmez malzeme olarak kuvars parçacıkları örnek gösterilebilir. Verilen herhangi bir bileşimde, üniform bileşime sahip kaba taneli taşlar, ince taneli taşlara göre daha büyük bir cilalanma gücü gerektirmektedir (Demir, çev, bt.).

Bazı agrega tanecikleri farklı sertliklere sahip minerallerden meydana gelmişlerdir. Bu tür bir agrega taneciğinin farklı aşınması ve üniform bileşimi, diğer agregalara göre istenilen mikro dokunun daha uzun bir süre korunmasını sağlar. Örnek olarak, çözülmez tortu olarak kuvars tanelerine sahip karbonatlı agregalar, kompoze üniform karbonatlardan daha iyi bir performans gösterirler.

Kalsit ve kuvarsin farklı sertliğe sahip olması (Şekil 4.1) agregaların kayma performansları üzerinde önemli bir etki oluşturur. Döküntü tortul kayaçlar (örneğin: yumuşak karbonat çimentosu ile kuvars kırma taş) aynı zamanda servis sırasında kaba bir dokuyu muhafaza eder. Üniform bileşim ve tane büyüklüğüne sahip sert kuvarsit, karışık bileşimli agregalardan daha hızlı olarak yüzeyi parlar. Optimum sert mineral içeriği minimum sertlik farkının %50 ile %70 oranlarında vermektedir (Şekil 4.1). Bu şekil ayrıca daha önce üniform sert mineral agregalar için açıklananları ortaya koymaktadır. Kaba agregaları, genel kaymaya karşı gösterdikleri direncin özellikleri ve farklı sertliklere özgü özellikleri hakkında geniş kapsamlı belgeler yayınlanmıştır (Demir, çev, bt.).



Şekil 4.2 Agregaların kayma dayanımı ve sürtünme katsayısı

LA aşınma testinde, ince tanelerin plastiksiz yapıda olup olmamasına bağlı olarak, ince malzemelerin miktarlarında değişiklikler görülebilir. İnce malzemelerin plastisitesi ve potansiyeli, drenaj problemleri dikkate alınmayarak, dağılım daha yoğun bir hale gelecek şekilde max. LA yüzdesi destekleme kaybı meydana gelmeyecek şekilde belirlenmelidir. Amerika ve Kanada demiryolları için bu maximum oran %20 ile %40 arasında değişmektedir. Benzer olarak maximum %5 sodyum sülfat kaybı ve %3 donma –çözünme kaybı, 0,55 – 0,70 oranları arası ve maksimum sertliği için minimum ortalama değeri 5,0 olarak tavsiye edilmiştir. (Demir, çev, bt.)

4.4 Beton Karma Suyu

Beton karışımının üretilmesinde kullanılan suya özel itina gösterilmesi gerekmektedir. Çünkü beton malzemesinin önemli bileşenlerinden biri olan karma suyunda bulunabilecek eriyik ve askıdaki çeşitli maddeler çimentonun priz sürelerini, betonun direncini ve işlenebilme yeteneğini etkileyebildikleri gibi, beton yüzeyinde lekelenmelere ve donatının korozyonuna yol açabilmektedir. Çeşitli standartlarda veya şartnamelerde genelde beton karma suyundan istenen nitelik "içilebilir su" olmasıyla belirtilmektedir. Bu tanım, karma suyunda beton özelliklerini olumsuz etkileyebilecek ölçüde zararlı madde bulunmaması gerektiği anlamına gelmektedir. Eğer beton karışım suyunun niteliğinden şüphe ediliyorsa laboratuarda suyun kimyasal analizi yaptırılabilir veya bu suyla üretilen betonun dayanımı, kalitesinden emin olunan suyla üretilen özel örnek betonun dayanımıyla karşılaştırılır.

Karışımında kullanılacak karma suyunda asidik ortam bulunmaması yani pH değerinin 7'nin üzerinde olması istenmektedir. Karma suyundaki asitli ortam, çürümüş bitki köklerinden oluşan hümit asitten kaynaklanır. Bu asit priz olayını geciktirir. Suya kanalizasyon karışırsa, şeker ve nişasta gibi organik maddelerin olası varlığı priz geciktirici rol oynar. Endüstriyel bölge atık sularında rastlanabilecek ağır metal oksitleri ve tuzlan (Hg, Pb, Zn) priz süresini etkiler. Olası deterjan ve likit yağ kirlenmeleri, karma suyunun priz, katılma ve sertleşme üzerindeki rolünü geriletir (Ağar ve diğer 1998).

Manganez, Magnezyum, Amonyum ve tuzlan, hidrate olmuş çimento bileşenlerini iyon değişme yolu ile tahribederler. Donatı demirlerinin paslanmasına yol açacak Klor ve Sülfat iyonlarının üst sınırları sırasıyla 0, 5 gr/lt ve 1 gr/lt dir. Aşındırıcı özellik taşıyan karbonik asit ve priz geciktirici yağların karma suyunda bulunmaması gerekir.

Bulanık sulan, bulanıklığa neden olan askıdaki kil ve silt gibi maddelerin miktarı 2 gr/lt den fazla değilse beton karışım suyu olarak kullanılmasına izin verilmektedir. Çözülmüş tuzlarda bu sınır bir miktar yüksek tutulabilir (Ağar ve diğer 1998).

4.5 Donatı

TS 500'de donatının tanımı, belirtilen ilke ışığında, "Betonla birlikte çalışmak üzere, yapı elemanlarının betonu içine sıyrılmayacak bir biçimde yerleştirilmiş çelik çubuklar" ifadesiyle verilmiştir.

Bu genel ilke yanısıra, yol betonlarında kullanılan donatıların diğer önemli bir işlevi de betonun rötresinden kaynaklanan şekil değiştirmelerin ve kılcal çatlakların, beton ve donatı arasındaki aderansın yardımıyla, üniform olarak dağıtılmasıdır. Bu durumda yüksek aderans sağlayan donatı tipleri seçilmelidir (Ağar ve diğer 1998).

Beton yol inşaatında diğer bir donatı kullanma alanı da derzlerdir ve düşey yük transferinin sağlanması için "Kayma Demirleri" kullanılır. Bu demirlerin çapları plağın kalınlığına bağlı olarak 20 mm'den fazla seçilir. Boyları genellikle 80 - 100 cm'dir. Demirin yüzeyi kaymayı sağlamak için nervürlü olmalıdır. Sertleşmiş betonun içinde, plağın genişmeden kaynaklanan şekil değiştirmesine engel olmamak için plastik veya bitümlü bir film tabakası ile kaplanmış olurlar (Ağar ve diğer 1998).

Derzlerin veya çatlakların zamanla açılıp genişlemelerini önlemek amacıyla kullanılan donatılara "Bağlantı Demiri" denmektedir. Yüksek aderanslı olan bu tip donatılar genellikle 12 mm çaplı ve en az 80 - 100 cm uzunluğunda olurlar.

Sürekli betonarme yol tekniğinde kullanılan plak donatıları da yüksek aderanslı türden seçilirler. Kullanılan demir çapları 12-16 mm'dir. Firkete boylan genellikle 12 - 18 m'dir.

Beton yol tekniğinde kullanılan diğer bir donatı türü de kaynak ile çubukları bağlanmış prefabrike hazır demirlerdir.

4.6 Hava sürükleyiciler

Betonda en az % 4 sürüklenmiş hava bulunmalıdır. Sürüklenmiş hava kabarcıkları arasındaki boşluklar 0.2' mm den daha fazla olmamalıdır (Akalin, bt).

BÖLÜM BEŞ

BETON YOLLARDA KULLANILAN BETONLAR

5.1 Yol Betonu ile Geleneksel Betonun Farkı

Bir yol betonu bileşim olarak, genelde diğer inşaat betonları ile benzer özellikler göstermekte ise de, yol betonu yine de diğer betonlara göre, kullanılma yeri ve kullanılış biçimi nedenleriyle bazı farklılıklar gösterir. Su/Çimento oranı diğer betonlarda 0, 50 civarında iken yol betonlarında bu oran 0, 35 - 0, 45 değerindedir. İşlenebilirliği azaltabilecek bir olumsuzluk gibi görünen bu husus, uygun bir vibrasyonla iyi duruma getirilmekte, aynı zamanda beton dayanımında çok önemli artışlar sağlanmaktadır.

Diğer betonlarda 40 mm olan maksimum agrega tane boyutu, yol betonunda 70 - 80 mm'ye çıkabilmektedir. Gerek Su/Çimento oranının düşürülmesi, gerekse maksimum tane boyutunun arttırılması ile yine oldukça yüksek dirençli beton imali öngörülmekte ve sağlanmaktadır (Ağar ve diğer 1998).

Genelde daha az önemli bir parametre olarak görülen ve 0, 60 olarak kabul edilen Kırmataş/Çakıl oranı, yol betonunda yine önem kazanmakta ve bu oranın değeri 0, 60 ila 1, 00 arasında seçilmektedir. Çakıl malzemesi kırmataşa göre daha dirençli, ayrıca yuvarlak ve pürüzsüz bir malzeme olarak görülür. Bu nedenle Kırmataş/Çakıl oranının arttırılması, ilk bakışta beton dayanımı üzerinde olumsuz rol oynayabilecek bir görüntü vermekte ise de, gerçekte bu durumun tam aksi bir sonuçla karşılaşmaktadır. Çünkü kırmataş malzemesi, iç kenetlenmeyi ve içsel sürtünmeyi arttırdığı gibi, çok daha önemlisi beton yolun yüzeyindeki Kayma Sürtünme Katsayısının da artmasına ve böylece Yol Güvenliğinin fazlaşmasına olanak vermektedir. Buna karşılık işlenebilirliğin azalabileceği olasılığı karşısında yine iyi bir vibrasyonla bu sakınca giderilmektedir (Ağar ve diğer 1998).

Yol betonunun büyük bir yüzeysel alana sahip olması ve beton dökümü sonrasında büyük ölçüde rötreye maruz kalıp üzerinde rötreye çatlaklarının oluşması nedeniyle, rötreye azaltıcı katkı malzemesinin kullanılması, Israrla önerilmektedir. Bunun yanısıra diğer bir katkı maddesi olarak priz çabuklaştırıcıların da uygulanması, soğuk havada beton dökümü ve yolun trafiğe açılmasında çabukluk gerektiren durumlarda zorunlu ve son derece yararlı olmaktadır (Ağar ve diğer 1998).

- İşlenebilirlik ve Çökme Deneyleleri :

Betonun kararlılığı serme makinalanna göre belirlenir. 1 ila 5 cm arasındaki çökme değerlerine göre makina seçimi yapılmaktadır. İşlenebilirlik deneyindeki akış süresi, plaklı aletlerde 15 - 20 saniye (2, 50 ila 5, 00 cm çökme), değişken kirişli aletlerde de 20 - 40 saniye (1, 00 ila 3.00 cm çökme) olmalıdır.

- Hava Tutma Özelliği :

Yol betonu içindeki Hava Boşluğu Yüzdesinin %3 ila %6 arasında olması gerekir. Daha küçük oranlardaki hava yüzdesi, betonu dondan yeterince koruyamamakta, daha yüksek orandaki boşluk ise önemli bir direnç düşüklüğüne yol açmaktadır.

- Eğilme Dayanımı:

Eğilme Direnci deneyi, (10 x 10 x 50 cm) boyutlarındaki kare kesitli, en az 6 adet prizmatik numune üzerinde yapılmaktadır. Bu deneyde numuneler, 28 günlük beton kirişler olarak, tam ortalarından tekil bir kuvvet uygulamasına maruz bırakılmakta ve kırılmaktadır. 28 günlük betondaki bu direnç değerinin 55 barın altında olmaması gerekir. Ortalamada bu değere ulaşamamış ise, maksimum dozaj gözden geçirilip çimento miktarının arttırılması yoluna gidilir veya su miktarını azaltıcı bir katkı maddesi kullanılır veya kompoziteyi attırmak için ince malzeme eklenir. Bu uygulamalar da sonuçsuz kalıyorsa, çimentonun veya agreganın kalitesi bir daha gözden geçirilmelidir (Ağar ve diğer 1998).

5.2 Hazır Beton Kullanımı

Fabrikada veya sabit tesislerde üretilip kullanım alanına taşıyıcılar tarafından ulaştırılan beton malzemesine hazır beton denir.

Yol betonlama şantiyeleri genellikle büyük miktarlarda betonu kısa zamanda tüketme eğilimi gösterirler. Çoğunlukla günlük tüketim miktarları 1000-3500 m³ arasında değişir. Bu bakımdan yol betonu üretimine tahsis edilecek merkezin kapasitesi 400 m³/saat düzeyine erişebilmelidir.

Yol yapımında uzmanlaşan muteahhit sayısının artması ve hazır beton olanağının kayar kalıp, vibratör, titreşimli kiriş master gibi yol yapımını kolaylaştıran etkenlerle beton yol sayılarının artması mümkündür.

Beton besleme konveyörü vasıtası ile beton, transmikserden kalıbın içine dökülür. Bu safhada beton teorik olarak % 30 hava boşluğu içermektedir. Beton yayma helezonları vasıtası ile kalıp boyunca beton yayılır. Kalıp boyunca belli bir açı ve yaklaşık 40-60 cm aralıkla yerleştirilmiş hidrolik vibratörler ile beton işlenir. Vibrasyondaki amaç beton içerisindeki hava boşluğunu almaktır (Şen, bt.).

Betonun vibrasyonu iki aşamalıdır:

1- İlk aşama, **yerleştirme** (konsolidasyon) olarak adlandırılır ve bu esnada vibrasyon etkisi ile iri agregalar tabana doğru itilir. İri parçaların tabana doğru itilmesi, beton içinde bir hareket yaratır. Bu hareket esnasında, beton içindeki hava kabarcıkları yüzeye doğru ilerler ve serbest kalır. Bu aşama sonunda hala beton içinde %5 hava boşluğu kalmıştır.

2- İkinci aşamada, vibrasyon etkisi ile beton agregalar arasında kayar. Bu safhaya **sıvılaşma** denir. Bu etki ile agregalar arası bir film tabakası oluşarak sürtünme en aza iner. Bu safhadan sonrakalan hava miktarı %1 mertebelerindedir. (Hava sürükleyici katkı kullanılarak, bu yüzdenin istenilen oranda yükseltilmesi mümkündür.)

Şişe (stinger) tipi vibratörler, beton içerisinde çalışırlar, bu nedenle enerjinin en iyi kullanıldığı vibrasyon metodudur. Kalıbın vibre edilmesi (pan tipi vibrasyon) veya tüpün vibre edilmesi yöntemlerinde, vibrasyon kaynağından başlayarak uzaklaştıkça vibrasyon etkisinin beton içerisinde aniden azalması nedeniyle etkili bir konsolidasyon ve sıvılaştırma mümkün değildir (Şen, bt.).

5.3 Akıcı Beton Kullanımı

Sertleşmiş yol betonunun kalitesi çok sayıda etkene bağlıdır. Bu etkenlerin arasında beton bileşimi, üretimi ve kaplamanın oluşturulması tekniği özel önem taşımaktadır. Yıllar boyunca, yukarıda belirtilen aşamalar sayısız gelişmeler göstermiştir. İkel yöntemler kullanılarak ortaya konulan yol betonu tekniği, hızla artan trafik ve dingil yükleri karşısında yetersiz kalmış ve yapımcıları gerek malzeme üretiminde ve gerekse kaplamanın imalatında makineleşmeye yöneltmiştir. Günümüzde sertleşmiş beton yol kaplamasından beklenen özellikler, düşük dozaj ve Su/Çimento oranı altında yüksek mekanik dayanımların, dayanıklılığın ve güvenilirliğin oluşturulmasıdır. Bu özellikleri elde etmek amacıyla malzeme alımı ile başlayan inşaat sürecinde, öngörülen şartnamelere en uygun beton üretimi, taşıma, serme, sıkıştırma ve koruma işlemleri yapılmalıdır. Makineleşmede erişilen düzey, iş yerinde değişik işlevleri yerine getiren makinelerin bir katar biçiminde peşpeşe çalışmalarıdır. Donatıların yerleştirilmesi, betonun yerine serilmesi, profiline getirilmesi, sıkıştırılması, mastarlama ve perdahlama gibi yüzey işlemleri, betonun korunması aşamaları için ayrı ayrı makinelerin çalışması söz konusudur. Çok sayıda makine gerektiren klasik beton yerine, içine akışkanlığı geçici olarak arttıran katkı maddesi katılarak elde edilen akıcı beton, ağır makine katarı gerektirmemektedir (Ağar ve diğer 1998).

Klasik yol betonunda olduğu gibi, sertleşmiş akıcı beton basınç ve eğilme dirençleri yüksek, aşınmaya, donmaya ve kimyasal etkenlere karşı dayanıklı olmalıdır. Başlangıçta betonun sahip olması gereken teknolojik özellikler kaybedilmeden ve segregasyon oluşmadan, taze betonu geçici olarak akıcı duruma getirebilen akışkanlaştırıcı katkı maddeleri kullanılır. Akıcı betonla erken yüksek

dayanımlı, yani iki veya üç günlük koruma süresi sonunda yeterli dayanımlara ulaşan ve trafiğe açılabilir yol kaplamaları elde edilebilir.

Beton bileşimi büyük ölçüde klasik betonunkine uygunluk sağlar. Betona akıcılığı kazandıran katkı maddelerinin cinsinin ve oranının, uygunluk deneyleri ile önceden saptanması gerekir.

Klasik yol betonunda kullanılan çimentoların hemen hepsi akıcı beton üretiminde de kullanılabilir. Bileşim hesabına bağlı olarak, dozaj $330 - 370 \text{ kg/m}^3$ arasında bulunmalıdır. Akışkanlaştırıcı miktarı da dahil olmak üzere Su/Çimento oranı, akıcı beton için 0.38 ile 0,45 arasında alınmalıdır (Ağar ve diğer 1998)..

İnce agrega oranı ile iri agrega boyutlarının taze betonun akıcılığı üzerindeki etkileri fazladır. Beton kıvamındaki değişkenliğin azaltılabilmesi için :

a) Mümkün olduğunca aynı tür kum kullanılmalı, kum miktarı sırasıyla %27 ve %35'i aşmamalıdır.

b) Fazla su tutacakları için çok ince taneli (çimento ve ince kum) miktarı minimum düzeyde tutulmalıdır. Akıcı türde olan sertleşmiş betonda çok ince malzeme dozajı çimento dahil 450 kg/m^3 'ü aşmamalıdır. Erken yüksek dayanım istenen karışımlarda dozaj farkı çimento için kullanılmamak kaydıyla en fazla 500 kg/m^3 düzeyine çıkartabilmektedir.

Betona katılacak akışkanlaştırıcı katkı maddelerinin cinsi ve oranı 5.3.2.'de belirtilen Yayılma Deneyi uygulanarak saptanmalıdır Akıcı betonda, taban yüzeyleri eğimine bağlı olarak uygulanması gereken Tablo 5.1 'de verilmiştir (Ağar ve diğer 1998).

Tablo 5.1 Yüzey eğimlerine göre akıcı betonda istenen yayılma çapları

Taban Yüzey Eğimleri	Yayılma Çapları (cm)
%2 ve daha düşük	60
%3 ve daha fazla	45-50

Akıcı beton işlenirken bünyesinden hiç bir şekilde su, çimento hamuru, çimento harcı ve agrega kaybetmemeli, sıkıştırma işleminden önce dolu ve düzgün bir yüzeye sahip olmalıdır.

Akıcı betonun kanştırılması iki aşamada gerçekleştirilmelidir :

Birinci aşamada, Beton Merkezinde klasik karışım üretilip transmikserlere yüklenir. Ulaştırma sırasında transmikser kazanı (tamburu) hareketsiz olmalıdır. Akışkanlaştırıcının zaman boyunca etkisi değişebileceğinden bu katkı maddesi betona iş yerinde eklenir.

İkinci aşamada yapılacak olan karıştırma, katkı maddesi eklenen betonda homojen bünye elde edilinceye kadar sürdürülür. Bu süre en az 5 dakika olmalıdır. Geniş hacimlerde bu sürede homojen kanşım elde edilemeyeceği için genellikle transmikser hacmi en çok 5 m³ dolayında sınırlandırılmalıdır (Ağar ve diğer 1998).

Akıcı beton, sızdırmaz nitelikte olması gereken kalıplara transmikser oluğu veya beton pompası yardımı ile dökülür. Akıcı betonun dökümünde, karışımın yanal basıncını önleyebilecek hafif çelik kalıpların kullanılması yeterli olmaktadır. Bu tür betonun sıkıştırılmasında genellikle perdahlama makinasına monte edilmiş olan ve yüzeysel vibrasyon sağlayan sıkıştırma gereçleri kullanılır, %3'den daha dik eğimlerde mastarlama ve perdahlama işlemleri için, betonun priz almaya başlaması beklenmelidir (Ağar ve diğer 1998).

Akıcı betonun korunmasında temiz su kullanılabilir gibi, diğer koruma yöntemleri de uygulanabilir. Donatılar ve derz demirleri sağlam metalik mesnetler üzerine yerleştirilmelidir

5.4 Silindirle Sıkıştırılabilen Beton kullanımı

Silindirle sıkıştırılabilen beton (Roller Compacted Concrete–RCC) kaplamalar, geleneksel beton kaplamalara göre yeni bir beton kaplama türü olup, karıştırılması, serilmesi ve sıkıştırılması, beton asfalt kaplamalarda kullanılan benzer teknikler kullanılarak yapılmaktadır. Geleneksel beton kaplamalara göre daha düşük su/çimento oranına sahip olan RCC kaplamalar, bitümlü kaplama yapımında kullanılan araçlarla taşınabilmekte, serilebilmekte ve sıkıştırılabilmektedir. RCC kaplamalar genellikle çift tamburlu titreşimli silindir ile sıkıştırılmaktadır. RCC ismini, kaplamanın yapım yönteminden almaktadır. Bu yapım tekniği kullanılarak, büyük miktarda beton, donatısız olarak yerleştirilmektedir. RCC kaplamaların maliyeti, geleneksel beton kaplamalardan %10 ile %30 arasında daha düşüktür. RCC kaplamalar; genellikle düşük hızlı ağır trafiğe sahip olan yol kesimleri ile havaalanı pist ve taksi yolları gibi mukavemet, dayanıklılık ve ekonominin çok önemli olduğu yerlerde kullanılmaktadır (Ağar, Taşdemir, bt.).

RCC kaplamaların bilinen ilk modern örneği 1970 yılında, İspanya’da, düşük hacimli trafiğe sahip olan bir yolda uygulanmıştır. Ağır trafik taşıyan diğer bir RCC kaplama uygulaması da 1976 yılında Kanada’da yapılmıştır. 1980 yılından sonra, Fransa, Almanya, Norveç, İsveç, Finlandiya, Danimarka, Almanya, Avusturya, Arjantin ve Japonya gibi ülkelerin her birinde 100.000 m² den fazla RCC inşa edilirken, Şili, Uruguay, Meksika, Kolombiya, Ekvator ve Güney Afrika gibi ülkelerde çok az veya deneme yolu olarak kullanılmıştır. Uygulanan RCC miktarı 1990 yılının sonunda toplam 12.000.000 m² yi aşmış olup RCC uygulamasının yarısı İspanya’da yapılmıştır. Otoyollarda kullanılan 1.500.000 m² RCC üzerine, yüzey düzgünlüğü sağlamak için beton asfalt aşınma tabakası yerleştirilmiştir. Geriye kalan 10.500.000 m² RCC kaplama, ikinci sınıf yol, sanayi ve askeri alanlar gibi düşük hızlı trafiğin olduğu yerlerde kullanılmıştır.

Bu kadar geniş alanda kullanılması, özel bir ekipmana ihtiyaç duyulmamasından ve beton asfalt kaplamaların yapıldığı makinalarla inşa edilebilmesinden kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte; yapım kolaylığı, çalışan eleman sayısını

azaltması ve yüksek üretim hızı ve bunlara bağı olarak maliyetinin düşmesi de büyük oranda kullanılmasının nedenleri olarak sıralanabilir. Ayrıca, RCC kaplamalar, geleneksel beton kaplamalara göre daha kısa bir sürede trafiğe açılabilmektedir (Ağar, Taşdemir, bt.).

BÖLÜM ALTI

KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON

6.1 Tanım

Kendiliğinden Yerleşen Beton, kendi ağırlığı ile sık donatılı dar ve derin kesitlere yerleşebilen, iç veya dış vibrasyon gerektirmeksizin kendiliğinden sıkışabilen, bu özelliklerini sağlarken, ayrışma ve terleme gibi problemler yaratmayacak kohezyonunu (stabilitesini) koruyabilen, çok akıcı kıvamlı özel bir beton türüdür (Felekoğlu, 2003).

Klasik beton dizaynından farklı olarak kendiliğinden yerleşen betonda; kimyasal katkı, viskozite artırıcı katkı ve çok miktarda inert veya puzolanik mineral katkının tümünün veya bir kısmının kullanılması ihtiyacı doğmaktadır. Bu malzemelerin seçimi ve beton dizaynında uygun oranlarda kullanılmasına yönelik yeni deney yöntemleri ve dolayısıyla standartlar geliştirilmektedir (Felekoğlu, 2003).

6.2 Kendiliğinden Yerleşen Betonun Tarihçesi

Betonda kendiliğinden yerleşebilirlik kavramı ilk olarak Tokyo Üniversitesinde, 1986 yılında Prof. Dr. Hajime Okamura tarafından ortaya atılmıştır.

Kendiliğinden yerleşen beton konusunda ilk makale, 1989 yılında Ozawa tarafından Doğu Asya ve Pasifik Yapı Mühendisliği Konferansı'nda (EASEC) sunulmuştur. KYB konusunda ilk kitap Okamura tarafından yazılmış olup, 1993 yılında Japonca olarak yayınlanmıştır. (Felekoğlu, 2003)

İlk KYB uygulaması 1980'lerin başında İtalya'nın S.Marco Rıhtım inşaatında sualtı temel betonu dökümünde 40.000 m³ Reoplastik Beton kullanılarak yapılmıştır (Collepari, 2001).

2000 yılı sonunda KYB kullanımı Amerika'da yaygınlaşmaya başlamıştır. Prefabrike beton endüstrisi bu gelişmeye hızla ayak uydurmuş fakat hazır beton endüstrisinde kullanımı kısıtlı kalmıştır (Felekoğlu, 2003).

6.3 Kendiliğinden Yerleşen Betonun Avantajları ve Dezavantajları

Kendiliğinden yerleşen betonların avantajları ve dezavantajları aşağıda belirtilmiştir (Felekoğlu, 2003).

6.3.1 Kendiliğinden Yerleşen Betonun Avantajları

Taze betonu sıkıştırma ihtiyacı ortadan kalkacak, böylece vibratör kullanımının yarattığı zaman, enerji ve para kaybı ortadan kalkacaktır. Vibratör kullanımının çevreye yaydığı gürültü kirliliği (özellikle prefabrike beton sektörü için) önlenecektir (Walraven, 2002).

Betonun sık donatılı perde tipi dar ve derin kesitlere kendi ağırlığı ile boşluk bırakmadan yerleşmesi betonun mekanik performansını arttıracaktır (Felekoğlu, 2003).

Efektif kimyasal katkıların KYB üretiminde kullanımıyla, prefabrike sektöründe erken kalıp alma için, özellikle kış aylarında uygulanan buhar kürü ortadan kaldırılabılır (Corradi vd., 2002).

KYB'nin perdahlanabilirliği geleneksel betona kıyasla daha rahattır. Beton dökümünü önemli ölçüde hızlandırır (Felekoğlu, 2003).

KYB kalıp yüzeylerinde sağladığı boşluksuz görünüm ile sıva ihtiyacını ortadan kaldırabilir. Fakat bu durum aynı zamanda bir dezavantaja dönüşebilir; sıva yapılması gerekiyorsa pürüzsüz yüzeyi sebebiyle KYB sıva tutmayabilir (Felekoğlu, 2003).

6.3.2 Kendiliğinden Yerleşen Betonun Dezavantajları

KYB malzeme maliyeti açısından normal betona kıyasla daha pahalıdır. Maliyeti arttırıcı ana etken efektif kimyasal katkıları olup, gelecekte bu katkıların maliyetlerinin düşmesi beklenmektedir.

KYB'nin performansı malzeme tip ve oran değişkenliklerine hassastır (özellikle agrega nemi ve gradasyonu). Klasik betona göre daha sıkı kontrol gerektirir.

Kesinleşmiş dizayn yöntemi ve standart deneylerinin yokluğu kalite kontrol işlerinde genelleme yapılmasını engellemekte ve standartlaştırmada sıkıntılara yol açmaktadır. Geleneksel betona göre yüksek oranda toz malzeme içerdiği için, boyutsal stabilitesi toz malzemenin tipine göre farklı sonuçlar doğurabilir (Felekoğlu, 2003).

Prefabrike beton üretiminde mevcut kalıp sistemlerinin bir kısmı KYB kullanımına uygun değildir (Çatı makası gibi eğimli elemanlar). Kalıp sistemlerinin KYB kullanımına göre modifiye edilmesi gereklidir. % 2'den fazla eğimli elemanlar KYB ile dökülemez (Tviksta, 2000).

KYB dilatant yapısı gereği, belli bir süre karıştırılırsa akıcılığı artar başka bir deyişle viskozitesi düşer. Viskozitesinin kararlı bir konuma gelmesi için gereken karıştırma süresi normal betona kıyasla daha fazladır. Bu özellik zaman ve enerji kaybına yol açacaktır. Fakat bu kayıp yerleştirme işlemindeki kolaylıklar dikkate alındığında ihmal edilebilecek kadar azdır (Felekoğlu, 2003).

6.4 Kendiliğinden Yerleşen Betonun Kullanım Alanları

Günümüzde KYB özel tip betonlar sınıfında sayılabilir. Genellikle büyük boyutlu inşaatlarda, sık donatılı dar kesit özelliklerinin bir arada olduğu perde tipi elemanlarda, tamir, bakım ve yenileme işlerinde, tünel gibi özel kalıp gerektiren işlerde kullanılan KYB henüz normal beton kadar geniş kullanım alanına sahip

değildir. Bunun en önemli nedeni maliyetinin yanı sıra, dizayn ve uygulama alanlarında yeni yöntemler gerektirmesidir. KYB üretiminde yöntem geliştirilmesi çalışmaları çeşitli kuruluşlar tarafından devam ettirilmektedir.

Geleneksel betonun teknik olarak kullanımının mümkün olamayacağı durumlarda KYB kullanımı tercih edilebilir. Örneğin, bakım ve onarım işlerinde betonla doldurulacak bölgeye vibratör girmesi mümkün değilse geleneksel beton kullanılamaz. Böyle bir durumda KYB kullanımı en akılcı çözüm olacaktır (Felekoğlu, 2003).

ABD’de KYB’nin kullanımı otoyol köprü inşaatlarında ve oldukça sınırlıdır. Bununla beraber, Amerika prefabrik endüstrisi KYB teknolojisini mimari beton uygulamalarında kullanmaya başlamıştır. KYB, otoyol köprü inşaatlarında daha geniş uygulama için yüksek bir potansiyele sahiptir. 2000 yılında Japonya’da prefabrik elemanlarda ve hazır beton olarak kullanılan KYB miktarı yaklaşık, 400.000 m³ olmuştur (Ouchi vd., 2003).

Geleneksel beton ile yol üst kaplaması inşaatında yüzeysel vibratörler kullanılmaktadır. Amerika’da özellikle donma-çözülme riski olan bölgelerde, hava sürükleyici katkı kullanılarak hava içeriği yüksek beton dizaynları hazırlanmaktadır. Fakat vibrasyon işlemi taze betonda hava kabarcığı kaybına yol açabilmektedir. Örneğin, Iowa eyaletinde servis ömründen çok daha önce donma-çözülme hasarına uğrayan yol kaplamaları tespit edilmiştir. Bu kaplamaların taze haldeki hava içerikleri şantiyede ölçüldüğünde yüksek seviyelerde olduğu raporlarda görülmüştür. Fakat yerleştirme sırasında yapılan vibrasyonun beton içindeki hava yapısını özellikle yüzey bölgesinde bozduğu ve taze betonun hava içeriğini azalttığı belirlenmiştir. Bu örnekte de görüldüğü gibi, vibrasyon işleminin yararın yanında zarar da getirdiği durumlar söz konusudur (Hughes vd., 2002).

Yol üst yapısında geleneksel beton kullanılması halinde yetersiz veya aşırı sıkıştırma, taşıma sırasında ayrışma, yerleştirme süresi ve dayanım kazanma hızı (trafiğe açılma süresi) gibi sorunlarla karşılaşmaktadır (Felekoğlu, 2003).

BÖLÜM YEDİ

KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON ÖZELLİKLERİ

7.1 Dizayn Yöntemleri

Kendiliğinden yerleşen betondaki en önemli değişiklik yüksek akışkanlık özelliğidir. Akışkanlığın artırılması yüksek dozajda kimyasal katkı kullanımıyla sağlanmaktadır. Akışkanlaştırıcı dozajının yüksek olması taze betonun viskozitesini düşürür. Dolayısıyla taze betonun karışım suyundaki ve agrega gradasyonundaki değişkenliklere hassasiyeti artmaktadır (Felekoğlu, 2003).

Günümüzde, KYB üretimi için 3 ayrı konsept bulunmaktadır. Bunlar :

1. Toz tipi metodu
2. Stabilizatör metodu
3. Kombinasyon metodudur.

Bu yöntem viskoziteyi inert veya puzolanik filler ile artırma ilkesine dayanır. Temel kural olarak toz hacmi, toplam hacmin % 36'sından az olmamalıdır. Çimento hamurunun hacmi, eklenen toz malzemeler ile artırılarak taze betonun stabilitesinin korunması amaçlanmıştır (Felekoğlu, 2003).

EFNARC'a (2002) göre KYB dizayn oranlarının ve miktarlarının belirlenmesinde hacimsel oranlar daha önemlidir. EFNARC'ın önerdiği başlıca dizayn esasları ve deney sınır değerleri ile çözüm yolları aşağıda belirtilmiştir. (Tablo 7-1,7-2, 7-3, 7-4)

Su/toz oranı hacimce 0, 80 – 1, 10 aralığında olmalıdır.

Toplam toz miktarı m³'de 160 ile 240 litre arasında (400-600 kg) olmalıdır.

İri agrega miktarı hacmin % 28 ile %35'i aralığında olmalıdır.

Su/çimento oranı EN 206'nın gereksinimlerine göre belirlenmeli ve toplam su içeriği 200 kg/m³'ü aşmamalıdır.

Kum miktarı diğer malzeme hacimlerine göre ayarlanmalıdır.

Tablo 7-1 EFNARC'a (2002) göre tavsiye edilen KYB deneyleri sınır değerleri

	Metot	Birim	Minimum Sınır	Maksimum Sınır
1	Çökme-Yayıma	mm	650	800
2	T50 cm yayılma süresi	s	2	5
3	J-halkası	mm	0	10
4	V-hunisi	s	6	12
5	5 dk. sonra V-hunisi	s	0	+ 3
6	L-kutusu	(h ₂ /h ₁)	0.8	1.0
7	U-kutusu	(h ₂ -h ₁) mm	0	30
8	GTM Stabilite deneyi	%	0	15
9	Orimet	s	0	5

Tablo 7-2 Sınır değerlerin altındaki değerler için sorunun belirlenmesi ve etki takip tablosu.

No	Metot	Birim	Alt sınır değeri	Tablo 7-4 ilgili satır	Muhtemel Etki
1	Çökme-Yayıma	mm	650	a	Viskozite çok yüksek
				c	Eşik kayma değeri çok yüksek
2	T50 süresi	s	2	b	Viskozite çok düşük
3	J-halkası	mm	10	a	Viskozite çok yüksek
				c	Eşik kayma değeri çok yüksek
				d	Ayrışma
				f	Bloke olma riski
4	V-hunisi	s	8	b	Viskozite çok düşük
5	5 dk sonra V-hunisi	s		g	Mantık dışı
6	L-kutusu (h ₂ /h ₁)		0.8	a	Viskozite çok yüksek
				c	Eşik kayma değeri çok yüksek
				f	Bloke olma riski

Tablo 7-3 Sınır değerlerin üstündeki değerler için sorunun belirlenmesi ve etki takip tablosu.

No	Metot	Birim	Üst Sınır Değer	Tablo 7-4 ilgili satır	Muhtemel Etki
1	Çökme-Yayılma	mm	750	b	Viskozite çok düşük
				d	Ayrışma
2	T50 süresi	s	5	a	Viskozite çok yüksek
				c	Eşik kayma değeri çok yüksek
3	J-halkası	mm		b	Viskozite çok düşük
				d	Ayrışma
4	V-hunisi	s	12	a	Viskozite çok yüksek
				c	Eşik kayma değeri çok yüksek
				f	Bloke olma riski
5	5 dk sonra V-hunisi	s		d	Ayrışma
				e	Hızlı işlenebilirlik kaybı
				f	Bloke olma riski
6	L-kutusu (h2/h1)		1	g	Hatalı sonuç

7.2 Bileşenlerinin Seçimleri

KYB'nin bileşenlerinin belirlenmesi, geleneksel betona göre daha fazla deneyim ve bilgi birikimi gerektirmektedir. Çünkü KYB'den sertleşinceye kadar beklenen performans, geleneksel betona göre daha farklıdır (Felekoğlu, 2003).

Betondaki her bileşenin kendiliğinden yerleşebilirliğe farklı etkisi vardır. Etki, bileşenin cinsine, teknik özelliklerine, kullanım oranı ve yöntemine bağlıdır. Bu sebeple bileşenlerin seçiminde gerek teknik gerekse ekonomik açıdan doğru seçim yapmanın yolu, malzemeleri iyi tanımaktan geçer (Felekoğlu, 2003).

7.2.1 Çimento Seçimi

Çimento tipi açısından dayanım ve dayanıklılık kriterleri dikkate alınarak seçim yapılmalıdır (Felekoğlu, 2003).

Özellikle çimentonun C₃A oranı % 10'un üzerindeyse, kullanılmaması EFNARC Komitesi (2002), tarafından tavsiye edilmektedir.

Çimento miktarı arttıkça plastik viskozite ve eşik kayma gerilmesi artacağından yüksek çimento dozajlarında akışkanlaştırıcı katkı ihtiyacı artar (Roshavelov, 2002).

Kendiliğinden yerleşen betonda çimento dozajının belirlenmesinde temel kriter dayanım sınıfıdır. Puzolanik filler kullanılması halinde, göreceli olarak daha düşük çimento dozajları yeterli olacaktır. Dayanım ve dayanıklılık açısından çimento dozajının 350 - 450 kg/m³ arasında seçilmesi tavsiye edilmektedir. 500 kg/m³'ün üstünde kullanımı rötreyi arttıracığından tavsiye edilmez. 350 kg/m³'ün altında kullanımı ise, ilave fillerle veya viskozite arttırıcı kimyasal katkılarla birlikte kullanılması halinde uygundur. Eğer viskozite ayarlayıcı kimyasal katkı kullanılmıyorsa, kendiliğinden yerleşen betonda toplam toz madde miktarı hiçbir zaman 500 kg/m³'ün altına inmemelidir. Çimento dozajının bu miktarın altında olması durumunda, ilave toz katkıları kullanılabilir (EFNARC Komitesi, 2002).

7.2.2 Agregaya Seçimi

Agregaya mineralojik köken açısından normal betonda kullanılabilen özellikte olmalıdır. Kıyma kireçtaşı iri agregaya olarak kullanılabilir. Doğal kum, kıyma kuma göre işlenebilirlik açısından avantajlıdır. Aynı şekilde iri agregaya olarak dere çakılı kullanılması iç sürtünmeyi azalttığı için akışkanlığı artırır (EFNARC Komitesi, 2002).

Agregaya açısından taze betonun kendiliğinden yerleşebilirliğini etkileyen en önemli parametre iri agregaya/kum oranıdır. İçsel sürtünme katsayısını azaltmak için bu oran mümkün olduğunca düşük tutulmalıdır (Sari vd., 1999).

Geleneksel betona göre daha çok kum ve daha az iri agregaya kullanımı donatılar arasında geçiş yeteneğini de artırır (Su vd., 2001).

Basınç dayanımına bakıldığında belli bir orandan sonra düşüş görülmektedir. Fang ve arkadaşları, kum oranının toplam hacmin % 45 - 48'i arasında tutulması halinde kendiliğinden yerleşebilirliğin en yüksek dayanımda sağlanacağını savunmaktadır (Fang vd., 1999).

Genel olarak kübik veya küre şekilli agregalar tercih edilmelidir. Uzun silindir ve yassı disk şekilli taneler KYB'nin işlenebilirlik özelliklerini olumsuz etkileyeceğinden bunların miktarının sınırlandırılmasında yarar vardır (Khurana & Topçu, 2002).

Sari vd. (1999)'ne göre kendiliğinden yerleşen betonda en büyük agregaya çapı 5 - 20 mm arasında değişir ama V-hunisinde bloke olma tehlikesini engellemek için 15 mm seçilmesi en uygundur.

Tüm karışımdaki iri agregaya oranının % 29'un üzerine çıkması halinde, iç sürtünme açısından artış meydana gelmektedir. Bu artış plastik viskozitenin yükselmesine sebep olmaktadır (Fugiwara & Nagataki 1999).

Felekoğlu, 2003 yaptığı çalışmalarda, kum/iri agrega oranı için en uygun değeri 1.53 olarak tespit etmiştir. Bu değerin altındaki oranlarda taze betonun bloke olma riski artmakta, üstündeki oranlarda ise viskozite aşırı artmaktadır.

Su/Toz oranı 0.35 ve en büyük agrega çapı 20 mm olan, kendiliğinden yerleşen beton dizaynı için iri agreganın toplam agrega hacmine oranının 0.52 olması halinde, en düşük hamur hacmi kullanılarak kendiliğinden yerleşebilirliğin sağlanmaktadır (Bui & Montgomery 1999).

7.2.3 Toz Madde Seçimi

Toz maddeler, parçacık boyutu 125 mikronun altında her türlü inorganik madde olarak tanımlanabilir (Felekoğlu, 2003).

Toz maddeler KYB'de viskozite arttırmak amacıyla kullanılırlar. Parçacık boyutunun küçülmesi parçacıklar arası etkileşimin artmasına sebep olur ve bu etkileşim viskoziteyi arttırır (Sari vd., 1999).

Viskozite arttırmak için kullanılabilir toz maddeler, uçucu kül , silis dumanı, doğal ve yapay crflar, kuvarz kumu tozu, kireçtaşı tozu ve cam tozudur (Persson 2001).

Yapılan araştırmalarda % 10'u 0.2 mm'den geçip 0.1 mm üzerinde kalan tozlar KYB için olumsuz performans göstermiştir (Khurana & Topçu, 2000). Toz malzeme oranının 400 ila 650 kg/m³ arasında olması tavsiye edilmektedir. Bu miktar kum ve agrega tanecikleri arasındaki boşlukların doldurması için ve daha iyi sıkışma sağlanması için önerilmektedir (Sari vd. 1999).

KYB dizaynında ince ğtlmş (Blaine değeri > 2500 cm²/g) kireçtaşı tozu, granit, kuvarz kumu kullanılabilir. Taş tozunun beton karışımında homojen dağılması sağlanmazsa, dayanım ve dayanıklılık açısından olumsuz etkiler yaratabilir (Felekoğlu, 2003).

Taş tozu ile üretilen KYB, diğer puzolanik maddelerin kullanıldığı KYB'lere kıyasla, kür işlemine daha az hassastır. Taş tozunun pürüzlü mikro yüzeyi nedeniyle, yüksek oranda karışım suyu absorbe etmesi ve erken dayanımı hızlandırıcı etkisi sebepleriyle küre hassasiyetinin azaldığı kabul edilebilir (Ho vd., 2002).

Kendiliğinden yerleşen beton üretiminde kullanılan kum içinde 0.125 mm elekten geçen toz malzeme oranının yüksek olması halinde bu miktar, inert fillere dahil edilmelidir. Böylece hesaplamalar daha hassas yapılabilir (EFNARC, 2002).

Uçucu kül, taş tozuna kıyasla düşük eşik kayma gerilmesi değeriyle daha yüksek viskozite elde edilmesini sağlar (Yahia vd., 1999).

Uçucu külün KYB üzerine sağladığı olumlu katkılar şöyle sıralanabilir:

- Hidratasyon ürünlerini artırır ve betonun porozitesini azaltır. Mikro agrega etkisi yaparak gradasyonu düzenler ve optimum sıkışmayı sağlar. Böylece betonun dış etkilere karşı dayanıklılığı artar (Jianxiong vd. 1999).
- Hidratasyon hızını ve ısını ve ısıyı düşürür. Sıcaklık yükselmesinden doğan su kaybını ve çatlakları azaltır. Fakat priz alma süresini geciktirmesi erken dayanımı olumsuz etkiler (Bouzoubaa & Lachemi, 2001)
- Normal betona kıyasla aynı dayanımı elde etmek için, gerekli çimento miktarını azaltarak ekonomik fayda sağlar. Aynı zamanda atık bir ürün değerlendirildiği için ilave ekonomik ve çevresel yararları hesaba katılmalıdır.

Toz tipi seçilirken fiziksel, kimyasal özellikler ve mekanik performansın yanında maliyet unsuru da göz önünde bulundurulmalıdır (Felekoğlu, 2003).

7.2.4 Akışkanlaştırıcı Katkı Seçimi

KYB üretiminde yüksek deformasyon yeteneği ve ayrışmaya karşı yüksek direnç sağlamak gibi birbirinin tersi iki koşul bir arada sağlanmalıdır. Bu da ancak etkili bir akışkanlaştırıcı kimyasal kullanımıyla mümkün olabilir (Hollingsworth, 2002).

Akışkanlaştırıcı katkılar eşik kayma gerilmesini ve plastik viskoziteyi azaltırlar. Akışkanlaştırıcılar düşük S/Ç oranlarında viskoziteyi çok azaltmadan eşik kayma gerilmesini azaltmakta etkilidir (Yamada vd., 2000).

Son 30 yılda akışkanlık sağlama ve su kesme amaçlı en yaygın kullanılan kimyasal katkılar; melamin, naftalin formaldehit kondensatları, modifiye lignosulfonatlar ve suda çözülebilen sentetik polimerlerdir.

Polikarboksilat bazlı katkıların, modifiye lignosulfonatlar, melamin ve naftalin formaldehit kondensatlarına göre akışkanlığı artırma açısından da önemli üstünlükleri vardır (Felekoğlu, 2003).

Gürol (1999), polikarboksilat bazlı katkıların çimentoya etkisini şöyle açıklamaktadır. Katkı, dispersiyon etkisi ile topaklaşmayı önler, hidrasyona giren çimento miktarı artar, topaklar arasına hapsolme potansiyeli olan su molekülleri serbest kalarak işlenebilirliği artırır ve hidrasyona katılır.

Akışkanlaştırıcı katkı tipinin değişimi taze betonda işlenebilirlik kaybı mekanizmasını değiştirebilmektedir (Felekoğlu, 2003).

7.3 Mekanik Özellikleri

KYB'nin beklenen mekanik performansı vermesi aşağıdaki kriterlere bağlıdır:

1. Talep edilen performansa uygun malzeme tip ve oranlarının seçimi (karışım optimizasyonu),

2. Üretim safhasında malzeme tip ve oranlarındaki değişiminin minimizasyonu (homojen malzeme kullanımı, hammadde değişkenliğinden kaynaklanacak problemlerin azaltılması),

3. Ortam koşullarının KYB'ye etkisinin göz önüne alınması, bu koşullara uygun önlemlerin hem karışım dizaynında hem de üretim safhasında dikkate alınması,

4. Üretim safhasında taze beton kalitesinin seçilen deneylerle sürekli kontrolü, istenen özelliği sağlamayan karışıma anında müdahale yapılması (Felekoğlu, 2003).

7.3.1 Basınç Dayanımı

KYB'de de basınç dayanımı talep edilen sınıfı sağlama açısından önemli bir parametredir. KYB'de ilk yaklaşım olarak alınan su/çimento oranı genellikle istenen dayanımın üzerinde bir beton üretilmesine sebep olmaktadır.

KYB'de kullanılan toz madde tipi de dayanım sınıfının değişmesine sebep olmaktadır. Toz tipi metoduyla üretilmiş KYB için geleneksel beton gibi dayanım sınıfı su/çimento ilişkisi kurulması ancak sabit bir toz malzeme kullanılması halinde mümkündür. KYB üretiminde kullanılan toz tip ve miktarları çok değişken olduğundan (taş tozu, uçucu kül, doğal ve yapay cüruflar, silis dumanı vb.) dayanım sınıfı - su/çimento ilişkisinin genellenmesi pratik değildir (Felekoğlu, 2003).

7.3.2 Erken Dayanım Kazanma Hızı

Hiperakışkanlaştırıcılar, kendiliğinden yerleşebilirliği sağlamanın yanısıra, su kesme işlevi de gördükleri için, ortamdaki su miktarını azaltarak erken dayanımı arttırmaları (Felekoğlu, 2003).

Toz tipi metodu ile üretilen KYB'lerde taş tozu kullanılması halinde, erken dayanım bir miktar yükselmektedir.

Silis dumanı ve polikarboksilat bazlı akışkanlaştırıcı katkıların birlikte kullanımı erken dayanımı arttırmaktadır (Sarp vd., 2002).

Viskozite artırıcı kimyasal katkıların (VAK) kullanılması halinde, KYB'nin dayanım kazanma hızı yavaşlar (Petersson, 1999).

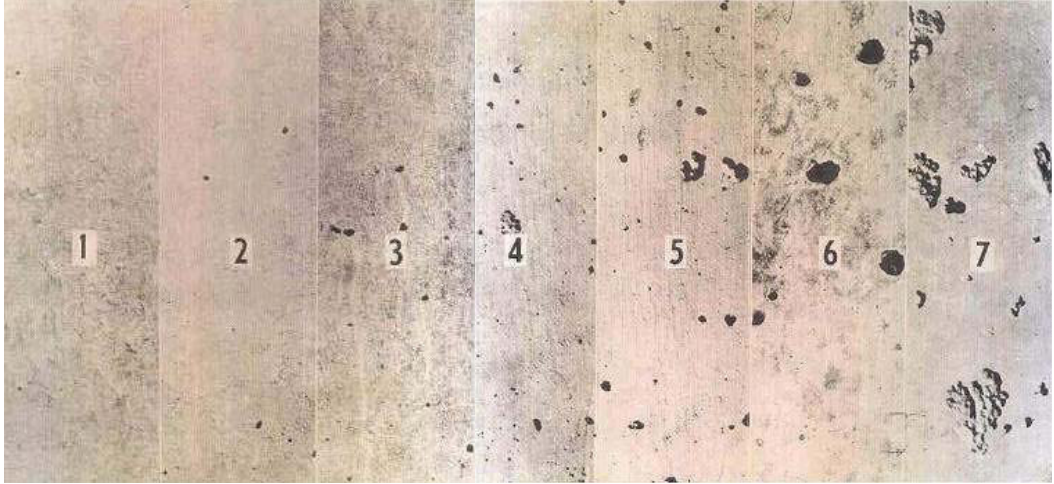
7.3.3 Boşluk Yapısı

KYB'nin boşluk yapısı, taze haldeki reolojik özelliklerinden, kullanılan kimyasal katkı, döküm yöntemi, kalıp şekli ve donatı miktarından önemli ölçüde etkilenir (Felekoğlu, 2003).

KYB'de boşluk çapının daha büyük ama bağlantısız (izole edilmiş boşluk yapısı) olduğu sonucunu elde etmiştir. Kapiler su emme deneylerinde KYB iç yapısında su boşluklar arasında geçiş yapamadığı için standart betondaki kadar yükselmez (Boel vd. 2002).

Döküm hızının yüksek olması halinde sıkışık hava boşluğu miktarının arttığı görülmüştür (Felekoğlu, 2003).

Boşluk yapısının deneysel olarak tespiti pratik değildir. Yüzey görünümünden boşluk yapısı hakkında fikir elde edilebilir. Fransız Standardı P18-503'de yüzey boşluk yapısı, Şekil 7.1 'de görülen 7 sınıfa ayrılmıştır. Bu şablon kullanılarak yüzey görünümü sınıflandırılması yapılmaktadır. İlk 4 sınıf kaliteli yüzey görünümü olarak kabul edilmektedir. Bal peteği görünümlü boşlukların bulunduğu 5, 6 ve 7. sınıflar KYB olarak kabul edilemez (Felekoğlu, 2003).



Şekil 7.1 Fransız standardı P18-503'e göre yüzey boşluk yapısı

7.3.4 Geçirimsizlik

KYB'de taş tozu kullanımı ile betonun boşluk yapısı klor iyon difüzyonuna dirençli hale getirilebilir (Pettersson, 2002).

Raghavan vd. (2002), hızlı klor iyonu penetrasyon deneyi ile aynı dayanım sınıfında geleneksel betonda 4000 coulomb, KYB'de 1500 coulomb sonuçlarını elde etmiştir. Buna göre geleneksel betona kıyasla çok daha geçirimsiz bir yapıya sahiptir.

BÖLÜM SEKİZ

KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON DENEY YONTEMLERİ

Geleneksel beton üretiminde kalite kontrol safhasında pratikte en çok kullanılan iki parametre taze betonun çökme değeri ve betonun belirli yaştaki (genellikle 28 günlük) basınç dayanımıdır. Geleneksel beton basınç dayanımına göre sınıflandırılmaktadır. KYB’de ise durum farklıdır. Basınç dayanımından çok, taze haldeki özellikleri KYB’yi tanımlamada kullanılır (Perez vd., 2002)

Taze betonun kendiliğinden yerleşebilirliğinin, laboratuvar ortamında belirlenmesi ve uygulamada kontrolü için çok sayıda deney yöntemi geliştirilmiştir. Pek çok deney yöntemi geliştirilmesine rağmen, hiçbir yöntem tüm reolojik parametreleri tek başına belirleyememekte, hepsinin eksik yönleri bulunmaktadır. (Felekoğlu, 2003)

EFNARC Komitesi (2002)’nin yaptığı çalışmalarda kendiliğinden yerleşebilirlik deneyleri işlevsellik açısından üç farklı sınıfa ayrılmıştır:

Doldurma Kabiliyeti Ölçen Deneyler: Çökme sonrası yayılma ve 50 cm’ye yayılma süresi, V-hunisi akış süresi ve Orimet süresi.

Geçiş Yeteneği Ölçen Deneyler: J-halkası, L-kutusu, U-kutusu deneyleri.

Ayrışma Direnci Ölçen Deneyler: V-hunisi 5 dakika gecikmeli akış süresi, GTM stabilite deneyi. (Felekoğlu, 2003).

EFNARC (2002)’de standardında önerilen deney yöntemleri ve ölçtüğü kendiliğinden yerleşebilirlik özellikleri topluca Tablo 8.1’de gösterilmiştir.

Tablo 8.1 EFNARC'a göre deney yöntemleri ve özellikleri

	Deney Metodu	Özellik
1	Yayılma çapı	Doldurma yeteneği
2	50 cm.'e yayılma süresi	Doldurma yeteneği
3	J-halkası	Geçiş yeteneği
4	V-hunisi akış süresi	Doldurma yeteneği
5	5dk. sonra V-hunisi akış süresi	Ayrışma direnci
6	L-kutusu	Geçiş yeteneği
7	U-kutusu	Geçiş yeteneği

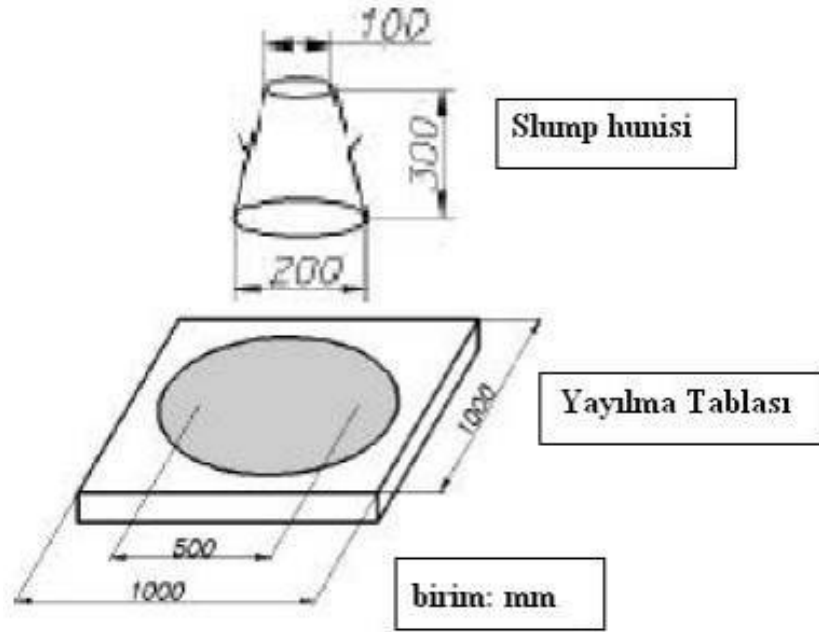
8.1 Yayılma Deneyi

Bu deney çökme (ASTM C143-90a) deneyinin bir modifikasyonudur ve standartlara geçmiş bir deney olmamasına rağmen, akıcı kıvamlı betonlarda araştırmacıların tercih ettiği bir deneydir (Felekoğlu, 2003). Şekil 8-1'de deney aletlerinin şematik gösterimi görülmektedir.

Deneyin yapılışı şöyle özetlenebilir: Kesik koni şeklindeki standart çökme hunisi yatay yüzeydeki yayılma tablasının merkezine yerleştirilir ve betonla doldurulur. KYB'de sıkıştırma enerjisine ihtiyaç olmadığı için, standart şişleme yapılmaz ve huni bir kap vasıtasıyla, beton serbest düşürülerek doldurulur. Huninin hidrostatik basınç etkisiyle yukarı kalkmasını ve betonun sızmasını engellemek için doldurma sırasında huniyi iyice bastırmak gerekir. Huni, doldurulduktan sonra yukarı kaldırılarak betonun yayılmasını tamamlaması beklenir. Viskozitesi yüksek karışımlarda yayılmanın tamamlanması için birkaç dakika beklemek gerekebilir (Khayat, 1995-a). Yayılma durunca birbirine dik iki çap ölçülerek deney tamamlanır. (Ferraris, 1999). Bu çaplar arasındaki fark 5 cm'den fazla ise deney tekrarlanmalıdır (Aggoun vd., 2002).

Yayılma deneyinde, betonun çökerek yayılma hareketini devam ettirmesi, eşik kayma gerilmesi değerini aşmasına bağlıdır. Betonun eşik kayma gerilmesi ne kadar

düşükse, beton kendi ağırlığı ile o kadar çok çöküp yayılacaktır ve eşik kayma gerilmesiyle kendi ağırlığının yarattığı ve yayılma süresince giderek düşen gerilme eşitlenince yayılma duracaktır. Bu nedenle nihai yayılma deneyi eşik kayma gerilmesiyle ilişkilendirilebilir (Felekoğlu, 2003).

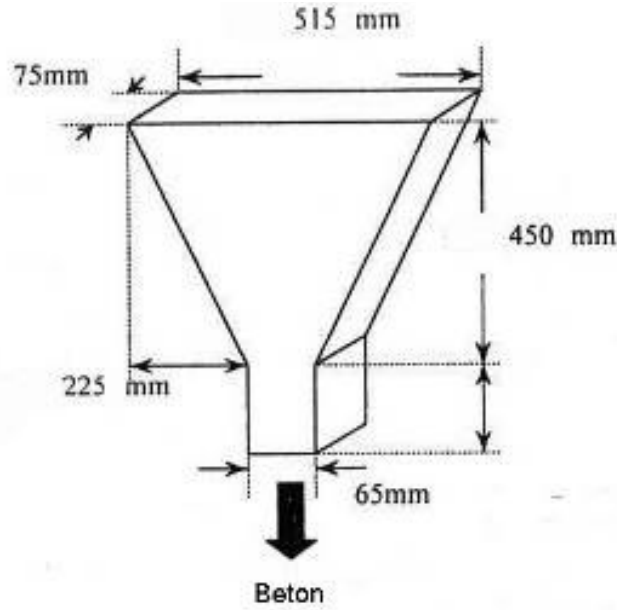


Şekil 8.1 Yayılma tablası ve hunisi boyutları

Çökme yayılma deneyinde sonucu etkileyebilecek değişkenlikler daha çok deneyi yapan kişinin kullandığı aparat ve yönteme (koni çekme hızı ve doğrultusu, yayılma tablasının malzeme sürtünme katsayısı, huni ve tablanın yüzey nem durumu), karışım oranlarındaki elde olmayan değişkenliklere (stok sahasında agrega nem değişkenliği, agrega gradasyonundaki değişkenlikler) bağlıdır. (Felekoğlu, 2003)

8.2 V hunisi Deneyi

V şekilli akış hunisi taze beton viskozitesini dolaylı yoldan ölçmek amacıyla kullanılır (Su vd., 2001). Şekil 8-2'de deney aletinin şematik gösterimi görülmektedir.



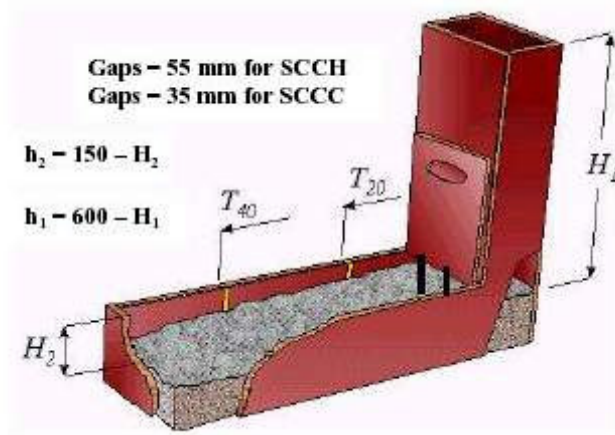
Şekil 8.2 V-hunisi boyutları

Deneyin yapılışı sırasında beton akıyorsa yani tıkanma varsa, bunun iki nedeni olabilir; eşik kayma gerilmesi betonun ağırlığının yarattığı gerilmeden büyüktür. Bir başka tıkanma sebebi de betonun yeterli stabiliteye sahip olmaması durumunda ortaya çıkan ayrışma ile agrega tanelerinin çıkış ağzında birikerek kenetlenme yarattığı tıkanmadır. Bu yüzden V kutusu deneyi ayrışma ile ilgili gözlemsel sonuçlar elde edilebilecek bir deneydir (Su vd., 2001).

8.3 L kutusu deneyi

Betonun donatılar arasından geçişi sırasında bloke olup olmayacağını belirlenmesinde etkilidir (Felekoğlu, 2003).

Yatay ve düşey prizmalar arasındaki geçiş kesitinde belirli aralıklarda düşey çelik çubuklar mevcuttur. Düşey kısım hareketli bir ayırıcı yardımıyla kapatılmışken taze betonla doldurulur. Ayırıcı kaldırılır ve beton, donatılar arasından geçerek yatay prizmayı doldurmaya başlar. Hareket durduğunda donatıların başında ve yatay kalıp ucundaki beton yükseklikleri ölçülür. Bu yükseklikler arası oran (h_2/h_1) hesaplanır. Bu değer L-kutusu oranı (bloklanma oranı) olarak adlandırılır. L-kutusu oranı su gibi çok akışkan bir malzemede 1'e eşit olur (Felekoğlu, 2003).



Şekil 8.3 L-kutusu deney aleti şematik gösterimi

Şekil 8-3’de deney aletinin şematik gösterimi görülmektedir.

8.4 J halkası Deneyi

Aparat 30 cm çaplı halkaya sabit aralıkta dikey çelik çubuklar bağlanmasıyla yapılmıştır. Bu çubuklar donatıları temsil etmektedir. Çubuklar arası açıklık, kullanılacak betonun maksimum agrega çapının 3 katından az olmamalıdır. Yayılma deneyi yapılırken J-halkası da Şekil 8.4’de görüldüğü gibi yerleştirilir. Yayılma sonrası merkez ve halkanın hemen dışındaki beton yükseklikleri ölçülür ve bu yükseklik farkına göre geçiş yeteneği belirlenir.



Şekil 8.4 J halkası deneyi

BÖLÜM DOKUZ

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

9.1 Amaç

Beton yol kaplaması yüksek mekanik ve durabilite özelliklerine sahip olmalıdır. Basınç ve eğilme dayanımlarının yüksek, donma-çözülme, aşınma ve buz çözücü tuzlara dayanıklı olması gerekir. Kendiliğinden yerleşen betonun daha geçirimsiz olması nedeniyle, yüksek durabilite özelliklerine sahip olması ve kolay uygulanabilirliği bakımından beton yollarda geleneksel normal betonun yerine kullanılması düşünülebilir.

Bu çalışmada; Kendiliğinden yerleşebilirlik şartlarını yerine getiren betonların, beton yollarda kullanılabilirliği araştırılmıştır. Beton yollar için sabit dozajda , iki farklı agrega tipi, iki farklı toz malzeme ve değişik yüzdelerde hava içerikli kendiliğinden yerleşen beton örneklerinin değişik yaşlardaki basınç ve eğilme dayanımları ile donma-çözülme, buz çözücü tuzlara dayanıklılık ve aşınma dayanım değerleri kıyaslanacaktır.

9.2 Kapsam

Beton karışımlarında kullanılacak malzemeler belirlenip ilgili deneyleri yapıldıktan sonra hedeflenen beton özelliklerini saptamak üzere dizaynlar hazırlanmıştır. Malzeme seçimi amacıyla, bu malzemelerin betondaki performansı incelenmiş ve uygun karışım oranları belirlenmiştir.

Trafik taşıma kapasitesine göre kullanılan beton tipleri değişiklik göstermektedir. Buna göre hafif trafik için ($T_{8, 2} = 0, 5 \cdot 10^6 - 1, 0 \cdot 10^6$) C30, ağır trafik için ($T_{8, 2} = 50 \cdot 10^6$) C40 beton sınıfları gerekmektedir. Deneysel çalışmada sabit çimento dozajıyla, değişen hava içeriği kullanılan toz madde ve agrega tipine göre değişik sınıflarda betonlar elde edilmesi amaçlanmıştır.

Sabit miktarda kalker ve bazalt olmak üzere iki tip agrega ve iki tip inert filler (taş tozu ve uçucu kül) kullanılarak, farklı hava içerikli hazırlanan Kendiliğinden Yerleşen Beton örneklerinin mekanik özelliklerinden basınç ve eğilme dayanımları, durabilite özelliklerinden donma-çözülme ve buz çözücü tuzlara dayanıklılık, aşınma dayanımları incelenmiştir.

KYB'nin yollarda boyuna ve enine eğim değerleri düşünülerek uygulanabilirliği için yayılma çap değerlerinin minimum düzeyde tutacak karışım dizaynları hazırlanmıştır. Beton yollarda donatı yoğunluğunun ve plak derinliğinin fazla olmaması, beton dökülürken pompa ile sürekli ve hızlı döküm yapılacağından düşük yayılma çapının bir sorun yaratmayacağı düşünülmektedir.

En büyük agrega çapı 16 mm olup. Çimento tipi PÇ 42,5 ve dozajı 350 kg/m^3 'tür. Ayrıca Su/toz oranı hacimce 0,9-0,95 arasında ve kum/iri agrega değeri ağırlıkça 1,53 arasında tutulması hedeflenmiştir.

Donma-çözülme dayanımına olumlu katkı yapması düşünülerek toz madde tipi olarak uçucu külün ve hava sürükleyici katkıların kullanılması düşünülmüştür. İstenen Kendiliğinden yerleşen beton kriterlerini ve hedeflenen dayanımları gerçekleştirmek üzere D serisi ön dökümler yapılmıştır.

Taze ve sertleşmiş beton deneyleri Tablo 9.1'de, deneylerde kullanılan örnek tipi, boyutları ve sayıları Tablo 9.2'de verilmiştir.

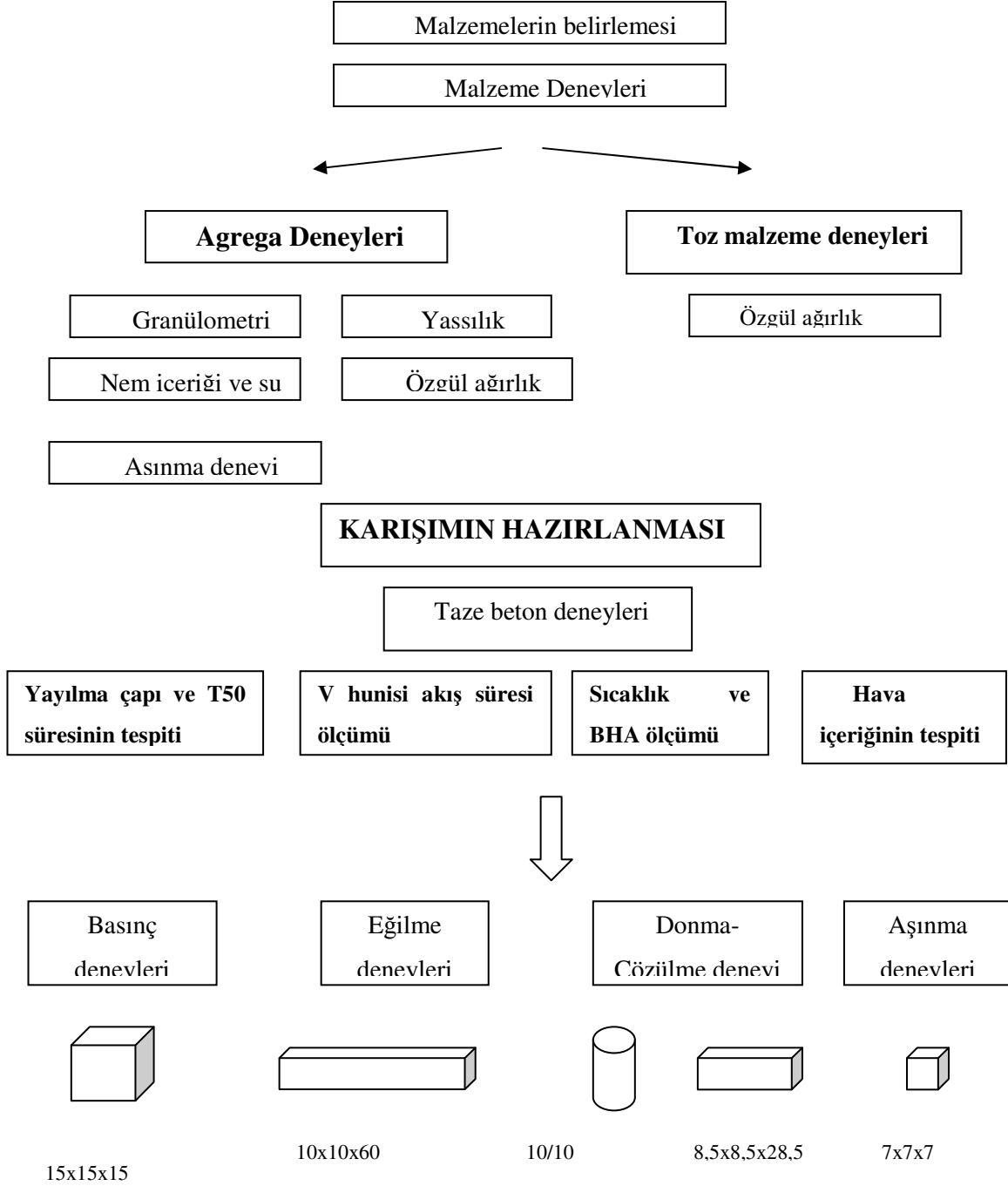
Tablo 9.1 Taze ve sertleşmiş beton deneyleri

BETON DENEYLERİ	
Taze Beton Deneyleri	Sertleşmiş Beton Deneyleri
Çökme-yayılma deneyi	3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımı
T50 süresi deneyi	28 günlük Eğilme Dayanımı
V-hunisi akış deneyi	7 ve 28 günlük Aşınma dayanımı
5. dakikada V-hunisi akış deneyi	Donma çözülme deneyi
Hava %'si ölçümü	Buz çözücü tuzlara dayanıklılık
Birim Hacim Ağırlık (BHA)	

Tablo 9.2 Deneysel çalışmada kullanılan örnek tipi, boyutları ve sayıları

Deney	Numune Tipi	Numune Boyutları	Numune Adedi	Toplam Adet
Basınç Dayanımı (3 günlük)	Küp	150x150x150 mm.	3	24
Basınç Dayanımı(7 günlük)	Küp	150x150x150 mm.	3	24
Basınç Dayanımı(28 günlük)	Küp	150x150x150 mm.	3	24
Eğilme Dayanımı	Prizma	100x100x600 mm.	2	16
Donma Çözülme	Prizma	85x85x280 mm.	8	64
		10/20 mm.	6	48
Aşınma dayanımı	Küp	71x71x71 mm	9	72

9.3 Deney Programı



9.4 Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

Kullanılan malzemeler ve bunların özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

9.4.1 Çimento

Yapılan deneylerde PÇ 42.5 tipi çimento kullanılmıştır. Çimento, İzmir Batıçim Çimento fabrikasından tedarik edilmiştir. Deney çalışmaları süresince, değişik zamanlarda çimentolar getirilmiş olup aşağıdaki tabloda çimentonun fiziksel, kimyasal analizinin değerleri verilmiştir.

Tablo 9.3 PÇ 42, 5 çimentonun özellikleri

İçerik	PÇ 42, 5
% SiO ₂	18.59
% Al ₂ O ₃	4.75
% Fe ₂ O ₃	3.41
% CaO	63.59
% MgO	1.11
% Na ₂ O	0.49
% K ₂ O	0.77
% SO ₃	3.39
Kızdırma Kaybı	3.03
% Cl	0.016
% Serbest CaO	1.56
Özgül Ağırlık	3.11
Basınç Dayanımı (7. gün)	49.9 MPa
Basınç Dayanımı (28. gün)	51.4 MPa

9.4.2 Agrega

Deneysel çalışmalarda Bazalt ve Kireçtaşı olmak üzere iki farklı tipte agrega kullanılmıştır. Karışım dizaynlarında iki farklı gradasyon sınıfında malzeme kullanılmıştır.

Beton yollarda en büyük dane çapının genelde 32 mm olarak kabul edilmesine karşın, deneysel çalışmalarda kullanılan numune kalıp boyutlarının küçük olmasının kenarlarda boşluklar oluşturacağı düşünüldüğünden ve KYB’de 16 mm’den büyük dane çapları arıyışma eğiliminde olduğundan en büyük dane çapı 16 mm olarak seçilmiştir.

İri malzeme olarak 5-15mm arasında dağılıma sahip ve ince malzeme olarak 0-5mm arasında dağılıma sahip olmak üzere iki farklı gradasyonda agrega kullanılmıştır. 5-15 malzeme kırma bazalt ve kireçtaşı, 0-5 malzeme doğal dere kumu ve kırma bazalt olarak kullanılmış olup, özgül ağırlık ve granülometri deneyi sonuçları Tablo 9.4, 9.5 ve 9.6’ da verilmiştir.

Tablo 9.4 5-15mm agreganın fiziksel özellikleri

KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI VE ABSORBSİYONU			
		BAZALT	KİREÇTAŞI
A	Kurutulmuş malzeme ağırlığı (g)	1441	2285
B	Doygun yüzey kuru malz. Ağırlığı (g)	1451	2298
C	Doygun malz. Suda ağırlığı (g)	918	1443
A/(B-C)	hacim özgül ağırlığı - kuru-	2, 704	2, , 673
B/(B-C)	hacim özgül ağırlığı - doygun yüzey, kuru-	2, 722	2, 688
(B-A)/A * 100	absorbsiyon yüzdesi	0, 694	0, 569

Tablo 9.5 0-5 mm agreganın özellikleri

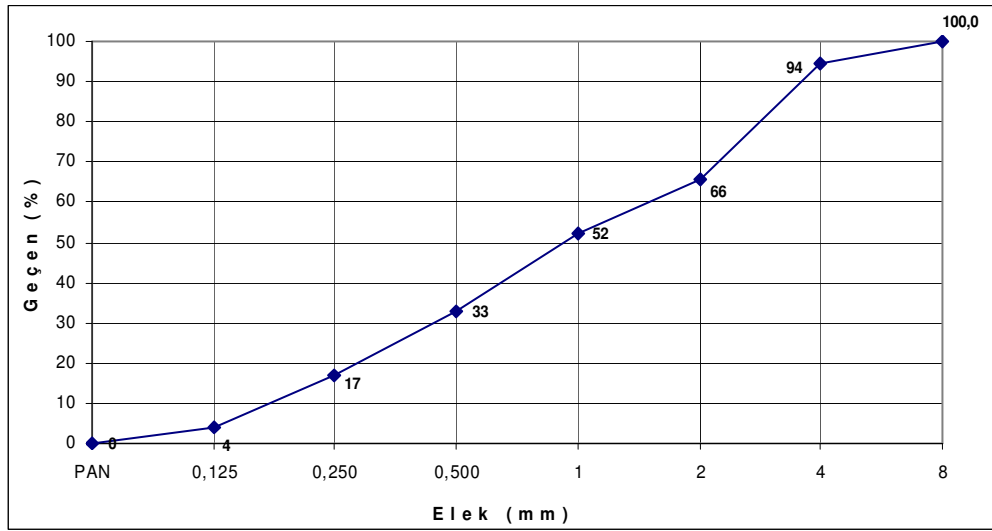
İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI VE ABSORBSİYONU			
		BAZALT	KİREÇTAŞI
A	Kurutulmuş malzeme ağırlığı (g)	490, 8	493, 6
B	Doygun yüzey kuru malz. Ağırlığı (g)	500	500
C	Volumetrik kap + su + ince agrega ağırl. (g)	969, 8	964, 7
D	Volumetrik kap + 500 ml. İşaretine kadar su (g)	666, 5	660, 7
E	Volumetrik kabın boş ağırlığı	166, 9	161, 4
A/(B+D-C)	hacim özgül ağırlığı - kuru-	2, 495	2, 518
B/(B+D-C)	hacim özgül ağırlığı - doymun yüzey, kuru-	2, 542	2, 551
(B-A)/A * 100	absorbsiyon yüzdesi	1, 874	1, 297

Tablo 9.6 Agregaların Elek Analizi

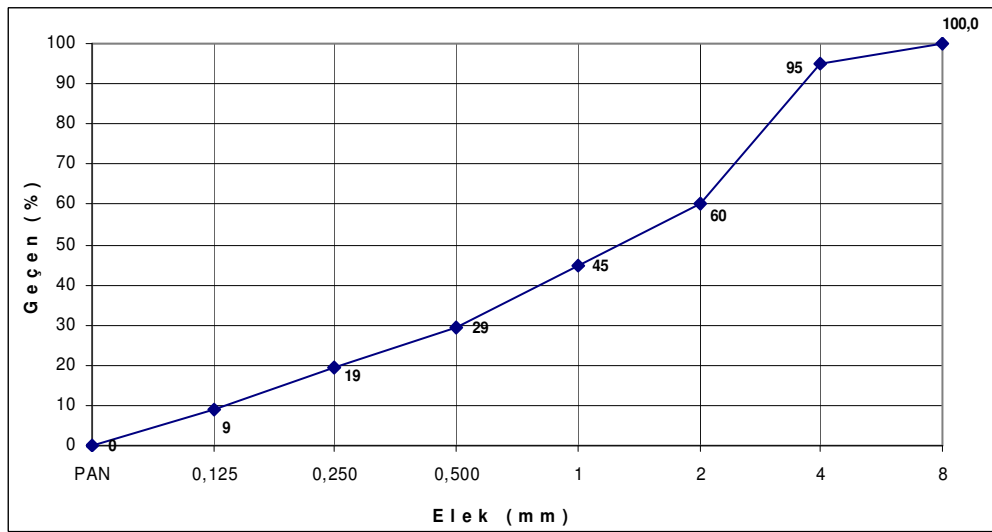
ELEK AÇIKLIĞI (mm)	Yüzde Geçen (%)			
	Kireçtaşı		Bazalt	
	0-5 mm	5-15 mm	0-5 mm	5-15 mm
16				
8		1088		1545
4	88	808	103	938
2	456	55	707	17
1	220	22	314	1
0, 5	307	9	314	
0, 25	258	4	210	
0, 125	203	14	213	
Elek altı	64		178	

Agregaların granülometri eğrileri ise Şekil 9.1, 9.2, 9.3 ve 9.4' de sunulmuştur.

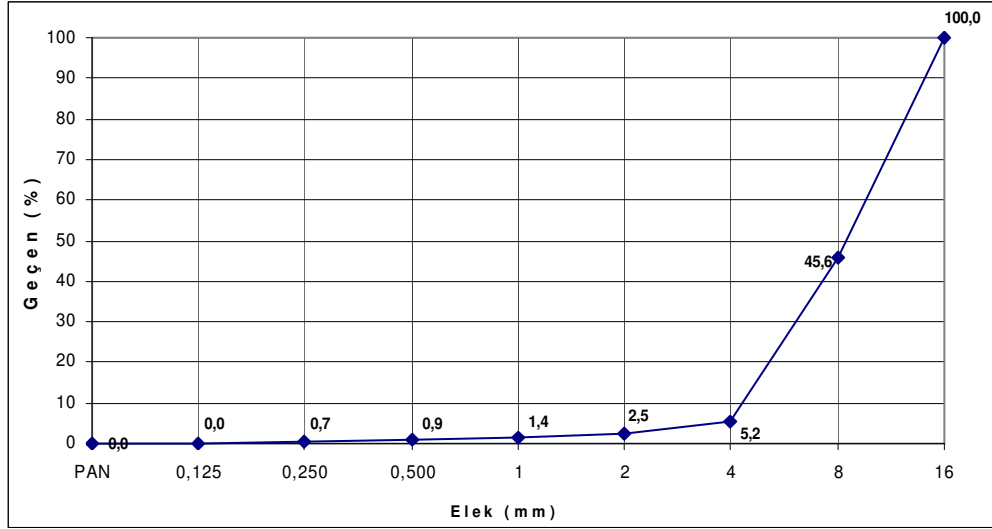
KYB dizaynlarında su içeriği miktarı oldukça hassas olduğundan, her döküm öncesinde stoklanan agregalardan örnekler alınıp, nem düzeltilmesi yapılmıştır. Kullanılan agregalar stok sahası açıkta olduğu için farklı nem içeriğine sahiptir. Bu nedenle her döküm öncesi mikro dalga fırın yardımıyla agrega nem içerikleri tespit edilip, hazırlanan beton dizaynlarında nem düzeltmeleri yapılmıştır.



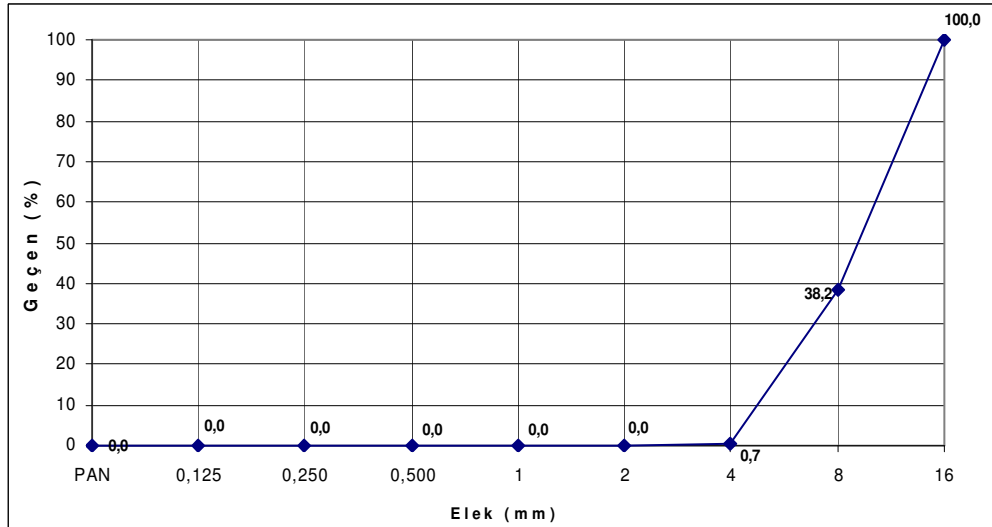
Şekil 9.1 0-5mm Kireçtaşı elek analizi



Şekil 9.2 0-5mm Bazalt elek analizi



Şekil 9.3 5-15mm Kireçtaşı granülometri eğrisi



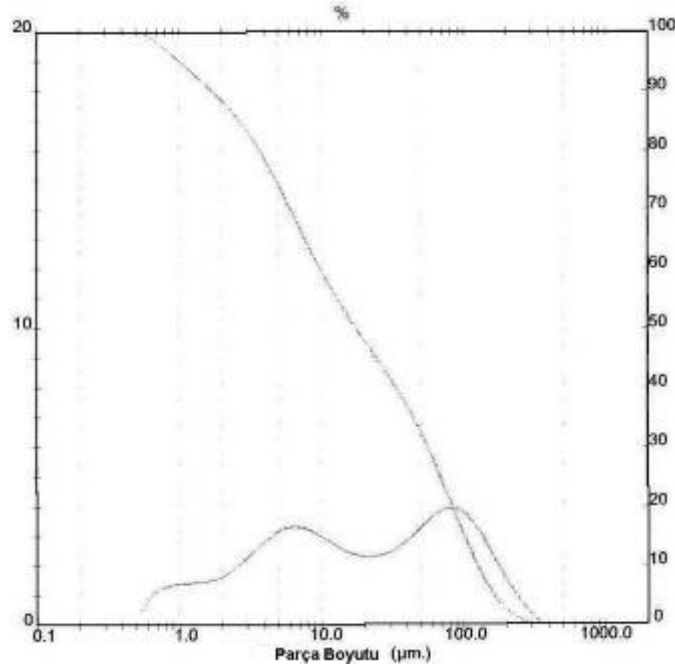
Şekil 9.4 5-15mm Bazalt granülometri eğrisi

9.4.3 Taş Tozu

Kendiliğinden yerleşebilen beton özelliği kazanabilmesi için kullanılması gerekli olan taş tozu malzemesi, kaba kireçtaşı tozu Öztüre firmasının Urla üretim tesislerinden sağlanmıştır. Tablo9.7’de taş tozunun özgül ağırlığı ve Şekil 9.5’ de taş tozunun parça boyutu analizi verilmiştir.

Tablo 9.7 Taş tozunun özgül ağırlığı

TAŞ TOZUNUN ÖZGÜL AĞIRLIĞI		
		TAŞ TOZU
A	Piknometre ağırlığı	115
B	Piknometre + su ağırlığı	365
C	piknometre + kuru numune ağırl.	165
D	piknometre + numune + su ağırl.	396, 5
$(C-A)/[(B-A)-(D-C)]$		2, 703



Şekil 9.5 Taş tozunun parça boyut analizi

9.4.4. Uçucu Kül

Kullanılan C sınıfı uçucu kül Soma Termik santralinden temin edilmiştir. Uçucu külün, aracı firmadan alınan kimyasal özellikleri verilmiştir. Uçucu külün özgül ağırlığı 2.2 ve Blaine değeri 290 m²/kg'dır.

9.4.5 Akışkanlaştırıcı Katkı

Kendiliğinden yerleşebilirlik özelliği kazanabilmesi için polikarboksilat esaslı süper akışkanlaştırıcı, beton içine birbirinden bağımsız hava kabarcıkları sürükleyebilmek için de hava sürükleyici kimyasal katkı kullanılmıştır. Süper akışkanlaştırıcı katkı olarak, Konsan Bilgi ve Teknoloji Üretim A.Ş. firmasının ürettiği Smart Flow HS100 yeni nesil akışkanlaştırıcı kullanılmıştır.

Hava sürükleyici olarak da Konsan Bilgi ve Teknoloji Üretim A.Ş.'nin ürettiği Sorfharç AL adlı katkı kullanılmıştır.

HS 100'ün fiziksel ve kimyasal özellikleri :

- Renk : Kahverengi sıvı
- Yoğunluk (20 C°) : 1, 14 kg/lt
- pH : 5-7
- Klor % (EN480-10) : max 0, 1
- Toplam Alkali Mkt. (Na₂O eqv) : max %1
- Donma sıcaklığı : -5 °C

Softharç AL'in fiziksel ve kimyasal özellikleri :

- Renk : Açık sarı renkli sıvı
- Yoğunluk (20 Co) : 1, 00 kg/lt
- pH : 11-13
- Klor % (EN480-10) : max 0, 1
- Donma sıcaklığı : 0° C
- Diğer : Korrozif etkisi yoktur

9.4.6 Su

Hazırlanan betonlarda karışım suyu olarak şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

9.4.7 Buz Çözücü Tuz

Donma-Çözülme deneylerinde donma işlemine tabi tutulan örnekler tuz çözeltileri içinde çözdürülerek, buz çözücü tuzlara dayanıklılığı araştırılmıştır. Bu deneylerde kullanılmak üzere karayollarında karla mücadele kapsamında buzlanmayı önleyici olarak kullanılan İzmir Tekel Çamaltı Tuzlasından getirilen deniz tuzları (NaCl) kullanılmıştır.

Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Şartnamesine göre kullanılan sodyum klorürün (NaCl) genel özellikleri şı şekilde tarif edilmiştir. Tuz kirli beyazdan kahverengiye kadar değişen renklerde iri veya ince taneli homojen görünümde, topaklaşma görülmeyen, gevşek ve akıcı olmayan ve gözle görülebilir yabancı madde içermemelidir. Kullanılan tuzun özellikleri Tablo 9-8’de verilmiştir.

Tablo 9.8 Kullanılan tuzun fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

ÖZELLİK		DEĞER			
		SINIF 1		SINIF 2	
		TİP 1	TİP 2	TİP 1	TİP 2
Rutubet % en çok		3			
Tane büyüklüğü dağılımı %	12,5 mm elek altına geçen	100		100	
	9,5 mm elek altına geçen	95	100		
	4,75 mm elek altına geçen	20-90			
	2,36mm elek altına geçen	10-60	10-70	10-80	100
	600 µm elek altına geçen	15	15	15	15
Suda çözünmeyen maddeler % en çok		2			
Suda çözünen klorürlü bileşikler % en az		95			
Suda çözünen sülfatlı bileşikler % en çok		3			

9.5 Karışım Dizaynları

Karışım dizaynı hesapları, Felekoğlu'nun (2003) kullandığı excel formu yardımıyla yapılmıştır. Excel formu ile kum ve iri agreganın 0, 125 mmlik elekten geçen kısımları inert filler kısmına; kumun 4 mm üstü iri agregaya; iri agreganın içindeki 0.125-4 mm arası malzeme de kuma otomatik olarak eklenmekte, agrega su emme yüzdesi ve agreganın nem miktarına göre nem düzeltmesi yapılmaktadır. Agregaya boyut düzeltmeleri granülometri deneylerindeki oranlara göre yapılmaktadır. Döküm öncesi agregaların nem içerikleri ölçülerek, excel formundaki nem içeriği düzeltmeleri yapılmıştır.

Tablo 9-9 ve 9-10 da karışımların malzeme miktarları ve dizayn parametreleri

Tablo 9.9 Beton karışım dizaynları

Bileşenler		Beton Karışımları							
		UK1	UB2	TK3	TB4	HUK5	HTK6	HUB7	HTB8
Çimento	(kg)	348	350	348	351	354	351	345	353
Su	(kg)	191	193	191	192	196	194	190	194
İnert filler	(kg)	32	82	269	271	29	278	78	273
Uçucu kül	(kg)	173	154			175		154	
0-5mm kireçtaşı	(kg)	902		886		834	822		
0-5mm bazalt	(kg)		868		875			828	840
5-15mm Kireçtaşı	(kg)	589		582		543	540		548
5-15mm Bazalt	(kg)		566		573			542	
Akışk. katkı	(kg)	12	15, 4	11, 7	9	9, 4	7, 2	14, 2	8
Hava sür. katkı	(kg)					1, 87	1, 86	1, 83	1, 91
Hava	(dm ³)	3, 1	2, 9	2, 4	2, 5	6, 2	14, 5	5	14
Toplam	(kg)	2247	2228, 4	2287, 7	2271	2142, 3	2194, 1	2153, 0	2231, 91
∑ toz	(kg)	553	587	617	622	558	629	578	627
Hamur	(kg)	756	795	819	823	762	830	782	829
Hamur	(dm ³)	427	450	435	444	469	474	473	466
Harç	(kg)	1658	1663	1706	1698	1596	1652	1610	1668
Harç	(dm ³)	781	792	784	789	796	797	799	797

Tablo 9.10 Karışımların dizayn parametreleri

Dizayn Parametreleri	Beton Karışımları							
	UK1	UB2	TK3	TB4	HUK5	HTK6	HUB7	HTB8
S/Ç oranı (ağırlıkça)	0, 55	0, 55	0, 55	0, 55	0, 55	0, 55	0, 55	0, 55
S/T oranı (ağırlıkça)	0, 34	0, 33	0, 31	0, 31	0, 35	0, 31	0, 33	0, 31
S/T oranı (hacimce)	0, 94	0, 9	0, 9	0, 9	0, 95	0, 9	0, 9	0, 9
Kum/İri agrega (ağırlıkça)	1, 53	1, 53	1, 52	1, 53	1, 53	1, 52	1, 53	1, 53
Kum/İri agrega (hacimce)	1, 62	1, 64	1, 61	1, 64	1, 62	1, 61	1, 63	1, 64
Kum/Harç (ağırlıkça)	0, 54	0, 52	0, 52	0, 52	0, 52	0, 5	0, 51	0, 5
Hamur/Harç (ağırlıkça)	0, 46	0, 48	0, 48	0, 48	0, 48	0, 5	0, 49	0, 5
Hs100 %T (ağırlıkça)	2, 17	2, 62	1, 89	1, 45	1, 68	1, 15	2, 46	1, 27
Hs100 %Ç (ağırlıkça)	3, 44	4, 39	3, 35	2, 56	2, 65	2, 1	4, 12	2, 26
softharçAL %Ç (ağırlıkça)					0, 5	0, 5	0, 5	0, 5
softharçAL %T (ağırlıkça)					0, 34	0, 3	0, 32	0, 3

verilmiştir. Tablodaki koyu değerler tüm karışımlarda belirli aralıklarda tutularak deney sonuçlarının karşılaştırılmasında uniformluk sağlanmıştır.

Karışımların kısaltılmış isimlerinin açıklamaları aşağıda verilmiştir. Bundan sonraki bölümlerde bu kısaltmalar kullanılacaktır.

UK1 – Filler olarak Uçucu kül, agrega olarak Kireçtaşı kullanılmış ve deneysel çalışmanın 1. beton karışımıdır.

UB2 – Filler olarak Uçucu kül, agrega olarak Bazalt kullanılmış ve deneysel çalışmanın 2. beton karışımıdır.

TK3 – Filler olarak Taş tozu, agrega olarak Kireçtaşı kullanılmış ve deneysel çalışmanın 3. beton karışımıdır.

TB4 – Filler olarak Taş tozu, agrega olarak Bazalt kullanılmış ve deneysel çalışmanın 4. beton karışımıdır

HUK5 – Hava sürükleyici katkı eklenmiş, Filler olarak Uçucu kül, agrega olarak Kireçtaşı kullanılmış ve deneysel çalışmanın 5. beton karışımıdır.

HTK6 – Hava sürükleyici katkı eklenmiş, Filler olarak Taş tozu, agrega olarak Kireçtaşı kullanılmış ve deneysel çalışmanın 6. beton karışımıdır.

HUB7 – Hava sürükleyici katkı eklenmiş, Filler olarak Uçucu kül, agrega olarak Bazalt kullanılmış ve deneysel çalışmanın 7. beton karışımıdır.

HTB8 – Hava sürükleyici katkı eklenmiş, Filler olarak Taş tozu, agrega olarak Bazalt kullanılmış ve deneysel çalışmanın 8. beton karışımıdır.

Yapılan ön deneyler sonucunda, beton yollarda kullanılabilirliği ve kendinden yerleşebilirlik özelliklerini sağlayan malzeme miktarları ve parametreler belirlenerek, bu değerlere göre karışımlar hazırlanmıştır. Bütün karışımlarda çimento dozajı 345-354 kg/m³ değerinde sabit tutulmuştur. Su/çimento değeri de bütün karışımlarda 0,55 olarak belirlenmiştir. Su/toz oranı hacimce 0,90 ve 0,95 değerlerinde olması uygun görülmüştür.

Felekoğlu (2003), kum/iri agrega oranı olarak ağırlıkça 1, 53 oranının en iyi sonucu verdiğini, altındaki oranlarda bloke olma riskinin arttığını, üstündeki oranlarda ise viskozitenin aşırı arttığını belirtmiştir. Bu nedenle karışım dizaynlarında kumun iri agregaya ağırlıkça oranı bütün karışımlarda 1, 53 olarak seçilmiştir.

9.6 Deneylerin Yapılışı

Taze beton hazırlanışında her beton karışımı içinaşağıda sözü edilen program takip edilmiştir.

Beton karışımları Şekil9.6'da görüldüğü gibi 150 dm³ kapasiteli yatay eksenli bir beton mikserinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 9.6 Deneylerde kullanılan 150 dm³'lük beton mikseri

Dökümler öncesinde mikser içi hafif su tutularak nemlendirilmiştir. Mikser içine öncelikle 0-5 malzeme konulmuş, daha sonra 5-15 iri agrega konularak 1,5 dakika karıştırılmıştır. Agregaların karışmasından sonra sırasıyla taş tozu veya uçucu kül ve çimento eklenip 1 dakika karıştırılarak homojen bir kuru karışım elde edilmiştir. Mikser karışıma devam ederken, karışım suyunun yarısı yavaş yavaş mikser içine ilave edilmiştir. Kalan su miktarının içine akışkanlaştırıcı katılarak, karışımın içine yavaş yavaş eklenmiştir. Karışımında hava sürükleyici katkı bulunması durumunda

suyun bir kısmı hava sürükleyici katkıya eklenip kuru karışıma eklenmiştir. Hava sürükleyicili karışımlarda en son olarak kalan su miktarı ile akışkanlaştırıcı katkı ilave edilmiştir (Şekil 9.7).



Şekil 9.7 Beton karışım malzemelerinin mikserde doldurulması

Bütün malzemeler eklendikten sonra karışıma 2 dakika süreyle devam edilmiştir. Taze beton deneyleri için örnek beton alınıp, taze beton deneyleri yapılırken, karışımın işlenebilirliğini kaybetmemesi için mikserde karıştırılmaya devam edilmiştir.

9.6.1 Taze Beton Deneyleri

Beton karışımlarında taze beton deneylerinin ilk ondakika içinde yapılarak, olası işlenebilirlik kaybının deney sonuçlarına etkisinin azaltılması amaçlanmıştır. Taze beton deneylerinin hızlı bir şekilde yapılması ve taze beton deneylerinden sonra betonun işlenebilirliğini kaybetmeden kalıplara yerleştirilip, perdahlanması için aynı anda 3 kişiyle çalışmalar yapılmıştır.

Beton karışımları için yayılma çapı, T₅₀ süresi, V hunisi akış süresi, hava sıcaklığı, beton sıcaklığı, taze beton birim hacim ağırlığı ölçülmüştür.

9.6.1.1 Yayılma Deneyi ve T₅₀ Süresinin Ölçümü

EFNARC (2002), tarafından hazırlanan standarda uygun olarak yapılmıştır. Abrams konisi sıkıştırma yapılmadan doldurularak kaldırılmakta ve betonun tablayda 50 cm'lik çapa gelme süresi (T₅₀) ve nihai yayılma çapının birbirine dik iki doğrultuda ölçülerek deney yapılmaktadır (Şekil9.8). Yayılan betonun görünür stabilite indeksi belirlenerek, kıvamı ve ayrışma eğilimleri belirlenmiştir.

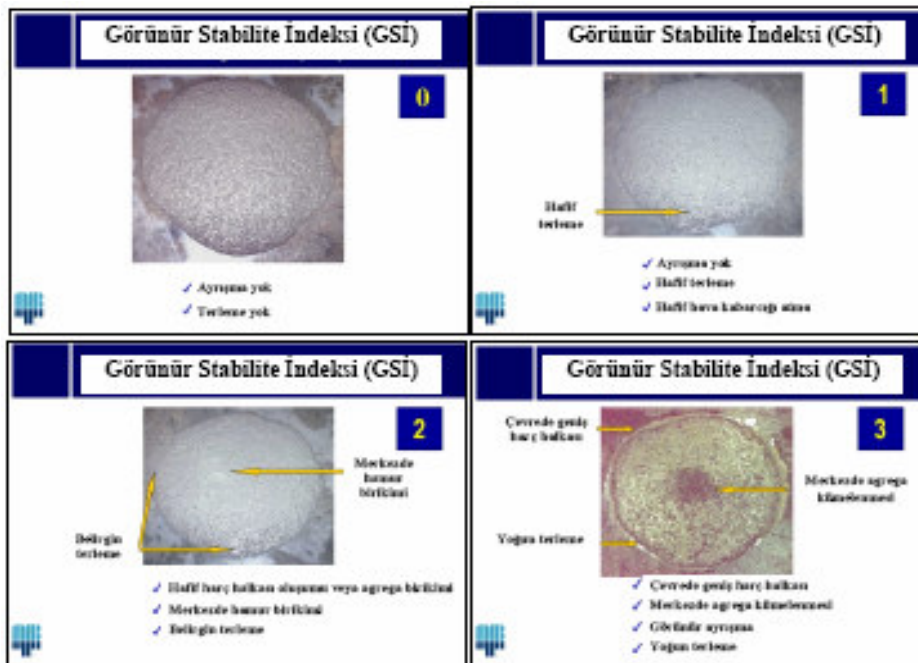


Şekil 9.8 Yayılma deneyinin yapılması ve yayılma çapının ölçülmesi

KYB'nin tanımlanmasında yaygın olarak kullanılan en pratik deneyin çökme yayılma deneyi olduğu açıktır. Kendiliğinden yerleşebilirlik sınırları arasında kalan her yayılma değerini kabul etmek stabilite açısından sakıncalıdır (Yen vd., 2000 – Khayat vd., 2002; Felekoğlu 2003). Bu yüzden araştırmacılar “Görünür Stabilite İndeksi” kavramını ortaya koymuştur. Buna göre yayılma çapındaki stabilite problemleri, aşağıda verilen Tablo 9.11 yardımıyla gruplandırılmış ve her durum için 0 ile 3 arası bir değer belirlenmiştir (Constantiner & Daczko, 2002; Felekoğlu 2003). KYB'nin stabilitesinin uygunluğu stabilite indeksinin 0 ve 1 olması halinde mümkündür

Tablo 9.11 Görünür stabilite indeksinin belirlenmesi

Seviye	Kriter
0	Yüksek performanslı KYB, ayrışma belirtisi yok, yayılma çapı boyunca agrega dağılımı üniform, çap etrafında terleme veya harç ayrışması yok.
1	Kullanılabilir KYB, yayılma çapında agrega dağılımı homojen, çap etrafında hafif terleme ve yüzeyde hava kabarcığı var.
2	Marjinal KYB, ayrışma belirtileri var, yayılma çapı eteklerinde harç halkası (< 10 mm) ve/veya merkezde hafif agrega kümelenmesi gözleniyor. ÖNLEM: Bu durumda, karışıma toz ilavesi ile stabilite artırılıp deney tekrarlanır.
3	Uygun olmayan KYB: Yayılma çapı eteklerinde kalın harç halkası (> 10 mm) ve/veya merkezde yoğun agrega kümelenmesi var. Mikser içinde kalın bir hamur tabakası yüzeyde birikmiş durumda.



Şekil 9.9 Görünür stabilite indeksinin belirlenmesi

9.6.1.2 V Hunisi Akış Süresi Ölçümü

Deneyler, EFNARC (2002) standardına uyumlu 5 x 5 cm orifis açıklıklı, 10 litre kapasiteli V-şekilli deney aleti kullanılarak yapılmıştır (Şekil9.10). Aletin doldurulması sırasında herhangi bir sarsma ve sıkıştırma işlemi uygulanmamıştır. Betonun boşalma süresi ölçülerek V-hunisi süresi tespit edilmektedir. Tekrardan aynı beton deney aletine doldurulup, 5 dakika bekletilerek aynı deney tekrarlanıp işlenebilirlik kaybı eğilimi gözlemlenmiştir.



Şekil 9.10 V-hunisi deneyinin yapılışı

9.6.1.3 Hava Yüzdesi Ölçümü



Şekil 9.11 Taze betonun hava ölçer ile hava içeriğinin tespit edilmesi

Deney aletinin haznesi sıkıştırma işlemi uygulanmadan, serbest düşüş ile doldurulmuş ve kapağı kapatıldıktan sonra su ile hazne tamamlanmıştır. Haznenin tamamı doldurulduktan sonra basınçlı hava hazneye bırakılarak betondaki hava yüzdesi ölçülmüştür.

9.6.2 Sertleşmiş Beton Deneyleri

Sertleşmiş beton üzerinde serbest basınç deneyi, eğilme deneyi, donma çözülme deneyi, buz çözücü tuzlara dayanıklılık deneyi ve aşınma yapılmıştır. Deneylerin yapılışı ile ilgili ayrıntılı bilgi aşağıda verilmektedir.

9.6.2.1 Serbest Basınç Deneyi

Serbest basınç deneyleri, ELE marka ve modeli Autotest3000 olan, 300 ton kapasiteli ve dijital göstergeli, yüksekliği farklı numune boyutlarına göre ayarlanabilir hidrolik beton presi ile yapılmıştır (Şekil9.12). Deneylerde kullanılan yükleme hızı küp numuneler için 680 kg/sn'dir.

15x15x15 cm boyutlu küp deney numunelerine tek eksenli basınç deneyi 3, 7, 28. günlerde olmak üzere 3 farklı yaşta uygulanmıştır. Örnekler 24 saat kalıplarda oda sıcaklığında (24°C) bekletildikten sonra ortalama sıcaklığı 15 derece olan kür havuzlarında bekletilmişlerdir. Numuneler basınç dayanım deneyi yapılmadan 4 saat önce kürden çıkarılıp kuru bezle yüzeyleri silinip, 24°C derece ısıya ayarlanmış klimalı odada bekletilerek, kurutulmuşlardır. Bütün karışımların örneklerinde aynı koşul yerine getirilerek, numune içinde meydana gelebilecek hidrostatik basınç etkisi eşitlenmeye çalışılmıştır.

9.6.2.2 Eğilme Deneyi

Şekil9.13'de görülen 3 noktalı eğilme deneyi 10x10x60 cm boyutlu kiriş örnekleri üzerinde 28 günlük kür süresinin sonunda yapılmıştır.



Şekil 9.12 Ele marka Autotest 3000 serbest basınç deneyi aleti



Şekil 9.13 ELE marka Eğilme deneyi aleti

9.6.2.3 Donma Çözülme Deneyi

Donma-çözülme deneyi için her karışımdan 8 adet 75x75x280 mm'lik kiriş ve 6 adet 10/20 cm'lik silindir numuneler alınmıştır. 24 saat sonunda kalıplardan çıkarılan örnekler, 14 gün boyunca 15°C derecelik kür havuzunda bekletilmiştir.

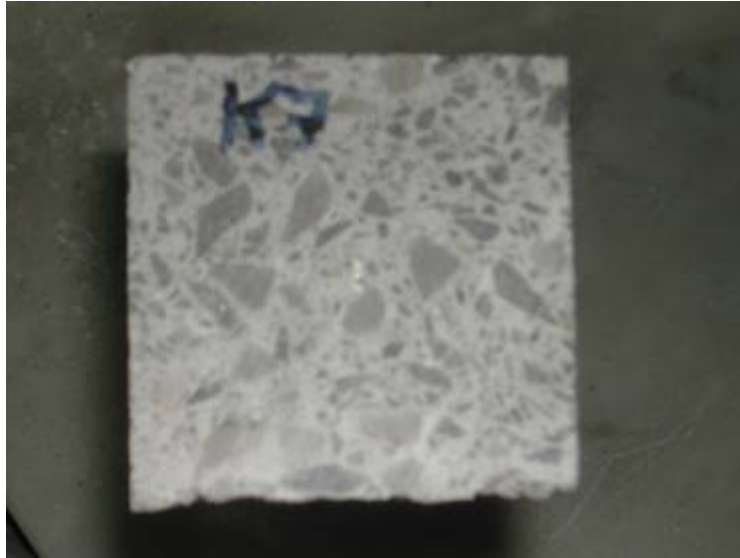
10/20 cm'lik silindirler, örnek sayısının artırılması ve aynı numunenin farklı koşullarda deney şartlarına maruz kalması amacıyla karot aletiyle ortadan ikiye kesilmişlerdir (Şekil 9.16). Kesilen örneklerin yüzeyleri karot makinesiyle hassas bir şekilde traşlanarak, pürüzsüz bir yüzey elde edilip başlıklama yapılmasına gerek duyulmamıştır. 75x75x280 kiriş örneklerin alt ve üst kare yüzeyleri de aynı şekilde karot makinesiyle traşlanarak, ultrases deney ölçümü için pürüzsüz yüzey elde edilmiştir (Şekil 9.14, 9.15).



Şekil 9.14 Kiriş örneklerin ultrases deneyi için yüzeylerinin traşlanarak düzeltilmesi

10/20 silindirlerin kesilmesiyle her karışım için toplam 12 adet 10/10 silindir elde edilmiştir (Şekil 9.17). Elde edilen örneklerden 3 tanesi kontrol amaçlı ayrılarak diğer örneklerin donma-çözülme deneyleri sona erene kadar laboratuvar koşullarında bekletilmişlerdir. Aynı şekilde 8 adet 75x75x280mm kiriş örneklerin iki tanesi

laboratuar koşullarında kontrol amaçlı bekletilmiştir. 9 adet 10/10 silindir ve 6 adet 75x75x280mm kiriş örnekler -20°C dondurma ve 20°C çözdürme periyoduna sahip 35 çevrimlik donma-çözülme deneyine maruz bırakılmışlardır.



şekil 9.15 Kiriş örneklerinin UPV deneyi için traşlanan yüzeyi



şekil 9.16 10/20 silindirlerin donma çözülme deneyi için ortadan ikiye kesilmesi



Şekil 9.17 Karot makinesiyle kesilerek elde edilen 10/10 silindir örneği

Kürden çıkarılan numuneler, etüve konularak 24 saat boyunca ısıtılarak kurutulmuşlardır. Etüvden çıkarılan örnekler, 2 saat laboratuvar ortamında bekletilerek yüzey sıcaklıkları ortam sıcaklığına getirilip tartılmıştır. 85x85x280 mm kiriş örnekler UPV aleti ile ses geçiş hızları ölçülmüştür. Daha sonra örnekler ilk çevrime dondurucuya konarak başlatılmıştır (Şekil 9.18).

Deneme dökümü örnekleri üzerinde her 7 çevrimde yapılan yüzey sıcaklığı ölçümü ile numunelerin ortalama sıcaklığı belirlenerek, dondurucu içinde ve su içinde bekleme süreleri tayin edilmiştir. Ortalama 18 saat dolapta bekleyen örneklerin yüzey sıcaklıkları – 8-10 derece, 4 saat suda bekleyen örneklerin yüzey sıcaklığı 14-16 derece olarak ölçülmüştür. Buna göre her çevrimde dolapta ve suda bekleme süreleri kararlaştırılmıştır.



Şekil 9.18 Örneklerin dondurucuda dondurulması

Örnekler 18 saat derin dondurucuda donma işleminden sonra 1 saat laboratuvar ortamında bekletilmiş, ardından 4 saat 20°C su içinde çözdürülmüşlerdir. Su içinde çözdürülen örnekler tekrar 1 saat laboratuvar ortamında bekletildikten sonra dondurucu içine konmuşlardır. Ani sıcaklık farkından dolayı oluşabilecek deformasyonların engellenmesi amacıyla dolaptan ve sudan çıkarılan örnekler 1 saat havada bekletilmektedirler.

Çözdürme suyu sıcaklığının laboratuvar ortamından etkilenmeyip sabit 20°C 'de tutulabilmesi için her çevrim öncesi kapların içine sıcak su eklenerek, bu değer sabit tutulmaya çalışılmıştır.

Her 7 çevrimde örneklerin fiziksel durumları gözlenip, numuneler temiz suyla yıkanmıştır. Buz çözücü tuzlara dayanıklılığının gözlenmesi amacıyla su kaplarının içine %5 ve %10 değerlerinde kaya tuzu ilave edilmiştir. Bu deneyin detayları bir sonraki bölümde anlatılmıştır.

Çevrimi tamamlayan numuneler temiz suyla yıkanarak, 24 saat laboratuvar ortamında bekletilmişlerdir. Daha sonra etüvde 24 saat ısıtılmaya bırakılmışlardır. Etüvden çıkan örnekler 4 saat laboratuvar ortamında bekletilip ortam sıcaklığına getirildikten

sonra tartılmışlardır. Çevrim öncesi ve sonrası tartılan örneklerin kütle kaybı oranları belirlenmiştir. Deney sonuçları bölümünde sonuçlar verilmiştir.

Tartımı yapılan 10/10 silindirler, serbest basınç deneyi aletinde basınç dayanımları ölçülerek kontrol numuneleri ile kıyaslanmışlardır. Deney sonuçları bölümünde sonuç değerleri görülebilmektedir.



Şekil 9.19 UPV aleti ile kiriş örneklerde ses geçiş hızının ölçülmesi

Tartımı yapılan 85x85x280mm kirişler Ultrasound pulse velocity (UPV) (Şekil 9.19) deney aleti ile ses geçiş hızları ölçülerek çevrim öncesi değerleri ile kıyaslanmıştır. Deney sonuçları bölümünde sonuç değerleri görülebilmektedir.

9.6.2.4 Buz Çözücü Tuzlara Dayanıklılık Deneyi

Donma çözülme deneyi için hazırlanan örnekler 3 gruba ayrılmışlardır. 3 adet 10/10 silindir ve 2 adet 85x85x280 mm kiriş saf su içinde çözdürülmeye konmuştur. Karayollarından yollarda buz çözmek amacıyla kullanılan tuzlardan bu deneyde kullanılmak amacıyla temin edilmiştir. Aynı sayıda silindir ve kiriş örnekler ağırlıkça %5 ve %10 tuz çözeltilerinin içinde çözdürülmüşlerdir. Her günlük çevrim öncesi çözdürme kaplarına sıcak su eklenmiş ve aynı çözelti oranın tutturmak amacıyla kaya tuzları eklenmiştir.

Buharlaşma ve ortam koşullarının çözelti oranlarına etkisini azaltmak amacıyla her 7 günde bir çözelti suları dökölüp yeni çözeltiler hazırlanmıştır. Çözeltiden çıkan örnekler üzerinde oluşan tuz lekeleri yıkanıp fırçalanmıştır.



şekil 9.20 Donma-özölme deneyi sonucunda %5 konsantrasyonlu tuz çözeltisindeki TK3 örneklerinin durumu

evrim süresince örneklerin fiziksel durumları gözlenerek not edilmiştir (şekil 9.20 , 9.21). Deney sonuçları bölümünde deney sonuç değerleri görölmektedir.



şekil 9.21 Donma-özölme sonunda tuz konsantrasyonlarına göre örneklerin fiziksel durumlarının gözlenmesi

9.6.2.5 Aşınma deneyi

Beton karışımlarından alınan 9 adet 70x70x70 mm'lik küp örnekler 24 saat kalıpta bekletildikten sonra kür havuzuna konmuşlardır 7.gün ve 28.gün sonunda 4 adet numune kürden çıkarılıp 48 saat laboratuvar ortamında bekletilmiştir. Numune içlerinin nemli kalması durumunda aşınma tozlarının bulamaç haline gelip gerekli aiındırıcı etkiyi gösterememesi nedeniyle örnekler havada kurutularak kuru bir hacim elde edilmiştir.

Laboratuvarda bekletilen örnekler hassas tartıyla tartılarak değerler kaydedilmiştir. Her örneğin perdahlama yüzeyine 1 numara verilecek şekilde çevre yüzeyler 4'e kadar numaralandırılmıştır. Numaralandırılan yüzeylerin uzunlukları kenar ve ortalarından 3 kere ölçülerek ortalama yükseklik değerleri not edilmiştir. Aşınma yüzeyi tabla üzerine yerleştirilip numaralandırılan her yüzeyde 5 devir yaptırılarak, aşınma yüzeyine toplam 20 devir aşınma deneyi uygulanmıştır (Şekil 9.22 , 9.23).



Şekil 9.22 Örneğe aşınma deneyinin yapılması



Şekil 9.23 Aşınma deney tablası

Deney sonrası numaralandırılan her yüzeyden 3'er adet ölçümler alınarak deney öncesi değerleriyle kıyaslanmıştır. Görsel gözlem yapılaraki diğer karışım örnekleriyle karşılaştırılmıştır (Şekil 9. 24 , 9. 25).



Şekil 9.24 Örnek kenar boyutlarının ölçümlerinin yapılması



Şekil 9.25 Aşınmaya uğramış örneğin kontrol örneğiyle karşılaştırılması

9.7 DeneY Sonuçları

DeneYlerden elde edilen sonuçlar, deneY türüne göre aşağıda verilmiştir

9.7.1 Taze Beton DeneY Sonuçları

Tablo 9.12 Karışımların taze beton deneY sonuçları

DeneYler		Beton Karışımları							
		UK1	UB2	TK3	TB4	HUK5	HTK6	HUB7	HTB8
Ortam sıcaklığı	C	16	16	16	9	13	13	12	11
Beton sıcaklığı	C	17	15	15	6	11	13	10	9
Yayılma apı (D_{ort})	(mm)	71	62	75	72	77	65	68	65
Yayılma apı (D_{ort}) 5 dk.		61	48	68	45	67	45	52	45
T₅₀ süresi	(sn)	4, 3	4, 4	2, 9	2, 9	2, 1	2, 5	6, 6	1, 7
T₅₀ süresi (5 dk)		11, 5		5, 6		4, 1		9, 1	
GSI		0	1	0	0	0	0	2	1
V hunisi	(sn)	23, 5	31	11	33, 4	16, 5	8, 4	49, 6	16
V hunisi (5 dk. geç.)	(sn)	34, 5	Tıkandı	21	Tıkandı	17, 3	10	Tıkandı	36

Yukarıdaki tabloda bütün karışımların taze beton deneY sonuçları grlmektedir. Beton dökümleri, ortam sıcaklığının taze beton deneYleri üzerine olumsuz etkisini en aza indirmek amacıyla aynı mevsim koşulları içinde dökülerek ortam sıcaklık değerlerinin farklılık göstermesi engellenmeye çalışılmıştır.

İlk yayılma çapları 62 cm'den 77 cm'ye deĐiŐkenlik göstermektedir. Aynı deneY 5 dakika sonra tekrarlanarak yayılma çapları ölçülmüş, buna göre işlenebilirlik kaybı en fazla TB4 betonunda olmuştur. Yayılma çapına göre en az işlenebilirlik kaybeden beton HUK5 betonu olmuştur. Tabloda sarıyla gösterilen değerler 50cm çapa ulaŐamamıŐlardır.

Betonun ilk ve 5 dakika sonundaki 50 cm yayılma değerine geldiği süreler llmŐtir. Buna göre en erken 50 cm çapa ulaşan beton HTB8 betonu, en geç ulaşan HUB7 betonu olmuştur. İlk ve 5 dakika sonundaki yayılma çaplarına göre

işlenebilirlik kaybına bakıldığında en fazla fark UK1 betonunda olmakla birlikte UB2, TB4, HTK6 ve HTB8 betonları 5 dakika sonunda 50 cm çapa ulaşamadıklarından bu süreler ölçülememiştir. En az işlenebilirlik kaybı HUK5 betonundadır.

Yayıma çapı ve sürelerine göre işlenebilirlik kayıplarına bakıldığında en az kayıp her iki parametre için de HUK5 betonunda gözlenmiştir.

V hunisinden ilk akış sürelerine bakıldığında en hızlı akıcılık gösteren beton HTK6, en yavaş akıcılık gösteren ise HUB7 betonu olmuştur. 5 dakika sonunda ki akış sürelerine bakıldığında HTK6 betonu yine en hızlı akış değerini göstermiş olup, UB2, TB4 ve HUB7 betonlarında tıkanma meydana gelmiştir.

V hunisi akış süreleri arasındaki farka göre işlenebilirlik kaybına bakıldığında en az kayıp HUK5 betonunda gözlenmiştir. En fazla kayıp ise HTB8 betonunda görülmüştür. UB2, TB4 ve HUB7 betonları tıkanığundan 5 dakika sonundaki akış süreleri ölçülememiştir.

9.7.2 Sertleşmiş Beton Deneyleri Sonuçları

Sertleşmiş beton üzerinde yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar deney türüne göre aşağıdaki şekilde verilmektedir.

9.7.2.1 Basınç Dayanımı

Tablo 9.13 Karışım örneklerinin 7 ve 28 günlük dayanım değerleri

Deneyler	Br.	Beton Karışımları							
		UK1	UB2	TK3	TB4	HUK5	HTK6	HUB7	HTB8
3 günlük basınç dayanımı	MPa	24,0	19,9	21,2	17,5	24,7	17,6	28,3	17,3
7 günlük basınç dayanımı	MPa	35,0	30,6	28,7	24,8	32,3	20,6	37,3	17,8
28 günlük basınç dayanımı	MPa	46,9	40,8	36,9	40,9	41,7	26,0	54,9	23,3
28 günlük eğilme dayanımı	bar	50,1	35,2	44,8	42,5	38,4	37,5	34,3	29,1

Karışımların değişik yaşlardaki basınç dayanım değerleri yukarıdaki tablo 9.13'de verilmiştir. Beton örnekleri kalıplardan çıkarıldıktan sonra dayanım değerlerinin saptanacağı yaşlara kadar kür havuzunda bekletilmişlerdir.

28. gün sonunda yapılan kırımlara göre en yüksek basınç dayanım değerine HUB7 (54,9 MPa) betonunda ulaşılmıştır. En düşük değer ise HTB8 (23.3 MPa) betonunda görölmüştür.

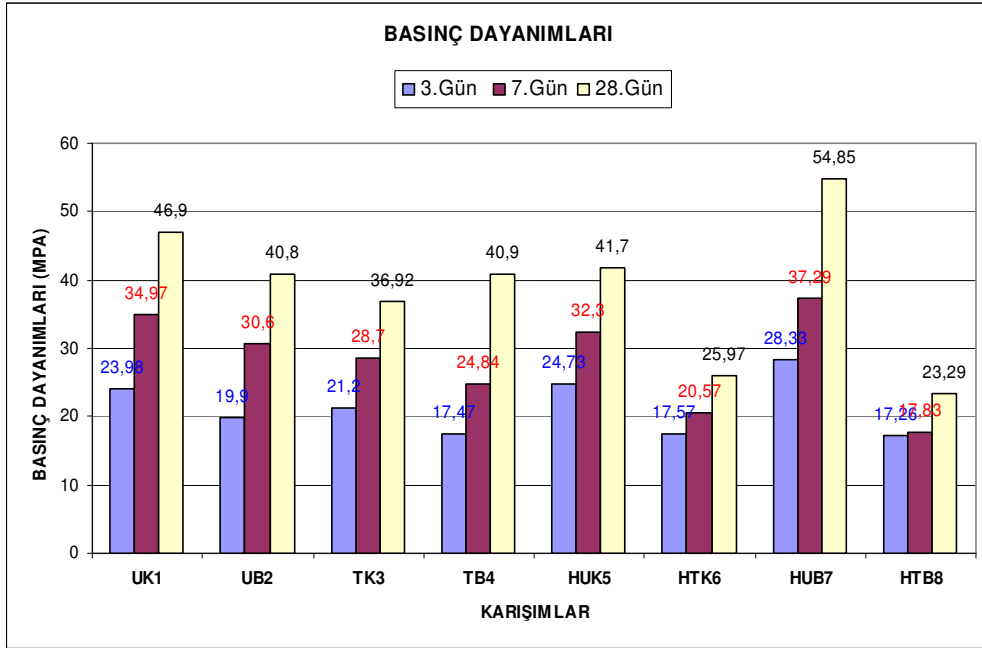
7. gün sonunda yapılan kırımlara göre en yüksek basınç dayanım değerine HUB7 (37,3 MPa) betonunda ulaşılmıştır. En düşük değer ise HTB8 (17,8 MPa) betonunda görölmüştür.

3. gün sonunda yapılan kırımlara göre en yüksek basınç dayanım değerine HUB7 (28.3 MPa) betonunda ulaşılmıştır. En düşük değer ise HTB8 (17,3 MPa) betonunda görölmüştür.

Yaşlara göre bağıl dayanım kazanma hızlarına baktığımızda nihai dayanımının 3. günde en fazla yüzdesine HTB8 betonu, en az yüzde değerine TB4 betonu ulaşmıştır. 3 gün sonundaki dayanım kazanma oranlarına bakarsak taş tozlu karışımların daha yüksek bağıl dayanım yüzdelerini kazandıkları görölmektedir.

7. gün sonunda HTK6 betonu en yüksek bağıl dayanım yüzdesine TB4 betonu ise en düşük yüzdeye ulaşmıştır.

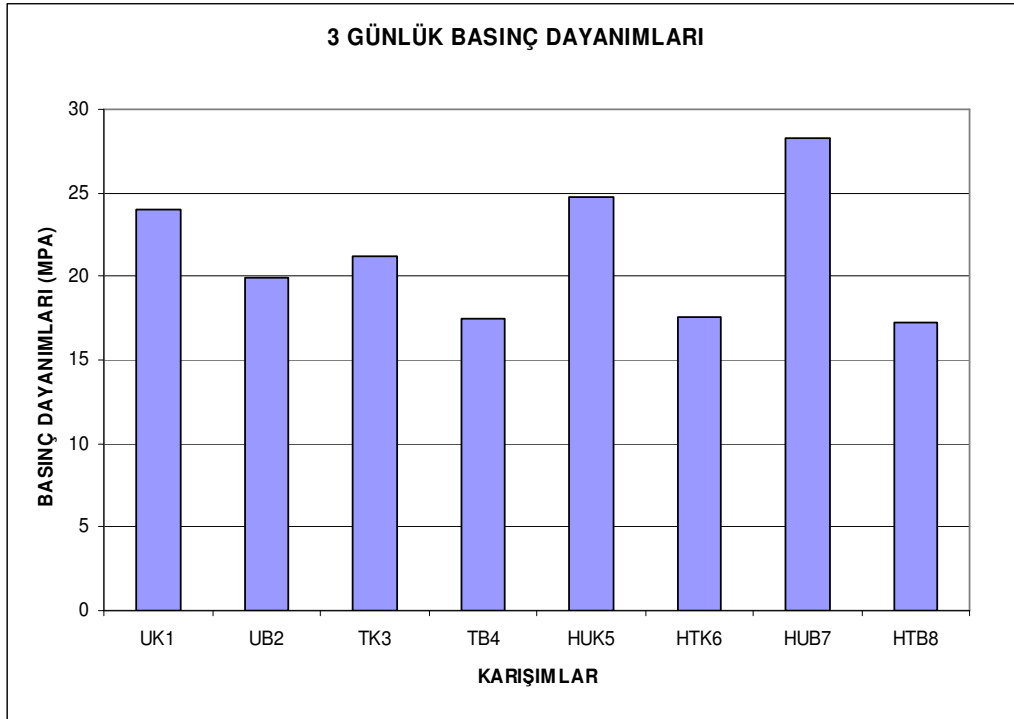
3. ve 7. günler arasında dayanım kazanma oranlarına baktığımızda en fazla dayanım kazanma yüzdesine UB2, en azına ise HTB8 sahip olmuştur.



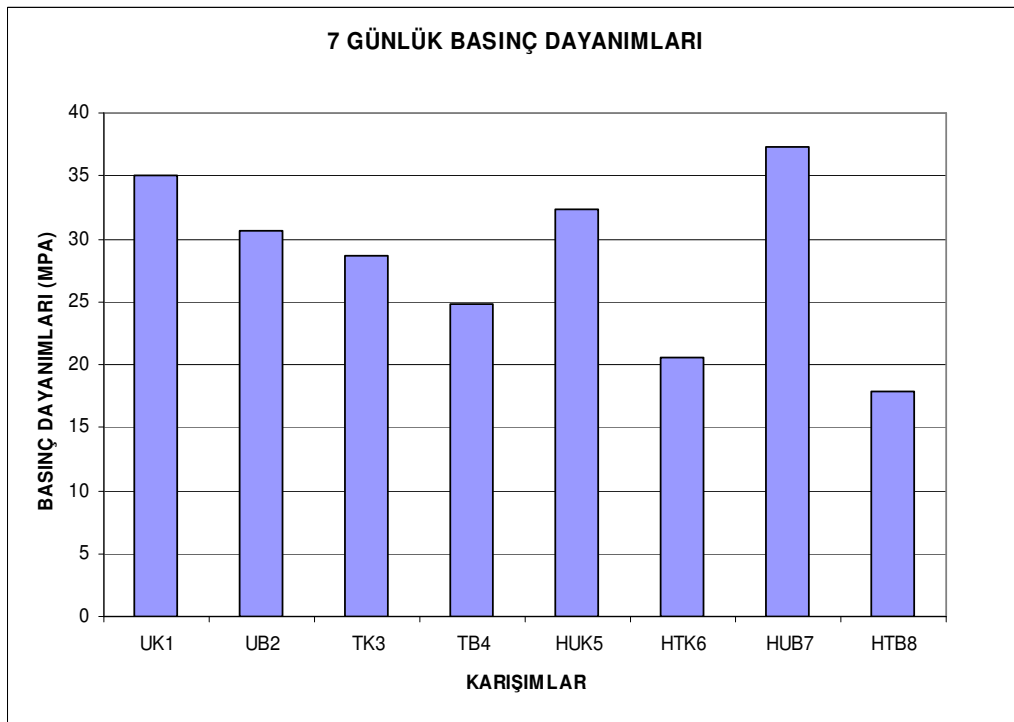
Şekil 9.26 Küp örneklerin 3, 7 ve 28. günlerdeki basınç dayanımları



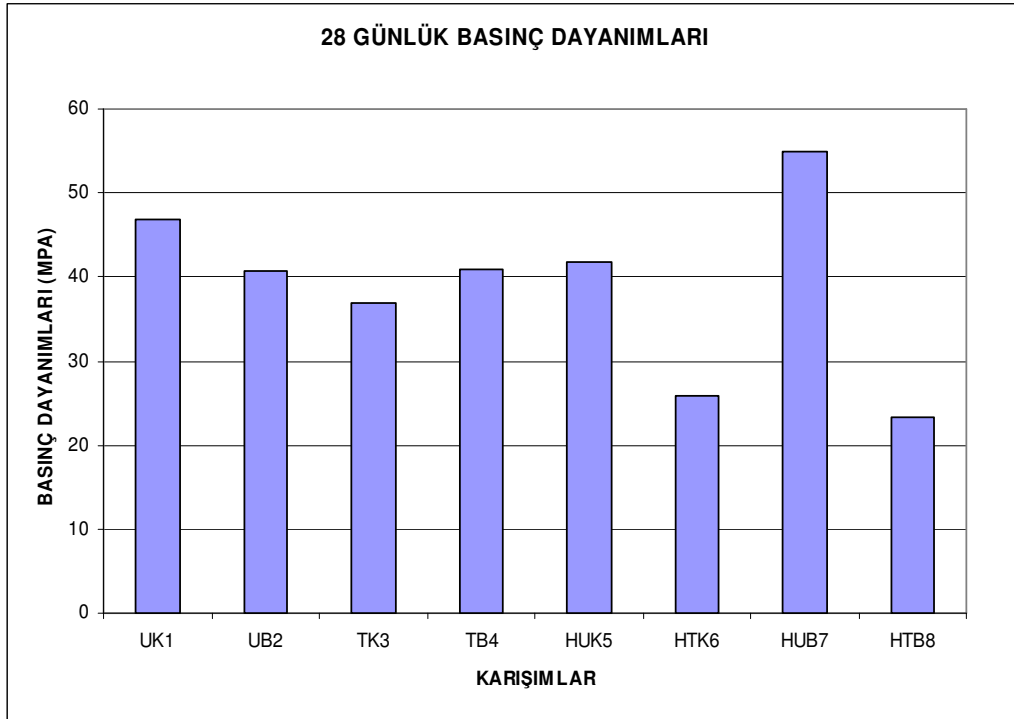
Şekil 9.27 Küp örneklerin 3, 7 ve 28. günlerdeki bağıl basınç dayanımları



Şekil 9.28 Küp örneklerin 3 günlük basınç dayanımlarının karşılaştırılması



Şekil 9.29 Küp örneklerin 7 günlük basınç dayanımlarının karşılaştırılması



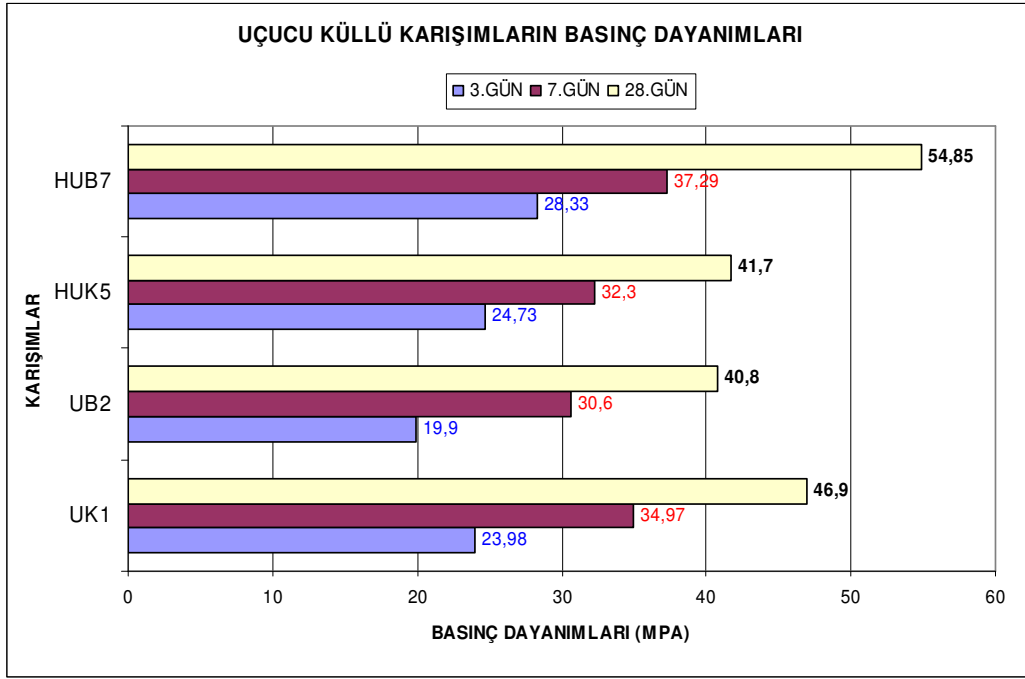
Şekil 9.30 Küp örneklerin 7 günlük basınç dayanımlarının karşılaştırılması

9.7.2.1.1 Filler Tipinin Etkisi

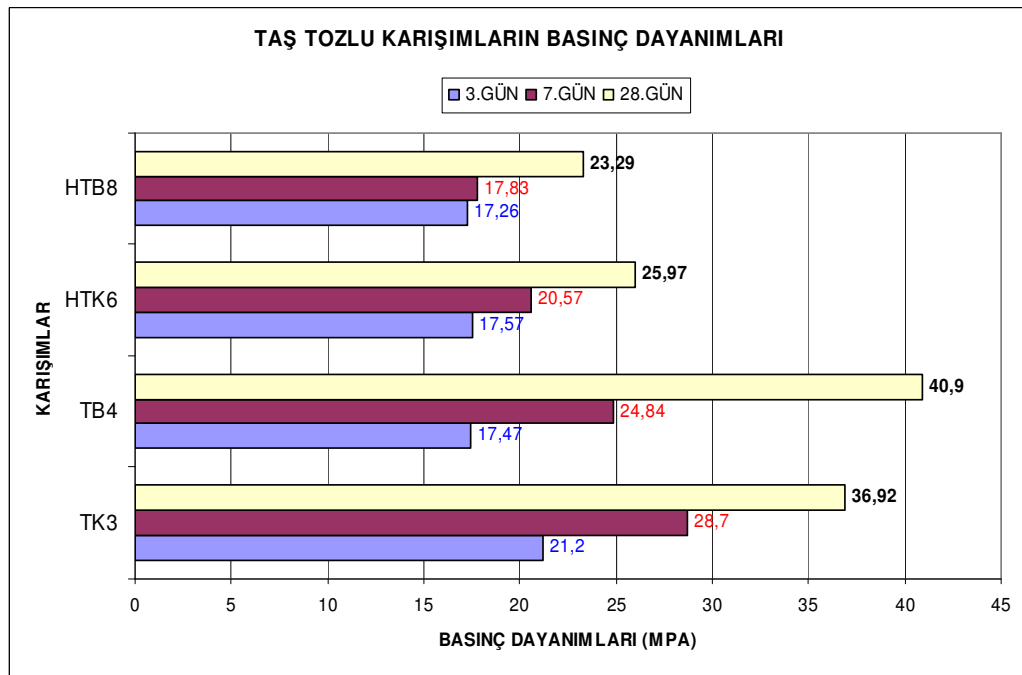
Uçucu küllü karışımlar 28. gün sonunda TB4 hariç bütün taş tozlu karışımlarda daha yüksek değerler vermiştir. Sadece TB4 betonu sadece UB2 betonundan 0, 1 MPa daha fazla değer vermiştir.

Taş tozlu karışımlarda 3.gün ve 7. günde TK3 (21, 2 ve 28, 7), 28. günde ise TB4 betonu (40, 9) en fazla basınç dayanım değerini vermiştir (Şekil 9.32).

Uçucu küllü karışımlarda 3.gün, 7. gün ve 28. günde HUB7 betonu (28, 3 MPa, 37,3 MPa ve 54,8 MPa) en fazla basınç dayanım değerini vermiştir (Şekil 9.31).



Şekil 9.31 Uçucu küllü örneklerin basınç dayanımlarının karşılaştırılması



Şekil 9.32 Taş tozlu örneklerin basınç dayanımlarının karşılaştırılması

Aynı tip karışım malzeme içeriklerine sahip olup filler tipleri taş tozu ve uçucu kül olarak değişen karışımların basınç dayanımları aşağıdaki tablolarda karşılaştırılmıştır.

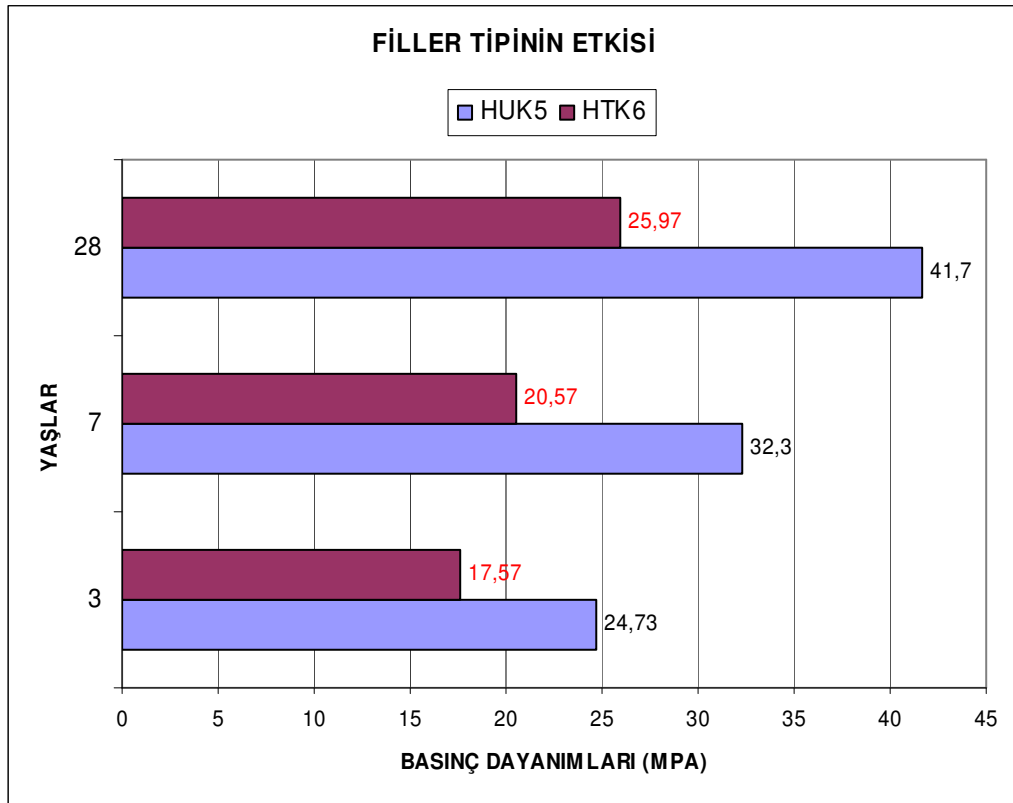
UK1 ve TK3 betonlarında 3. gün, 7.gün ve 28. günlerde UK1 betonu basınç dayanım değerleri daha yüksektir (Şekil 9. 34).

HUK5 ve HTK6 betonlarında 3. gün, 7.gün ve 28. günlerde HUK5 betonu basınç dayanım değerleri daha yüksektir (Şekil 9. 33).

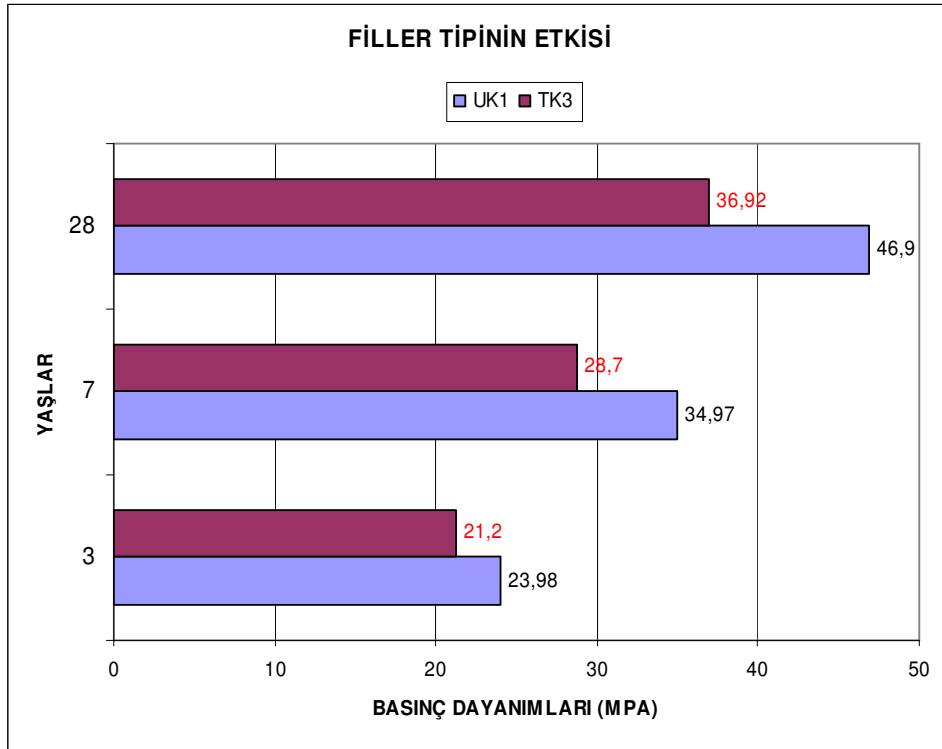
UB2 ve TB4 betonlarında 3. gün ve 7.günde UB2 daha yüksektir. 28. günde TB4 betonu 0, 1 Mpa daha fazla basınç dayanım değerine sahiptir (Şekil 9. 35).

HUB7 ve HTB8 betonlarında 3. gün, 7.gün ve 28. günlerde HUB7 betonu basınç dayanım değerleri daha yüksektir (Şekil 9. 36).

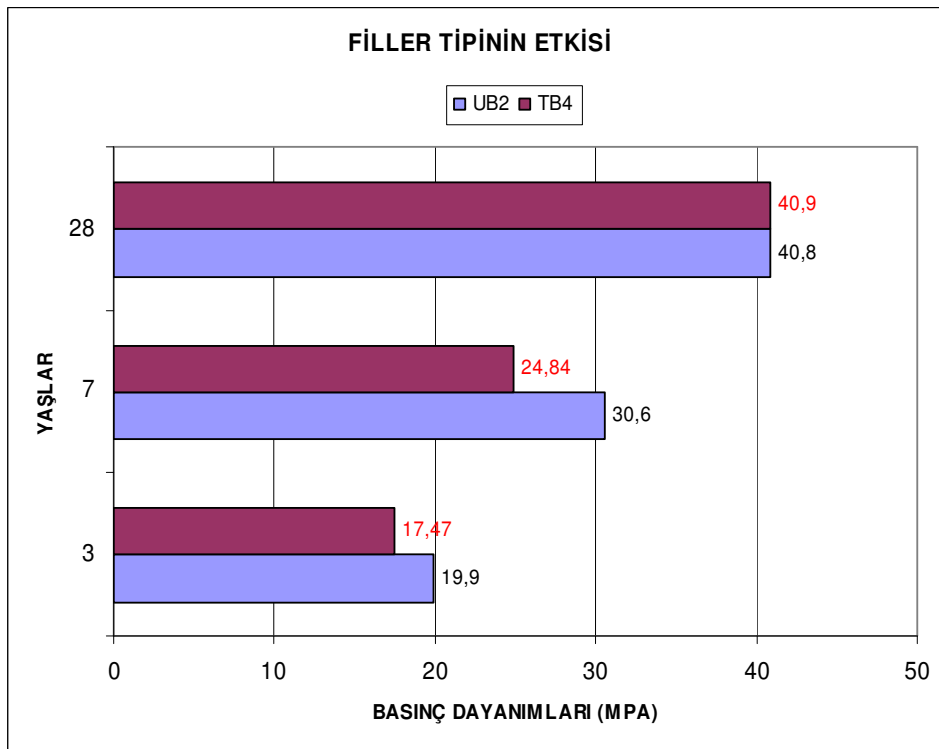
Uçucu küllü örneklerin taş tozlu örneklerden daha yüksek basınç dayanımı vermesi, uçucu külün sahip olduğu puzolanik aktivite özelliğinden olduğu düşünülmektedir.



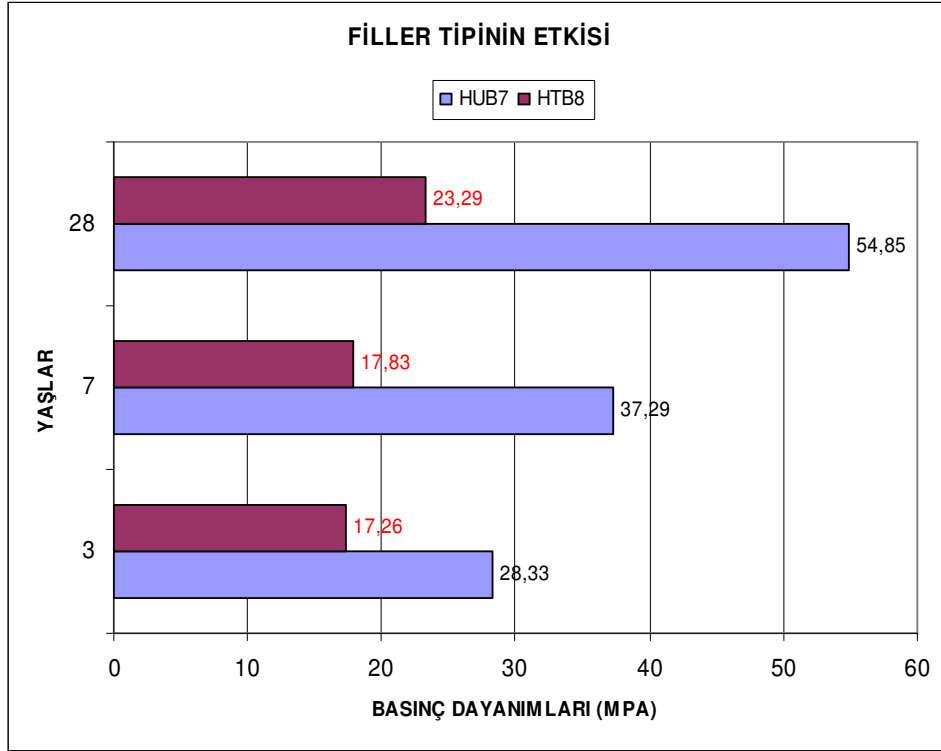
Şekil 9.33 Filler tipleri farklı olan HUK5 ve HTK6 örneklerinin basınç dayanımlarının karşılaştırılması



Şekil 9.34 Filler tipleri farklı olan UK1 ve TK3 örneklerinin basınç dayanımlarının karşılaştırılması



Şekil 9.35 Filler tipleri farklı olan UB2 ve TB4 örneklerinin basınç dayanımlarının karşılaştırılması



Şekil 9.36 Filler tipleri farklı olan HUB7 ve HTB8 örneklerinin basınç dayanımlarının karşılaştırılması

9.7.2.1.2 Agrega Tipinin Etkisi.

Agrega tipi olarak bazalt kullanılan karışımlarda 3, 7 ve 28 gün sonlarındaki basınç dayanımlarda HUB7 (28, 33 MPa, 37, 29 MPa ve 54, 85 MPa) en yüksek değerleri vermiştir.

Agrega tipi olarak kireçtaşı kullanılan karışımlarda 3. ve 28.günde UK1, 7 gün sonunda HUK5 en yüksek basınç dayanım değerlerini vermiştir.

Aynı tip karışım malzeme içeriklerine sahip olup agregası taşı bazalt ve kireçtaşı olarak değişen karışımların basınç dayanımları aşağıdaki grafiklerde karşılaştırılmıştır.

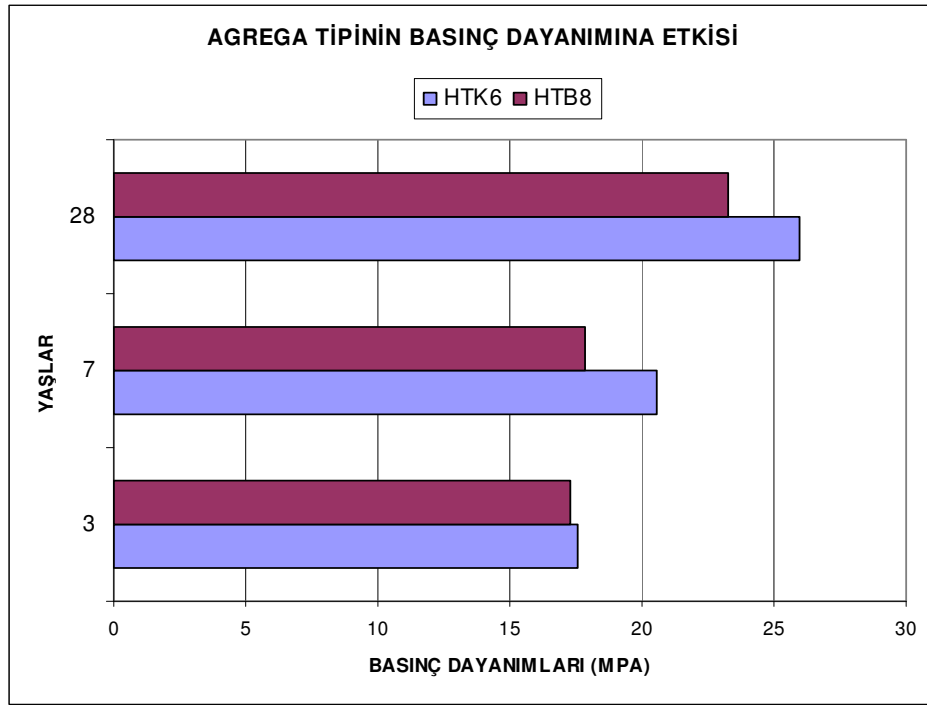
HTK6 ve HTB8 betonlarında 3. gün, 7.gün ve 28. günlerde HTK6 betonu basınç dayanım değerleri daha yüksektir (Şekil 9. 37).

UK1 ve UB2 betonlarında 3. gün, 7.gün ve 28. günlerde UK1 betonu basınç dayanım değerleri daha yüksektir (Şekil 9. 38).

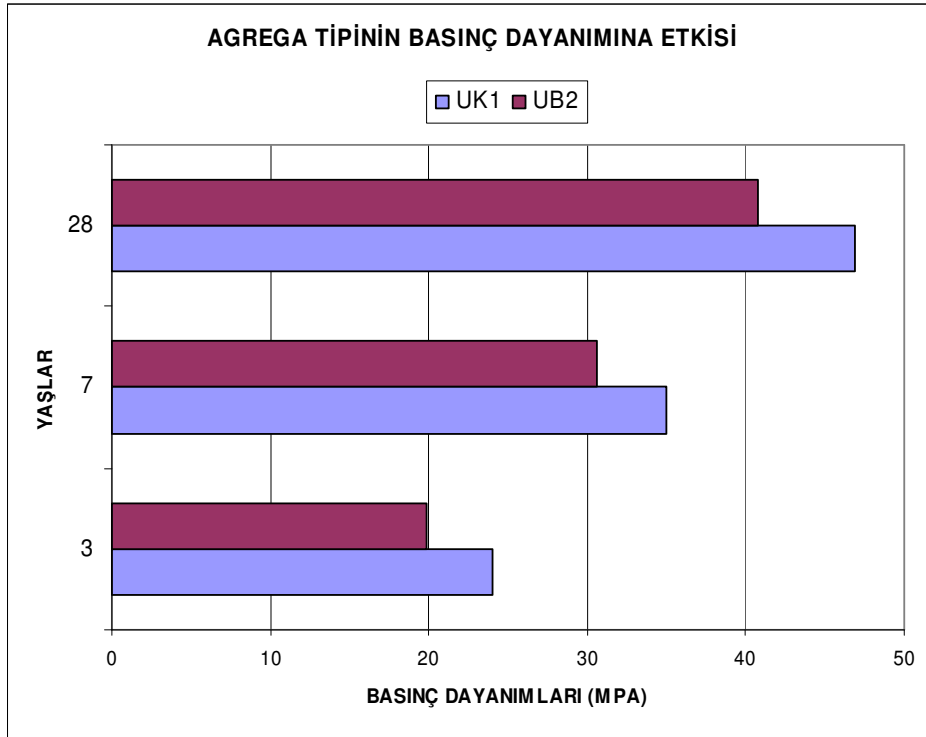
TK3 ve TB4 betonlarında 3. gün ve 7.gün sonunda TK3 , 28. günde TB4 betonu basınç dayanım değerleri daha yüksektir (Şekil 9. 39).

HUK5 ve HUB7 betonlarında 3. gün, 7.gün ve 28. günlerde HUB7 betonu basınç dayanım değerleri daha yüksektir (Şekil 9. 40).

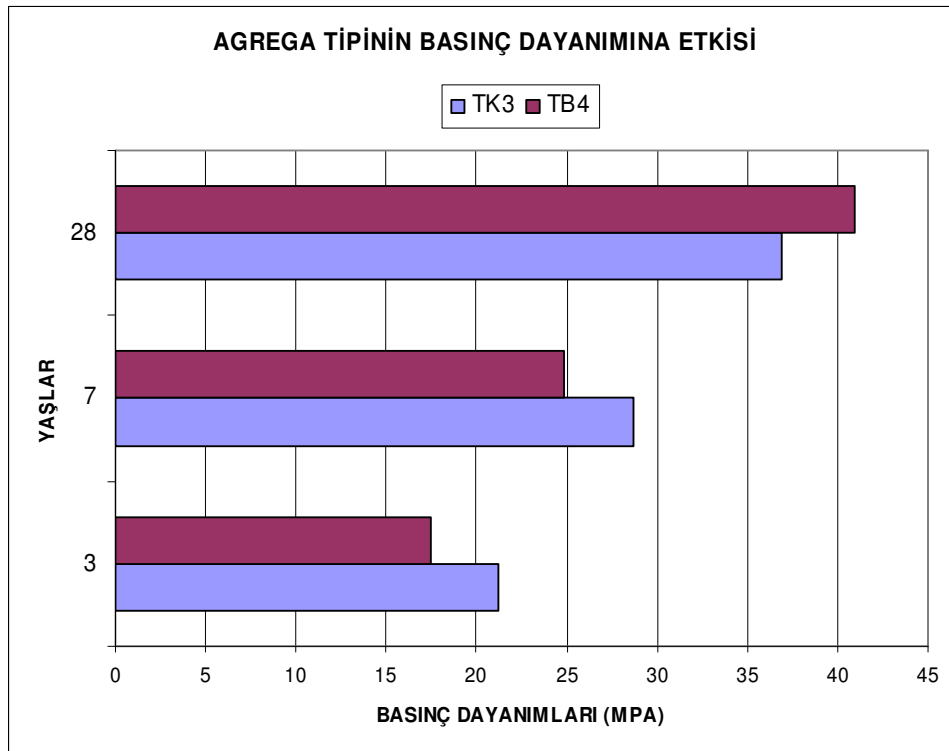
Yukarıdaki basınç dayanımları karşılaştırmalarına bakıldığında genel olarak kireçtaşı beton karışımları daha yüksek sonuç vermesine rağmen en yüksek basınç dayanım değerine agregası bazalt olan HUB7 betonunda ulaşılmıştır.



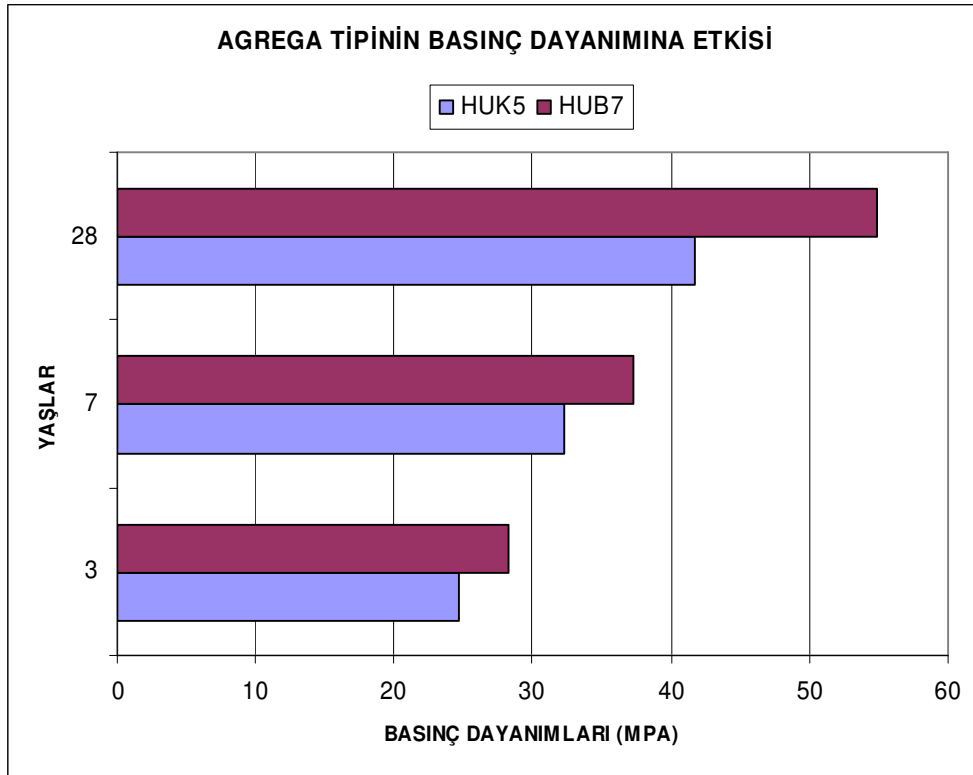
Şekil 9.37 Agregatı tipleri farklı olan HTK6 ve HTB8 örneklerinin basınç dayanımlarının karşılaştırılması



Şekil 9.38 Agregat tipleri farklı olan UK1 ve UB2 örneklerinin basınç dayanımlarının karşılaştırılması

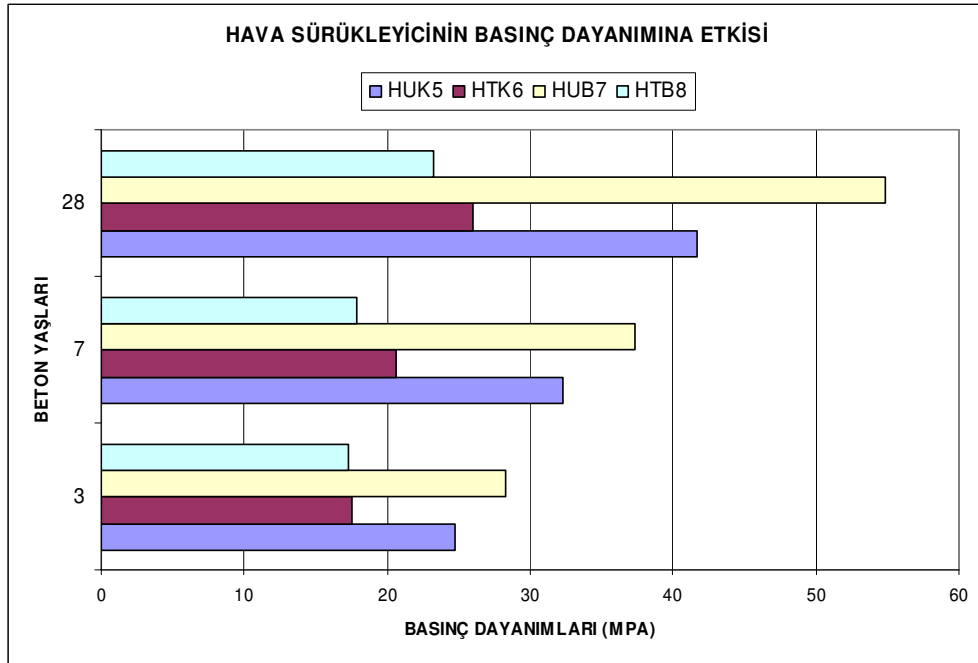


Şekil 9.39 Agregat tipleri farklı olan UB2 ve TB4 örneklerinin basınç dayanımlarının karşılaştırılması



Şekil 9.40 Agregatı tipleri farklı olan HUK5 ve HUB7 örneklerinin basınç dayanımlarının karşılaştırılması

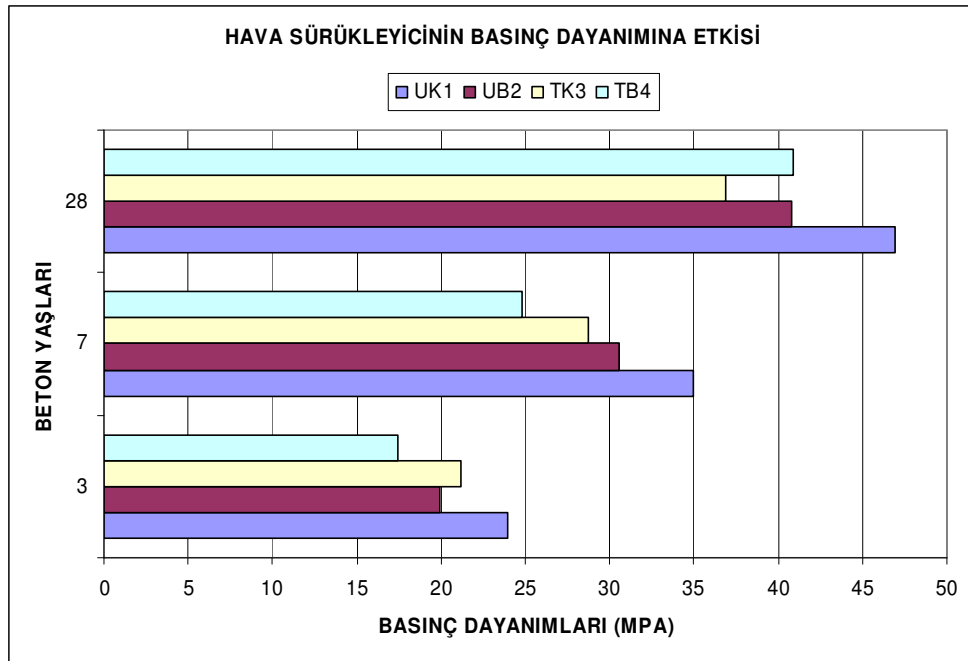
9.7.2.1.3 Hava Sürükleyicinin Etkisi



Şekil 9.41 Hava sürükleyici katkı ilave edilmiş örneklerin basınç dayanımlarının karşılaştırılması

Hava sürükleyici katkı eklenmiş örneklerin basınç dayanımları karşılaştırılığında 3, 7 ve 28. günlerde en yüksek değerleri HUB7 betonu, en düşük değerleri ise HTB8 betonu vermiştir (Şekil 9. 41).

Hava sürüklenmemiş örnekler karşılaştırıldığında en yüksek değerleri 3, 7 ve 28. günlerde UK1 betonu, en düşük değerleri ise 3. ve 7. günlerde TB4 betonu, 28. günde ise TK3 betonu vermiştir (Şekil 9. 42).



Şekil 9.42 Hava sürükleyici katkı ilave edilmiş örneklerin basınç dayanımlarının karşılaştırılması

Aynı tip karışım malzeme içeriklerine sahip olup hava sürükleyici katkı eklenmiş ve eklenmemiş olarak değişen karışımların basınç dayanımları aşağıdaki grafiklerde karşılaştırılmıştır.

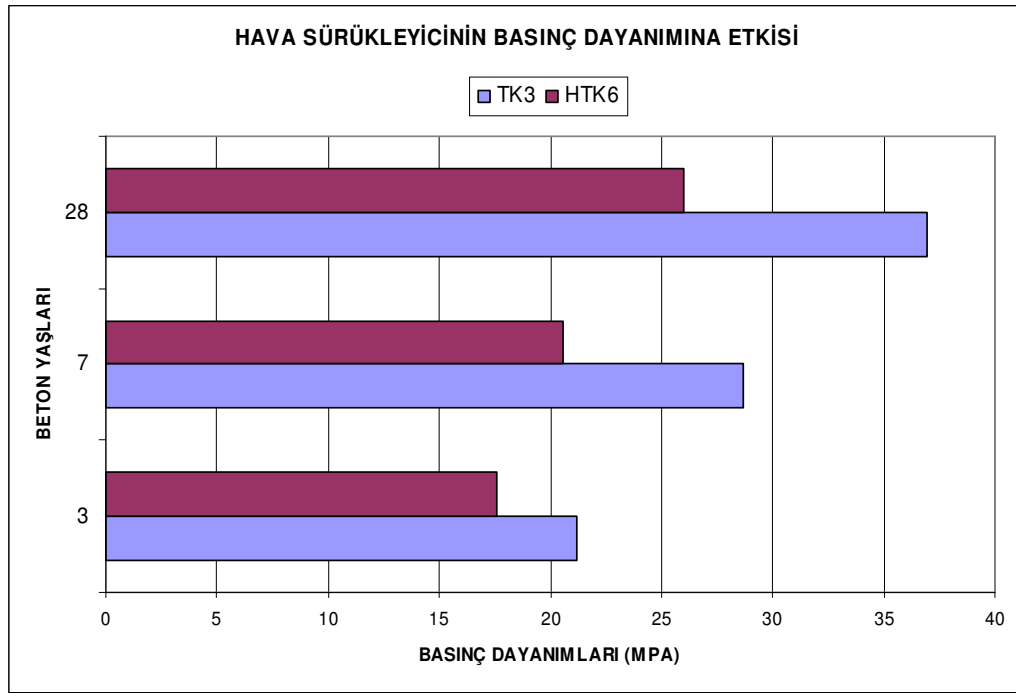
TB4 ve HTB8 betonlarında 3., 7.gün ve 28. günlerde TB4 betonu basınç dayanım değerleri daha yüksektir. Grafikten de görüleceği gibi erken yaşlarda dayanım değerleri arasındaki fark çok az olmasına rağmen ilerleyen yıllarda fark oldukça artmıştır (Şekil 9. 45).

TK3 ve HTK6 betonlarında 3. gün, 7.gün ve 28. günlerde TK3 betonu basınç dayanım değerleri daha yüksektir (Şekil 9. 43).

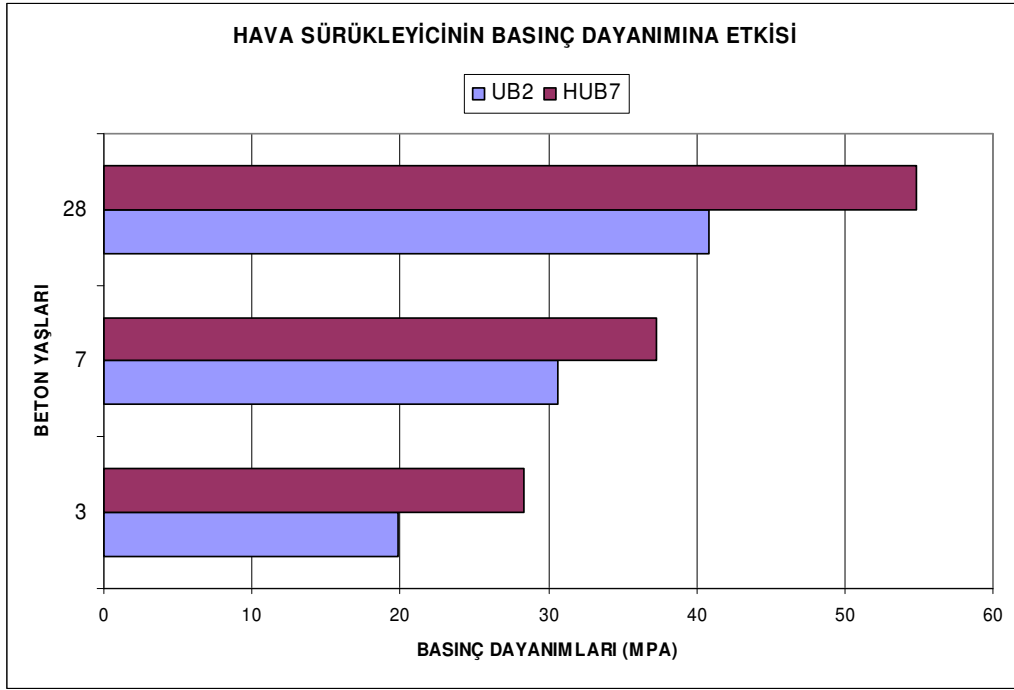
UB2 ve HUB7 betonlarında 3. gün, 7.gün ve 28. günlerde HUB7 betonu basınç dayanım değerleri daha yüksektir(Şekil 9. 44).

UK1 ve HUK5 betonlarında 3. günde HUK5, 7.gün ve 28. günlerde UK1 betonu basınç dayanım değerleri daha yüksektir (Şekil 9. 45).

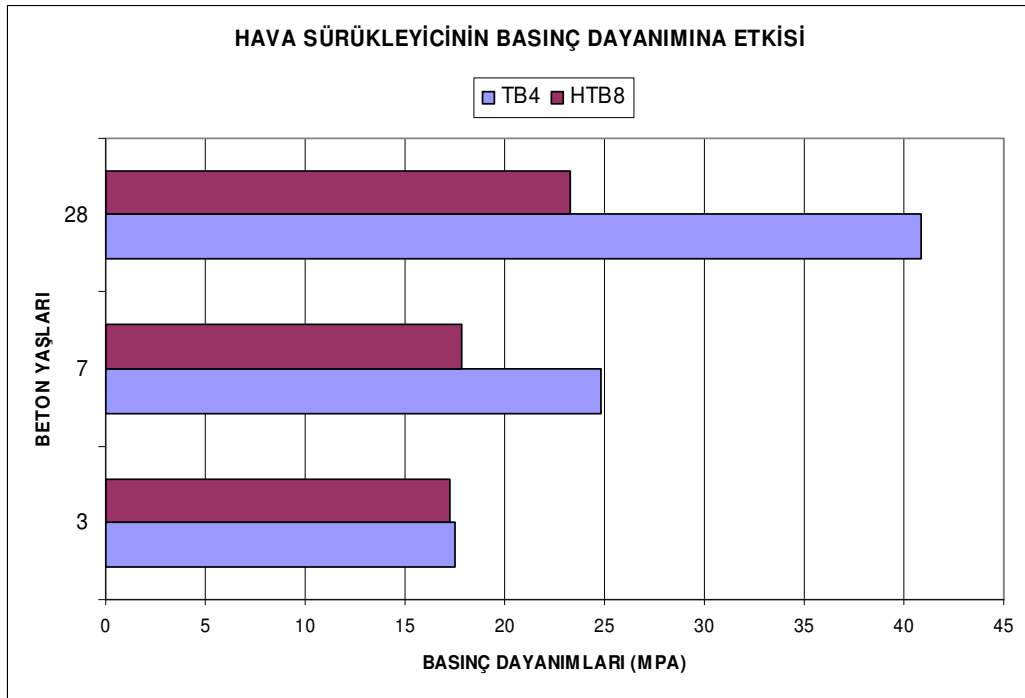
Grafiklerden görüldüğü kadarıyla hava sürükleyici katkı eklenmiş örneklerin 3. gün sonunda bağıl dayanım kazanma değerleri çok yüksektir.



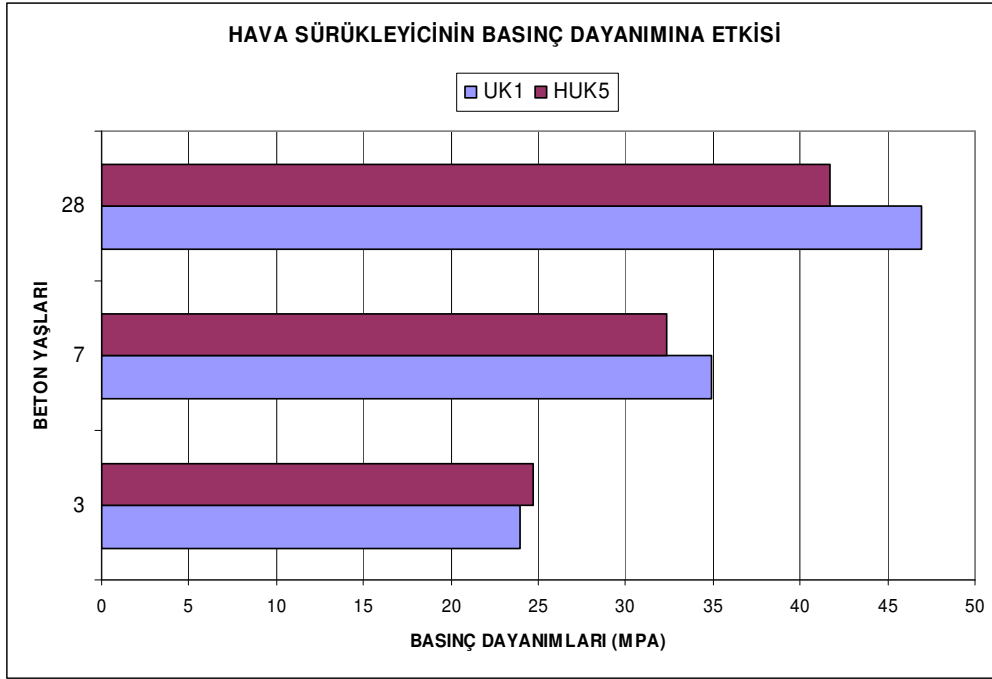
Şekil 9.43 Hava sürükleyici katkı ilave edilen HTK6 betonu ile katkı ilave edilmeyen TK3 betonun basınç dayanımlarının karşılaştırılması



Şekil 9.44 Hava sürükleyici katkı ilave edilen HUB7 betonu ile katkı ilave edilmeyen UB2 betonun basınç dayanımlarının karşılaştırılması



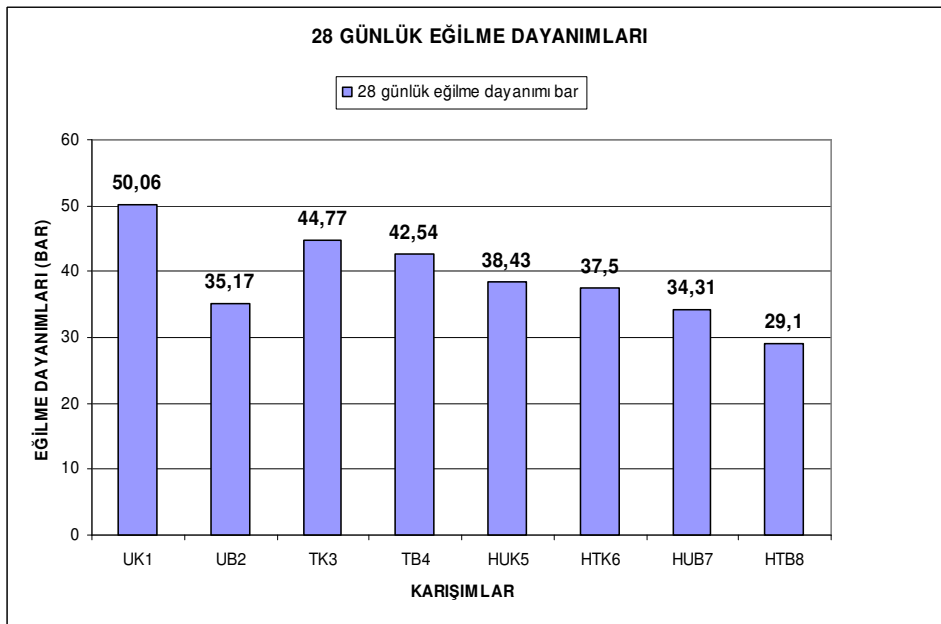
Şekil 9.45 Hava sürükleyici katkı ilave edilen HTB8 betonu ile katkı ilave edilmeyen TB4 betonun basınç dayanımlarının karşılaştırılması



Şekil 9.46 Hava sürükleyici katkı ilave edilen HUK5 betonu ile katkı ilave edilmeyen UK1 betonun basınç dayanımlarının karşılaştırılması

9.7.2.3 Eğilme Dayanımı

Bütün beton karışımları içinde 28 gün sonunda yapılan eğilme dayanımı deneyinde en yüksek değeri UK1 betonu (50,06 MPa), en düşük değeri ise HTB8 betonu (29,1 MPa) vermiştir.



Şekil 9.47 Beton örneklerinin 28 günlük eğilme dayanımlarının karşılaştırılması

9.7.2.3.1 Filler Tipinin Etkisi

Filler olarak taş tozu kullanılan karışımlarda en yüksek eğilme dayanımı değerini TK3 (44, 77 bar), en düşük değeri ise HTB8 (29, 1 bar) vermektedir (Şekil 9. 48).

Filler olarak uçucu kül kullanılan karışımlarda en yüksek eğilme dayanımı değerini UK1 (50, 06 bar), en düşük değeri ise HUB7 (34, 31 bar) vermektedir (Şekil 9. 48).

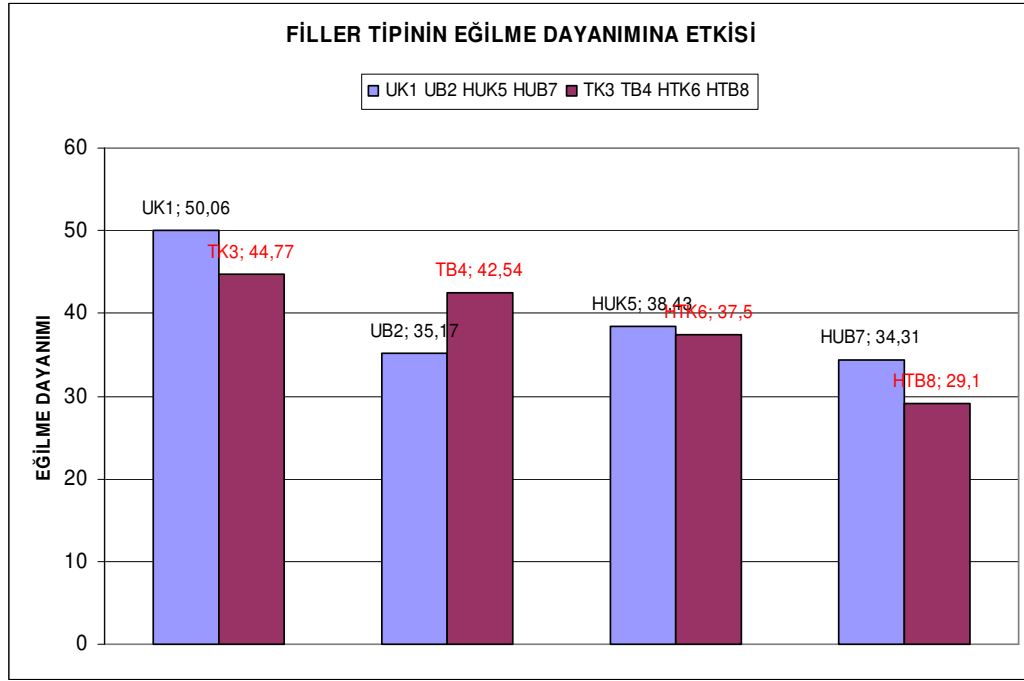
Aynı tip karışım malzeme içeriklerine sahip olup kullanılan filler tipleri uçucu kül ve taş tozu olarak değişen karışımların eğilme dayanımları aşağıdaki Şekil 9 . 48’de karşılaştırılmıştır.

HUK5 ve HTK6 arasında eğilme dayanımları karşılaştırıldığında uçucu küllü olan HUK5’in dayanımının daha yüksek olduğu görülmektedir.

HUB7 ve HTB8 arasında eğilme dayanımları karşılaştırıldığında uçucu küllü olan HUB7’nin dayanımının daha yüksek olduğu görülmektedir.

UK1 ve TK3 arasında eğilme dayanımları karşılaştırıldığında uçucu küllü olan UK1’in dayanımının daha yüksek olduğu görülmektedir.

UB2 ve TB4 arasında eğilme dayanımları karşılaştırıldığında taş tozlu olan TB4’ün dayanımının daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 9.48 Filler tipinin değiştirilmesine göre eğilme dayanımlarının değişimi

9.7.2.3.2. Agrega Tipinin Etkisi

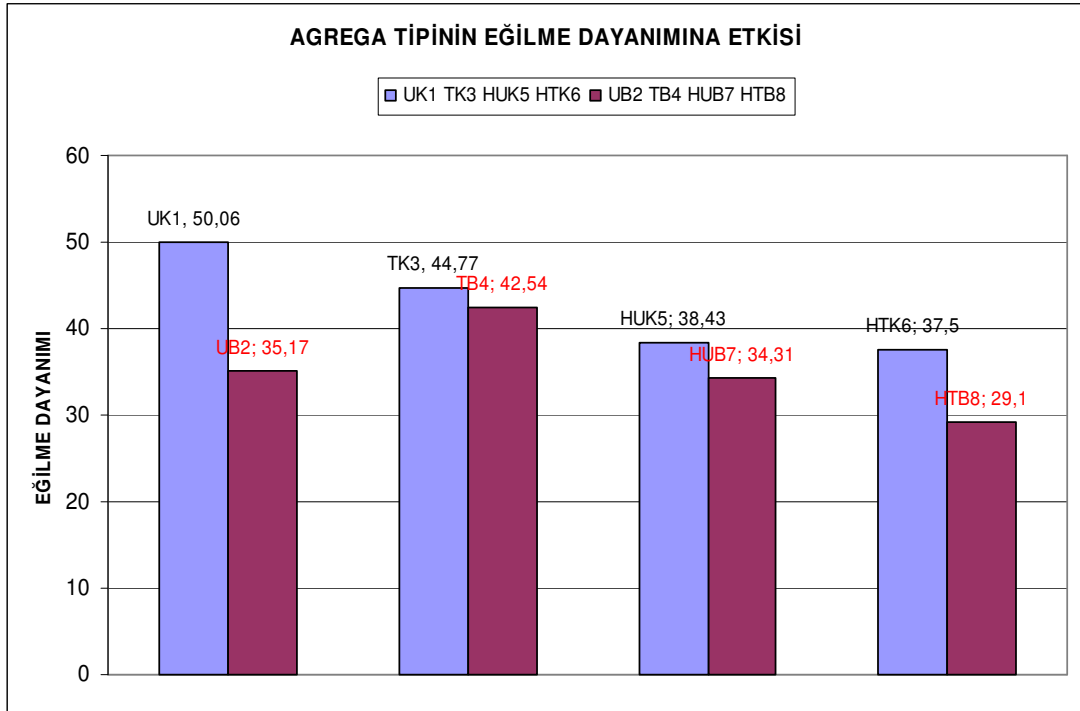
Agrega olarak bazalt kullanılan karışımlarda en yüksek eğilme dayanımı değerini TB4 (42, 54 bar), en düşük değeri ise HTB8 (29, 1 bar) vermektedir (Şekil 9. 49).

Agrega olarak kireçtaşı kullanılan karışımlarda en yüksek eğilme dayanımı değerini UK1 (50, 06 bar), en düşük değeri ise HTK6 (37, 5 bar) vermektedir.

HTK6 ve HTB8 arasında eğilme dayanımları karşılaştırıldığında kireçtaşı olan HTK6'nın dayanımının daha yüksek olduğu görülmektedir.

HUK5 ve HUB7 arasında eğilme dayanımları karşılaştırıldığında kireçtaşı olan HUK5'in dayanımının daha yüksek olduğu görülmektedir.

TK3 ve TB4 arasında eğilme dayanımları karşılaştırıldığında kireçtaşı olan TK3'ün dayanımının daha yüksek olduğu görülmektedir



Şekil 9.49 Agregat tiplerine göre eğilme dayanımlarının değişimi

UK1 ve UB2 arasında eğilme dayanımları karşılaştırıldığında kireçtaşı olan UK1'in dayanımının daha yüksek olduğu görülmektedir.

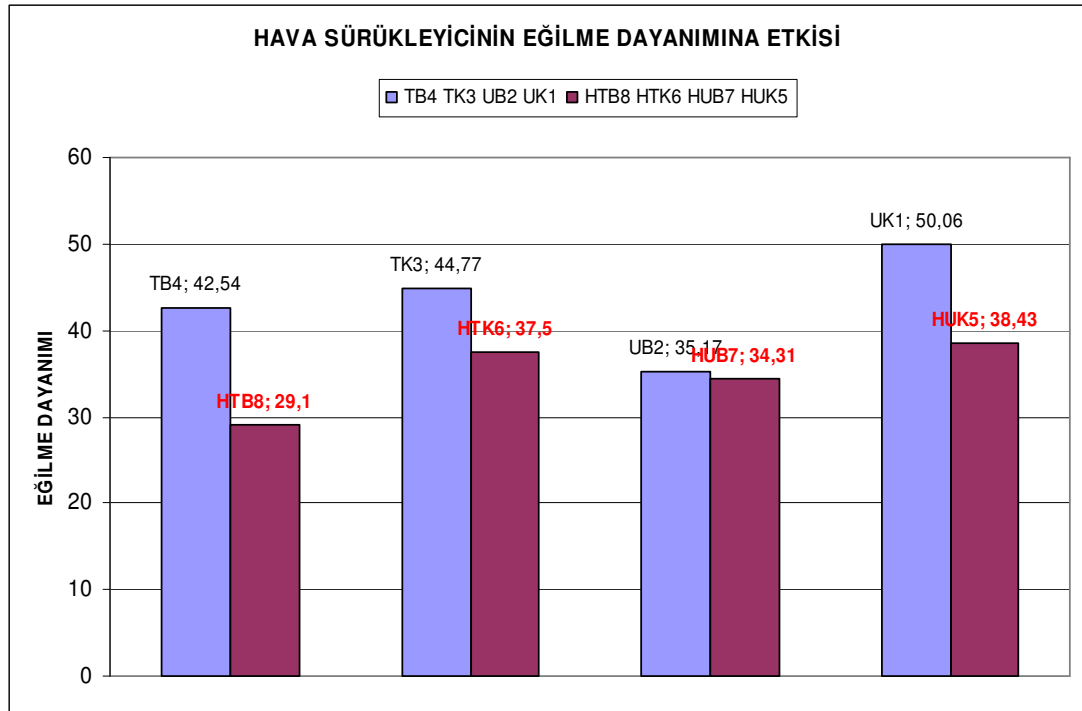
Agrega olarak kireçtaşının kullanıldığı karışım örneklerinin hepsinin eğilme dayanımları bazaltlı örneklerden daha yüksek çıkmıştır. Bunun nedeninin bazalt yüzeylerinin camsı yapısından dolayı beton hamuruna olan aderansının düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

9.7.2.3.3 Hava Sürükleyicinin Etkisi

Hava sürükleyici katkı ilave edilen örnekler arasında en yüksek eğilme dayanımına sahip olan örnek HUK5 (38, 43bar), en düşük dayanıma sahip olan ise HTB8 (29, 1 bar) örneğidir (Şekil 9. 50).

Hava sürükleyici katkı ilave edilmeyen örnekler arasında en yüksek eğilme dayanımına sahip olan örnek UK1 (50, 06 bar), en düşük dayanıma sahip olan ise UB2 (35, 17 bar) örneğidir.

TB4 ve HTB8 arasında eğilme dayanımları karşılaştırıldığında TB4'ün dayanımının daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 9.50 Hava sürükleyici katkı ilavesinin eğilme dayanımlarına etkisi

TK3 ve HTK6 arasında eğilme dayanımları karşılaştırıldığında TK3'ün dayanımının daha yüksek olduğu görülmektedir.

UB2 ve HUB7 arasında eğilme dayanımları karşılaştırıldığında UB2'nin dayanımının daha yüksek olduğu görülmektedir.

UK1 ve HUK5 arasında eğilme dayanımları karşılaştırıldığında UK1'in dayanımının daha yüksek olduğu görülmektedir.

Bütün örneklerden görüldüğü gibi hava sürükleyici katkı eklenmesi eğilme dayanımı değerini düşürmektedir.

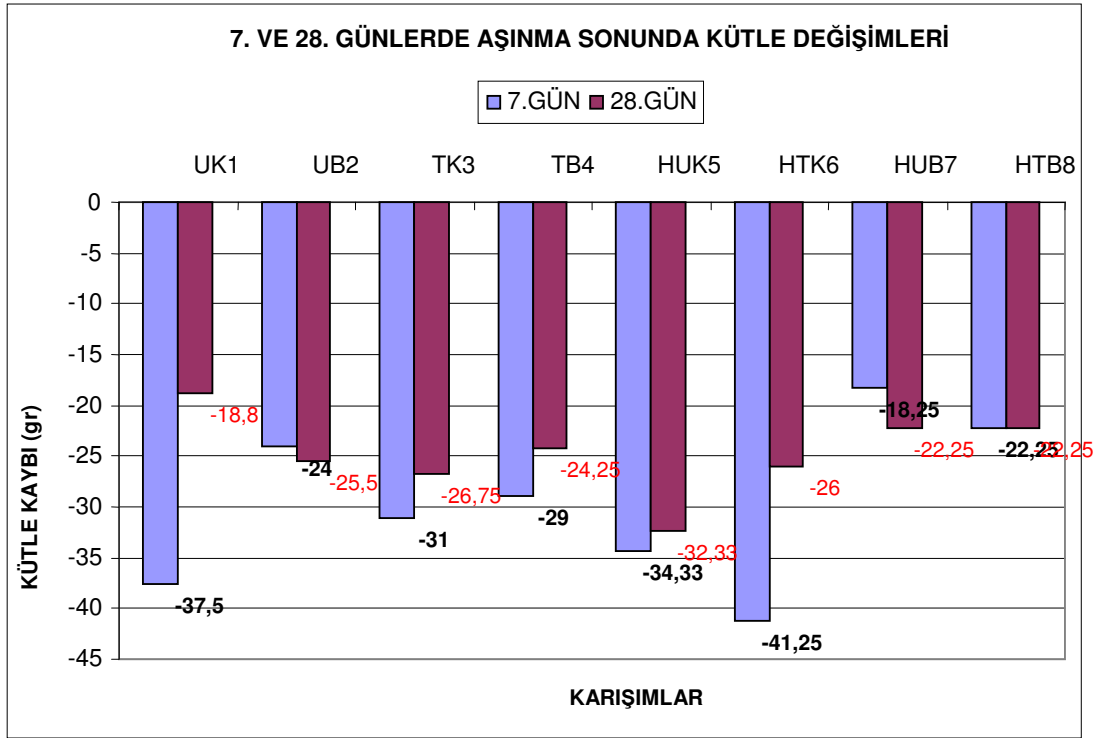
9.7.2.4 Aşınma Dayanımı

Tüm örnekler içinde en fazla ağırlıkça kayıp 7. gün sonunda yapılan aşınmada HTK6 (41, 25 gr), hacimce en fazla kayıp yine 7. gün sonunda HTK6'da (51, 77 cm³) ölçülmüştür (Tablo 9.13).

Tüm örnekler içinde en az ağırlıkça kayıp 28. gün sonunda yapılan aşınmada UK1 (18, 8 gr), hacimce en fazla kayıp 28. gün sonunda TB4'de (22, 22 cm³) ölçülmüştür (Tablo 9.14).

Tablo 9.14 Aşınma dayanımı ve kütle kaybı değişimleri

	Br.	YAŞ	Beton Karışımları							
			UK1	UB2	TK3	TB4	HUK5	HTK6	HUB7	HTB8
AŞINMA DAYANIMI KÜTLE DEĞİŞİMLERİ	gr	7	-37, 5	-24	-31	-29	-34, 33	-41, 25	-18, 25	-22, 25
		28	-18, 8	-25, 5	-26, 75	-24, 25	-32, 33	-26	-22, 25	-22, 25
AŞINMA DAYANIMI YÜZDE KÜTLE DEĞİŞİMLERİ	%	7	-4, 50%	-2, 87%	-3, 62%	-3, 53%	-4, 31%	-5, 38%	-2, 20%	-2, 91%
		28	-2, 22%	-3, 05%	-3, 11%	-2, 92%	-3, 98%	-3, 07%	-2, 67%	-2, 88%
AŞINMA DAYANIMI HACİM DEĞİŞİMLERİ	cm ³	7	-49, 61	-27, 69	-37, 33	-32, 78	-45, 46	-51, 77	-26, 01	-33, 98
		28	-24, 61	-32, 15	-36, 34	-22, 22	-43, 08	-35, 22	-30, 32	-28, 43
AŞINMA DAYANIMI YÜZDE HACİM DEĞİŞİMLERİ	%	7	-13, 64	-7, 56	-10, 14	-8, 98	-12, 17	-14, 22	-6, 74	-9, 16
		28	-6, 76	-8, 80	-9, 95	-8, 13	-11, 57	-9, 06	-8, 07	-7, 71



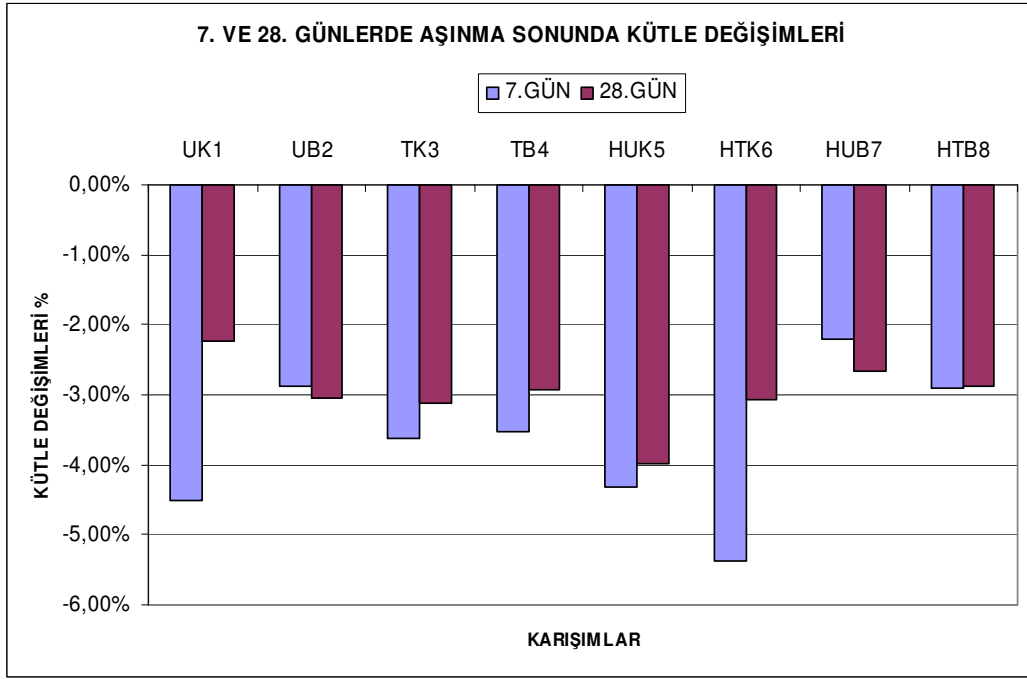
Şekil 9.51 7 ve 28 günler sonunda aşınma değerlerinin kütle değişimleri

7. gün sonunda yapılan aşınma deneylerinde en fazla hacim kaybı HTK6, en az hacim kaybı HUB7 örneklerinde görülmüştür (Şekil 9. 53).

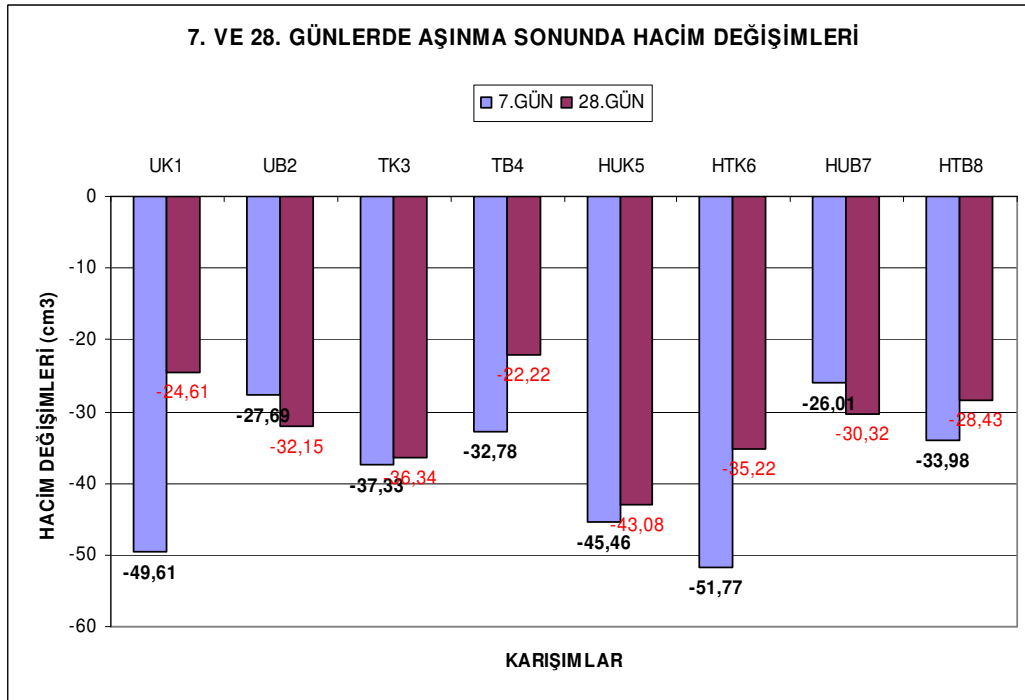
7. gün sonunda yapılan aşınma deneylerinde en fazla ağırlık kaybı HTK6, en az ağırlık kaybı HUB7 örneklerinde görülmüştür (Şekil 9. 51).

28. gün sonunda yapılan aşınma deneylerinde en fazla ağırlık kaybı HUK5, en az ağırlık kaybı UK1 örneklerinde görülmüştür.

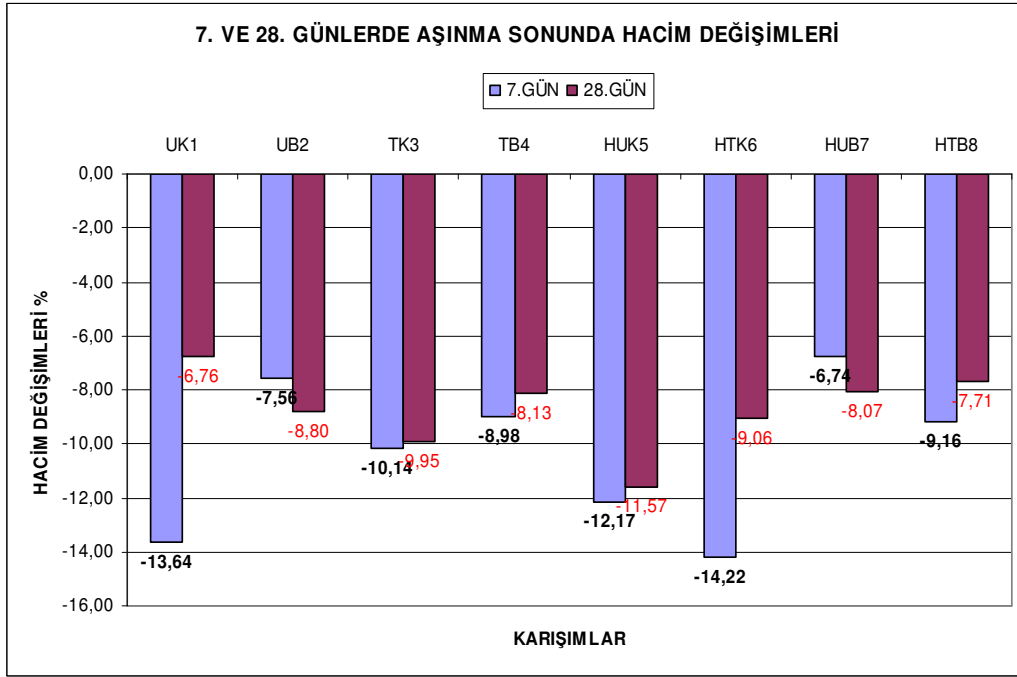
28. gün sonunda yapılan aşınma deneylerinde en fazla hacim kaybı HUK5, en az hacim kaybı TB4 örneklerinde görülmüştür.



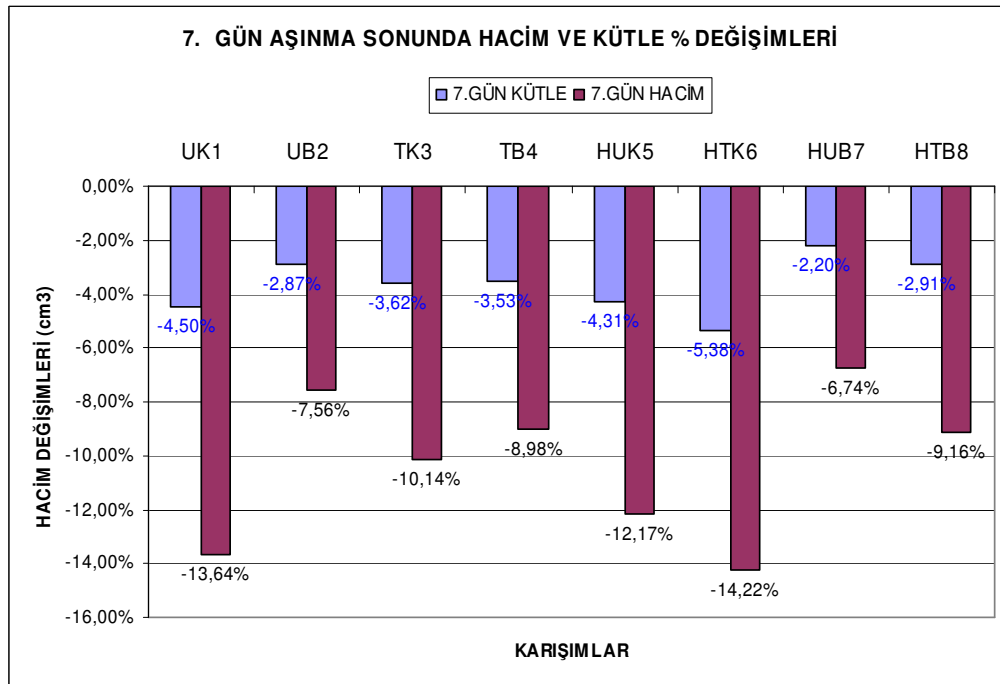
Şekil 9.52 7 ve 28 günler sonunda aşınma değerlerinin kütle değişimleri



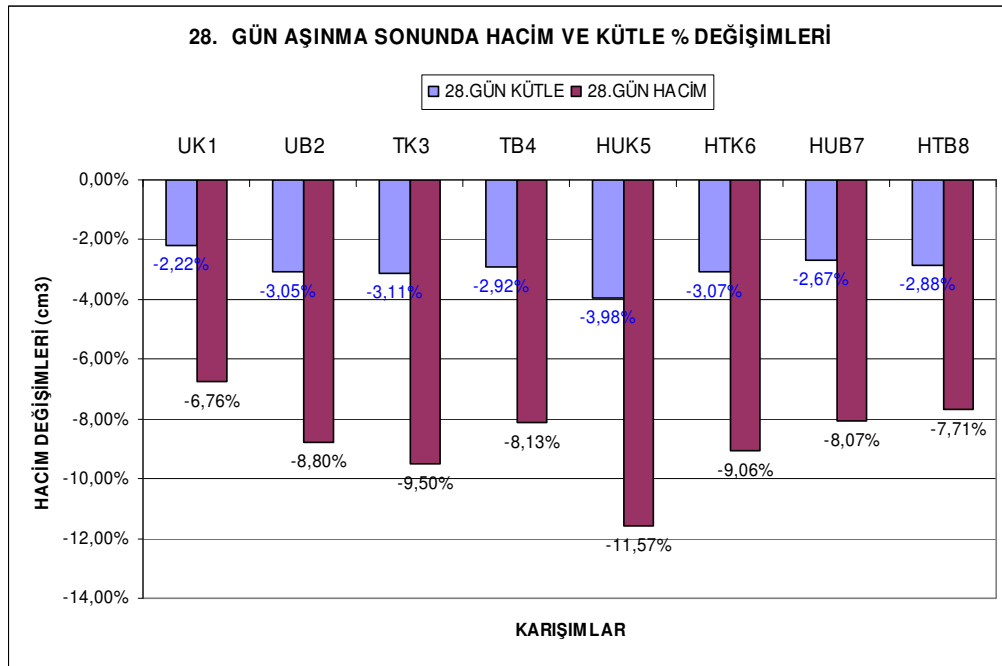
Şekil 9.53 7 ve 28 günler sonunda aşınma değerlerinin hacim değişimleri



Şekil 9.54 7 ve 28 günler sonunda aşınma değerlerinin hacim değişimleri



Şekil 9.55 7.gün aşınma deneyleri sonucun ağırlık ve hacim kayıp miktarının karşılaştırılması

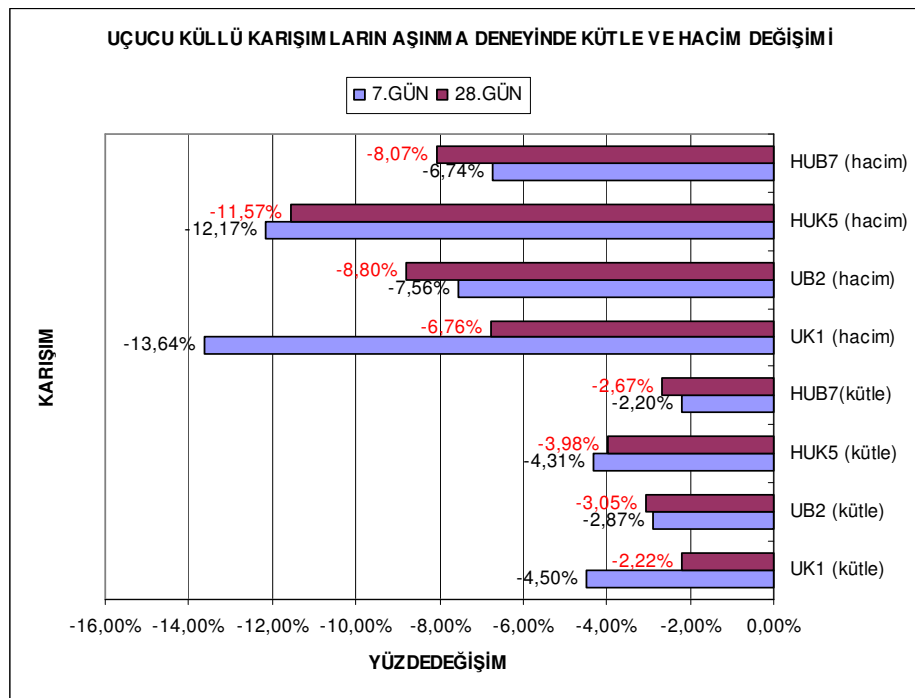


Şekil 9.56 7.gün aşınma deneyleri sonucun ağırlık ve hacim kayıp yüzdelерinin karşılaştırılması

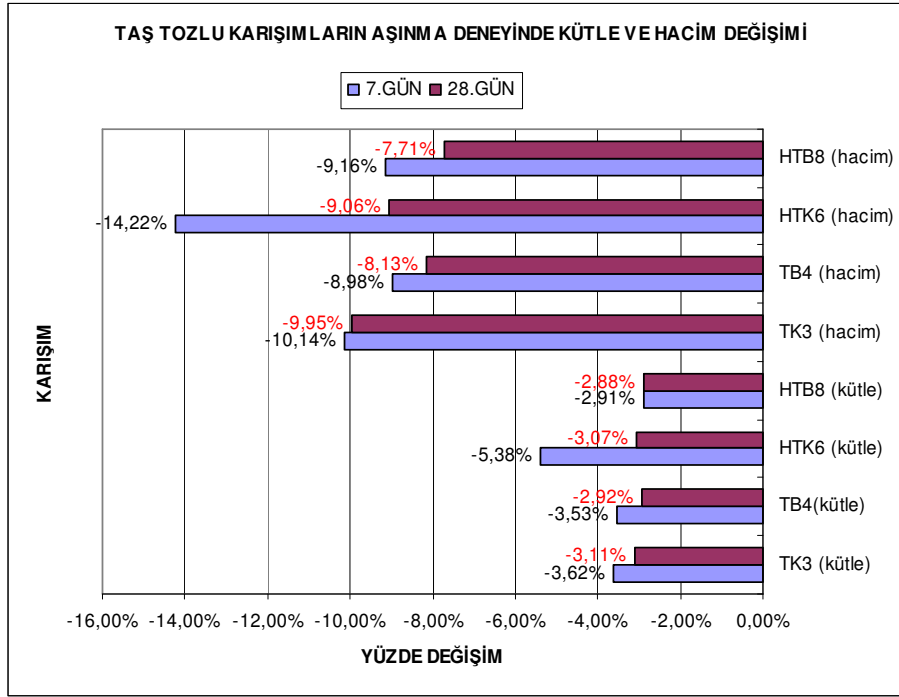
9.7.2.4.1 Filler Tipinin Etkisi

Taş tozlu örneklerde en fazla kütle ve en fazla hacim kaybı yüzdesi 7. gün sonunda HTK6 örneklerinde gözlenmiştir. En az kütle ve hacim kaybı yüzdesi 28. günde HTB8 örneklerinde görülmüştür (Şekil 9. 58).

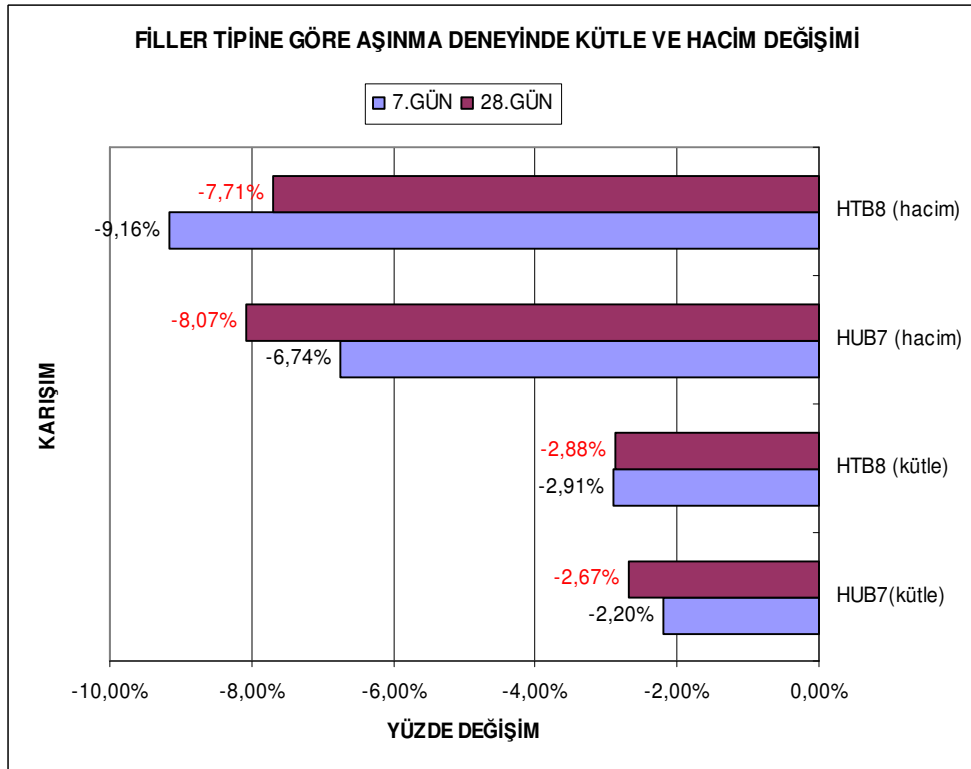
Uçucu küllü örneklerde en fazla kütle ve en fazla hacim kaybı yüzdesi 7. gün sonunda UK1 örneklerinde gözlenmiştir. En az kütle ve hacim kaybı yüzdesi 7. günde HUB7 örneklerinde görülmüştür (Şekil 9. 57).



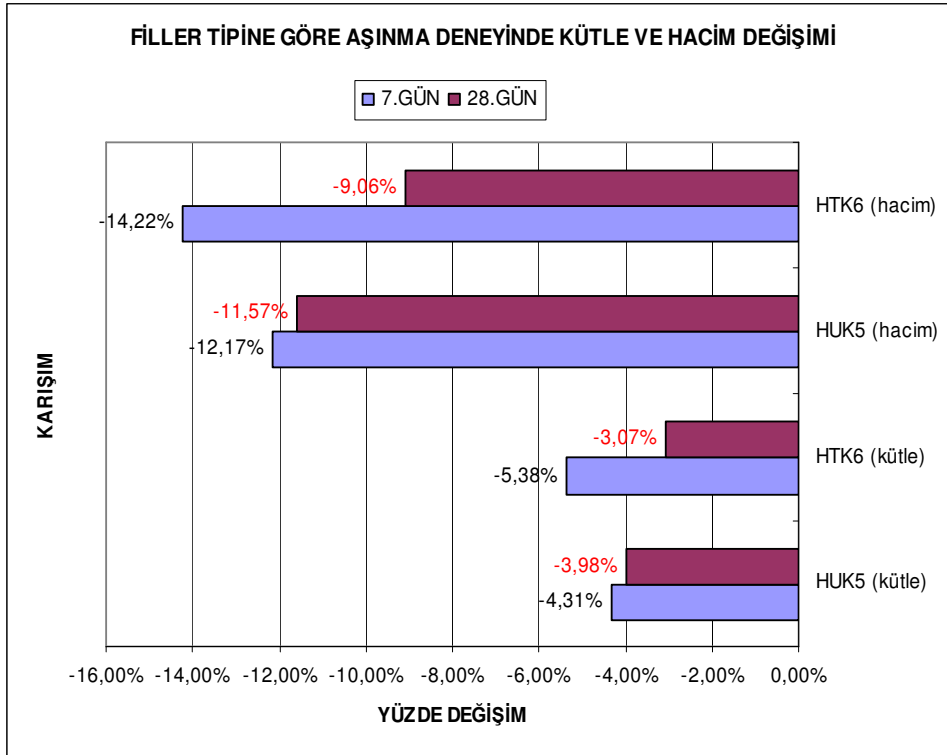
Şekil 9.57 Uçucu küllü örneklerin aşınma deneyinde kütle ve hacim değişimleri



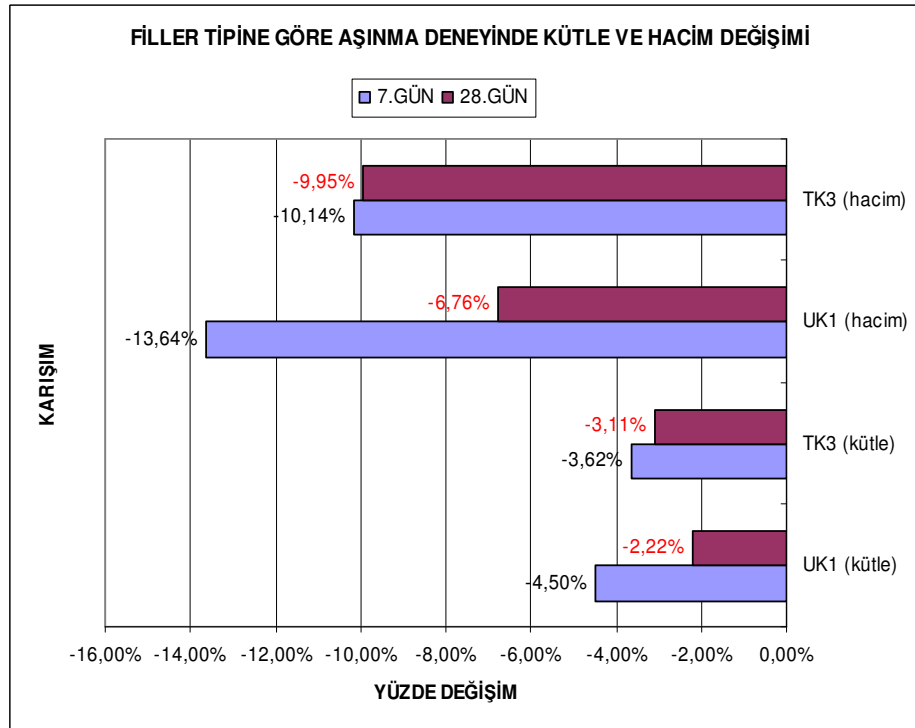
Şekil 9.58 Taş tozlu örneklerin aşınma deneyinde kütle ve hacim değişimleri



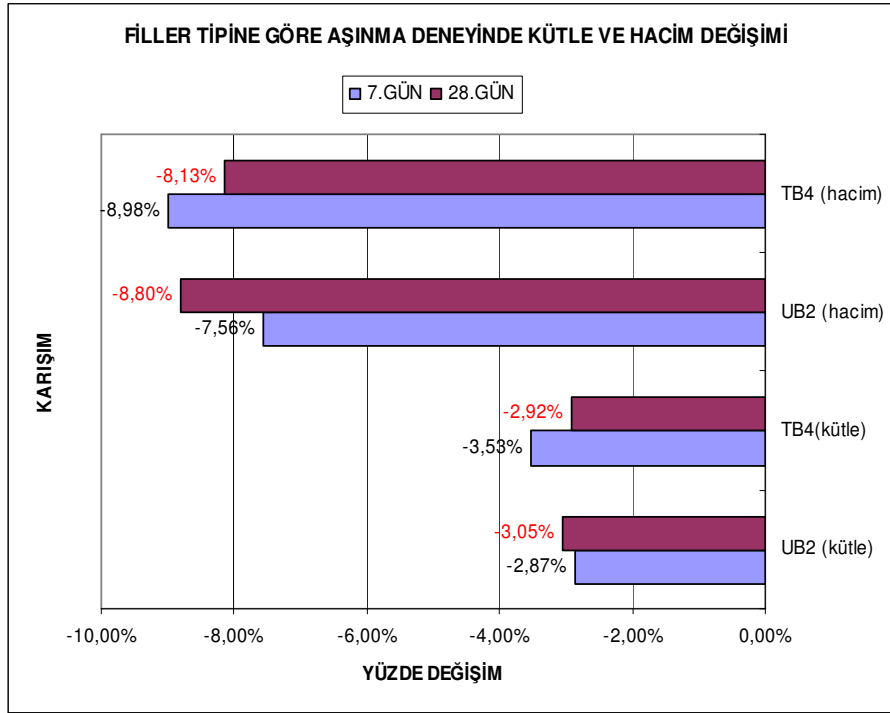
Şekil 9.59 Filler tipleri farklı HTB8 ve HUB7 örneklerinin aşınma değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 9.60 Filler tipleri farklı HTK6 ve HUK5 örneklerinin aşınma değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 9.61 Filler tipleri farklı TK3 ve UK1 örneklerinin aşınma değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 9.62 Filler tipleri farklı TB4 ve UB2 örneklerinin aşınma değerlerinin karşılaştırılması

9.7.2.4.2 Agrega Tipinin Etkisi

Kireçtaşı kullanılan örneklerde en fazla kütle ve en fazla hacim kaybı yüzdesi 7. gün sonunda HTK6 örneklerinde gözlenmiştir. En az kütle ve hacim kaybı yüzdesi 28. günde UK1 örneklerinde görülmüştür (Şekil 9. 63).

Bazalt kullanılan örneklerde en fazla kütle kaybı yüzdesi 7.gün sonunda TB4 ve en fazla hacim kaybı yüzdesi 7. gün sonunda HTB8 örneklerinde gözlenmiştir. En az kütle ve hacim kaybı yüzdesi 7. günde HUB7 örneklerinde görülmüştür.

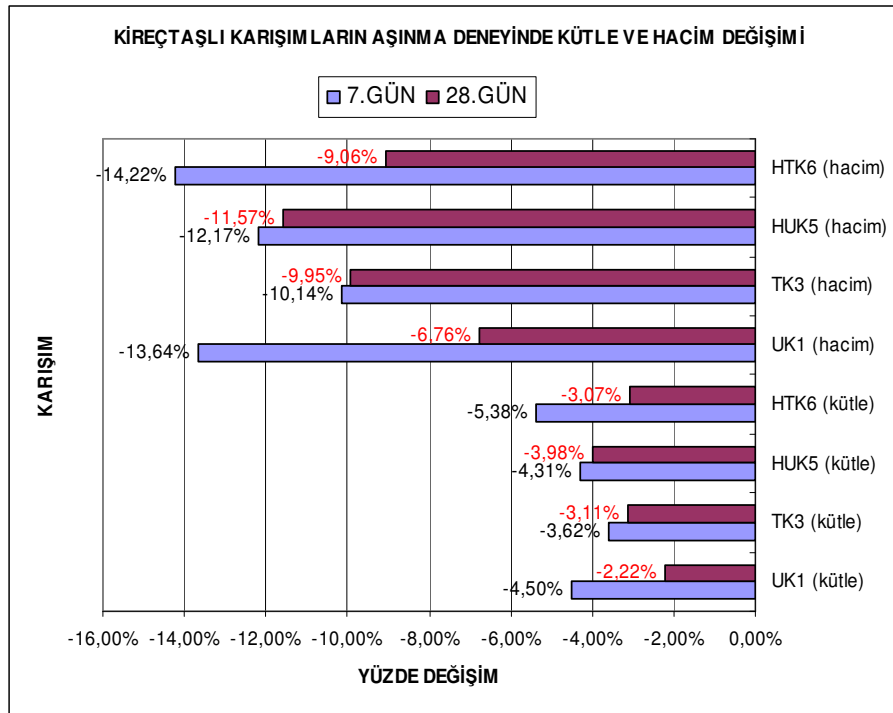
HTB8 ve HTK6 örnekleri karşılaştırıldığında 7.gün sonunda aşınma deneyinde en fazla hacim ve kütle kaybı yüzdesi HTK6 örneklerinde, 28. gün sonunda aşınma deneyinde en fazla hacim ve kütle kaybı yüzdesi yine HTK6 örneklerinde görülmüştür.

HUB7 ve HUK5 örnekleri karşılaştırıldığında 7.gün sonunda aşınma deneyinde en fazla hacim ve kütle kaybı yüzdesi HUK5 örneklerinde, 28. gün sonunda aşınma deneyinde en fazla hacim ve kütle kaybı yüzdesi yine HUK5 örneklerinde görülmüştür.

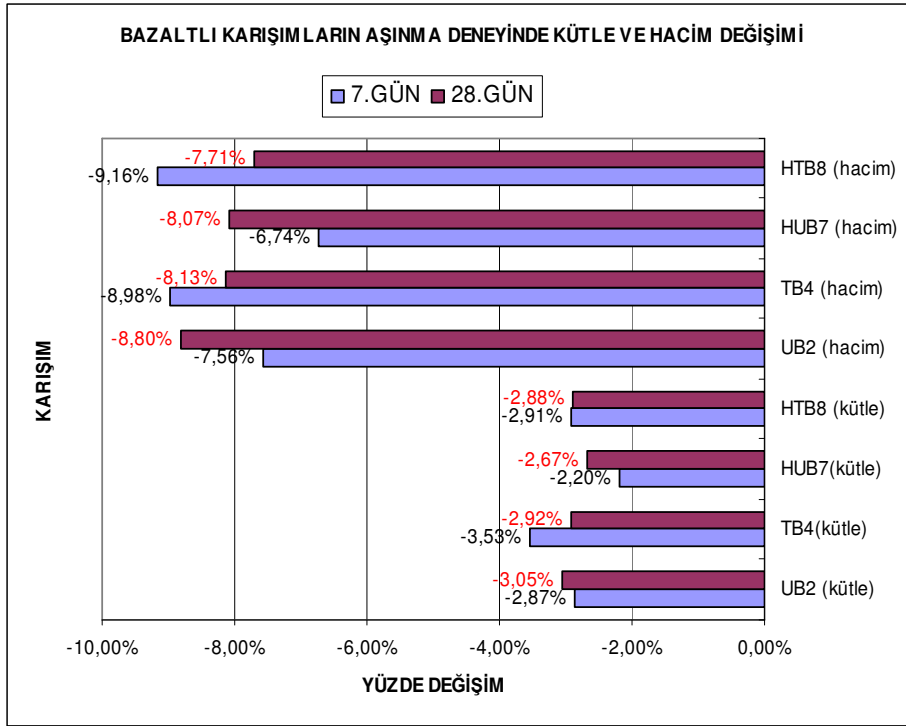
TB4 ve TK3 örnekleri karşılaştırıldığında 7.gün sonunda aşınma deneyinde en fazla hacim ve kütle kaybı yüzdesi TK3 örneklerinde, 28. gün sonunda aşınma deneyinde en fazla hacim ve kütle kaybı yüzdesi yine TK3 örneklerinde görülmüştür.

UK1 ve UB2 örnekleri karşılaştırıldığında 7.gün sonunda aşınma deneyinde en fazla hacim ve kütle kaybı yüzdesi UK1 örneklerinde, 28. gün sonunda aşınma deneyinde en fazla hacim ve kütle kaybı yüzdesi yine UB2 örneklerinde görülmüştür.

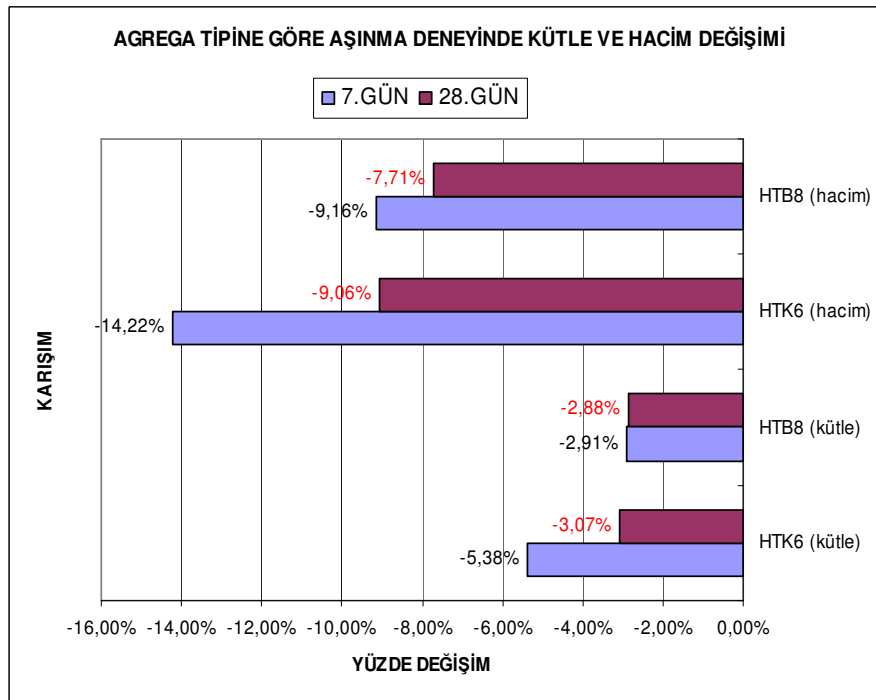
Aşınma kayıpları UB2 28 günlük değerler dışında kireçtaşı örneklerde, bazaltlı örneklere göre daha fazla olmuştur. Burdan bazaltın aşınmaya daha dayanıklı olduğu sonucuna ulaşılabilir.



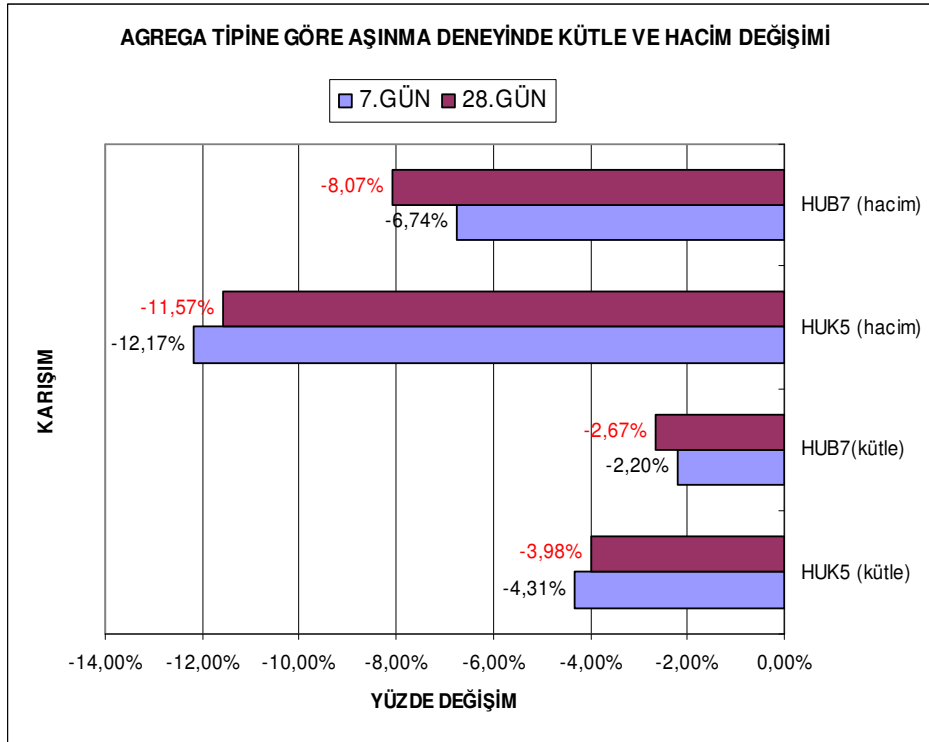
Şekil 9.63 Agrega tipleri kireçtaşı olan örneklerin aşınma dayanımlarını



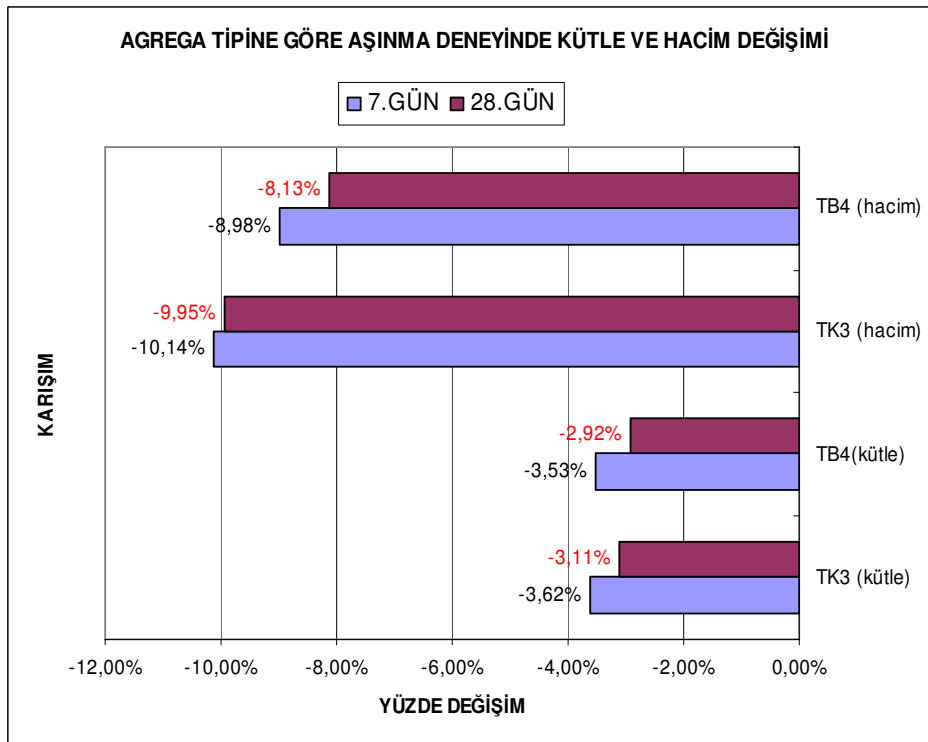
Şekil 9.64 Agrega tipleri bazalt olan örneklerin aşınma dayanımlarını



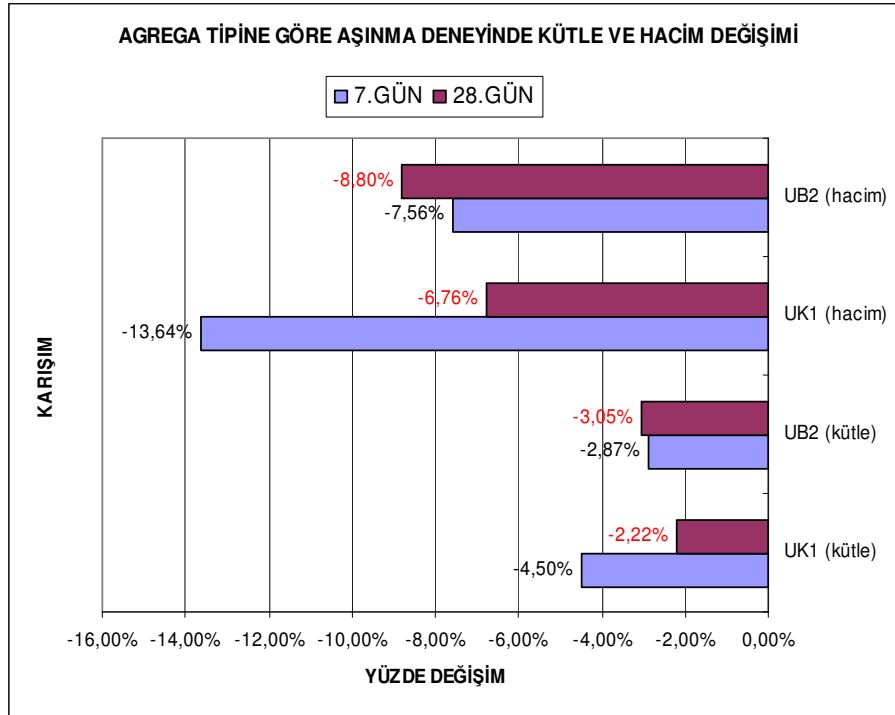
Şekil 9.65 Agrega tipleri farklı olan HTB8 ve HTK6 örneklerinin aşınma dayanımlarının karşılaştırılması



Şekil 9.66 Agregra tipleri farklı olan HUB7 ve HUK5 örneklerinin aşınma dayanımlarının karşılaştırılması



Şekil 9.67 Agregra tipleri farklı olan TB4 ve TK3 örneklerinin aşınma dayanımlarının karşılaştırılması



Şekil 9.68 Agregat tipleri farklı olan UB2 ve UK1 örneklerinin aşınma dayanımlarının karşılaştırılması

9.7.2.4.3 Hava Sürükleyicinin Etkisi

Hava sürükleyici katkı kullanılan örneklerde en fazla kütle ve en fazla hacim kaybı yüzdesi 7. gün sonunda HTK6 örneklerinde gözlenmiştir (Şekil 9 . 69).

Hava sürükleyici kullanılmayan örneklerde en fazla kütle ve en fazla hacim kaybı yüzdesi 7. gün sonunda UK1 örneklerinde gözlenmiştir (Şekil 9 . 70).

Hava sürükleyici katkı kullanılan örneklerde 7.gün sonunda en fazla kütle ve en fazla hacim kaybı yüzdesi HTK6 örneklerinde, en az kütle ve hacim kaybı yüzdesi HUB7 örneklerinde gözlenmiştir. 28.gün sonunda en fazla kütle ve hacim kaybı yüzdesi HUK5 örneklerinde, en az kütle yüzde kaybı HTB8 ve en az hacim kaybı yüzdesi HUB7 örneklerinde gözlenmiştir.

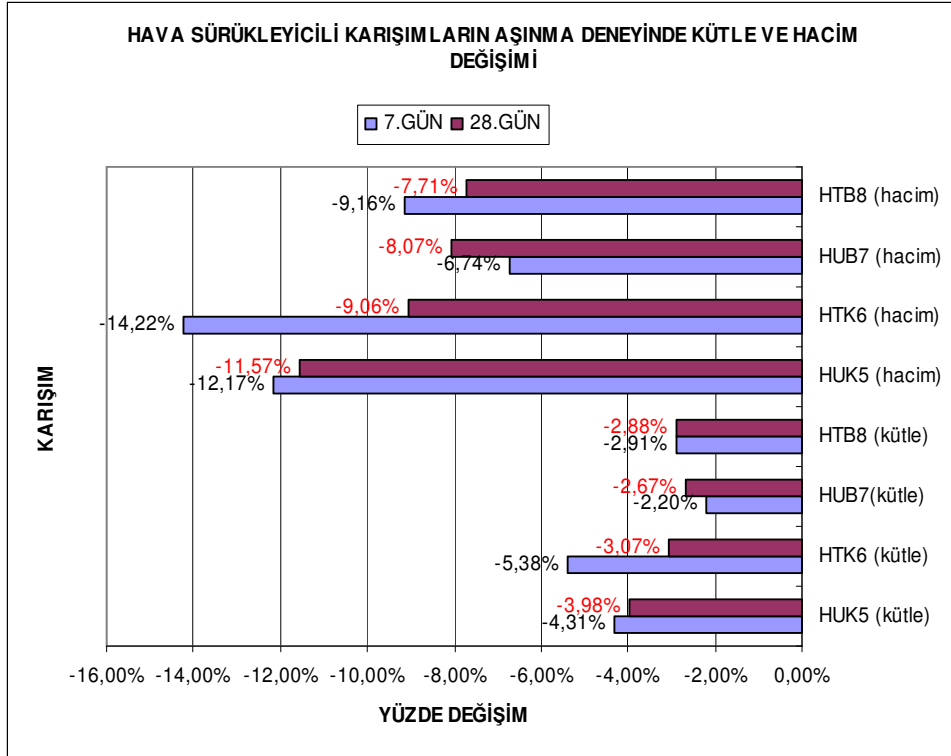
Hava sürükleyici katkı kullanılmayan örneklerde 7.gün sonunda en fazla kütle ve en fazla hacim kaybı yüzdesi UK1 örneklerinde, en az kütle ve hacim kaybı yüzdesi UB2 örneklerinde gözlenmiştir. 28.gün sonunda en fazla kütle ve hacim kaybı yüzdesi TK3 örneklerinde, en az kütle hacim kaybı yüzdesi UK1 örneklerinde gözlenmiştir.

UK1 ve HUK5 örnekleri karşılaştırıldığında 7.gün sonunda aşınma deneyinde en fazla hacim ve kütle kaybı yüzdesi UK1 örneklerinde, 28. gün sonunda aşınma deneyinde en fazla hacim ve kütle kaybı yüzdesi HUK5 örneklerinde görülmüştür.

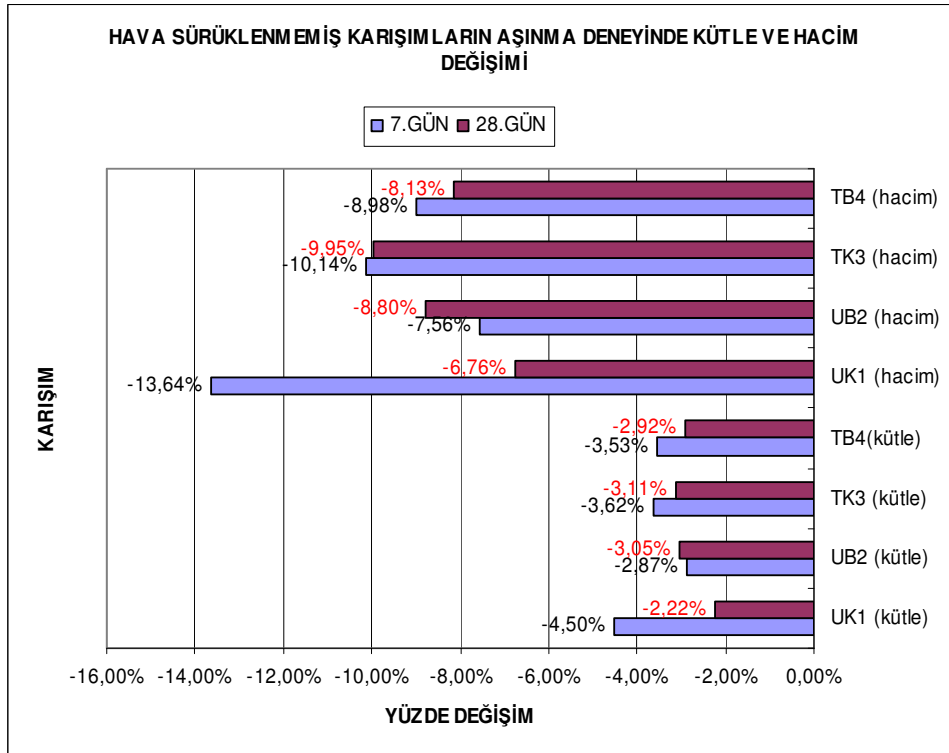
UB2 ve HUB7 örnekleri karşılaştırıldığında 7.gün sonunda aşınma deneyinde en fazla hacim ve kütle kaybı yüzdesi UB2 örneklerinde, 28. gün sonunda aşınma deneyinde en fazla hacim ve kütle kaybı yüzdesi yine UB2 örneklerinde görülmüştür.

TK3 ve HTK6 örnekleri karşılaştırıldığında 7.gün sonunda aşınma deneyinde en fazla hacim ve kütle kaybı yüzdesi HTK6 örneklerinde, 28. gün sonunda aşınma deneyinde en fazla hacim ve kütle kaybı yüzdesi TK3 örneklerinde görülmüştür.

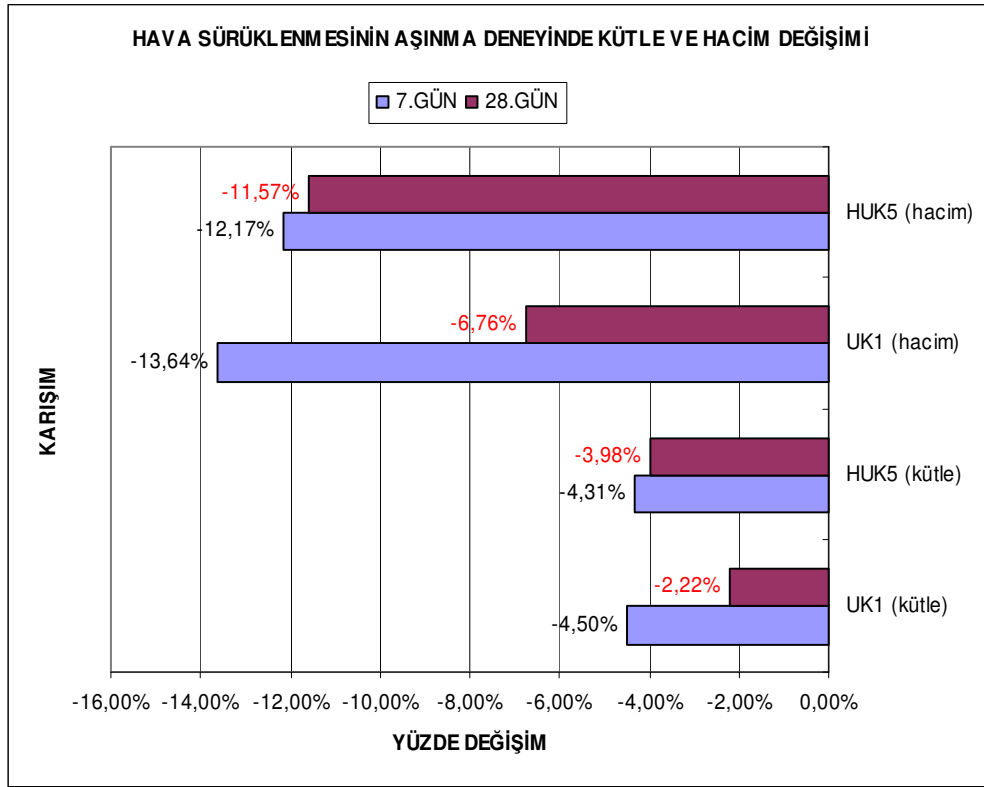
TB4 ve HTB8 örnekleri karşılaştırıldığında 7.gün sonunda aşınma deneyinde en fazla hacim kaybı yüzdesi HTB8 ve en fazla kütle kaybı yüzdesi TB4 örneklerinde, 28. gün sonunda aşınma deneyinde en fazla hacim ve kütle kaybı yüzdesi TB4 örneklerinde görülmüştür.



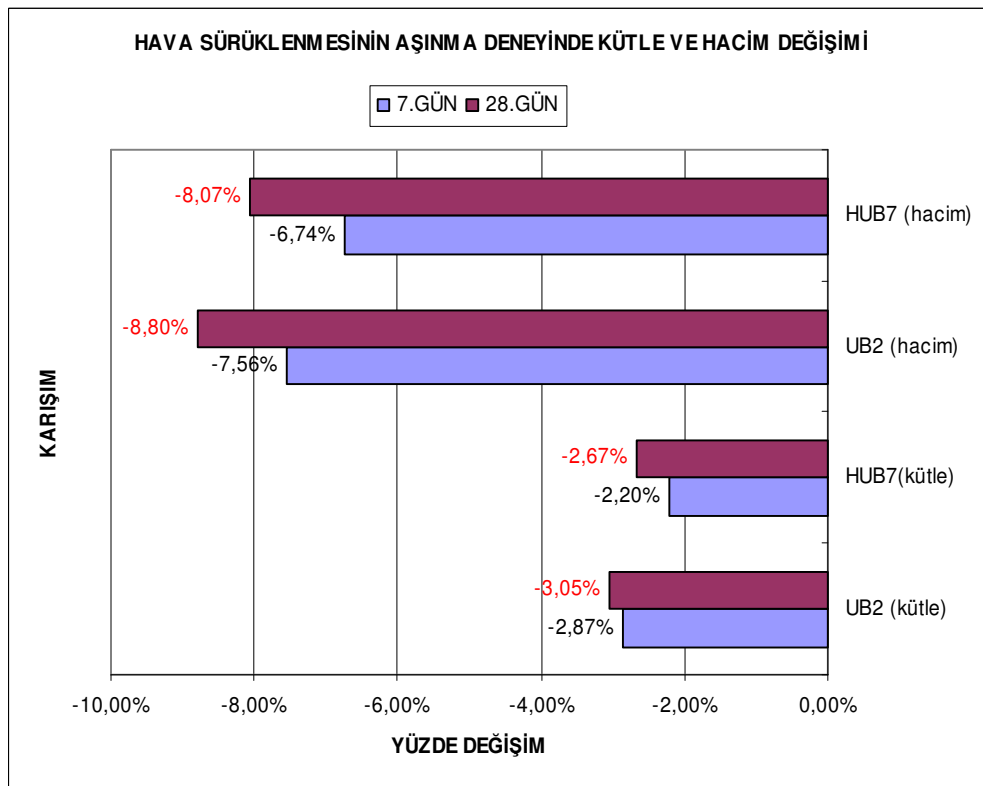
Şekil 9.69 Hava sürükleyici katkı ilaveli örneklerin aşınma dayanımı



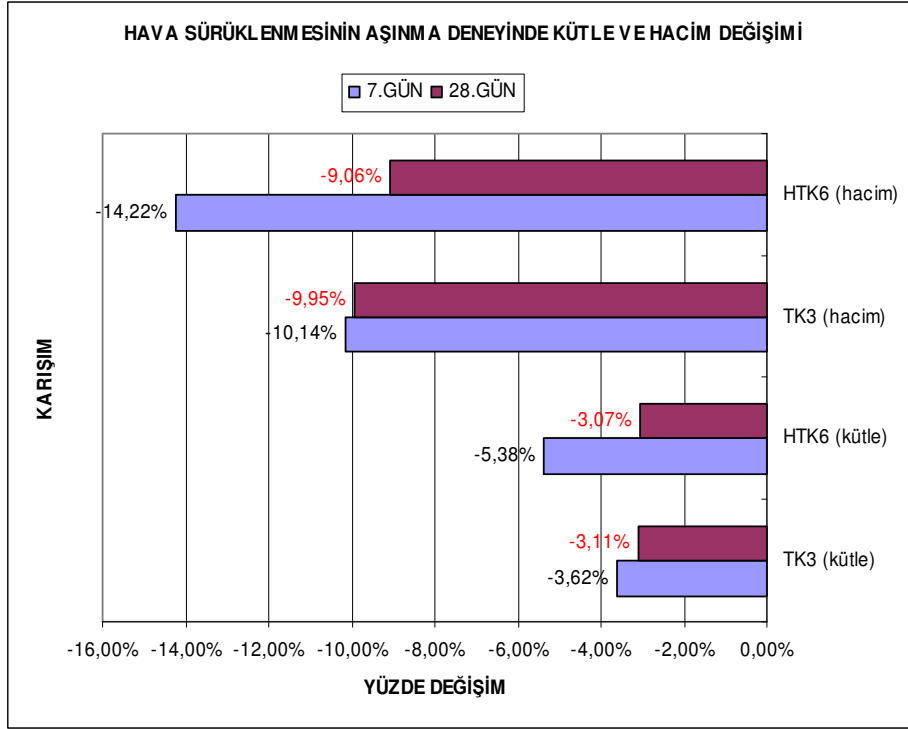
Şekil 9.70 Hava sürükleyicisiz örneklerin aşınma dayanımları



Şekil 9.71 Hava sürükleyici ilave farkı olan HUK5 ve UK1 örneklerinin karşılaştırılması



Şekil 9.72 Hava sürükleyici ilave farkı olan HUB7 ve UB2 örneklerinin karşılaştırılması



Şekil 9.73 Hava sürükleyici ilave farkı olan HTK6 ve TK3 örneklerinin karşılaştırılması

9.7.2.5 Donma-Çözülme Ve Buz Çözücü Tuzlara Dayanklılık

35 çevrimlik donma-çözülme deneyinden sonra 10/10 silindir örnekleri tuz çözelti sınıflarına ayrılarak serbest basınç deneyiyle basınç dayanımları ölçülmüş, birbirleriyle ve kontrol örnekleriyle bu değerler karşılaştırılmıştır.

Donma çözülme deneyi sonrası silindir ve kiriş örnekleri tartılarak, deney öncesi değerleriyle karşılaştırılıp ağırlık değişimleri incelenmiştir.

Kiriş örnekler üzerinde deney sonrası UPV deneyi yapılarak geçiş hızları değerleri, deney öncesi değerleriyle kıyaslanıp değişim miktarları bulunmuştur. Bu değerler hem kontrol numuneleri değerleriyle hemde diğer örneklerle karşılaştırılmıştır.

Ağırlık değişimleri kimi örneklerde azalma yönünde olurken kiminde artış yönünde olmaktadır. Ağırlık artışının nedeninin tuz iyonlarının beton gözeneklerine dolması olarak değerlendirilmiştir. İlerki grafiklerde ağırlık değişikliklerinin parametrelere göre değişimi incelenmiştir.

En fazla ağırlık kaybı yüzdesi silindir örneklerde %0 konsantrasyonda çözülen HTB8 ve en az ağırlık artışı yüzdesi %10 konsantrasyonda çözülen HUK5 örneklerinde görülmüştür.

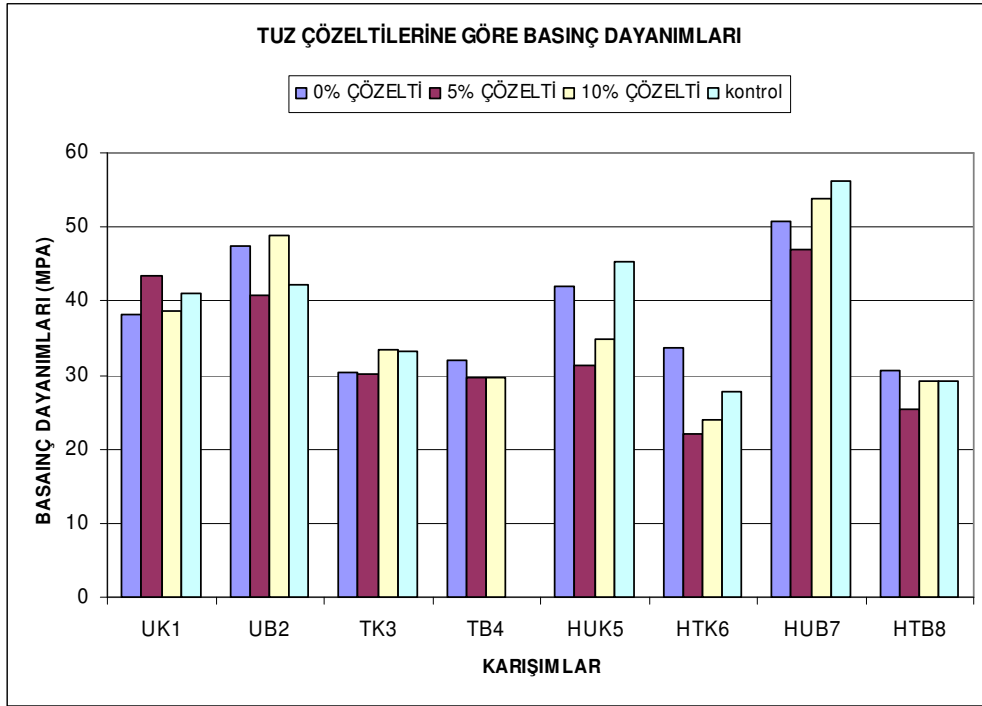
En fazla ağırlık kaybı yüzdesi kiriş örneklerde kontrol örneklerinde HTB8 ve en az ağırlık artışı yüzdesi %10 konsantrasyonda çözülen UK1 örneklerinde görülmüştür.

En büyük basınç dayanımı değeri HUB7 kontrol örneğinde, en düşük değer ise HTK6 %5 konsantrasyonda çözülen örnektedir.

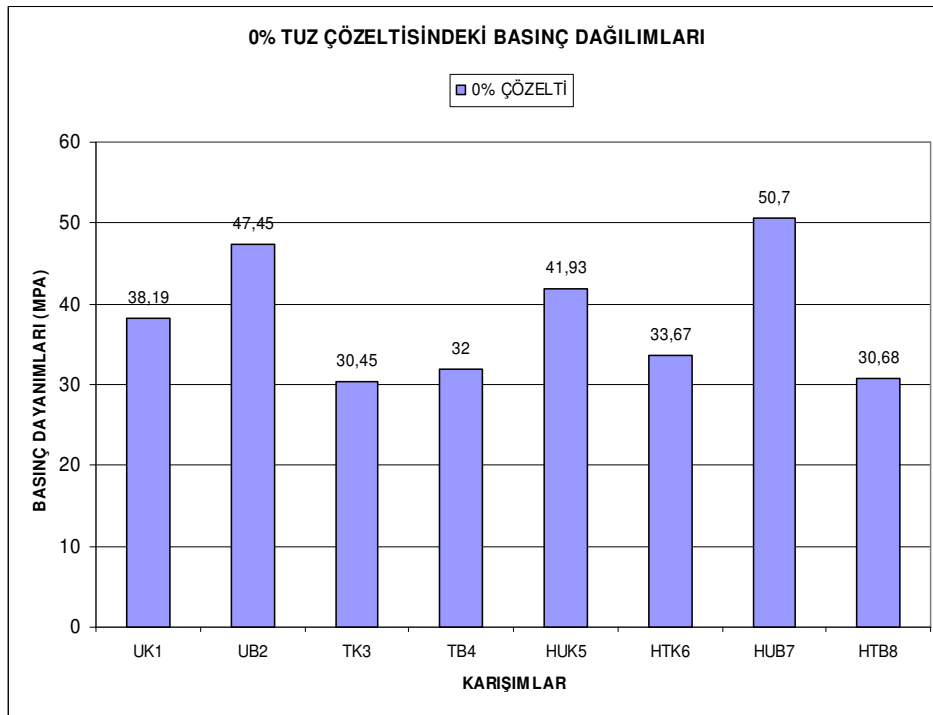
%0, %5 ve %10 tuz konsantrasyonunda çözülen örnekler içinde en büyük basınç dayanımı HUB7, %0 tuz konsantrasyonunda çözülen en düşük TK3, %5 ve %10 tuz konsantrasyonunda çözülen örnekler içinde en düşük HTK6'dır. Kontrol örnekleri içinde en yüksek HUB7 ve en düşük HTK6'dır. Tablo 9. 15 donma çözülme deneyine ait değerler gösterilmektedir.

Tablo 9.15 Donma – Çözülme değerleri

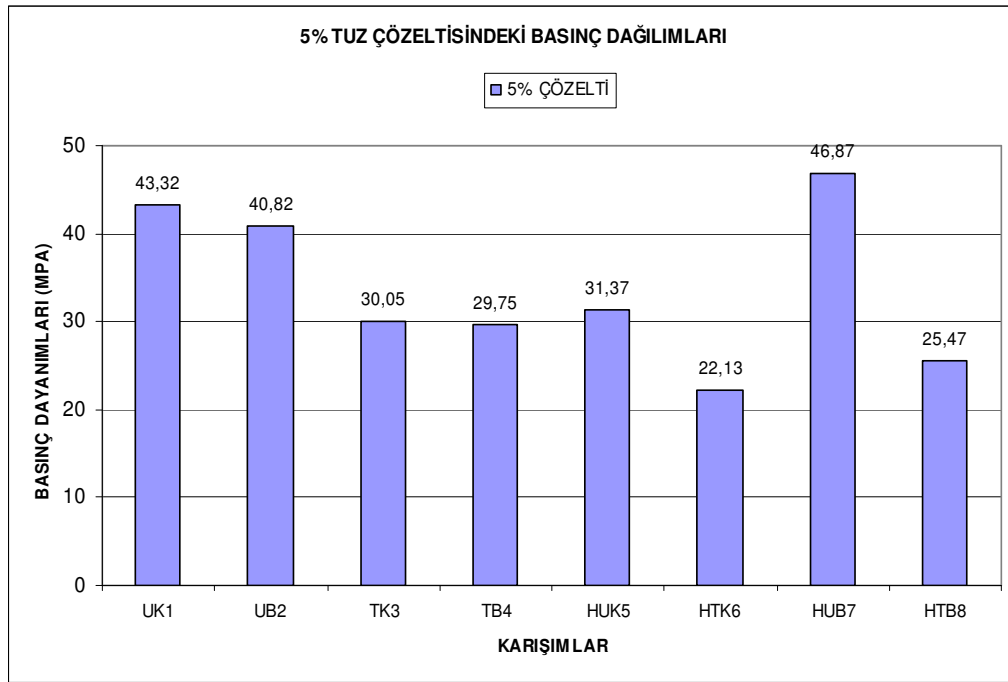
Deneyler	Br.		Beton Karışımları							
			UK1	UB2	TK3	TB4	HUK5	HTK6	HUB7	HTB8
Donma-Çözülme Basınç dayanımları	MPa	0%	38, 19	47, 45	30, 45	32	41, 93	33, 67	50, 7	30, 68
		5%	43, 32	40, 82	30, 05	29, 75	31, 37	22, 13	46, 87	25, 47
		10%	38, 58	48, 92	33, 37	29, 65	34, 9	24	53, 83	29, 2
		kontrol	40, 94	42, 15	33, 23		45, 3	27, 83	56, 13	29, 13
Donma-Çözülme Ağırlık değişimi (Silindir)	g	0%	6	3, 33	-21, 33	-42, 67	24	33, 67	39	-50, 67
		5%	33, 33	0, 33	-17, 5	-44, 67	49, 67	22, 13	66, 67	-43, 33
		10%	53	18, 33	29, 67	-8	80, 67	24	60, 3	-23, 33
		kontrol	10	-3, 33	-7	-47	-6	27, 83	1	-43, 67
Donma-Çözülme Ağırlık değişimi (Kiriş)	g	0%	-51	-43	-90, 5	8, 5	51, 5	-63	12	-87
		5%	66, 5	9	-85, 5	23, 5	84	-33	-16, 5	-73
		10%	110	26	-76	21	61, 5	33, 5	43, 5	-151
		kontrol	16, 5	0	11	0, 5	-5, 5	-28	3	-44
Donma-Çözülme Yüzde Ağırlık değişimi (Silindir)	%	0%	0, 37%	0, 20%	-1, 23%	-2, 52%	1, 51%	-1, 36%	2, 43%	-3, 22%
		5%	2, 36%	0, 02%	-1, 04%	-2, 70%	3, 12%	1, 15%	4, 19%	-2, 77%
		10%	3, 19%	1, 08%	1, 72%	-0, 49%	5, 12%	1, 14%	3, 72%	-1, 46%
		kontrol	0, 61%	-0, 19%	-0, 41%	-2, 75%	-0, 36%	-0, 10%	0, 06%	-2, 78%
Donma-Çözülme Yüzde Ağırlık değişimi (Kiriş)	%	0%	-1, 45%	-1, 22%	-2, 43%	0, 22%	1, 50%	-1, 96%	0, 35%	-2, 58%
		5%	1, 88%	0, 26%	-2, 33%	0, 67%	2, 41%	-1, 03%	-0, 47%	-2, 21%
		10%	3, 12%	0, 74%	-2, 04%	0, 60%	1, 80%	1, 00%	1, 25%	-1, 36%
		kontrol	0, 47%	0, 00%	0, 30%	0, 01%	-0, 16%	-0, 83%	0, 35%	-4, 58%
Donma-Çözülme öncesi UPV değeri	µsn/cm	0%	2, 371	2, 275	2, 54	2, 583	2, 441	2, 735	2, 416	2, 641
		5%	2, 302	2, 257	2, 403	2, 659	2, 526	2, 724	2, 407	2, 682
		10%	2, 35	2, 438	2, 482	2, 669	2, 386	2, 64	2, 534	2, 689
		kontrol	2, 316	2, 319	2, 498	2, 484	2, 463	2, 701	2, 364	2, 65
Donma-Çözülme sonrası UPV değeri	µsn/cm	0%	2, 584	2, 28	2, 448	2, 504	2, 406	2, 906	2, 408	2, 643
		5%	2, 913	2, 317	3, 199	2, 46	2, 495	2, 888	2, 375	2, 645
		10%	2, 378	2, 44	3, 646	2, 864	2, 359	2, 699	2, 487	2, 683
		kontrol	2, 523	2, 331	2, 521	2, 368	2, 541	2, 759	2, 471	2, 877
Donma-Çözülme UPV farkı	%	0%	0, 213	0, 005	-0, 092	-0, 079	-0, 035	0, 171	-0, 008	0, 002
		5%	0, 611	0, 06	0, 796	-0, 199	-0, 031	0, 164	-0, 032	-0, 037
		10%	0, 028	0, 002	1, 164	0, 195	-0, 027	0, 059	-0, 047	-0, 006
		kontrol	0, 207	0, 012	0, 023	-0, 116	0, 078	0, 058	0, 107	0, 227
Donma-Çözülme UPV % farkı	%	0%	8, 98%	0, 22%	-3, 62%	-3, 06%	-1, 43%	6, 25%	-0, 33%	0, 08%
		5%	26, 54%	2, 66%	33, 13%	-7, 48%	-1, 23%	6, 02%	-1, 33%	-1, 38%
		10%	1, 19%	0, 08%	46, 90%	7, 31%	-1, 13%	2, 23%	-1, 85%	-0, 22%
		kontrol	8, 94%	0, 52%	0, 92%	-4, 67%	3, 17%	2, 15%	4, 53%	8, 57%



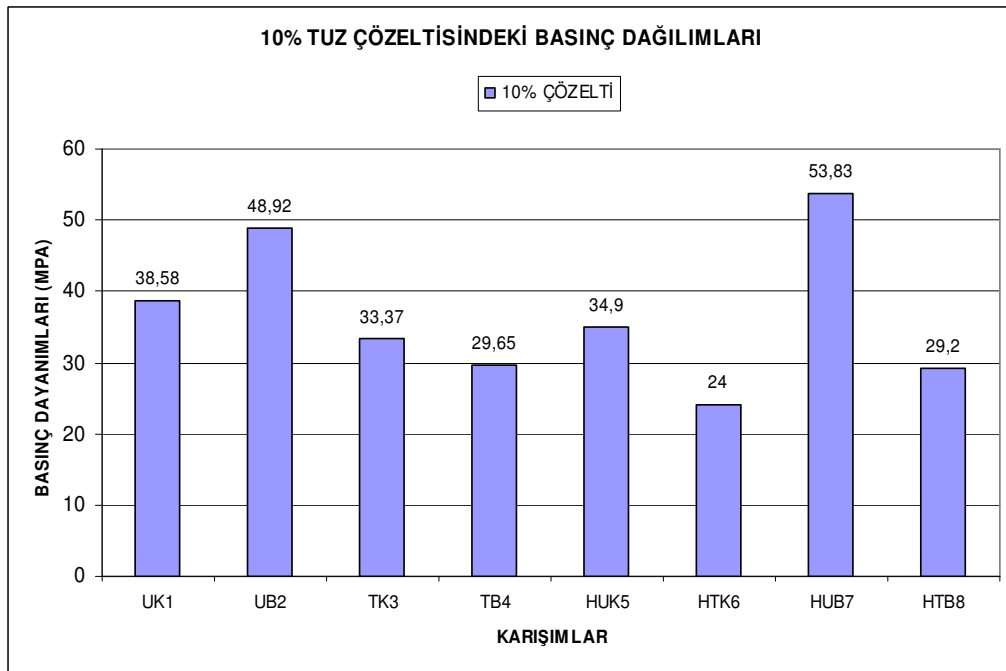
Şekil 9.74 Tuz çözelti tiplerine göre silindir örneklerin D-Ç sonrası basınç dayanımları



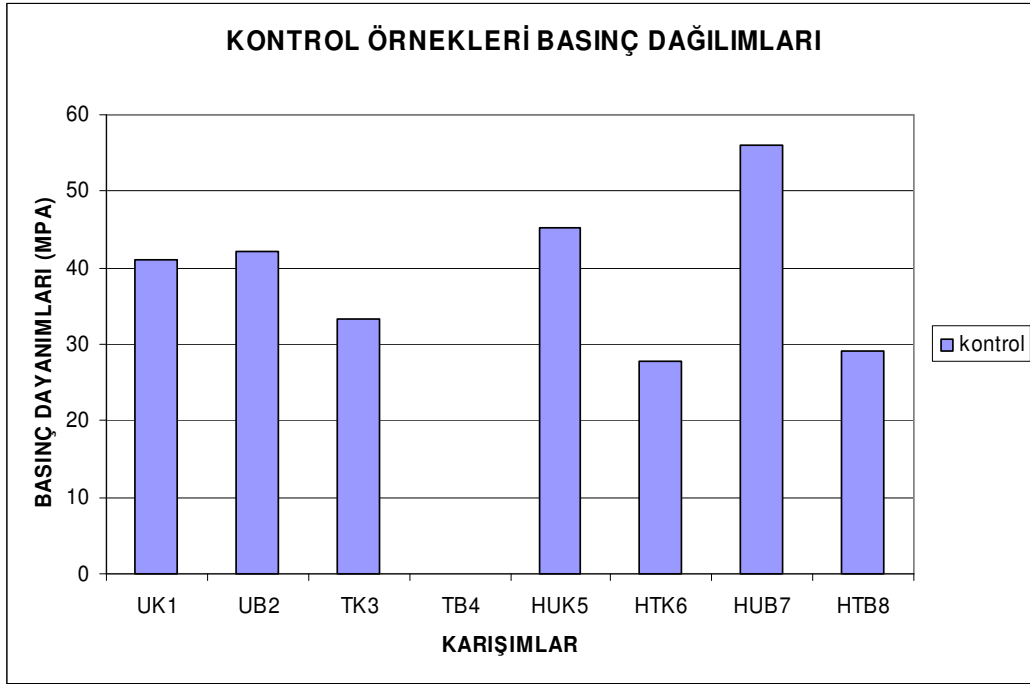
Şekil 9.75 %0 tuz çözeltisindeki örneklerin basınç dayanımlarının karşılaştırılması



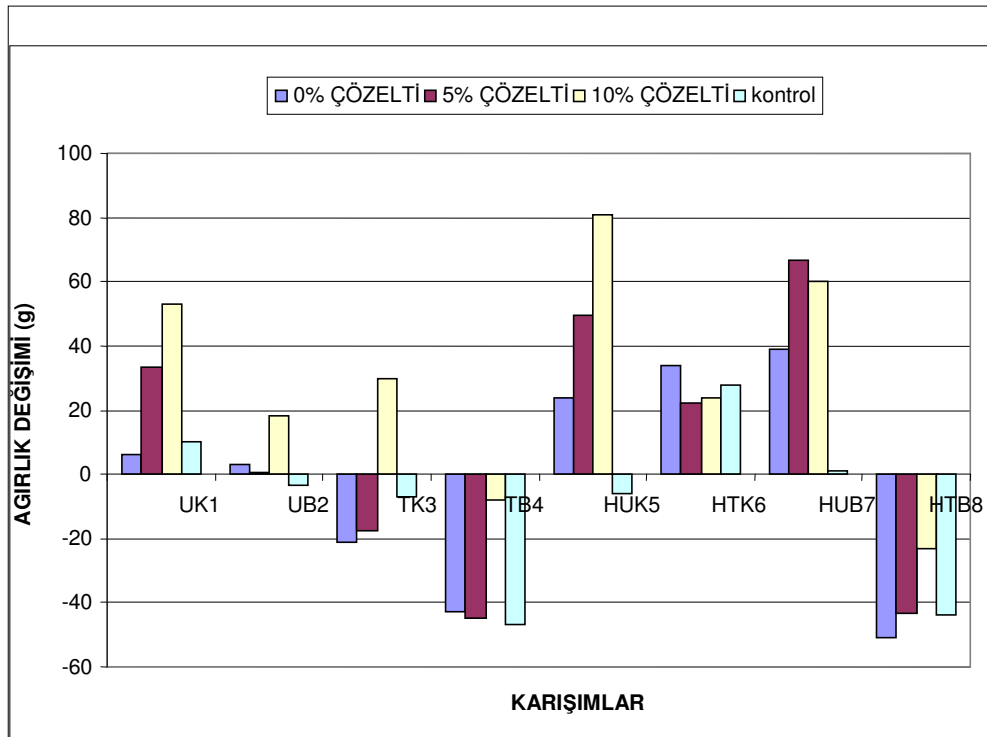
Şekil 9.76 %5 tuz çözeltisindeki örneklerin basınç dayanımlarının karşılaştırılması



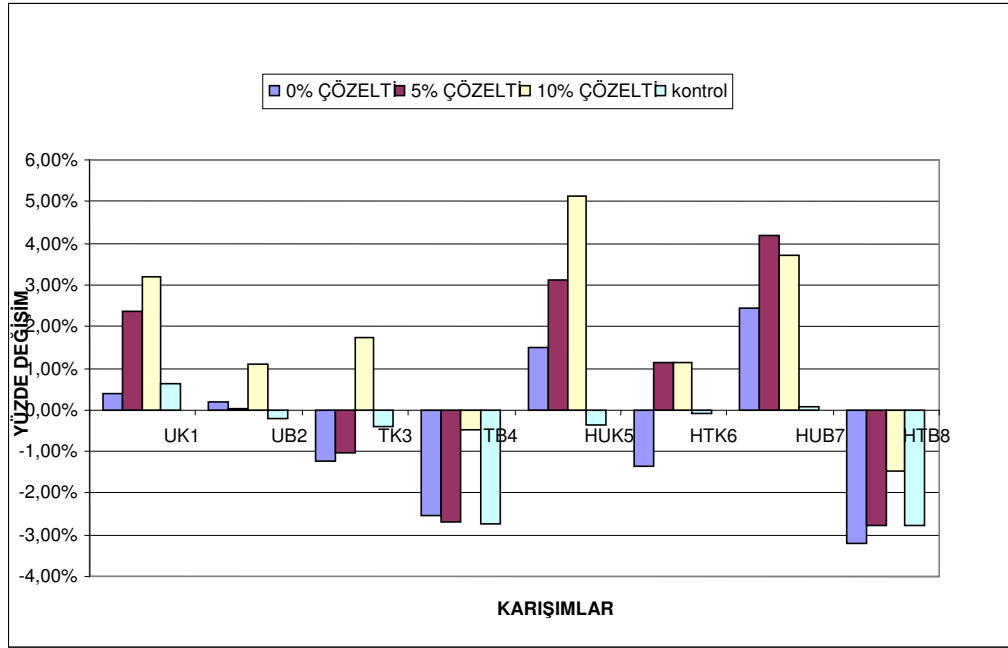
Şekil 9.77 %10 tuz çözeltisindeki örneklerin basınç dayanımlarının karşılaştırılması



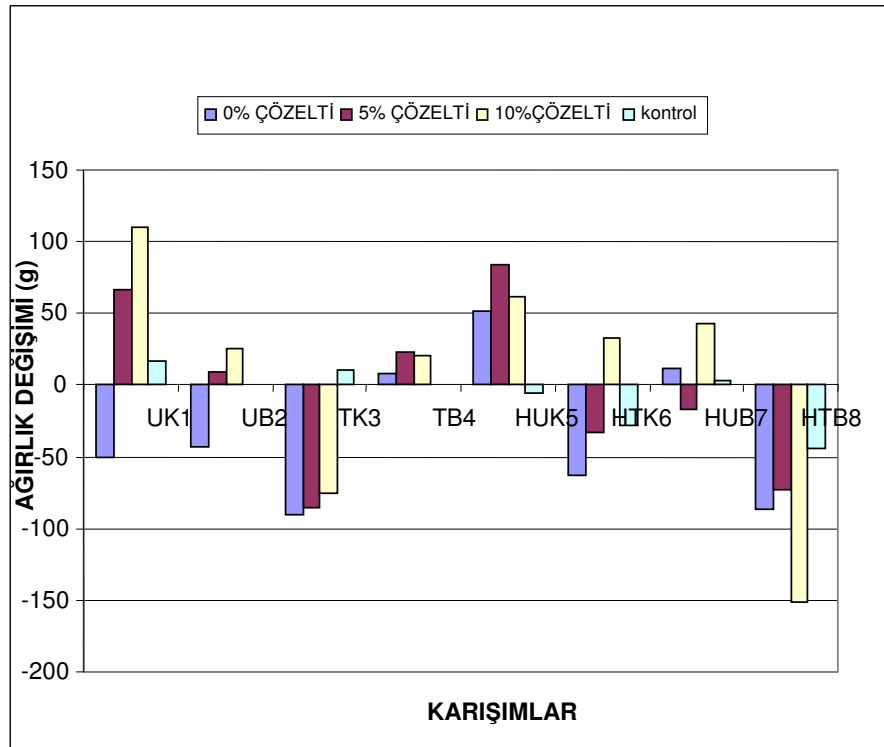
Şekil 9.78 Kontrol örneklerin basınç dayanımlarının karşılaştırılması



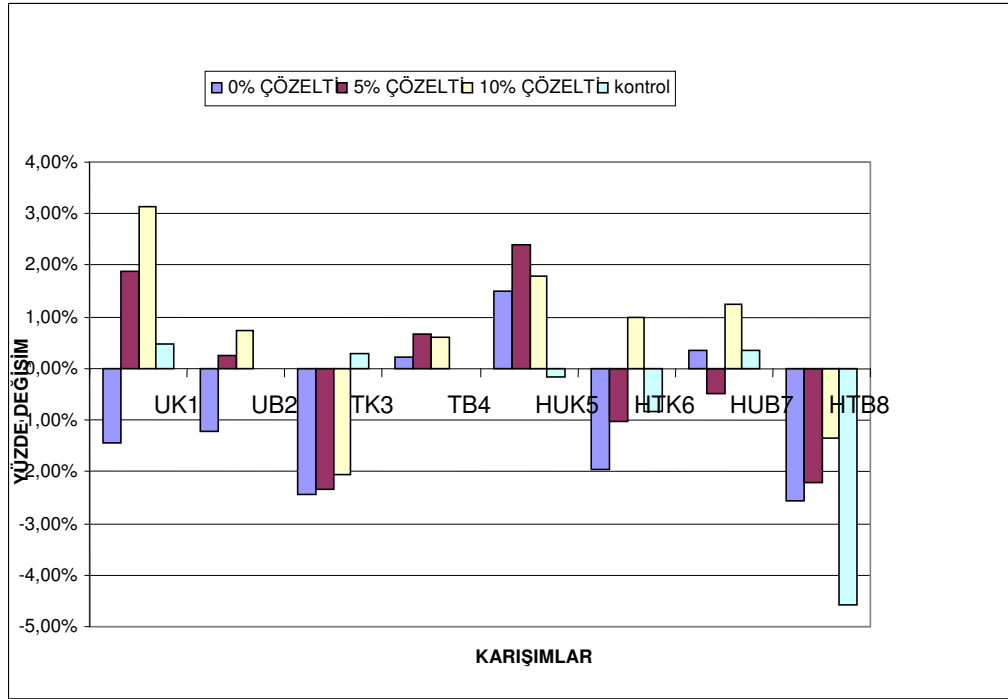
Şekil 9.79 Silindir örneklerin tuz konsantrasyonuna göre donma-çözülme sonrası ağırlık değişimleri



Şekil 9.80 Silindir örneklerin tuz konsantrasyonuna göre donma-çözülme sonrası ağırlık değişimleri



Şekil 9.81 Kiriş örneklerin tuz konsantrasyonuna göre donma-çözülme sonrası ağırlık değişimleri



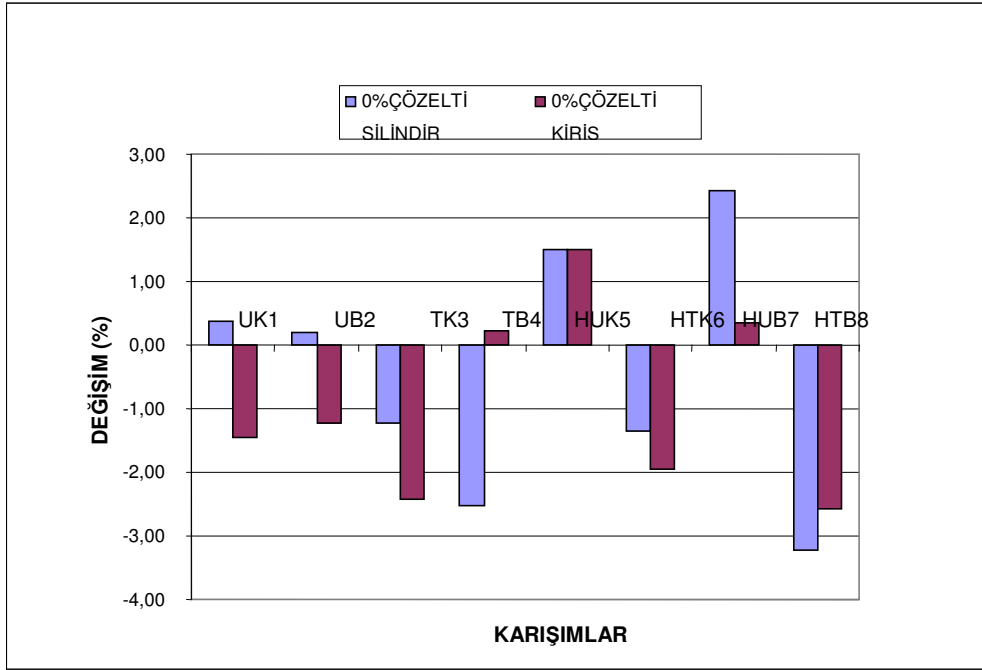
Şekil 9.82 Kiriş örneklerin tuz konsantrasyonuna göre donma-çözülme sonrası ağırlık değişimleri

9.7.2.5.1 Tuz Konsantrasyonunun Etkisi

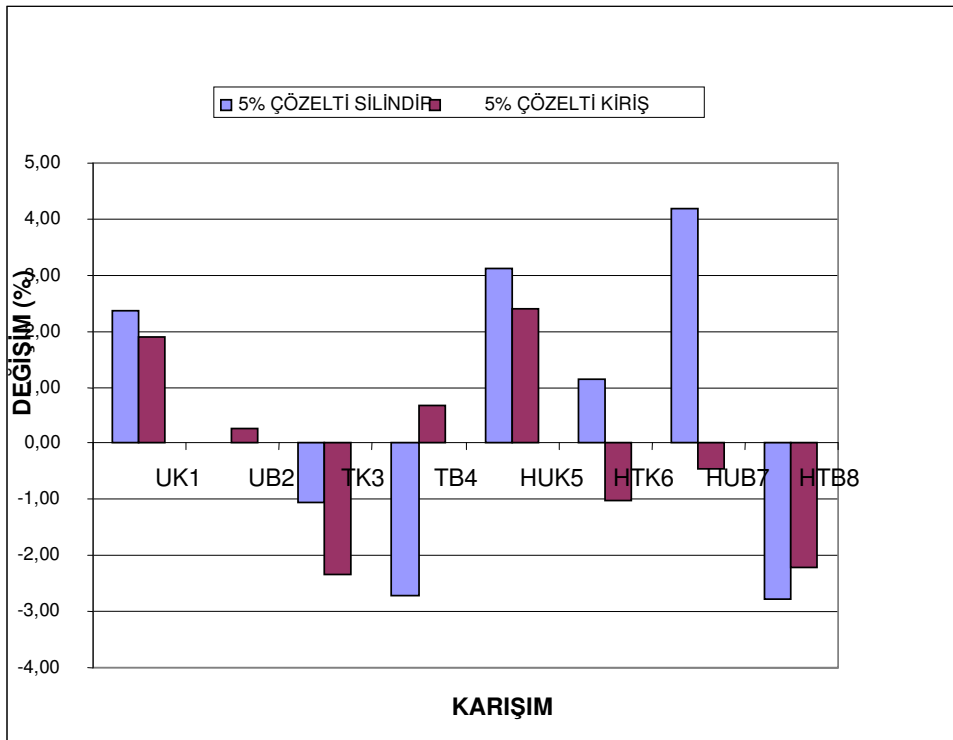
%0 Tuz konsantrasyonlu çözeltilerde çözdürülen silindir örneklerde en fazla kütle artışı HUB7, en fazla kütle azalışı HTB8 örneklerinde olmuştur. Kiriş örneklerde en fazla kütle artışı HUK5, en fazla kütle azalışı HTB8 örneklerinde olmuştur (Şekil 9. 83).

%5 Tuz konsantrasyonlu çözeltilerde çözdürülen silindir örneklerde en fazla kütle artışı HUB7, en fazla kütle azalışı HTB8 örneklerinde olmuştur. Kiriş örneklerde en fazla kütle artışı HUK5, en fazla kütle azalışı TK3 örneklerinde olmuştur (Şekil 9. 84).

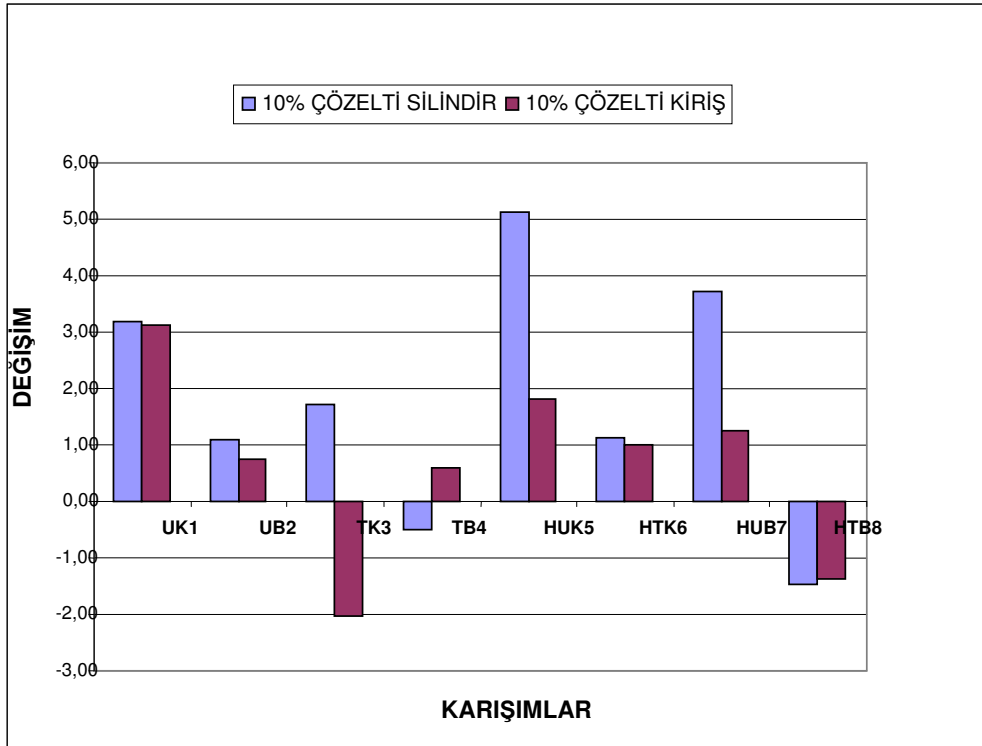
%10 Tuz konsantrasyonlu çözeltilerde çözdürülen silindir örneklerde en fazla kütle artışı HUK5, en fazla kütle azalışı HTB8 örneklerinde olmuştur. Kiriş örneklerde en fazla kütle artışı UK1, en fazla kütle azalışı TK3 örneklerinde olmuştur (Şekil 9. 85).



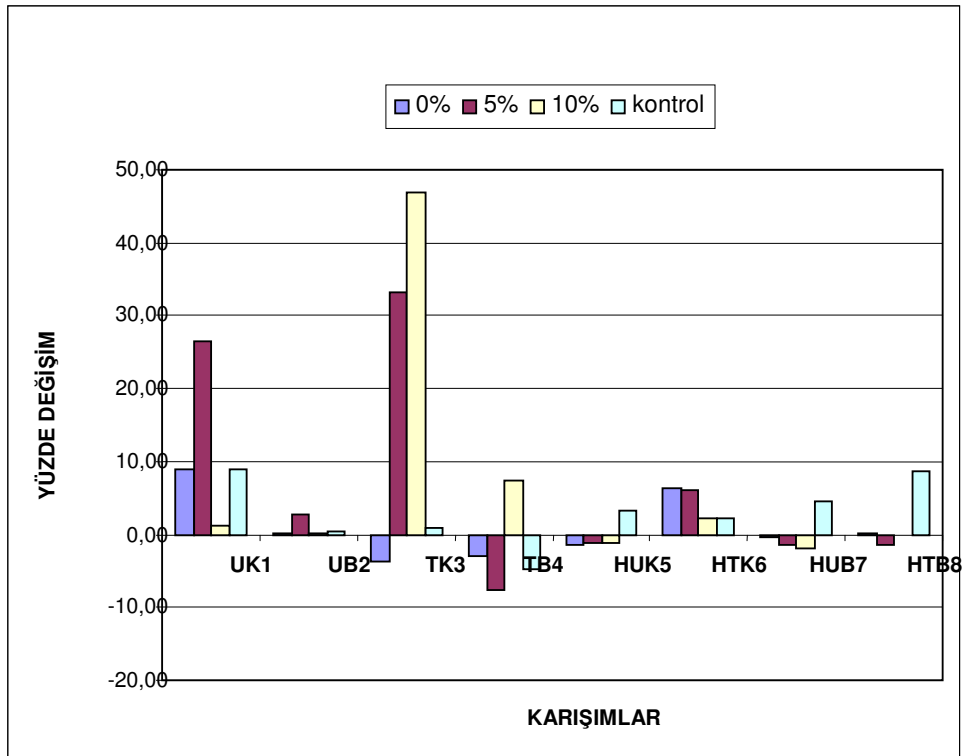
Şekil 9.83 %0 çözeltide çözdürülen silindir ve kirış örneklerin ağırlık değişimlerinin karşılaştırılması



Şekil 9.84 %5 çözeltide çözdürülen silindir ve kirış örneklerin ağırlık değişimlerinin karşılaştırılması



Şekil 9.85 %10 çözeltide çözdürülen silindir ve kiriş örneklerin ağırlık değişimlerinin karşılaştırılması



Şekil 9.86 Çözelti tiplerine göre UPV değerlerinin değişimleri

9.7.2.5.2 Agregata Tipinin Etkisi

Bazaltlı karışımlarda silindir örneklerde en fazla ağırlık artışı %5 konsantrasyonda çözdürülen HUB7 örneklerde, en fazla azalış ise %0 konsantrasyonda çözdürülen HTB8 örneklerde olmuştur (Şekil 9. 87).

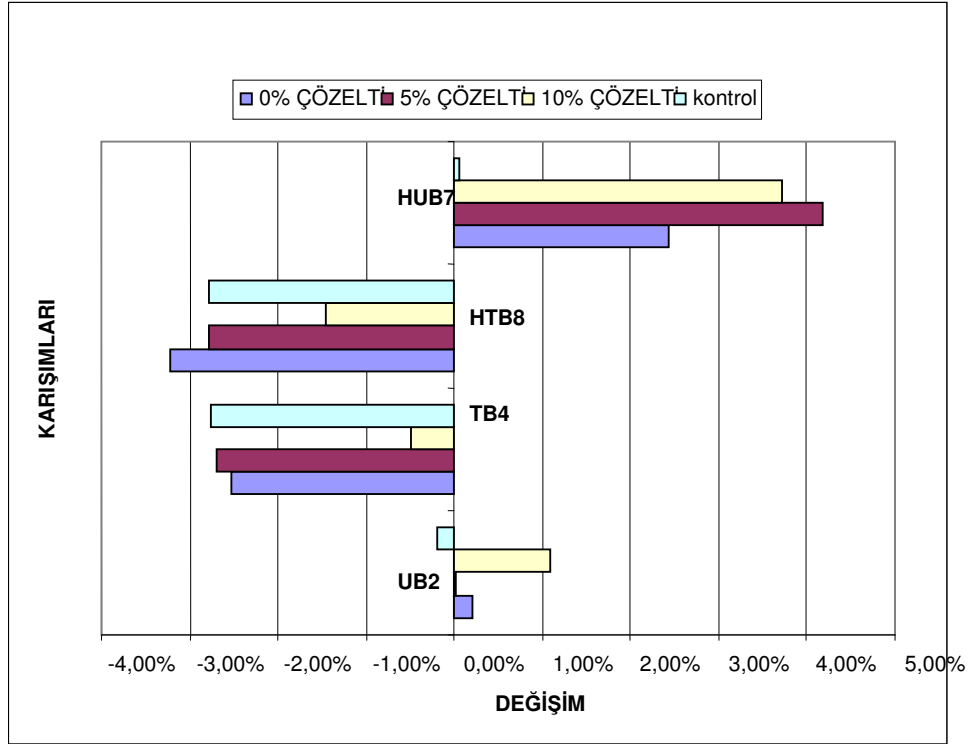
Kireçtaşı karışımlarda silindir örneklerde en fazla ağırlık artışı %5 konsantrasyonda çözdürülen HUK5 örneklerde, en fazla azalış ise %0 konsantrasyonda çözdürülen HTK6 örneklerde olmuştur (Şekil 9. 88).

Kullanılan agregata tipleri bazalt ve kireçtaşı olarak değişen UK1 ve UB2 silindir örneklerinde, tüm çözeltilerinde UK1 örneklerinde artış daha fazla olmuştur. UB2 örneğinin kontrol numunesinde ağırlık kaybı olmuştur (Şekil 9. 89).

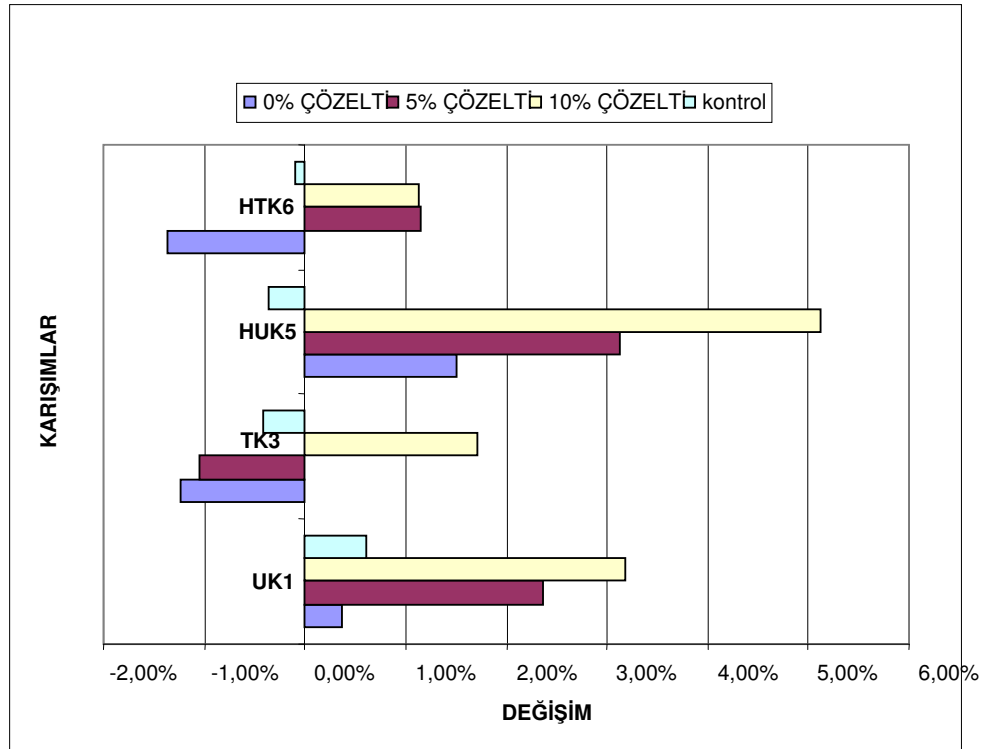
Kullanılan agregata tipleri bazalt ve kireçtaşı olarak değişen HUK5 ve HUB7 silindir örneklerinde, %0 ve %5 çözeltilerinde HUB7 örneklerinde, %10 çözeltilerinde HUK5 örneklerinde artış daha fazla olmuştur. HUK5 örneğinin kontrol numunesinde ağırlık kaybı olmuştur (Şekil 9. 91).

Kullanılan agregata tipleri bazalt ve kireçtaşı olarak değişen HTK6 ve HTB8 silindir örneklerinde, bütün çözeltilerinde HTB8 örneklerinde azalış daha fazla olmuştur. HTK6 %5 ve %10 çözeltilerinde ağırlık artışı olmuştur (Şekil 9. 93).

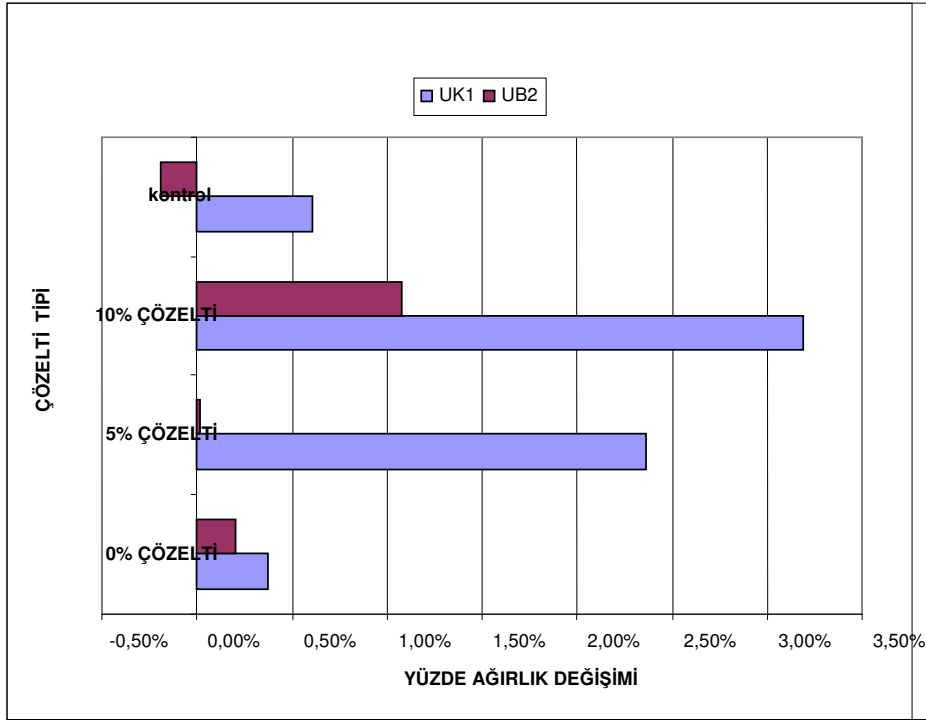
Kullanılan agregata tipleri bazalt ve kireçtaşı olarak değişen TK3 ve TB4 silindir örneklerinde, bütün çözeltilerinde TB4 örneklerinde azalış daha fazla olmuştur. TK3 %10 çözeltilerinde ağırlık artışı olmuştur (Şekil 9. 95).



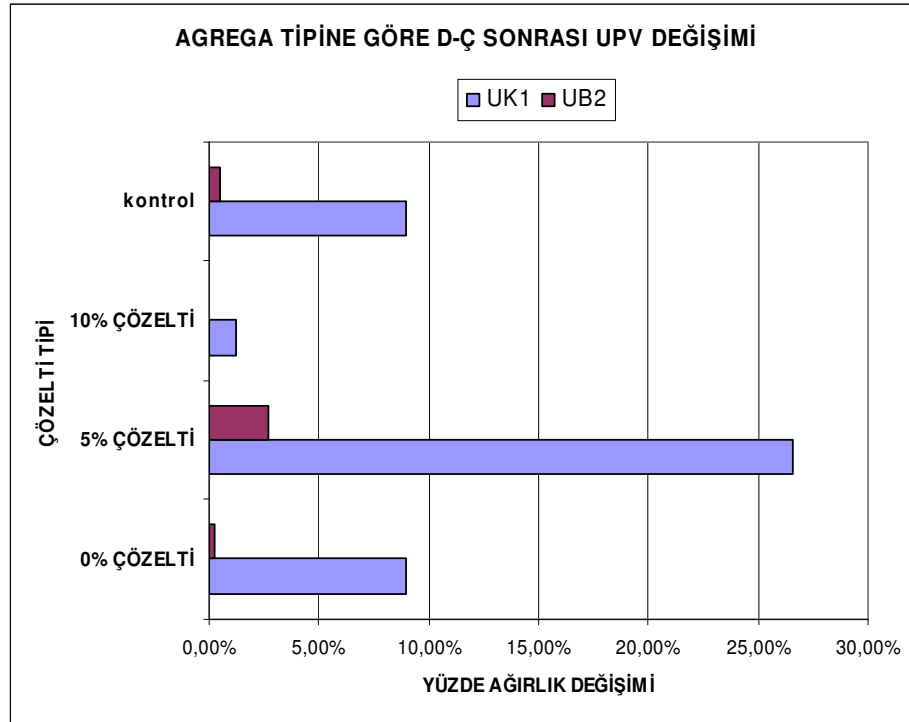
Şekil 9.87 Agregat tipi olarak bazalt kullanılan örneklerin donma-çözülme sonrası ağırlık değişimleri



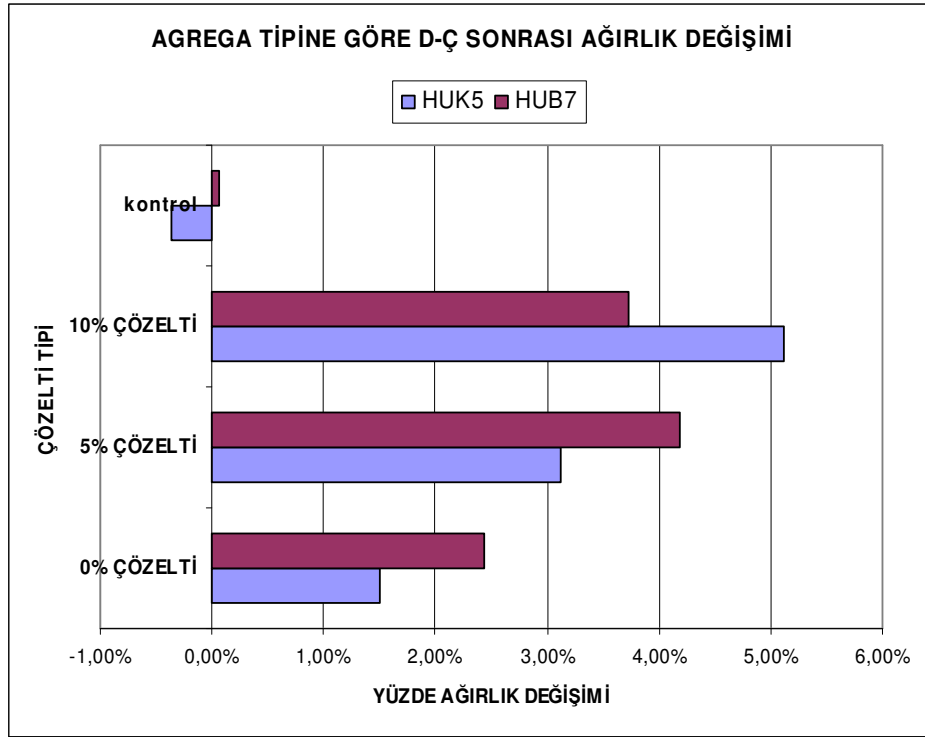
Şekil 9.88 Agregat tipi olarak kireçtaşı kullanılan örneklerin donma-çözülme sonrası ağırlık değişimleri



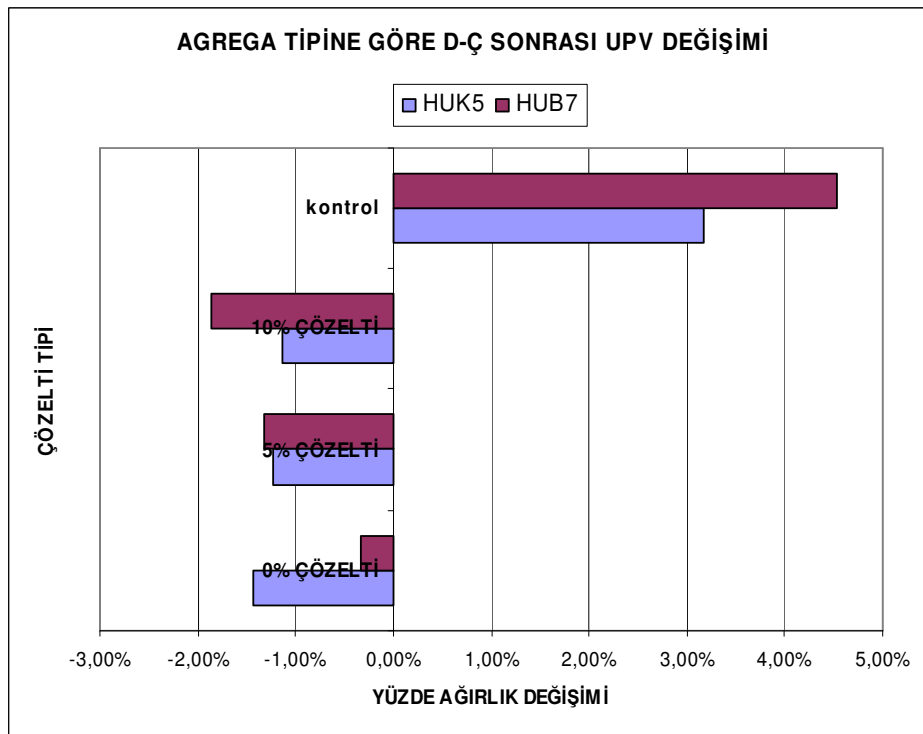
Şekil 9.89 Agrega tipi bazalt ve kireçtaşı olarak değişen UK1 ve UB2 örneklerinin Donma-Çözülme sonrası ağırlık değişimlerinin karşılaştırılması



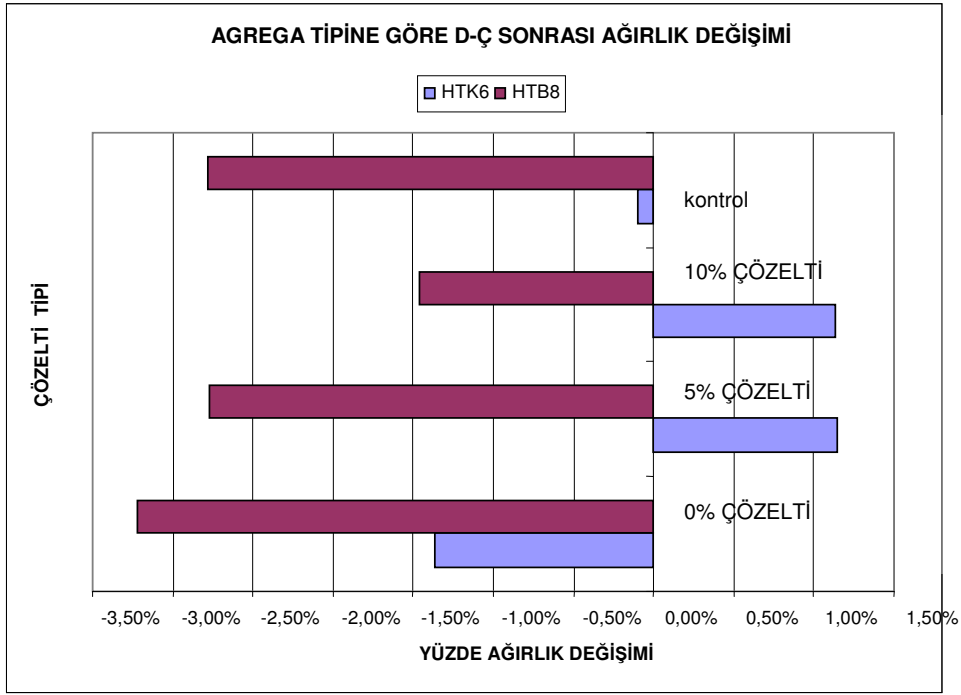
Şekil 9.90 Agrega tipi bazalt ve kireçtaşı olarak değişen UK1 ve UB2 örneklerinin D-Ç sonrası UPV değişimlerinin karşılaştırılması



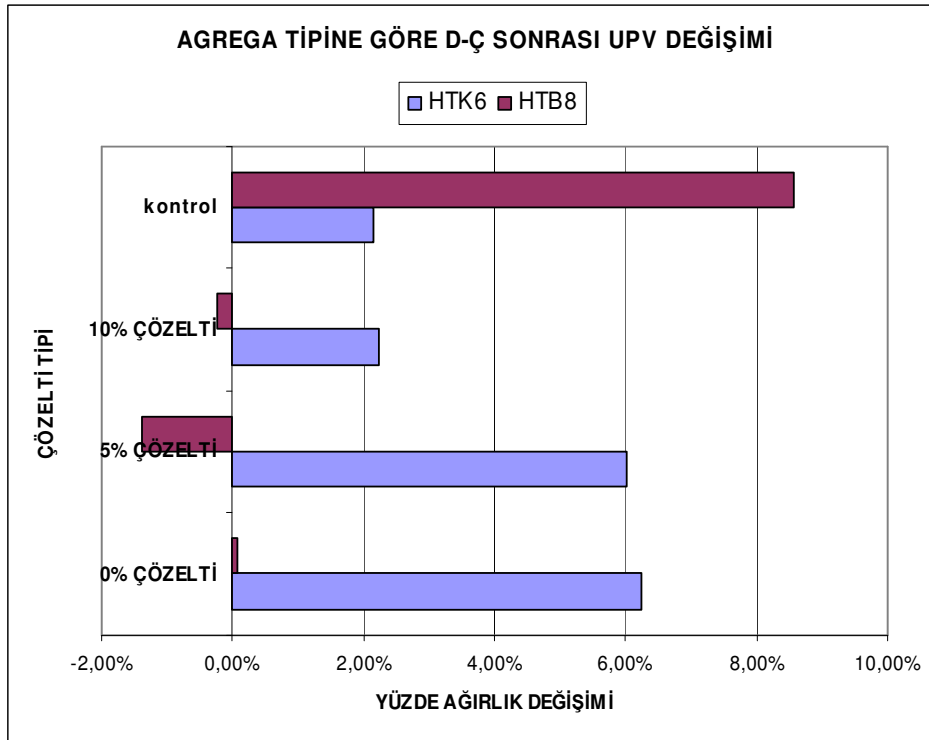
Şekil 9.91 Agregat tipi bazalt ve kireçtaşı olarak değişen HUK5 ve HUB7 örneklerinin D-Ç sonrası ağırlık değişimlerinin karşılaştırılması



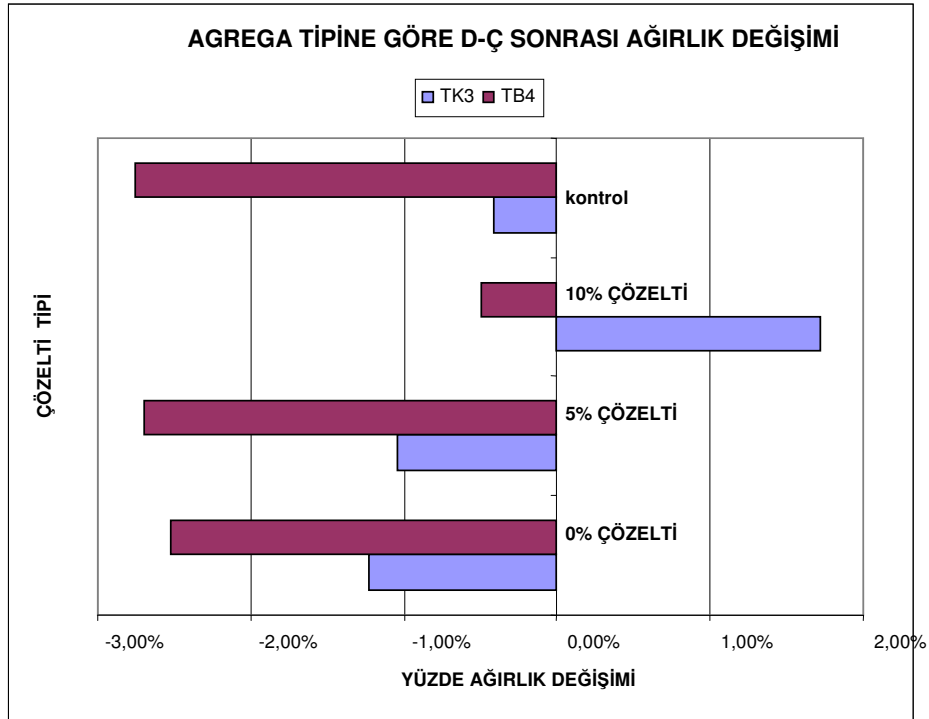
Şekil 9.92 Agregat tipi bazalt ve kireçtaşı olarak değişen HUK5 ve HUB7 örneklerinin D-Ç sonrası UPV değişimlerinin karşılaştırılması



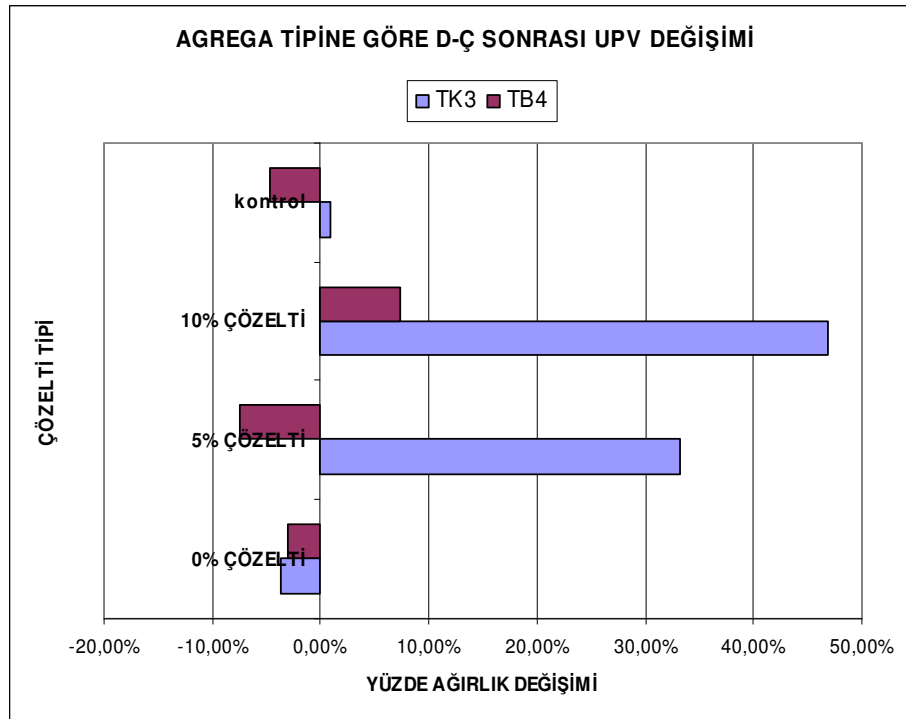
Şekil 9,93 Agregatı tipi bazalt ve kireçtaşı olarak değışen HTK6 ve HTB8 örneklerinin D-Ç sonrası UPV değışimlerinin karşılaştırılması



Şekil 9,94 Agregatı tipi bazalt ve kireçtaşı olarak değışen HTK6 ve HTB8 örneklerinin D-Ç sonrası UPV değışimlerinin karşılaştırılması



Şekil 9,95 Agregatı tipine bazalt ve kireçtaşı olarak değişen TK3 ve TB4 örneklerinin D-Ç sonrası ağırlık değişimlerinin karşılaştırılması



Şekil 9,96 Agregatı tipine bazalt ve kireçtaşı olarak değişen TK3 ve TB4 örneklerinin D-Ç sonrası UPV değişimlerinin karşılaştırılması

9.7.2.5.3 Filler Tipinin Etkisi

Filler tipi olarak taş tozu kullanılan karışımlarda en fazla azalış HTB8 karışımının %0 konsantrasyonlu çözeltide çözdürülen örneklerde, en fazla artış ise TK3 karışımının %10 konsantrasyonlu çözeltide çözdürülen örneklerde olmuştur.

Filler tipi olarak uçucu kül kullanılan karışımlarda en fazla azalış HUK5 karışımının kontrol örneklerde, en fazla artış ise HUK5 karışımının %10 konsantrasyonlu çözeltide çözdürülen örneklerde olmuştur.

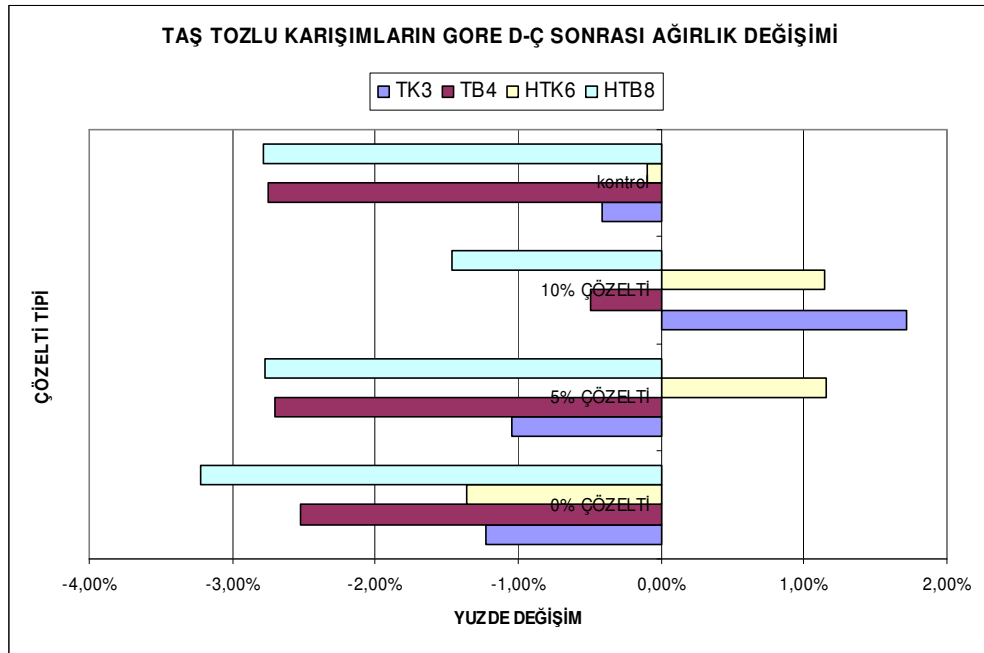
Taş tozlu örneklerde HTK6 %5 ve %10 ve TK3 %10 konsantrasyonlu çözeltide çözdürülen örneklerde artış olmuş, diğer bütün değerler azalmıştır. Uçucu küllü örneklerde HUK5 ve UB2 kontrol örneklerde çok az azalış olmuş, diğer bütün değerler artmıştır.

Kullanılan filler tipleri uçucu kül ve taş tozu olarak değişen HUK5 ve HTK6 silindir örneklerinde HUK5 bütün çözelti tiplerinde daha fazla artış göstermiş. HTK6 %0 çözeltide azalış göstermiştir. Kontrol örneklerinde HUK5 daha fazla azalış göstermiştir.

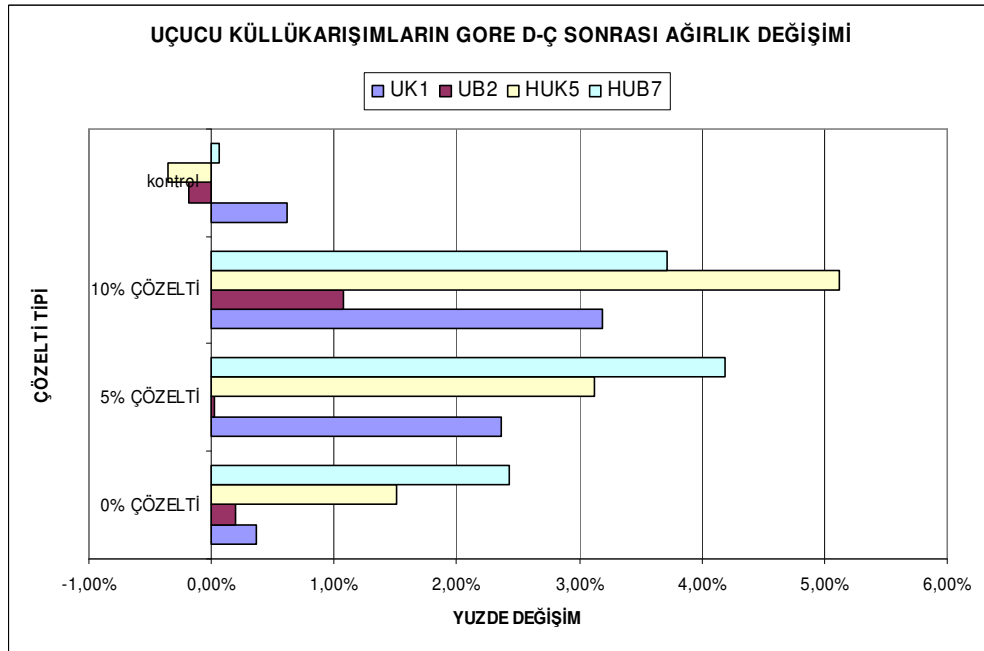
Kullanılan filler tipleri uçucu kül ve taş tozu olarak değişen UK1 ve TK3 silindir örneklerinde UK1 bütün çözelti tiplerinde daha fazla artış göstermiş. TK3 sadece %10 çözeltide artış göstermiş, diğerlerinde azalmıştır. Kontrol örneklerinde UK1 artış gösterirken, TK3 azalış göstermiştir.

Kullanılan filler tipleri uçucu kül ve taş tozu olarak değişen HUB7 ve HTB8 silindir örneklerinde HUB7 bütün çözelti tiplerinde artış göstermiş. HTB8 hepsinde azalış göstermiştir. Kontrol örneklerinde UK1 artış gösterirken, TK3 azalış göstermiştir.

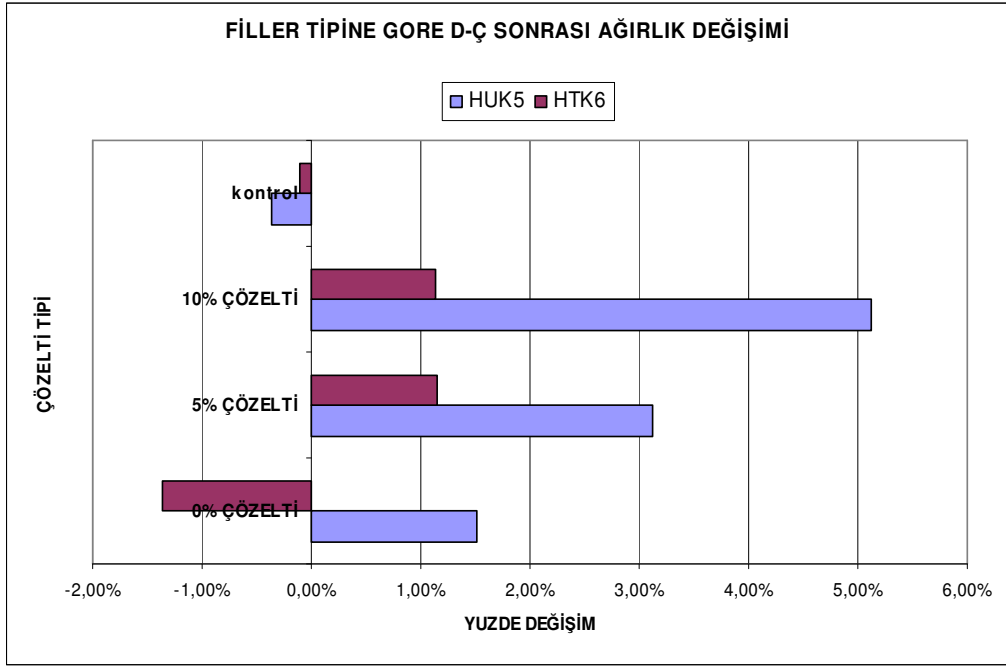
Kullanılan filler tipleri uçucu kül ve taş tozu olarak değişen UB2 ve TB4 silindir örneklerinde UB2 bütün çözelti tiplerinde artış göstermiş. TB4 hepsinde azalış göstermiştir. Kontrol örneklerinde UB2 de azalış göstermiştir.



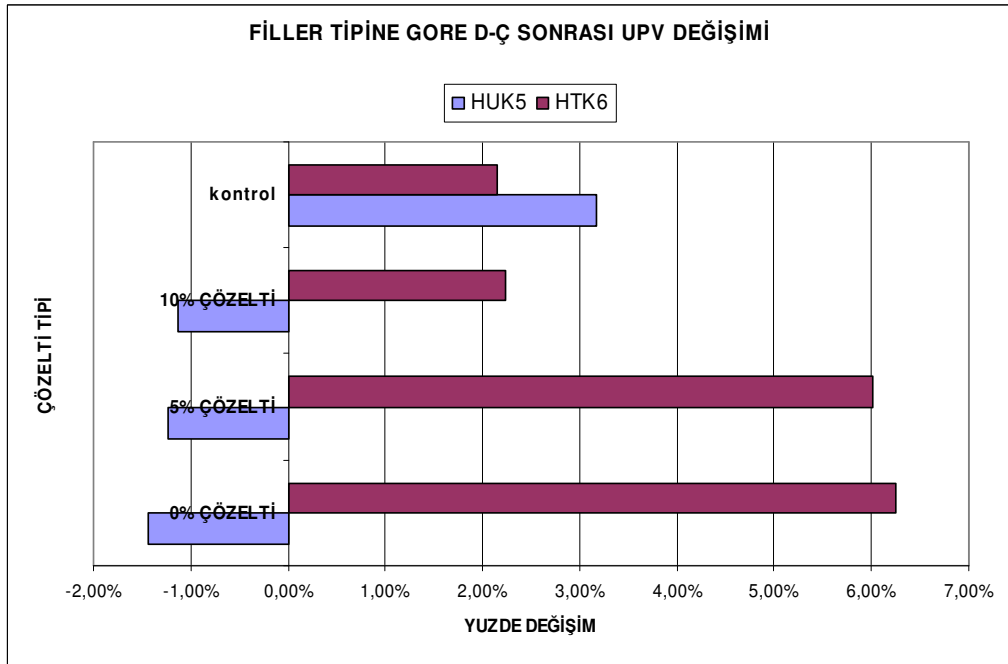
Şekil 9.97 Filler tipi olarak taş tozu kullanılan örneklerin D-Ç sonrası ağırlık değişimi



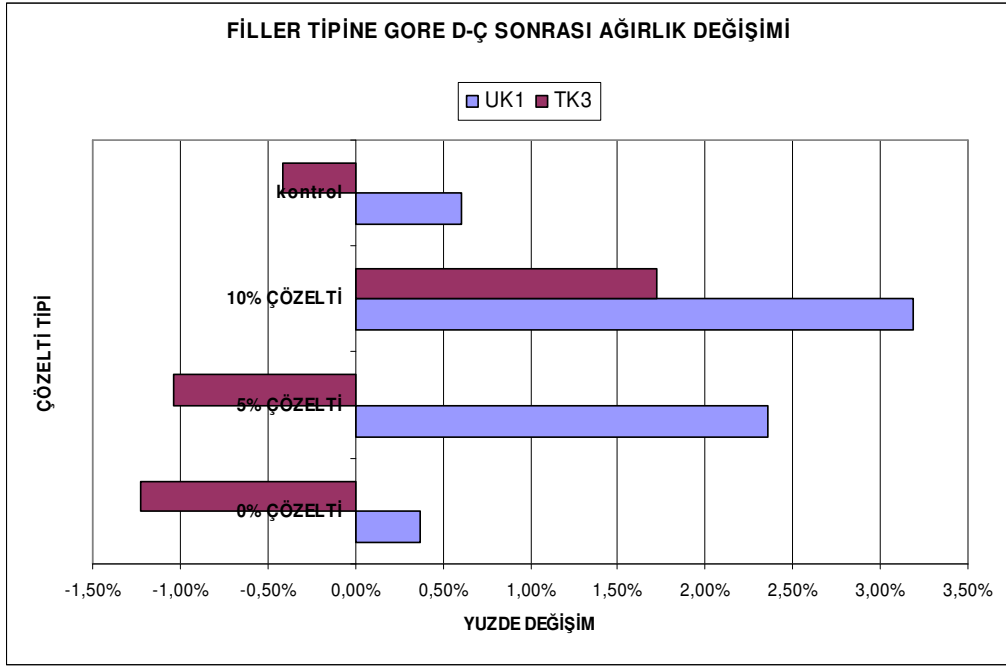
Şekil 9.98 Filler tipi olarak uçucu kül kullanılan örneklerin D-Ç sonrası ağırlık değişimi



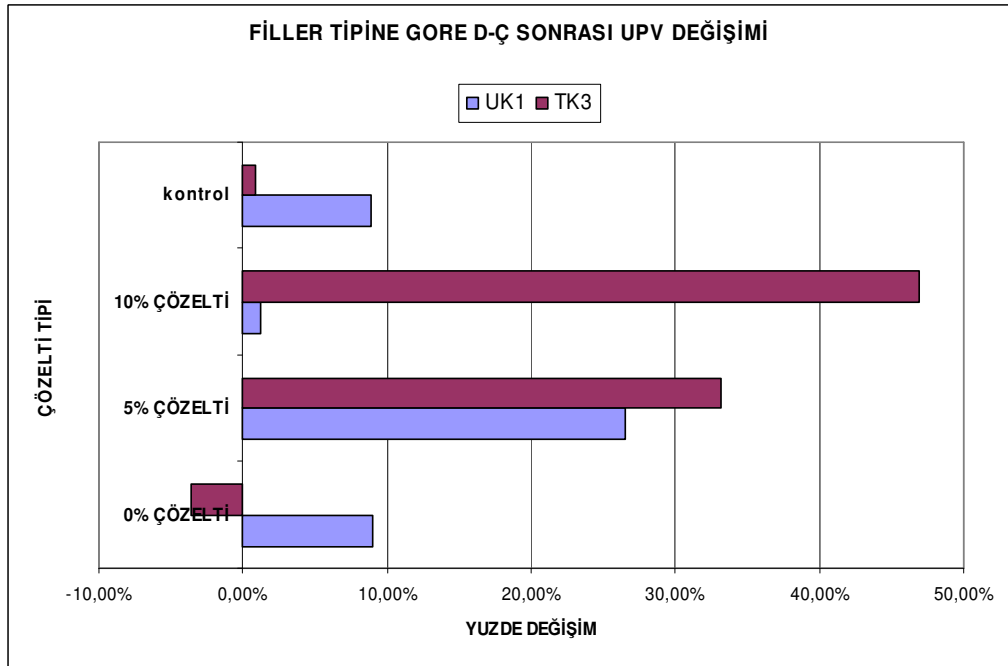
Şekil 9.99 Filler tipleri değişen HUK5 ve HTK6 örneklerinin D-Ç sonrası ağırlık değişimleri



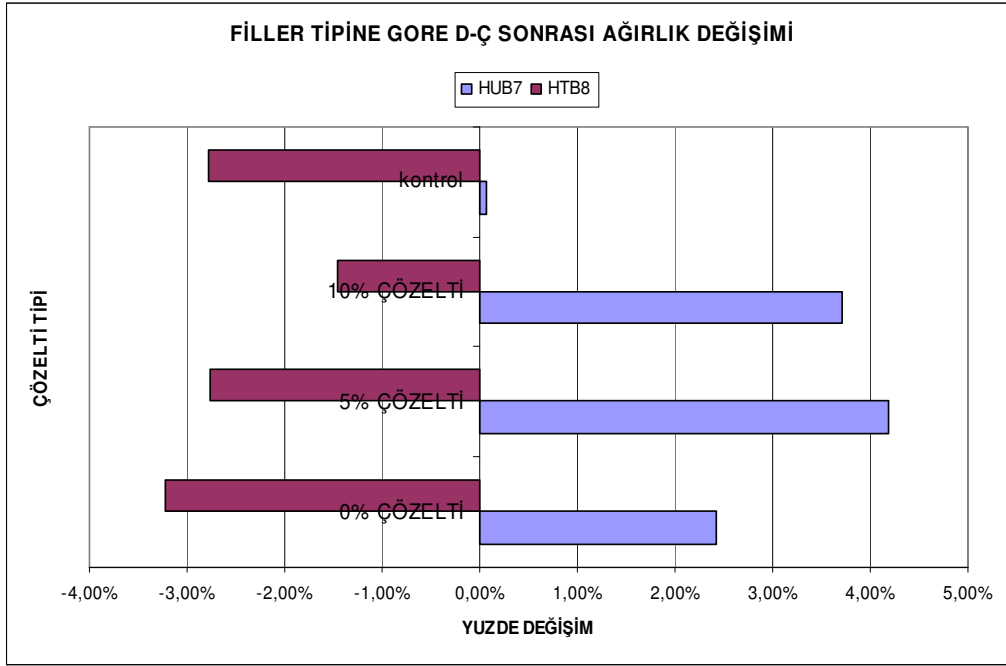
Şekil 9.100 Filler tipleri değişen HUK5 ve HTK6 örneklerinin D-Ç sonrası UPV değişimleri



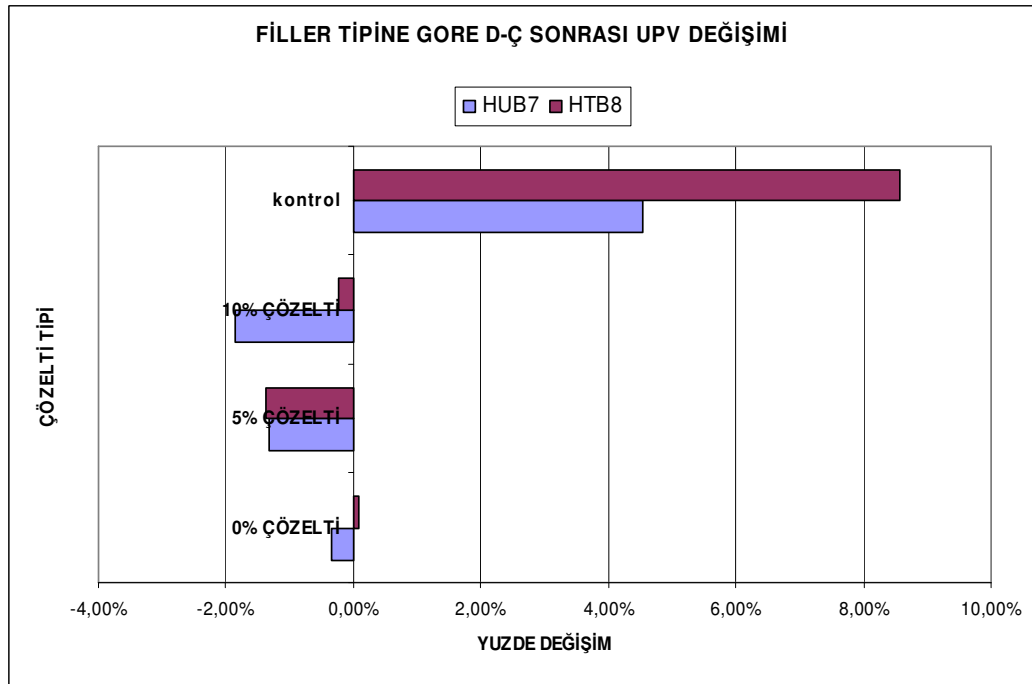
Şekil 9.101 Filler tipleri değişen UK1 ve TK3 örneklerinin D-Ç sonrası ağırlık değişimleri



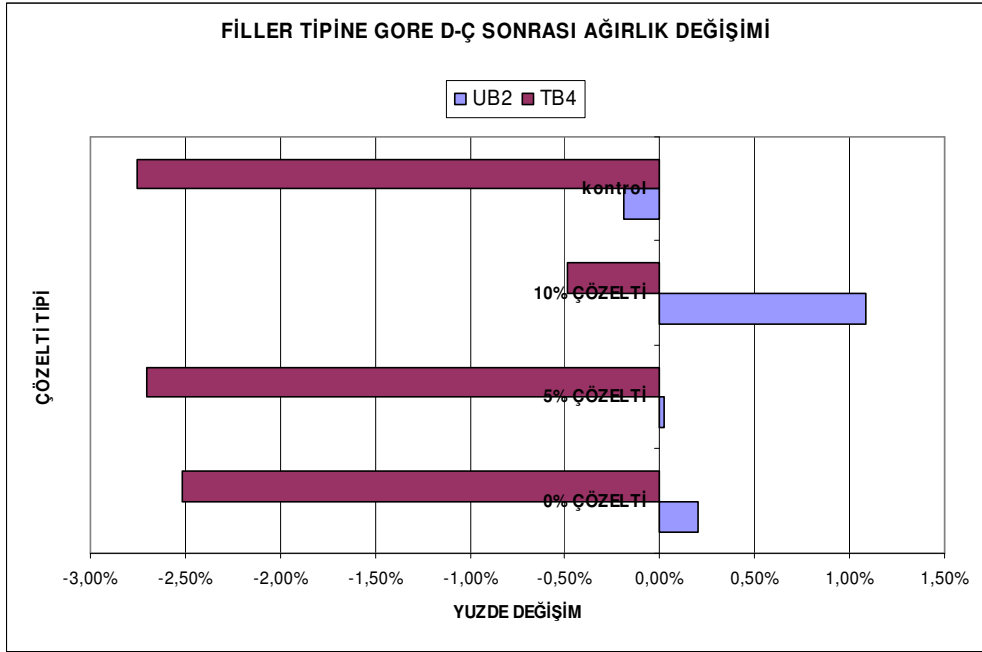
Şekil 9.102 Filler tipleri değişen UK1 ve TK3 örneklerinin D-Ç sonrası UPV değişimleri



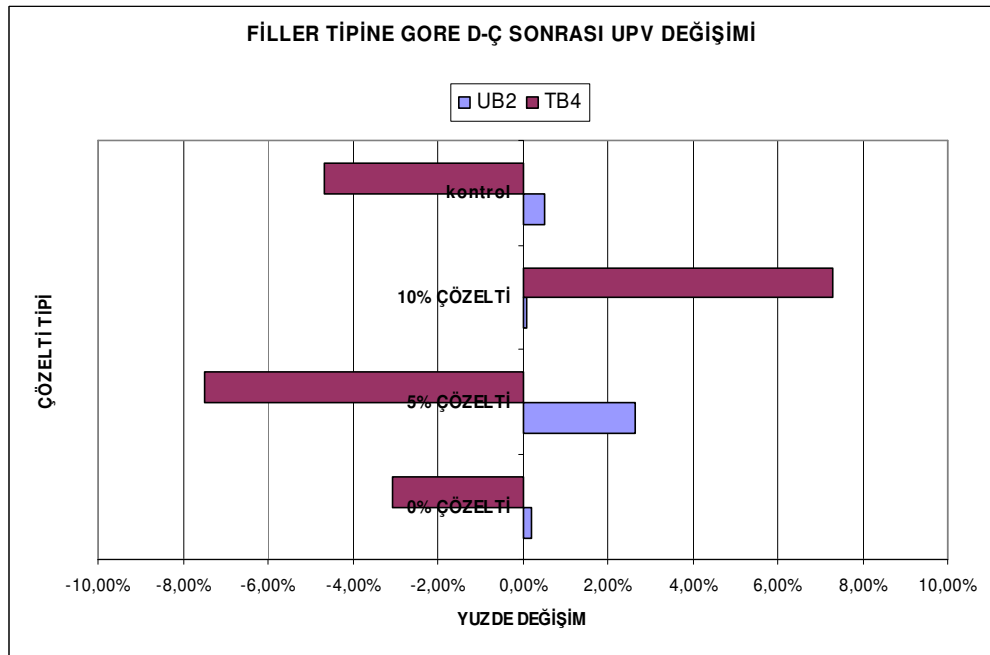
Şekil 9.103 Filler tipleri değişen HUB7 ve HTB8 örneklerinin D-Ç sonrası ağırlık değişimleri



Şekil 9.104 Filler tipleri değişen HUB7 ve HTB8 örneklerinin D-Ç sonrası UPV değişimleri



Şekil 9.105 Filler tipleri değişen UB2 ve TB4 örneklerinin D-Ç sonrası ağırlık değişimleri



Şekil 9.106 Filler tipleri değişen UB2 ve TB4 örneklerinin D-Ç sonrası UPV değişimleri

9.7.2.5.4 Hava Sürükleyicinin Etkisi

Hava sürükleyici katkı ilave edilmiş silindir örneklerde en fazla ağırlık artışı HUK5 karışımının %10 çözeltide çözdürülen örneklerinde, en fazla ağırlık azalışı ise HTB8 karışımının %0 çözeltide çözdürülen örneklerinde görülmüştür. HUB7, HTK6, HUK5 örneklerinde %10 ve %5 çözeltilerde çözdürülen tüm örneklerde ağırlık artışı gözlenmiş, sadece HTB8'de tüm örneklerde azalma olmuş, onların içinde de en az azalma %10 ve %5 çözeltilerde olmuştur. (Şekil 9-107)

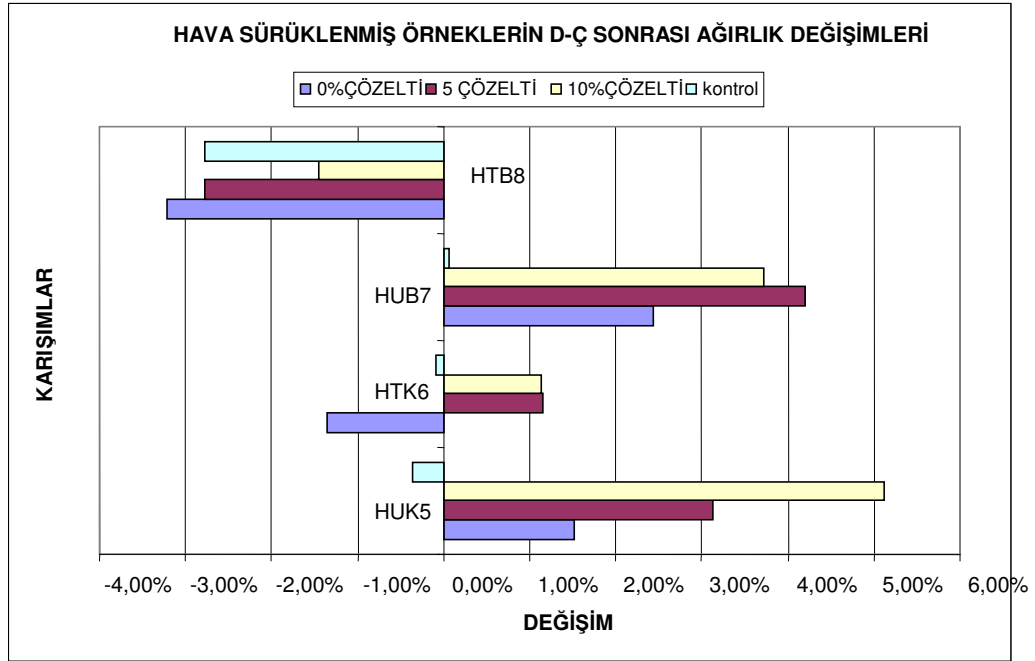
Hava sürükleyici katkı ilave edilmemiş silindir örneklerde en fazla ağırlık artışı UK1 karışımının %10 çözeltide çözdürülen örneklerinde, en fazla ağırlık azalışı ise TB4 karışımının kontrol örneklerinde görülmüştür. UK1, UB2, TK3 %10 çözeltilerde çözdürülen tüm örneklerde ağırlık artışı gözlenmiş, sadece TB4'de tüm örneklerde azalma olmuş, onların içinde de en az azalma %10 çözeltilerde olmuştur. (Şekil 9-108)

Hava sürükleyici katkı ilavesi farkı olan karışımlardan TB4 ve HTB8 karışımlarının hepsi ağırlık azalışı göstermiştir. Bütün çözelti tiplerinde ve kontrol örneklerinde HTB8 daha fazla azalış göstermiştir. (Şekil 9-110)

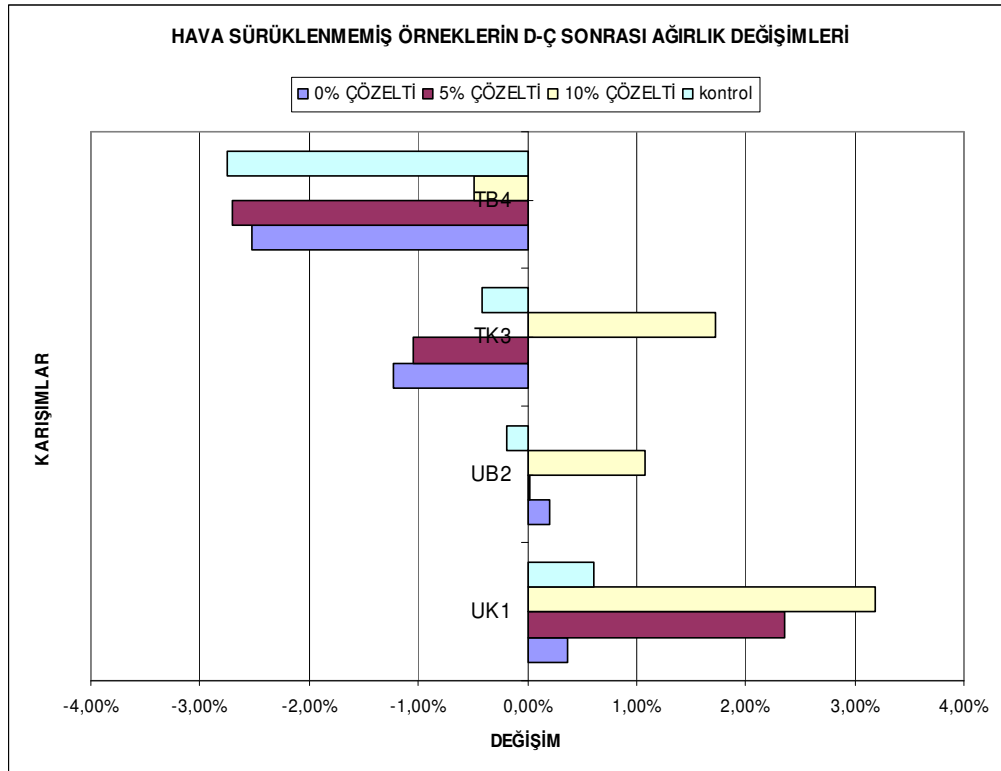
Hava sürükleyici katkı ilavesi farkı olan karışımlardan TK3 ve HTK6 karışımlarında % 10 çözeltide TK3 örnekleri daha fazla artış göstermiş, % 5 çözeltide HTK6 artarken, TK3 azalmıştır. %0 çözeltide HTK6 daha fazla azalmıştır. Kontrol örneklerinde TK3 daha fazla azalma göstermiştir. (Şekil 9-112)

Hava sürükleyici katkı ilavesi farkı olan karışımlardan UB2 ve HUB7 karışımlarının tüm çözelti tiplerinde HUB7 örnekleri daha fazla artış göstermiştir. Kontrol örneklerinde UB2 azalış göstermiştir. (Şekil 9-114)

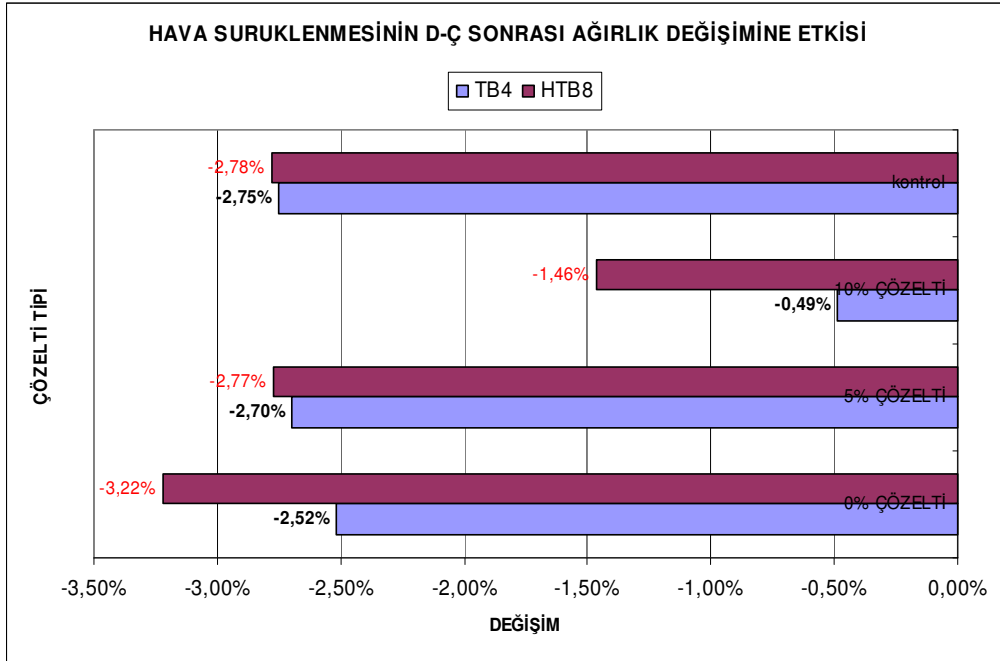
Hava sürükleyici katkı ilavesi farkı olan karışımlardan UK1 ve HUK5 karışımlarının tüm çözelti tiplerinde HUK5 örnekleri daha fazla artış göstermiştir. Kontrol örneklerinde HUK5 azalış göstermiştir. (Şekil 9-116)



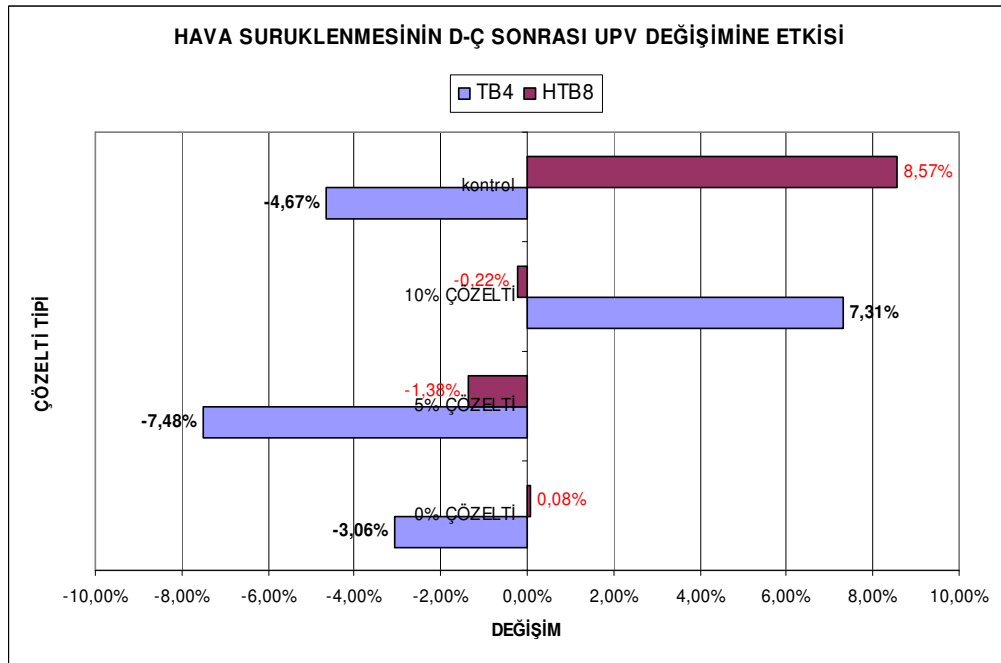
Şekil 9.107 Hava sürüklenmiş örneklerin D-Ç sonrası ağırlık değişimleri



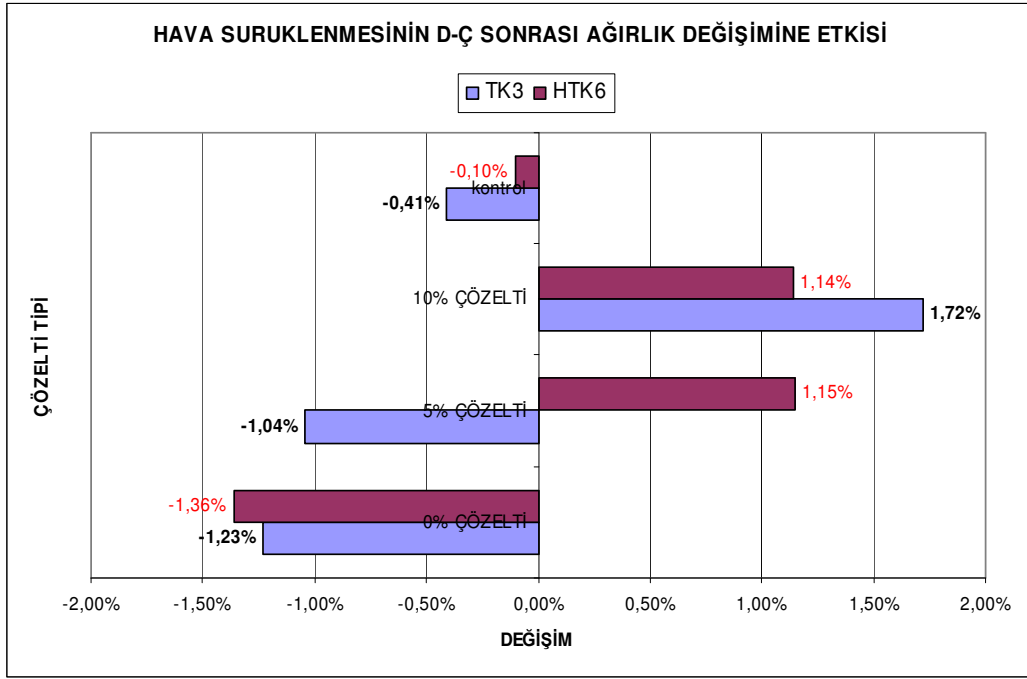
Şekil 9.108 Hava sürüklenmemiş örneklerin D-Ç sonrası ağırlık değişimleri



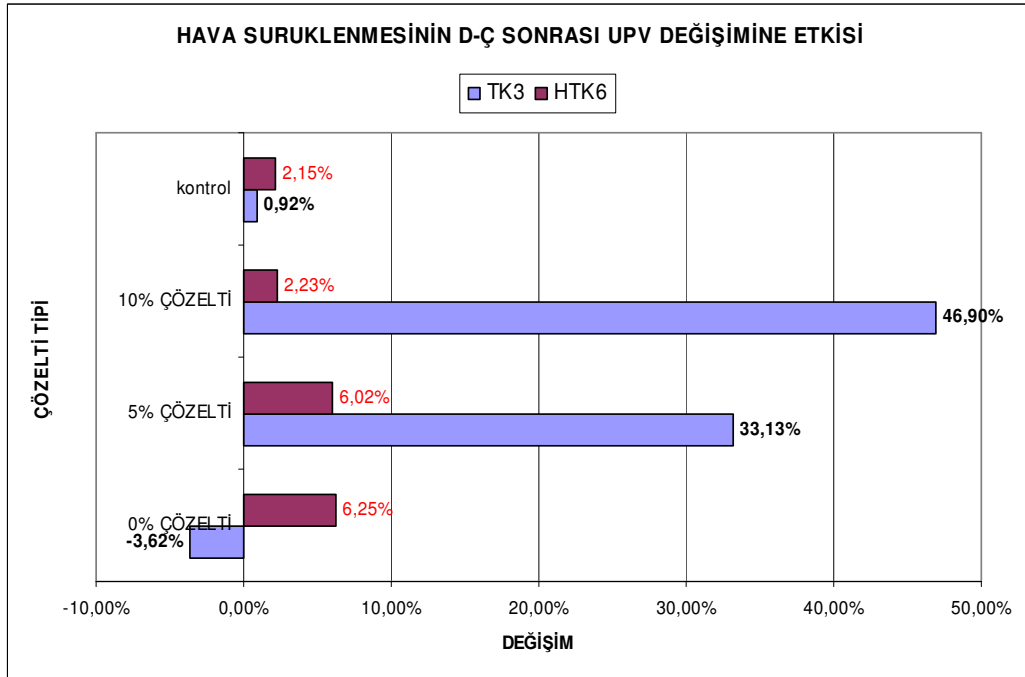
Şekil 9.109 Hava sürüklenme katkı ilave edilmesinin TB4 ve HTB8 örneklerinde ağırlık değişimleri



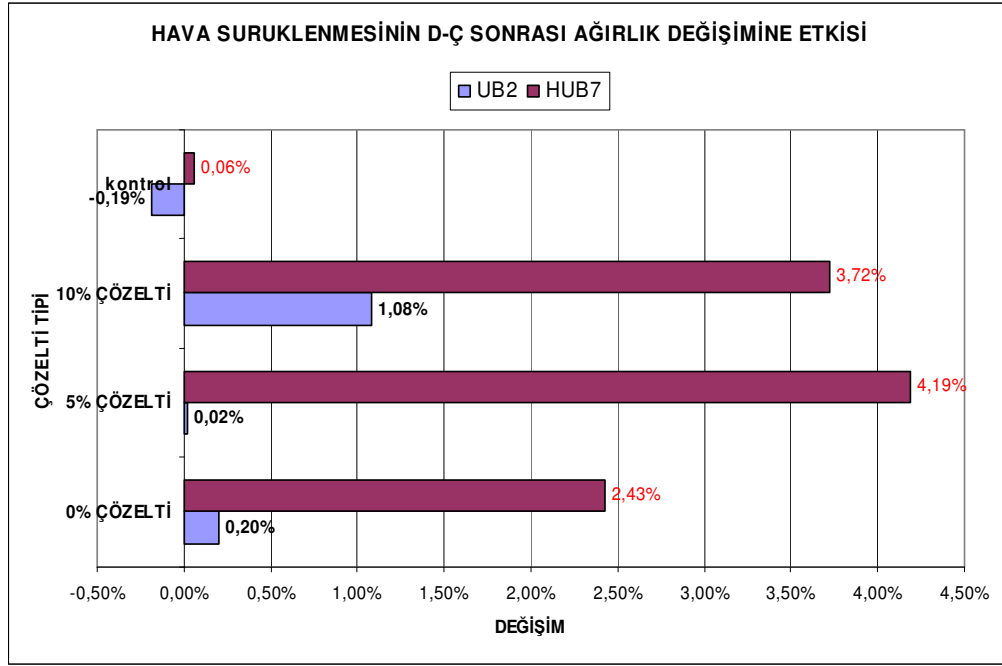
Şekil 9.110 Hava sürüklenme katkı ilave edilmesinin TB4 ve HTB8 örneklerinde UPV değişimleri



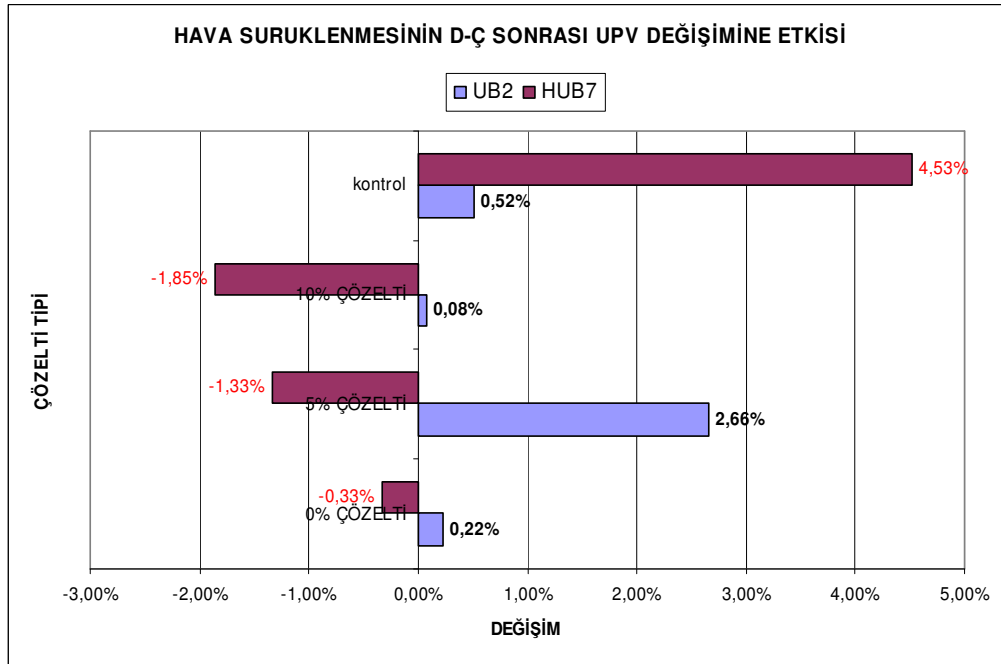
Şekil 9.111 Hava sürüklenme katkı ilave edilmesinin TK3 ve HTK6 örneklerinde ağırlık değişimleri



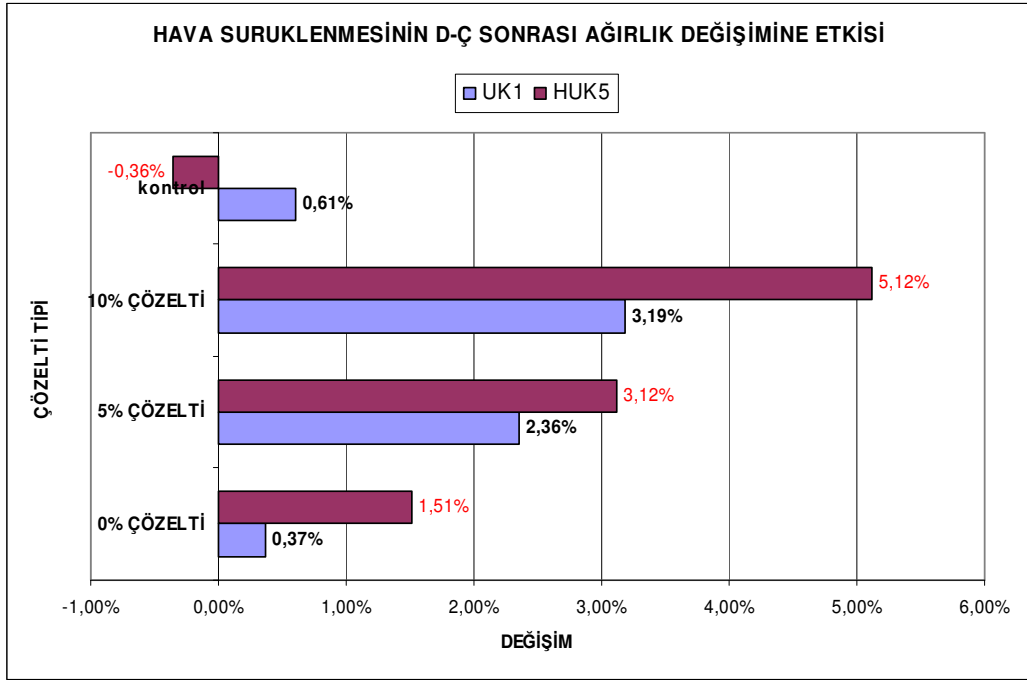
Şekil 9.112 Hava sürüklenme katkı ilave edilmesinin TK3 ve HTK6 örneklerinde UPV değişimleri



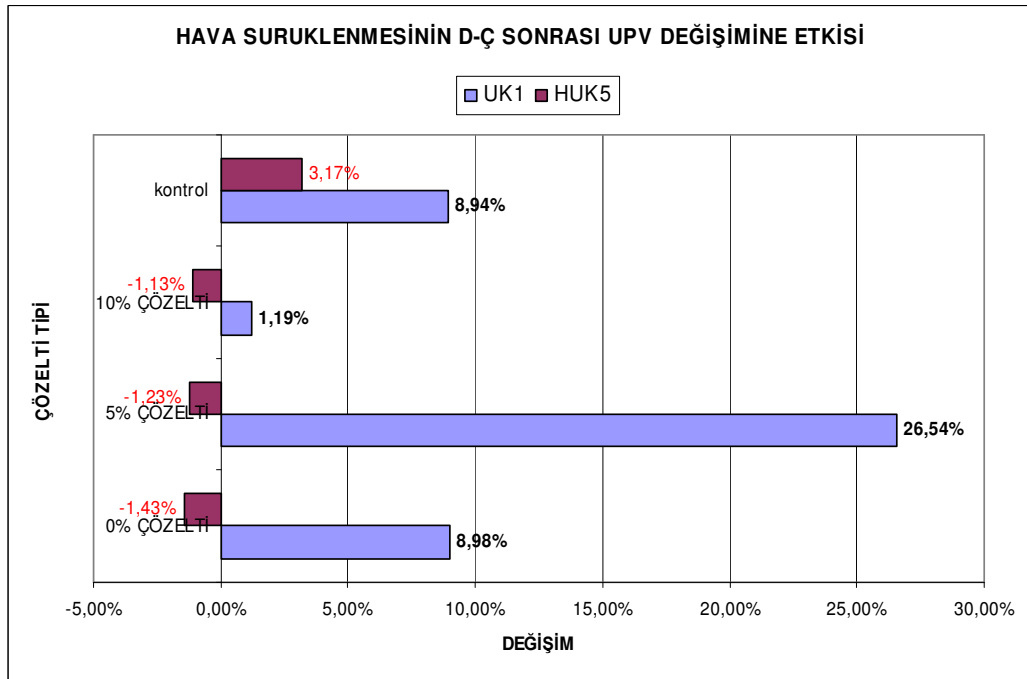
Şekil 9.113 Hava sürüklenme katkı ilave edilmesinin UB2 ve HUB7 örneklerinde ağırlık değişimleri



Şekil 9.114 Hava sürüklenme katkı ilave edilmesinin UB2 ve HUB7 örneklerinde UPV değişimleri



Şekil 9.115 Hava sürüklenme katkı ilave edilmesinin UK1 ve HUK5 örneklerinde ağırlık değişimleri



Şekil 9.116 Hava sürüklenme katkı ilave edilmesinin UK1 ve HUK5 örneklerinde UPV değişimleri

BÖLÜM ON

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Hazırlanan karışımların kendiliğinden yerleşebilirlik deneyleri sırasında çok hızlı işlenebilirliklerini kaybetme eğiliminde olduğu gözlenmiştir. İlk dakikalarda kolay perdahlanabilen kalıp yüzeyleri, 5 dakika sonunda oldukça düşük perdahlanabilirlik göstermiştir. Kullanılan akışkanlaştırıcı katkının özellikleri nedeniyle hızlı işlenebilirlik kaybı olduğu düşünülmektedir. Ayrıca taze beton deneyleri esnasında yaşanan zaman kayıpları da betonun kalıplara yerleştirilme zamanını geciktirmiş olup bundan dolayı da perdahlanma zorluğu yaşanmıştır.

Filler tipi olarak uçucu kül kullanılan örnekler 3, 7 ve 28 günlerin hepsinde taş tozlu karışımlardan daha yüksek basınç dayanım değerleri vermişlerdir. Uçucu külün sahip olduğu puzolanik aktivite özelliğinin taş tozuna kıyasla oldukça fazla olması, basınç dayanım değerlerinin yüksek çıkmasına neden olmuştur.

Filler tipi olarak taş tozu kullanılan örneklerin bağıl dayanım kazanma oranlarının daha yüksek olduğu görülmüştür. 2 ve 4 nolu karışımlar dışında taş tozu kullanılan karışımların, uçucu kül kullanılanlara kıyasla % 5 – 15 arasında daha fazla bağıl dayanım kazandıkları görülmüştür.

Hava sürükleyici katkı ilave edilen beton karışımlarının erken dayanım kazanma oranlarını oldukça yüksektir. Hava sürükleyicili karışımların bağıl dayanım kazanma oranları % 55 – 70 arasındayken, hava sürükleyici katkı ilave edilmeyen karışımlarda % 45 – 55 arasında olduğu görülmüştür. Bunun nedeninin kullanılan hava sürükleyici katkının erken dayanım kazandırma özelliğine sahip olma ihtimalinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Agrega olarak kireçtaşı kullanılan karışımlar bazaltlı karışımlara göre daha yüksek eğilme dayanımı göstermişlerdir. Kireçtaşı kullanılan örneklerin eğilme dayanımları, bazalt kullanılan örneklere göre % 5 – 20 arasında daha yüksek sonuçlar vermiştir. Örneklerin kırılma yüzeylerine bakıldığında bazaltların beton hamuruna aderanslarının daha zayıf olduğu görülebilmektedir. Kırılmaların agregalarda değil, beton hamurlarından olduğu görülmüştür. Bunun nedeninin

bazaltın sahip olduğu camsı yüzeyden dolayı betona aderansının zayıf olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Hava sürükleyici katkı kullanılmayan örneklerin eğilme dayanımlarının daha yüksek olduğu görülmüştür. Hava sürükleyici katkı ilave edilmeyen örneklerin, hava sürükleyicili örneklere kıyasla % 5 – 40 arasında daha yüksek eğilme dayanımına sahiptir. Örneklerin kırılma yüzeylerine bakıldığında agrega ile beton hamuru arasında oldukça fazla hava boşlukları olduğu görülmüştür. Hava boşluklarının betonun ara yüzey doluluğunu azaltarak dayanımını düşürdüğü düşünülmektedir.

Aşınma deneyleri sonucunda 7. günde yapılan deneylerde 28. günde yapılanlara göre daha fazla kütle kayıpları ortaya çıkmıştır. 2 ve 7 no'lu örnekler dışında 7. gün sonundaki aşınma deneylerinde 28. gün sonundakilere kıyasla % 5 – 20 arasında daha fazla kütle kayıpları görülmüştür. Bunun nedeninin 28 günlük örneklerin kür sürelerinin daha fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmüştür.

Agrega olarak kireçtaşı kullanılan karışımlarda aşınma deneylerinde bazaltlı karışımlara göre daha fazla ağırlık kayıpları gözlenmiştir. Aşınma deneyine tabi tutulan örneklere bakıldığında kireçtaşı örneklerde hem agrega hemde beton hamuru aşınarak parçalandığı görülmüştür. Bazaltlı örneklerde ise agregada çok fazla aşınma ve parçalanma görülmezken daha çok beton hamurlarından kopma olduğu görülmüştür. Bunun nedeninin bazaltın aşınmaya karşı dayanıklı ancak betona aderans yeteneğinin daha düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Donma-Çözülme deneyleri sonunda %10 tuz çözeltisinde çözdürülen örneklerde daha fazla kütle artışı eğilimi bulunmaktadır. Bunun nedeninin tuz konsantrasyonunun artmasıyla örneklerin içine nüfus eden tuz miktarının artması şeklinde yorumlanabilir. Deney sonunda örneklere bakıldığında %10 tuz çözeltisinde bekletilen örneklerin yüzeylerinde beyaz tuz izleri kaldığı görülmüştür. Yüzeysel olarak dökülme ve parçalanmalar görülse de tuz iyonlarının gözeneklere dolmasıyla ağırlıklarda artış görülmüştür.

Donma-çözülme deneyleri sırasında agrega olarak bazalt kullanılan karışımlarda pasta tabakasının agregadan sıyrılarak, agrega yüzeylerini ortaya çıkardığı ve agregaların koptuğu gözlenmiştir. Bunun nedeninin bazaltın sahip olduğu camsı yüzey yapısının betona aderansını azaltması ile ilgili olduğu düşünülmektedir.

Donma-çözülme deneyleri sırasında taş tozu kullanılan karışımlarda genel olarak ağırlık azalışı olurken, uçucu küllü karışımlarda ağırlık artışı olduğu saptanmıştır. Uçucu kül kullanılan örnekler donma-çözülme deneylerine daha dayanıklı olup, taş tozlu örneklerle kıyasla çok fazla parça ve kopmalar gözlenmemiştir. Taş tozlu örneklerde ise beton gözeneklerine dolan tuzlara rağmen çok fazla dökülme ve parçalanma olduğundan ağırlık azalışı olmuştur.

KAYNAKLAR

- Aggoun S., Kheirbek, A., Kadri E.H., Duval R. , (2002). “Study of the Flow of Self Compacting Concretes”, First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete
- Ağar E., Sütaş İ., Öztaş G., (1998) “ Beton Yollar”, İTÜ, İstanbul
- Ağar, E., Taşdemir, Y., <http://www.thbb.org/engine.php?ID=67>
- Akalın, T., <http://www.thbb.org/engine.php?ID=30>
- Akkaya, Y., Taşdemir M.A., “Beton Yollarda Kullanılan Malzemelerle İlgili Genel Bir Değerlendirme”
- Boel V., Audenaert K., Schutter G.D., (2002). “Pore Structure of Self-Compacting Concrete”, First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete
- Bouzoubaa N., Lachemi M., (2001). “Self-compacting concrete incorporating high volumes of class F fly ash Preliminary results”, Cem. Concr. Res., Vol: 31
- Bui V.K., (2002). “Application of Minimum Paste Volume Method in Designing Cost-Effective Self-Consolidating Concrete-An Experience in New Zealand”, First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete
- Colleparidi M., (2001). “A Very Close Precursor of Self-Compacting Concrete (SCC)”, unpublished data
- Corradi M., Khurana R. , Magarotto R. , Torresan I., (2002). “Zero Energy System: An Innovative Approach for Rationalized Precast Concrete Production”, BIBM 17th International Congress of the Precast Concrete Industry, Istanbul (Turkey)

- DEMİR, M., “Almanya’daki Beton Otoyolların Yapım ve Tasarımında Son Gelişmeler” <http://www.thbb.org/engine.php?ID=69>
- EFNARC, (2002). “Specifications and Guidelines for Self-Compacting Concrete”, EFNARC, Association House, 99 West Street, Farnham, UK, www.efnarc.org
- Fang W., Jianxiong C., Changhui Y., (1999). “Studies on self-compacting high performance concrete with high volume mineral additives”, Proceedings of the First International RILEM Symposium, Edited by A.Skarendahl and Ö. Petersson
- Felekoğlu, B., (2003), “Kendiliğinden yrlşen betonun fizksel ve mekanik özelliklerinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Fugiwara H., Nagataki S., (1999). “Study of self-compactibility of high-fluid concrete”, Proceedings of the First International RILEM Symposium, Edited by A.Skarendahl and Ö. Petersson
- Gürol G., (1999). “Ekonomik beton için beton bileşenleri çimento/su/ince ve kaba agrega/kimyasal ve mineral katkıları”, Dizayn ve Konstrüksiyon Dergisi, 1999/164
- Ho D.W.S., Sheinn A.M.M., Ng C.C., Tam C.T., (2002). “The use of quarry dust for SCC applications”, Cem. Concr. Res., Vol: 32
- Hughes J.J., (2002). “Evaluation of Self-Consolidating Concrete – Summary Report”, First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete
- Jianxiong C., Xincheng P., Yubin H., (1999). “A study of self-compacting HPC with superfine sand and pozzolanic additives”, Proceedings of the First International RILEM Symposium, Edited by A.Skarendahl and Ö. Petersson,

- Khurana R. , Topçu O., (2000). “Role of Superplasticizers in the development of self compacting concrete”, Second International Symposium on Cement and Conc. Tech. in the 2000s, Volume I, Istanbul,
- Ouchi M., (1999). “Self-compacting concrete – Development, applications and investigations”, Nordic Concrete Research Committee Publications,
- Özey, İ., ”Rijit Üstyapı ile Esnek Üstyapının Karşılaştırılması“ Y.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü , Yüksek Lisans Tezi , 1992
- Özler, L., “Karayolları yapımında camdan mucize aramayın” <http://www.dexigner.com/forum/index.php?showtopic=2131>
- Perez N., Hermida G., Romero H., Cuellar G., (2002). “Self-Compacting Concrete, on the Search and Finding of an Optimized Design”, First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete
- Persson B., (2001). “A comparison between mechanical properties of selfcompacting concrete and the corresponding properties of normal concrete”, Cem. Concr. Res., Vol: 31,
- Petersson, Ö., (1999). “Brite Euram Project: Rational Production and Improved Working Environment Through Using Self Compacting Concrete-FINAL REPORT: TASK 2, Workability”, Swedish Cement and Concrete Research Institute
- Raghavan K.P., Sarma B.S., Chattopadhyay D., (2002). “Creep, Shrinkage and Chloride Permeability Properties of Self-Consolidating Concrete”, First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete
- Roshavelov T., (2002). “Concrete Mixture Proportioning Based on Rheological Approach”, First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete

- Sari M., Prat E., Labastire J.-F., (1999). "High strength self-compacting concrete Original solutions associating organic and inorganic admixtures", Cem. Concr. Res., Vol: 29
- Skarp U., Engstrand J., Jansson I., (2002). "A Concept for Enhancing Early Strength Development in Self-Consolidating and Normal Concrete by Means of Increased Stability and Homogeneity", First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete
- Su N., Hsu K.-C., Chai H.-W., (2001). "A simple mix design of self-compacting concrete", Cem. Concr. Res., Vol: 31
- Sütaş, İ., <http://www.thbb.org/engine.php?ID=64>
- Şen, L., "Türkiye'de beton yol" Betamak A.Ş. THBB
- Tviksta L.-G., (2000). "Brite Euram Project: Rational Production and Improved Working Environment Through Using Self Compacting Concrete-FINAL REPORT: TASK 8.4 Quality control", NCC AB
- Walraven J., (2002). "Self-Compacting Concrete in the Netherlands", First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete,
- Yahia A., Tanimura M., Shimabukuro A., Shimoyama Y., (1999). "Effect of rheological parameters on self compactability of concrete containing various mineral admixtures", Proceedings of the First International RILEM Symposium, Edited by A.Skarendahl and Ö. Petersson,
- Yamada K., Takahashi T., Hanehara S., Matsuhisa M., (2000). "Effects of the chemical structure on the properties of polycarboxylate-type superplasticizer", Cem. Concr. Res., Vol: 30