
ORTA DOĞU TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
YAPI MALZEMELERİ DALI

ERZİNCAN MOLLAKÖY
HAM PERLİT AGREGASININ VE PERLİT TOZUNUN
TAŞIYICI HAFİF BETON ÜRETİMİNDE
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Proje Kod No : 2005-03-03-2-77

Doç. Dr. Lutfullah Turanlı
İnşaat Yük. Müh. Mesut Aşık
İnşaat Yük. Müh. Burak Uzal

Aralık 2006, ANKARA

1.GİRİŞ

Bu rapor Orta Doğu Teknik Üniversitesi ve ER-PER Maden İşletmeciliği arasında imzalanan 2005-03-03-2-77 no'lu araştırma-geliştirme uygulama projesi kapsamında hazırlanmıştır. Projenin konusu Erzincan Molla Köy doğal perlit agregası ve perlit tozunun taşıyıcı hafif beton üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır.

Taşıyıcı hafif betonların karışım hesap yöntemlerinin anlatıldığı TS 2511 standardında taşıyıcı hafif beton; hava kuru birim ağırlığı 1900 kg/m^3 den az olan ve basınç dayanımı en az 160 kgf/cm^2 (16 MPa) olan beton olarak tanımlanmaktadır [1].

Amerikan Beton Enstitüsü'nün (American Concrete Institute – ACI) taşıyıcı hafif betonla ilgili 213 No'lu komite raporunda, taşıyıcı hafif beton; hafif agrega kullanılarak elde edilmiş 28-günlük hava kuru birim ağırlığı genellikle $1440-1850 \text{ kg/m}^3$ aralığında olan ve basınç dayanımı 17 MPa 'ın üzerinde olan beton olarak tanımlanmıştır [2]. Ancak bu tanım zorlayıcı bir şart olarak anlaşılmamalıdır. Genel uygulamada birim ağırlığı yaklaşık $1600-1750 \text{ kg/m}^3$ olan taşıyıcı hafif beton karışımları kullanılmaktadır.

Yapılarda taşıyıcı hafif beton kullanımı, yapının toplam maliyetinde sağladığı tasarruf nedeniyle tercih edilmektedir. Birim hacim maliyeti olarak, taşıyıcı hafif beton genellikle normal betondan bir miktar daha pahalıya mal olabilirken, yapı ağırlığında meydana gelen azalmaya bağlı olarak ölü yüklerin azalması dolayısıyla yapı temelinde ve taşıyıcı sistem (kiriş, kolon, perde duvar vb.) kesitlerinde sağladığı tasarruf nedeniyle toplam yapı maliyeti düşmektedir. Sonuç olarak normal ağırlıklı betonun birim maliyeti daha ucuz olmakta, ancak eleman kesitlerindeki büyüme beton miktarını ve betonarme çeliği miktarını artırmaktadır.

Günümüzde iyi kalitede hafif agregalar kullanılarak basınç dayanımı 50 MPa 'a ulaşan yüksek dayanımlı taşıyıcı hafif betonlar elde edilebilmektedir. Ayrıca yüksek dayanımlı beton teknolojisinde sıkça kullanılan silis dumanı katkısı ve akışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanılarak 60 MPa 'ın üzerinde basınç dayanımına sahip hafif betonlar elde edilebilmektedir. Malhotra [3] genişletilmiş şeyl agregası kullanarak, 400 kg/m^3 çimento, 80 kg/m^3 uçucu kül ve 28 kg/m^3 silis dumanı içeren ayrıca süperakışkanlaştırıcı kimyasal katkı maddesinin de kullanıldığı, basınç dayanımı yaklaşık 70 MPa olan beton elde etmeyi başarmıştır [4].

Yapılara deprem sırasında etki eden yükler, yapının ağırlığı ile orantılı olduğundan yapı ağırlığındaki azalma, yapının deprem sırasındaki hasar riskini de önemli ölçüde azaltmaktadır. Ülkemizin birçok bölgesinin deprem riski altında olduğunu düşünürsek, taşıyıcı hafif beton kullanımı ülkemiz için ayrı bir önem taşımaktadır. Ayrıca, Erzincan ve çevresinin 1.derece deprem bölgesinde olması da Erzincan Molla Köy doğal perlit agregasının taşıyıcı hafif beton üretiminde kullanılmasının önemini arttırmaktadır.

Bu çalışmada doğal perlit agregası ile yapının öz ağırlığının azalmasını sağlayacak taşıyıcı hafif beton karışımı çalışmaları yapılmıştır. Ayrıca, betonda ekonomiyi sağlamak amacıyla da mineral katkı olarak belli bir oran dahilinde çimentonun yerine perlit tozu kullanılmıştır. Sekiz farklı beton karışımı üzerinde yapılan deneyler sonucu elde edilen değerler rapor halinde sunulmuştur.

2. TEORİK BİLGİLER VE LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Teorik Bilgiler

Genel olarak birim ağırlığı 2000 kg/m^3 ' den daha az olan betonlar hafif beton olarak sınıflandırılmaktadırlar. Hafif betonlar ise düşük dayanımlı, orta düzeyde dayanımlı ve taşıyıcı hafif betonlar olmak üzere 3 alt gruba ayrılmaktadır [2].

Düşük yoğunluklu (düşük dayanımlı) betonlar yapısal taşıyıcı amaçlarla değil de, genellikle izolasyon amacıyla kullanılan betonlardır. Bu tür betonların birim ağırlıkları 800 kg/m^3 'ün altındadır ve ısı iletkenlikleri oldukça düşüktür. Basınç dayanımları ise 1-7 MPa arasında değişmektedir [2].

Orta düzeyde dayanımlı hafif betonlar ise düşük yoğunluklu ve taşıyıcı hafif betonlar arasında özellikler gösteren betonlardır. Genellikle beton blok üretimi gibi taşıyıcı olmayan uygulamalarda kullanılmaktadırlar. Basınç dayanımları ise yaklaşık olarak 7-17 MPa arasında değişiklik göstermektedir ve orta düzeyde yalıtım özelliğine sahiptirler [2].

Taşıyıcı hafif betonlar ise en az 17 MPa basınç dayanımına sahip, birim ağırlıkları yaklaşık $1450-1850 \text{ kg/m}^3$ arasında değişen hafif betonlar olarak tanımlanmaktadır. Taşıyıcı hafif beton uygulamalarında genellikle basınç dayanımları yaklaşık 35 MPa ve daha üzerinde olan karışımlar tasarlanıp kullanılmaktadır. Taşıyıcı hafif betonların ısı iletkenlikleri, taşıyıcı

olmayan düşük yoğunluklu hafif betonlar kadar olmasa da, normal ağırlıklı beton ile karşılaştırıldığında daha düşük olmaktadır [2].

Hafif betonlar beton teknolojisinde sanıldığı kadar yeni bir olgu değildir. Hafif betonun ilk kullanımı Amerika Birleşik Devletlerinde 1900'lü yıllara dayanmaktadır. Bu ilk uygulamalarda kil ve şeyl malzemelerin ısı ilemele genişletilmesi sonucunda elde edilen hafif agregalar kullanılmıştır [2].

2.1.1. Taşıyıcı Hafif Betonlarda Kullanılan Agregalar

Hafif agrega olarak sınıflandırılan ve özellikleri geniş bir aralığa yayılan bir çok agrega tipi bulunmaktadır. Ancak bunlardan belirli fiziksel ve mekanik özellikleri sağlayan agregalar, yapısal taşıyıcı hafif beton üretiminde kullanılabilirler. Diğerleri ise taşıyıcı olmayan düşük dayanımlı ve ısı/ses izolasyonunda kullanılan agregalardır. Agreganın testler sonucunda belirlenen özellikleri, taşıyıcı hafif beton karışımının tasarımında birinci derecede önem taşımaktadır [2].

Hacim Özgül Ağırlığı- Boşluklu yapılarından dolayı, hafif agregaların özgül ağırlıkları normal agregalarından daha düşüktür. Hacim özgül ağırlıkları tane boyutuna bağlı olarak değişim göstermekte; tane boyutu azaldıkça hacim özgül ağırlığı artmakta, tane boyutu büyüdükçe azalmaktadır. Hafif agregaların kuru haldeki hacim özgül ağırlıkları, normal agregaların yaklaşık 1/3'ü ile 2/3'ü arasında değişmektedir [2].

Birim Ağırlık – Hafif agregaların birim ağırlıkları da, hacim özgül ağırlıklarıyla doğru orantılı olarak, normal ağırlıklı agregaların birim ağırlıklarından önemli ölçüde düşüktür. Hafif agregalarla ilgili Türk Standardı olan TS 1114 EN 13055-1'de hafif agregalar tane yoğunluğu 2000 kg/m³'ü veya gevşek birim ağırlığı 1200 kg/m³'ü aşmayan agregalar olarak tanımlanmıştır [2].

En Büyük Tane Boyutu – Taşıyıcı hafif beton uygulamalarında genellikle en büyük tane boyutu 19 mm, 13mm veya 10 mm olarak kullanılmaktadır. En büyük tane boyutu seçimi, betonun işlenebilirlik, ince/kaba agrega oranı, çimento miktarı, optimum hava miktarı ve kuruma büzülmesi gibi özelliklerini etkilemektedir [2].

Nem Miktarı ve Su Emme – Gözenekli yapılarından dolayı hafif agregalar, normal agregalara kıyasla daha fazla su emme kapasitesine sahiptirler. 24 saatlik su emme testi esas alındığında, hafif agregalar, gözenek yapılarına bağlı olarak genellikle %5 - %20 arasında ağırlıkça su emme oranı göstermektedirler. Burada hafif agregaların normal agregalardan önemli bir farkı; hafif agregalar tarafından tutulan suyun büyük bir kısmının tanelerin gözenekleri içine emilmesi, normal agregalarda ise tanelerin daha çok yüzeyde tutulmasıdır [2].

2.1.2. Taşıyıcı Hafif Betonların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Basınç Dayanımı

Günümüzde yapı endüstrisinde ihtiyaç duyulan yerinde döküm, prefabrik veya öngermeli beton uygulamalarının proje dayanımlarını karşılayacak özelliklerde hafif beton elde etmek mümkündür. Yerinde döküm uygulamalarında genellikle 20-35 MPa basınç dayanımına sahip beton karışımları kullanılmakta, prefabrik uygulamalarda ise bu değer 35 MPa ve daha üzerinde gerçekleşmektedir [2].

Taşıyıcı hafif betonların, basınç dayanımlarında en etkili faktör belirli bir çökme (slump) değerine sahip betonun birim hacmindeki çimento miktarıdır (kg/m^3). Normal beton uygulamalarında çimento dozajının yanı sıra ağırlıkça su/çimento oranı da kullanılmasına rağmen, taşıyıcı hafif beton uygulamalarında su/çimento oranının beton karışım hesaplamalarında bir ön parametre olarak kullanılması, hafif agregaların su emme oranları ve su emme hızlarındaki çeşitliliğin yol açtığı karmaşıklık nedeniyle tercih edilmemektedir [2].

Çimento Miktarı

Yukarıda belirtildiği gibi hafif beton karışımlarının basınç dayanımlarında en belirleyici faktörlerden birisi çimento dozajıdır. Tablo 1'de 75-100 mm çökme değerine sahip ve %5-%7 arasında hava içeriğine sahip taşıyıcı hafif betonlara ilişkin çimento miktarı-basınç dayanımı ilişkisi gösterilmektedir [2].

Birim Ağırlık

Taşıyıcı özellikteki betonun ağırlığının azaltılması, taşıyıcı hafif betonun öncelikli avantajıdır. Kullanılan agreganın tipine bağlı olarak taşıyıcı hafif betonun kuru birim ağırlığı 1140-1840 kg/m^3 aralığında olabilmektedir [2].

Betonun birim ağırlığı agreganın tane boyut dağılımı, betondaki nem miktarı, karışım oranları, su/bağlayıcı oranı gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Sayılan malzeme özelliklerinin yanı sıra, betonun sıkıştırılma şekli ve kür koşulları gibi faktörler de birim ağırlığı etkilemektedir [2].

Tablo 1. Ortalama Basınç Dayanımı-Çimento Dozajı İlişkisi [2]

Basınç Dayanımı MPa	Çimento Dozajı, kg/m ³	
	Tamamı Hafif Agregası	Kaba Agregası Hafif Olan
17.2	237-303	237-303
20.7	261-332	249-332
27.6	314-392	291-392
34.5	374-445	356-445
41.4	439-498	415-498

Elastiklik Modülü

Betonun elastiklik modülü çimento hamuru ve agreganın göreceli miktarlarına ve bunların elastiklik modülü değerlerine bağlı olarak değişmektedir. Kum ve çakılın elastik modülleri hafif agreganın elastiklik modülünden yüksek olduğundan, kum ve çakıl kullanılarak elde edilen betonun elastiklik modülü, hafif agregalar kullanılarak elde edilen betonun elastiklik modülünden yüksek olmaktadır. Genellikle taşıyıcı hafif betonun elastiklik modülü, benzer basınç dayanımına sahip normal ağırlıklı betonun yaklaşık $\frac{1}{2}$ - $\frac{3}{4}$ 'ü arasında gerçekleşmektedir [2].

Yarmada-Çekme Dayanımı

Sürekli olarak kür edilmiş hafif betonun çekme dayanımı basınç dayanımıyla doğru olarak değişmekte ve normal ağırlıklı betona eşit olabilmektedir. Ancak kurumaya maruz kalmış hafif betonun çekme dayanımı, betonun yapıdaki davranışı açısından daha önemlidir. Betonun dış yüzeylerden başlayarak içeri doğru belirli bir hızda kuruması sırasında, henüz ıslak olan iç bölgeye karşın kesitin dış kısmında meydana gelen kuruma iç bölgedeki basınç gerilmelerini dengeleyici çekme gerilmelerinin oluşmasına sebep olmaktadır. Böylece kurumaya maruz kalan hafif betonun dış yükler sonucunda oluşacak çekme gerilmelerine karşı direnci, sürekli kür edilmiş betona kıyasla azalacaktır [2].

Tamamı hafif agregalardan oluşan betonun yarmada-çekme dayanımı, eşit basınç dayanımına sahip normal ağırlıklı betonun yaklaşık %70-%100'ü arasında değişmektedir [2].

Kuruma Büzülmesi

Sertleşmiş betonda meydana gelen kuruma büzülmesi çatlama ve dayanım kayıplarına yol açması açısından önemlidir. Laboratuvar testleriyle kuruma büzülmesinin değerlendirilmesinde, yapılarda kullanılan büyük boyutlu beton elemanların, laboratuvarda kullanılan küçük boyutlu numunelerden çok daha az büzülme göstereceği unutulmamalıdır [2].

Taşıyıcı hafif betonların kuruma büzülmeleri, normal ağırlıklı betonlar ile karşılaştırıldıklarında, çimento dozajına ve agrega özelliklerine bağlı olarak düşük, yüksek veya benzer olabilmektedir. Genellikle düşük dayanımlı hafif betonların, normal ağırlık referans betonuna göre daha çok kuruma büzülmesi gösterdikleri gözlenmiştir. Ancak yüksek dayanım durumunda, bazı hafif beton karışımlarının normal ağırlıklı betondan daha düşük kuruma büzülmesi gösterdikleri tespit edilmiştir [2].

Dayanıklılık

Özellikle dış koşullara maruz beton uygulamalarında, donma-çözünme ve tuzların etkisi hafif betonların dayanıklılığı açısından önem taşımaktadır. Normal ağırlıklı betonlarda olduğu gibi, hava sürükleyici katkıları kullanarak betonun hava içeriğinin artırılmasının hafif betonların da donma-çözünme dayanıklılığını artırdığı gözlenmiştir [2].

Birçok hafif betonun normal ağırlıklı betona benzer veya daha iyi dayanıklılık performansı gösterdiği bilinmektedir. Beton karışımı sırasında, hafif agreganın önceden su emdirilerek kullanılması durumunda, betonun donma-çözünme dayanıklılığının azaldığı gözlenmiştir [2].

2.2. Literatür Taraması

2.2.1. Taşıyıcı Hafif Betonun Dayanımı ve Dayanıklılığı

Rossignolo ve diğerleri [5] genişletilmiş kilin hafif agrega olarak kullanıldığı, yüksek performanslı hafif beton karışımlarının mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Bu çalışmada 5 farklı beton karışımında normal ağırlıklı kum ve hafif kaba agrega kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan beton karışım oranları ve beton özellikleri sırasıyla Tablo 2 ve Tablo 3'de verilmiştir. Tablolardan görüldüğü gibi ortalama olarak yaklaşık 500 kg/m³ çimento ve çimentonun %10'u kadar silis dumanı kullanılarak elde edilen birim ağırlığı yaklaşık 1600

kg/m³ olan taşıyıcı hafif beton karışımı sonucunda, 28 günlük basınç dayanımı yaklaşık 40-45 MPa olan taşıyıcı hafif beton elde edilmiştir. Elde edilen hafif betonların elastik modül değerinin ise ortalama 12-13 GPa civarında olduğu görülmektedir. Benzer basınç dayanımındaki normal ağırlıklı betonun elastiklik modülünün yaklaşık 30-35 GPa olduğu düşünüldüğünde, elde edilen hafif betonların elastiklik modüllerinin normal ağırlıklı betonun elastiklik modülünün yaklaşık %40'ı kadar olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 2. Beton Karşım Oranları, Birim Ağırlık ve Hava İçeriği [5]

Karşım No	Çimento kg/m ³	Silis Durumu kg/m ³	Subaglayıcı	N.A.K	K.H.A	Birim Ağırlık kg/m ³	Hava İçeriği %
1	710	71	0.37	192	447	1709	2.3
2	613	61	0.41	214	494	1658	3.2
3	544	54	0.45	228	533	1628	2.5
4	484	48	0.49	242	559	1594	3.3
5	440	44	0.54	251	585	1581	2.5

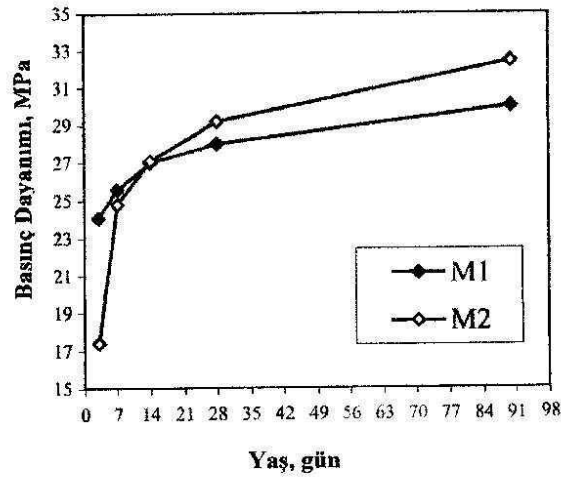
Tablo 3. Beton Karşımının Mekanik Özellikleri [5]

Karşım No	Basınç Dayanımı, MPa		7-Günlük Yarımada-Çekme Dayanımı, MPa	Elastiklik Modülü GPa
	7- Günlük	28- Günlük		
1	51.9	53.6	4.0	15.2
2	48.8	50.0	3.7	13.5
3	45.2	45.9	3.3	12.9
4	42.7	43.0	3.0	12.3
5	39.7	39.5	2.7	12.0

Yaşar ve diğerleri [6] bazaltik püms agregası kullanarak hazırladıkları mineral katkı malzemesi olarak uçucu külden oluşan taşıyıcı hafif beton karışımlarının özellikleri konusunda çalışmışlardır. Bu çalışmada uçucu küllü ve külsüz olarak hazırlanan iki farklı beton karışımına ait karışım oranları Tablo 4'de, karışımların basınç dayanımları ise Şekil 1'de verilmiştir. Şekil 1'de görüldüğü gibi 500 kg/m³ çimento dozajıyla hazırlanan ve taze durumdaki birim ağırlığı 2025 kg/m³ olan taşıyıcı hafif beton, 28. günde yaklaşık 28 MPa basınç dayanımı göstermiştir

Tablo 4. Beton Karışım Oranları [6]

	Karışım 1	Karışım 2
Çimento	500	400
Uçucu kül	0	100
Su	275	275
Agrega (8-16 mm)	300	300
Agrega (4-8 mm)	250	250
Agrega (2-4 mm)	175	175
Agrega (1-2 mm)	125	125
Agrega (0.5-1 mm)	150	150
Agrega (0.25-0.5 mm)	150	150
Agrega (0-0.25 mm)	100	100



Şekil 1. Karışımların Basınç Dayanımları [6]

Yaşar ve diğerleri [7] bazaltik pumis agregası ile yaptıkları taşıyıcı hafif beton çalışmalarına, uçucu kül ve silis dumanının birlikte ve ayrı kullanıldığı yüksek dayanımlı hafif beton karışımlarının basınç dayanımlarını tespit ederek devam etmişlerdir. 450 kg/m^3 çimento 50 kg/m^3 silis dumanı içeren, taze durumdaki birim ağırlığı 1944 kg/m^3 olan hafif beton karışımı, 28. günde yaklaşık 38 MPa basınç dayanımı göstermiştir. Bunun yanı sıra silis dumanı içermeyen, 500 kg/m^3 çimento dozajı ile hazırlanan ve taze durumdaki birim ağırlığı 1955 kg/m^3 olan karışımın ise 28. günde yaklaşık 27 MPa basınç dayanımına sahip olduğu tespit edilmiştir.

3.DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 MALZEMELER

3.1.1 Çimento

Yapılan çalışmalarda PÇ 42.5 tipi çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 5 ve Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 5. Fiziksel Özellikler

Tipi	Yoğunluk (g/cm ³)	Blaine İnceliği (cm ² /g)	Priz Süresi (s:dk)	
			İlk	Son
P.Ç 42.5	3.11	3412	2:30	3:30

Tablo 6. Kimyasal Kompozisyon

Oksit Kompozisyonu	(%)
SiO ₂	20.16
Al ₂ O ₃	5.08
Fe ₂ O ₃	3.80
MgO	2.45
CaO	63.32
SO ₃	3.02
Kızdırma Kaybı	1.34

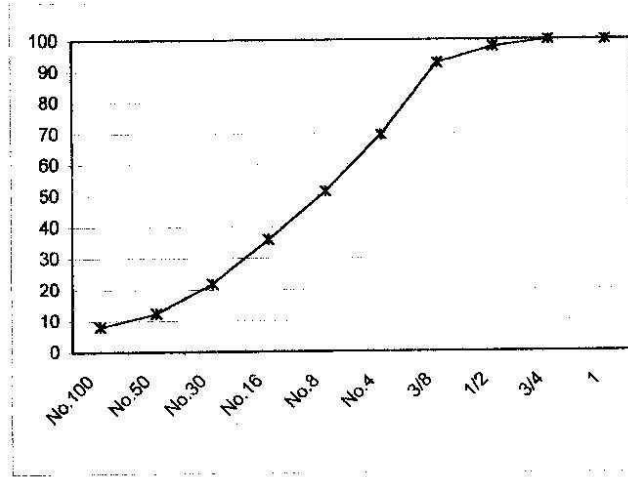
3.1.2 Agregası

Taşıyıcı hafif beton üretiminde ER-PER Maden İşletmeciliği tarafından Erzincan'dan getirilen en büyük tane boyutu yaklaşık 15 mm olan, ince-kaba karışık durumdaki ham perlit agregası kullanılmıştır.

Perlit, %2-%6 oranında su içeren camsı bir volkanik malzemedir. Kullanılan perlit agregasının fiziksel özellikleri Tablo 7'de, gradasyonu ise Şekil 2'de verilmiştir.

Tablo 7. Perlit Agregasının Fiziksel Özellikleri

Bulk Yoğunluğu (g/cm ³)		24s Su Emme (% ağırlık)	Los Angeles Aşınması (%)
SSD	DRY		
2.16	2.03	5.9	67



Şekil 2. Perlit Agregasının Gradasyonu

3.1.2.1. Erzincan Mollaköy Ham Perlit Agregasının Petrografik Analizi

Analiz Kodu: 05-03-09-558
Prof.Dr. Cemal Göncüoğlu

Örneğin Adı: Perlitik dokulu riyolitik cam

Petrografik tayin:

İncelenen örnek makroskopik olarak gri renkli, ince-orta taneli kristalli, camsı parlaklık sunan hamurlu, akma yapılı, köşeli kırılmalı volkanik camdır.

Mikroskop altında örnek belirgin akma yapılı ve perlitik dokuludur. Örnekte feno ve mikrofenokristaller tüm örneğin %18'ine ulaşırlar. İnce kesitte fenokristal fazını çokluk sırasına göre; orta taneli, polisentetik ikizlenmeli, seyrek olarak magmatik korozyon gösteren plajiyoklas; yarı-özşekilli sanidin; yarı özşekilli ve korozyonlu kuvars ile koyu kahve renkli, ince, çubuksu ve kısmen opaklaşmış biyotit oluşturur. Kayanın hamuru küresel kırılmalı (perlit dokusu), devitrifikasyon göstermeyen, kahverenkli ve yeşil biyotit ve plajiyoklas mikrolitleri içeren volkanik camdır. Örnekte holokristalen dokulu, kuvars, plajiyoklas, biyotit ve opak mineralli granitik kaya anklavları gözlenmektedir.

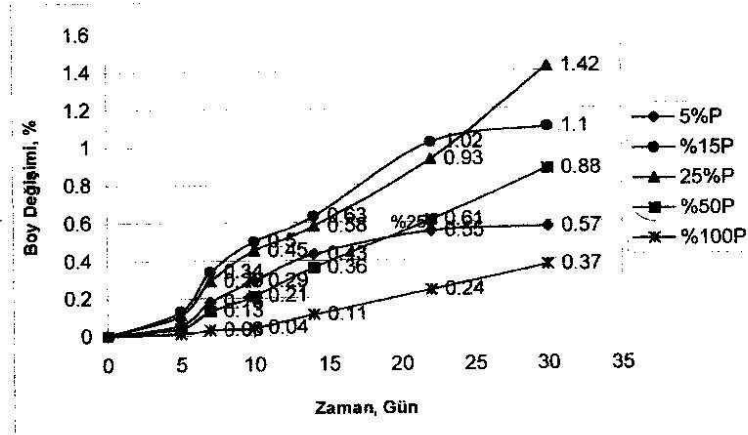
İnce kesitte açık çatlak veya boşluk yer almamaktadır.

3.1.2.2. Perlit Agregasının Alkali-Silika Reaktivitesi

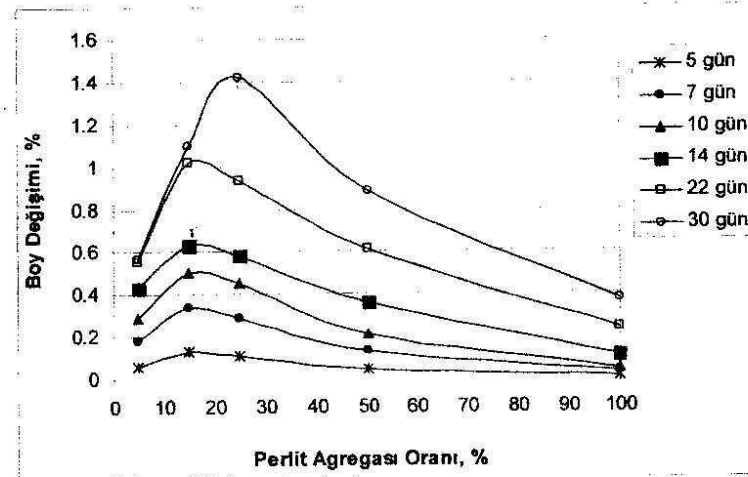
Çimento sistemlerinde, çimento içerisindeki veya dış kaynaklardan gelen alkaliler (Na_2O , K_2O) ile agrega içerisinde bulunabilecek reaktif silisin reaksiyonu sonucunda genişleyen ürünlerin oluşması ve bunun sertleşmiş harç veya betonda çatlaklara sebep olması olarak açıklanan alkali-silika reaksiyonu, agrega özellikleri açısından gözardı edilmemesi gereken bir özelliktir.

Bu çalışmada alkali-silika reaktivitesinin ölçülmesi amacıyla, hızlandırılmış metot olarak bilinen ASTM C 1260 metodu kullanılmıştır. Metot alkali-silika reaktivitesi açısından şüphelenilen agrega ile hazırlanan harç çubuklarının, 80°C 'deki NaOH çözeltisi içerisinde belli süre kür edilmesi sonucunda harç çubuklarının boylarında meydana gelen uzamanın ölçülmesi esasına dayanmaktadır. ASTM C 1260'da 14 günlük genişleme limiti %0.1 olarak belirtilmiştir.

Erzincan Mollaköy ham perlit agregasının alkali-silika reaktivitesi, farklı oranlarda perlit agregası ve reaktif olmayan kireç taşı agregasını içeren harmanlar için, ve ayrıca sadece perlit agregası içeren agrega için tespit edilmiştir. Burada amaç; perlit agregasının reaktif olmayan agregalar ile birlikte kullanıldığında alkali-silika genişlemelerinin ne ölçüde gerçekleştiğini tespit etmektir. Bunun için %5, %15, %25, %50 oranlarında perlit agregası içeren geri kalanı kireç taşından oluşan agrega karışımları ve tamamı perlit agregasından oluşan agrega, ASTM C 1260 metoduna göre test edilmiştir. Ölçülen genişleme değerleri zamanın bir fonksiyonu olarak Şekil 3'de verilmiştir. Ayrıca genişleme değerleri, agrega harmanının perlit oranının bir fonksiyonu olarak Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Kür zamana bağlı olarak alkali-silika reaksiyonu genişleme değerleri



Şekil 4. Agregat harmanının perlit içeriğine bağlı olarak genişleme değerleri

Şekil 3'den görüldüğü gibi sadece perlit agregası içeren harç çubuğu (%100P) 14 günden %0.11 genişleme değeri göstererek, ASTM C 1260'da belirtilen limiti çok az miktarda geçmiştir. Öte yandan, agregat harmanındaki perlit agregası miktarı azaldıkça genişlemelerin önemli miktarlarda arttığı açıkça gözlenmiştir. %25 perlit agregası içeren agregat harmanı 14 günde %0.63 boy değişimi göstererek, limit değer olan %0.1'i 6 kat aştığı görülmektedir. Bu durum çok fazla alkali-silika reaktivitesi gösteren agregalarda görülen ve literatürde çeşitli teoriler ile açıklanan bir durumdur [8]. En çok üzerinde durulan teori ise , tamamı çok fazla

reaktiviteye sahip agregadan oluşan karışımda, alkali-silika reaksiyonu sonucunda hızla ve çok miktarda oluşan jellerin, harcın gözenekli yapısını tıkaması ve alkali çözeltinin harc içerisine girişini engellemesidir. Agregada harmanındaki reaktif agrega miktarı azaldıkça tıkanma oluşmamakta ve genişleme hızla devam etmektedir. Sonuç olarak en yüksek genişleme, belirli bir reaktif agrega oranında gerçekleşmektedir. Erzincan Mollaköy perlit agregası için Şekil 4'den bu oranın %15 olduğu görülmektedir.

Erzincan Mollaköy perlit agregasının yüksek alkali-silika reaktivitesinden dolayı, bu agreganın mineral katkıları ile birlikte kullanılmasının, muhtemel bir alkali-silika reaksiyonunun engellenmesi açısından önemlidir [9]. Bu durum alkali-silika reaktivitesi testinin ham perlit tozu içeren karışımlar için de yapılarak, genişlemelerin limitler dahilinde kalıp kalmadığı kontrol edilecektir [10, 11].

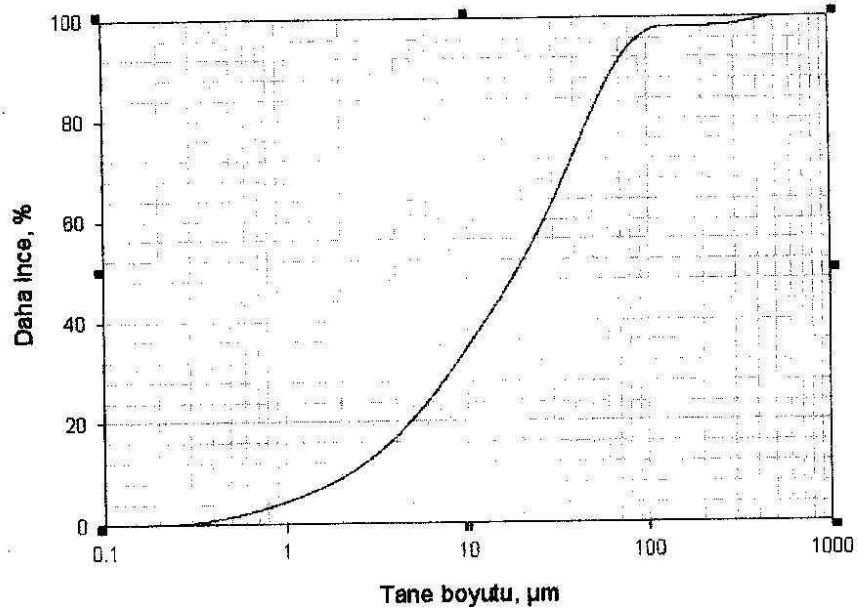
3.1.3 Doğal Puzolan

Doğal perlit agregasının %80'i 45 mikrondan geçecek şekilde öğütülmesi sonucu elde edilen perlit tozu doğal puzolan olarak kullanılmıştır. Ham perlitin laboratuarda öğütülmesi sonucunda elde edilen perlit tozunun kimyasal kompozisyonu ve fiziksel özellikleri Tablo 8'de, lazer tane boyut analiz cihazı ile tespit edilen tane boyut dağılımı ise Şekil 5'de verilmiştir.

Tablo 8. Perlit Tozunun Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

PERLİT TOZU	
Kimyasal Kompozisyonu	(%)
SiO ₂	70.96
Al ₂ O ₃	13.40
Fe ₂ O ₃	1.16
MgO	0.28
CaO	1.72
Na ₂ O	3.20
K ₂ O	4.65
Kızdırma Kaybı	3.27
Fiziksel Özellikleri	
Öz Ağırlık	2.38
İncelik	
45-µm geçen (%)	80
Blaine İnceliği (m ² /kg)	413
Ortalama Parçacık Boyutu (µm)	19.1
Puzolanik Aktivite İndeksi * (%)	
7-gün	78
28-gün	80

* Puzolanik Aktivite İndeksi ASTM C 311'e göre yapılmıştır.



Şekil 5. Perlit tozunun tane boyut dağılımı

3.1.4 Süper Akışkanlaştırıcı

Hafif agrega kullanımı ve puzolan ilavesi aynı kıvam için taze betonun su ihtiyacını arttırmaktadır. Bu nedenle su ihtiyacını düşürmek için naftalin katkı süper akışkanlaştırıcı (Reheobuild 1000) kullanılmıştır. Kullanılan akışkanlaştırıcının özellikleri Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9. Süper Akışkanlaştırıcının Özellikleri

Yoğunluk (g/cm ³), 20°C	1.2 – 1.22
% Klor (EN 480-10)	< 0.1
Renk	Kahve
Homojenlik	Homojen
Kimyasal Kompozisyon	Naftalin tabanlı sülfat

3.2 BETON KARIŞIMLARI VE NUMUNE HAZIRLAMA

Erzincan Mollaköy ham perlit agregası kullanılarak 8 farklı beton karışımı tasarlanmıştır. Tasarlanan karışımları bağlayıcı madde miktarlarına göre ikiye ayırmak mümkündür. İlk grup beton karışımın bağlayıcı miktarı 300 kg/m^3 ve su/bağlayıcı madde oranı 0.49, ikinci grubun bağlayıcı madde miktarı ise 500 kg/m^3 ve su/bağlayıcı madde oranı 0.35'dir. İlk grup normal hafif beton, ikinci grup ise yüksek performanslı hafif beton elde etmek için tasarlanmıştır. Here bir bağlayıcı dozajı için, sadece Portland çimentosu içeren karışımlara ek olarak, ağırlıkça %20, %35, %50 oranlarında portland çimentosunun perlit tozu ile yer değiştirildiği karışımlar hazırlanmıştır. Sonuç olarak her bir dozaj için toplam 4 farklı karışım test edilmiştir. Karışımlar seçilen su/çimento oranlarında yaklaşık 5-10 cm çökme (slump) değerine sahip olacak şekilde akışkanlaştırıcı kimyasal katkı maddesi kullanılarak hazırlanmıştır. Beton karışımları toplam bağlayıcı dozajı ve % olarak içerdiği perlit tozu miktarına göre isimlendirilmiştir. Örneğin 300 kg/m^3 toplam bağlayıcı ve %20 perlit tozu içeren karışım "K300/20" olarak isimlendirilmiştir. Beton karışım oranları agreganın suya-doğun yüzey-kuru (SDYK) durumu ve Kuru durumu için Tablo 6-Tablo 13'de verilmiştir.

Tablo 6. K300/0 karışımı için karışım oranları

	SDYK agrega için	Kuru agrega için
Çimento, kg/m^3	300	300
Perlit tozu, kg/m^3	0	0
Su, kg/m^3	147	231
Karışık agregası, kg/m^3	1505	1421
Kimyasal katkı, kg/m^3	4.5	4.5

Tablo 7. K300/20 karışımı için karışım oranları

	SDYK agrega için	Kuru agrega için
Çimento, kg/m^3	240	300
Perlit tozu, kg/m^3	60	0
Su, kg/m^3	147	231
Karışık agregası, kg/m^3	1505	1421
Kimyasal katkı, kg/m^3	4.8	4.8

Tablo 8. K300/35 karışımı için karışım oranları

	SDYK agrega için	Kuru agrega için
Çimento, kg/m ³	195	300
Perlit tozu, kg/m ³	105	0
Su, kg/m ³	147	231
Karışık agrega, kg/m ³	1505	1421
Kimyasal katkı, kg/m ³	5.4	5.4

Tablo 9. K300/50 karışımı için karışım oranları

	SDYK agrega için	Kuru agrega için
Çimento, kg/m ³	150	300
Perlit tozu, kg/m ³	150	0
Su, kg/m ³	147	231
Karışık agrega, kg/m ³	1505	1421
Kimyasal katkı, kg/m ³	5.7	5.7

Tablo 10. K500/0 karışımı için karışım oranları

	SDYK agrega için	Kuru agrega için
Çimento, kg/m ³	500	500
Perlit tozu, kg/m ³	0	0
Su, kg/m ³	175	250
Karışık agrega, kg/m ³	1348	1273
Kimyasal katkı, kg/m ³	2.5	2.5

Tablo 11. K500/20 karışımı için karışım oranları

	SDYK agrega için	Kuru agrega için
Çimento, kg/m ³	400	400
Perlit tozu, kg/m ³	100	100
Su, kg/m ³	175	250
Karışık agrega, kg/m ³	1348	1273
Kimyasal katkı, kg/m ³	3.0	3.0

Tablo 12. K500/35 karışımı için karışım oranları

	SDYK agrega için	Kuru agrega için
Çimento, kg/m ³	325	325
Perlit tozu, kg/m ³	175	175
Su, kg/m ³	175	250
Karışık agrega, kg/m ³	1348	1273
Kimyasal katkı, kg/m ³	3.3	3.3

Tablo 13. K500/50 karışımı için karışım oranları

	SDYK agrega için	Kuru agrega için
Çimento, kg/m ³	250	250
Perlit tozu, kg/m ³	250	250
Su, kg/m ³	175	250
Karışık agrega, kg/m ³	1348	1273
Kimyasal katkı, kg/m ³	3.4	3.4

Belirtilen karışım oranları ile hazırlanan karışımlar 10 cm çapında 20 cm yüksekliğinde silindirik numune kalıplarına vibrasyon uygulanarak yerleştirilmiştir. Ayrıca büzülme deneyi için 15x15x30 cm boyutlarında dikdörtgen prizma kalıplar aynı şekilde vibrasyonla doldurulmuştur. Kalıplar 24 saat sonunda açılmış ve 6 gün süresince 23±2 °C ve %65 bağıl nemli ortamda saklanmıştır. Daha sonra numuneler normal oda koşullarında test gününe kadar bekletilmiştir.

3.3 METOTLAR

Hazırlanan taze beton karışımların çökme (slump) değeri, birim ağırlığı, hava miktarı ve prizma süresi ilgili ASTM standartlarına göre tespit edilmiştir. Sertleşmiş betonda ise; basınç dayanımı, çekme dayanımı, elastik modülü, büzülmesi ve klor-iyonu geçirgenliği yine ilgili ASTM standartlarına göre belirlenmiştir. Deney ve ilgili ASTM standardı Tablo 14'de verilmiştir.

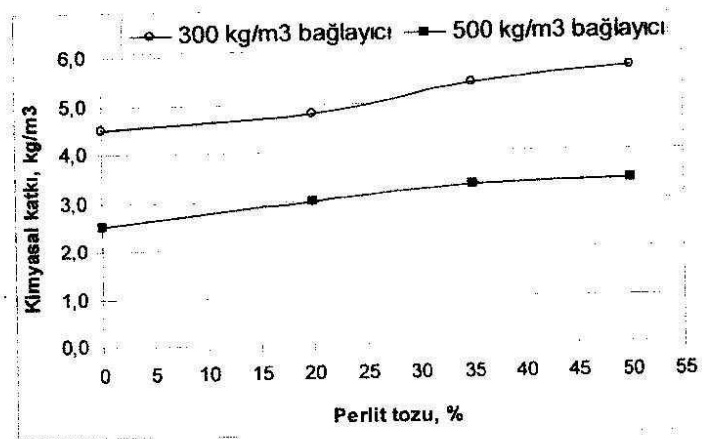
Tablo 14. Deneyler ve ASTM Standartları

Çökme (slump)	ASTM C 143
Birim Ağırlık	ASTM C 138
Hava Miktarı	ASTM C 231
Priz Süresi	ASTM C 403
Basınç Dayanımı	ASTM C 39
Çekme Dayanımı	ASTM C 496
Elastik Modülü	ASTM C 469
Büzülme	ASTM C 157
Klor-iyon Geçirgenliği	ASTM C 1202

4.DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMALAR

4.1 TAZE BETON ÖZELLİKLERİ

Karışımların istenilen çökme (slump) değerine sahip olmaları için gerekli su azaltıcı kimyasal katkı maddesi miktarları, 300 kg/m³ ve 500 kg/m³'lük bağlayıcı dozajları için, karışımdaki perlit tozu miktarına bağlı olarak Şekil 6'da gösterilmiştir. Daha fazla bağlayıcı malzeme dozajında, karışımları istenilen kıvama getirmek için gerekli su azaltıcı kimyasal katkı maddesi ihtiyacı daha azdır. Karışımdaki perlit tozu miktarı arttıkça, kimyasal katkı ihtiyacında küçük artışlar meydana gelmiştir.



Şekil 6. Karışımların kimyasal katkı ihtiyaçları

Tasarlanan taşıyıcı hafif beton karışımlarına ait taze beton özellikleri Tablo 15'de verilmiştir.

Tablo 15. Taze Beton Özellikleri

Karışım	Toplam Bağlayıcı, kg/m^3	Perlit Tozu, %	Çökme (mm)	Hava Miktarı (%)	Birim Ağırlık (kg/m^3)	İlk priz (saat:dakika)	
						Son priz	
K300/0	300	0	50	6	1853	6:15	9:50
K300/20		20	80	5	1840	7:05	11:05
K300/35		35	100	4	1845	7:45	11:30
K300/50		50	100	5	1872	8:30	12:30
K500/0	500	0	60	4.2	1963	3:45	6:00
K500/20		20	100	5	1920	3:45	6:00
K500/35		35	100	4.2	1925	3:45	6:10
K500/50		50	100	3.8	1894	4:30	7:30

Tablo 15'den görüldüğü gibi, taze beton karışımlarının hava içerikleri 300 kg/m^3 bağlayıcı miktarı için ortalama %5, 500 kg/m^3 bağlayıcı dozajı için ortalama %4 olarak gerçekleşmiştir. Karışımlarda hava sürükleyici katkı maddesi kullanılmamasına rağmen, kullanılan akışkanlaştırıcı katkı maddesinin aynı zamanda hava sürüklediği anlaşılmaktadır. Çünkü hava sürükleyici kullanılmayan karışımlarda, kendilinden beton içerisine hapsolan hava miktarı yaklaşık %1.8-%2 olmaktadır. Dolayısıyla tasarlana karışımlardaki yaklaşık %4-%6 arasındaki hava miktarı betonun donma-çözünme etkilerinde karşı dayanıklılığını artıracak olumlu bir özelliktir. Bağlayıcı miktarının artışıyla, karışım içerisine sürüklenen hava miktarında meydana gelen azalma, ince malzeme artışının hava sürüklenmesini zorlaştırıcı etkisinden kaynaklanmaktadır. Karışımlarda hava sürükleyici katkı maddesi kullanılmamasına rağmen, kullanılan akışkanlaştırıcı katkı maddesi bir miktar hava sürüklemiştir.

Priz sürelerine baktığımızda 300 kg/m^3 bağlayıcı dozajlı karışımlar için ilk priz süresi 6-7 saat ve son priz süresi 10-11 saat arasındadır. 500 kg/m^3 bağlayıcı dozajlı karışımlarda ise ilk priz süresi 4 saat ve son priz süresi 6 saat civarındadır. Bu durumun artan Portland çimentosu miktarında kaynaklandığı açıktır. Bütün karışımlarda perlit tozunun puzolan olarak kullanılması, beklenildiği gibi priz sürelerini, perlit tozu kullanılmayan karışımlara göre uzatmıştır.

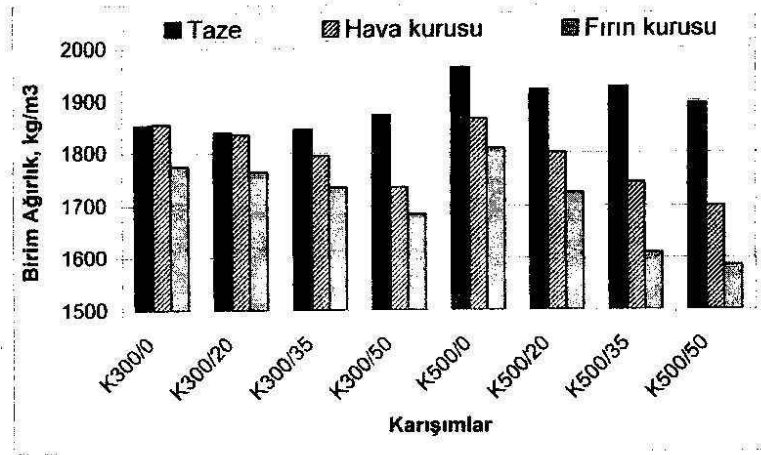
Hazırlanan taşıyıcı hafif beton karışımlarının birim ortalama birim ağırlıklarının 300 kg/m^3 ve 500 kg/m^3 bağlayıcı dozajları için sırasıyla 1850 kg/m^3 ve 1950 kg/m^3 olduğu gözlenmiştir. Normal ağırlıklı betonun birim ağırlığının yaklaşık olarak 2400 kg/m^3 olduğunu düşünürsek, hafif beton karışımlarının Tablo 15’de verilen birim ağırlık değerlerinin, normal ağırlıklı betona göre yaklaşık %20 daha düşük olduğu anlaşılmaktadır. Bu da yapıların deprem güvenliği ve toplam maliyeti açısından büyük önem taşımaktadır.

4.2 SERTLEŞMİŞ BETON ÖZELLİKLERİ

Hazırlanan taşıyıcı hafif beton karışımlarının sertleşmiş durumdaki özellikleri Tablo 16’da toplu olarak verilmiştir.

Birim Ağırlık

Tablo 16’da verilen, sertleşmiş betonların hava kuru ve fırın kuru durumdaki birim ağırlıkları, taze karışımların birim ağırlıklarıyla karşılaştırılmalı olarak Şekil 7’de sunulmuştur. Görüldüğü gibi setleşmiş betonların oda koşullarında kurumlarından sonra, betonların kurumalarına bağlı olarak birim ağırlıklarında bir miktar azalma gerçekleşmiştir. 500 kg/m^3 bağlayıcı dozajlı karışımlarda, taze durum ile hava kuru durum arasındaki birim ağırlık farkları daha fazladır. Yapısal uygulamalarda, kendi halinde hava kuru hale gelecek sertleşmiş betonların birim ağırlıklarının özellikle yüksek bağlayıcı dozajlı karışımlarda, taze betonun birim ağırlığından daha düşük olacağından, bu durum toplam yapı ağırlığı için avantaj sağlayacaktır.



Şekil 7. Taze ve sertleşmiş beton karışımlarının birim ağırlıkları

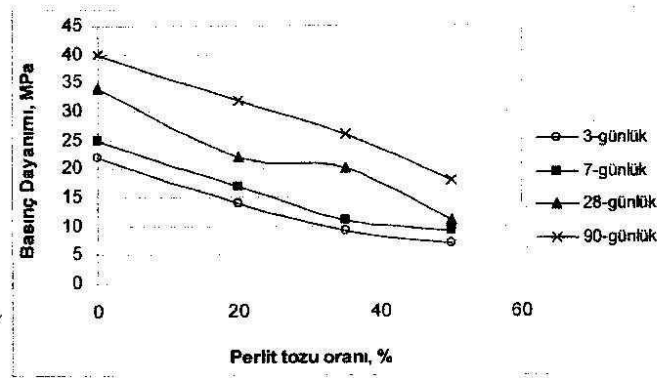
Tablo 16. Sertleşmiş Beton Özellikleri

Bağlayıcı	Perlit Tozu, %	Birim Ağırlık (kg/m ³)		Basınç Dayanımı (MPa)			Çekme Dayanımı (MPa)		Elastik Modül (GPa)		Klor Geçirgenliği (Kolomb)		
		Hava Kuruğu	Fırın Kuruğu	3 Günlük	7 Günlük	28 Günlük	90 Günlük	28 Günlük	90 Günlük	28 Günlük	90 Günlük	28 Günlük	90 Günlük
300 kg/m ³	0	1855	1775	22	25	34	40	2.3	2.9	17.2	19.5	2056 (orta)	246 (çok düşük)
	20	1835	1765	14	17	22	32	2.3	2.9	14.5	15.4	2435 (orta)	1638 (düşük)
	35	1795	1735	9	11	20	26	1.6	2.20	13.4	14	3127 (orta)	3045 (orta)
	50	1735	1685	7	9	11	18	1.3	1.90	12.8	13	4979 (yüksek)	4075 (yüksek)
500 kg/m ³	0	1865	1810	26	28	42	52	2.5	3.8	21.3	22	3049 (orta)	916 (çok düşük)
	20	1800	1725	23	25	41	51	2.5	3.7	20.5	19.5	2480 (orta)	700 (çok düşük)
	35	1745	1610	25	28	39	51	2.6	3.7	19.8	18.8	1883 (düşük)	415 (çok düşük)
	50	1700	1585	20	22	28	44	2.4	3.4	15.4	15	1695 (düşük)	390 (çok düşük)

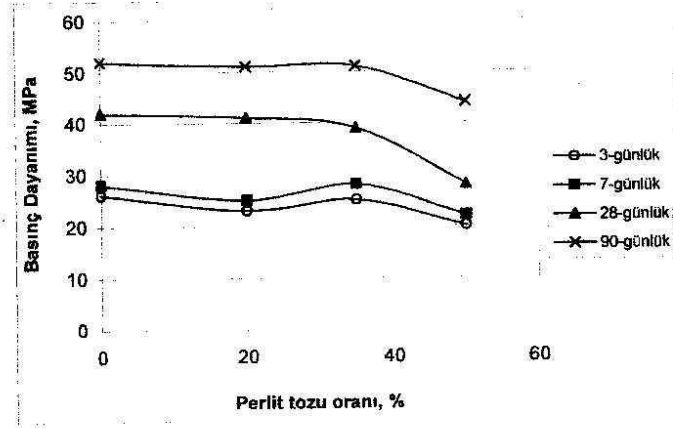
Basınç Dayanımı ve Yarmada-Çekme Dayanımı

Tablo 16'da verilen, karışımlara ait basınç dayanımı değerleri incelendiğinde, perlit tozu içermeyen karışımların 300 kg/m^3 ve 500 kg/m^3 çimento dozajları için sırasıyla 34 MPa ve 42 MPa 28-günlük basınç dayanımı gösterdikleri, bu değerlerin 90. günde 40 MPa ve 52 MPa'a yükseldiği görülmektedir. Dolayısıyla Erzincan Mollaköy ham perlit agregası kullanılarak hazırlanan taşıyıcı hafif beton karışımlarıyla, 300 kg/m^3 çimento dozajı ile C30, 500 kg/m^3 çimento dozajı kullanılarak C40 dayanım sınıflarında betonlar elde edilebileceği anlaşılmaktadır.

Toplam bağlayıcı miktarı (çimento+perlit tozu) sabit tutularak, çimentonun bir kısmının perlit tozu ile yer değiştirilmesi durumunda, 300 kg/m^3 bağlayıcı dozajı için, perlit tozu miktarındaki artışın basınç dayanımlarını yaklaşık lineer olarak düşürdüğü gözlenmiştir (Şekil 8). Ancak 500 kg/m^3 bağlayıcı dozajı için durumun farklı olduğu, %35 perlit tozu miktarına kadar erken ve geç yaşlardaki basınç dayanımlarının çok az miktarda azaldığı görülmektedir (Şekil 9). 500 kg/m^3 toplam bağlayıcı miktarıyla ve %50 perlit tozu oranıyla (250 kg çimento + 250 kg perlit tozu) 28 günlük basınç dayanımı 28 MPa ve 90 günlük basınç dayanımı 44 MPa olan bir beton karışı^m elde edilmiştir. Sadece 250 kg Portland çimentosu kullanılarak hem ekonomik hem de C25 dayanım sınıfında taşıyıcı hafif beton elde edilebilmiş olmaktadır. Ayrıca %35 perlit tozunun kullanıldığı, yani 325 kg/m^3 çimento ve 175 kg/m^3 perlit tozu içeren karışımın, 500 kg/m^3 çimento içeren karışımla benzer basınç dayanımı göstermiştir. Bu durumda çimentodan çok daha ucuz maliyetli olan perlit tozu kullanılarak, 1 m^3 betonda 175 kg çimento tasarrufu sağlanmış olmaktadır.



Şekil 8. 300 kg/m^3 bağlayıcı dozajı için perlit tozu miktarının basınç dayanımlarına etkisi



Şekil 9. 500 kg/m³ bağlayıcı dozajı içi perlit tozu miktarının basınç dayanımlarına etkisi

Basınç dayanımı değerlerine paralel olarak, yarmada-çekme dayanımı değerlerinin de, 300 kg/m³ bağlayıcı dozajlı karışımlarda, perlit tozu miktarındaki artışla belirgin düzeyde azaldığı, ancak 500 kg/m³ bağlayıcı dozajlı karışımlarda ise perlit tozu miktarının çekme dayanımlarını fazla etkilemediği gözlenmiştir.

Elastiklik Modülü

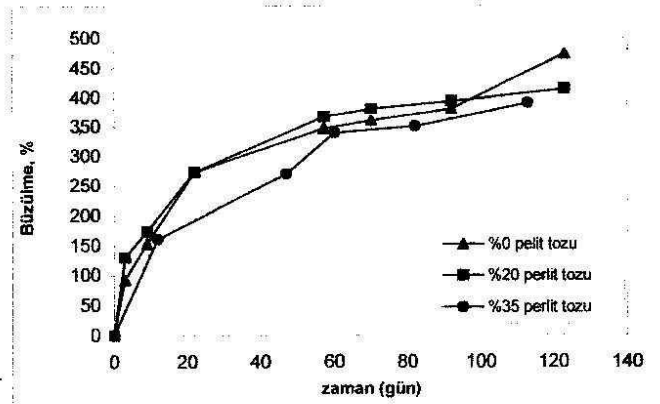
Tasarlanan beton karışımlarının elastiklik modüllerinin beklendiği gibi, basınç dayanımı ile doğru orantılı olarak değiştiği görülmektedir. Fakat elde edilen elastik modül değerleri benzer basınç dayanımına sahip normal ağırlıklı betonların elastik modül değerlerinin yaklaşık %50'si kadardır. Bu durum, bu tip taşıyıcı hafif beton karışımlarının kullandığı yapısal uygulamaların, betonarme tasarım projelerinde dikkate alınması gereken önemli bir husustur.

Klor-İyon Geçirgenliği

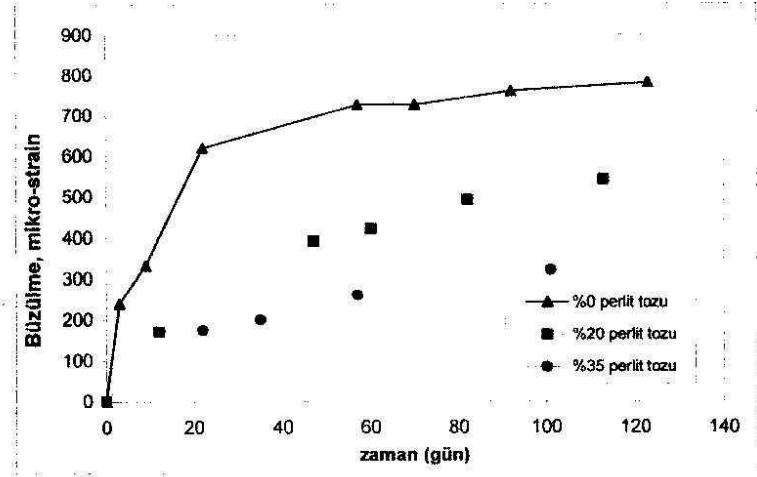
Betonun genel geçirimsizliği hakkında fikir veren ve standart bir metot olan, betonun klor-iyon geçirgenliğinin elektriksel yöntemle bulunması metoduna (ASTM C 1202) göre tespit edilen sınıflandırmaya göre, hazırlanan hafif beton karışımlarının klor-iyon geçirgenliklerinin genellikle "orta" veya "düşük" düzeyde olduğu gözlenmiştir. 500 kg/m³ bağlayıcı dozajlı karışımlarda, perlit tozu miktarındaki artışla klor-iyon geçirgenliği düşerken, 300 kg/m³ dozajlı karışımlarda bunun tam tersi olduğu gözlenmiştir. Bu durumun anlaşılabilmesi için, klor-iyon geçirgenliğine yönelik detaylı çalışmalar gerekmektedir.

Kuruma Büzülmesi

Hafif beton karışımlarının kuruma büzülmesi grafikleri 300 kg/m^3 ve 500 kg/m^3 bağlayıcı dozajları için sırasıyla Şekil 10 ve Şekil 11'de verilmiştir. 300 kg/m^3 dozaj için, perlit tozu oranının kuruma büzülmesi değerlerini çok fazla etkilemediği, ancak 500 kg/m^3 dozajlı karışımlarda perlit tozu oranı arttıkça kuruma büzülmelerinde hissedilir azalmalar meydana geldiği gözlenmiştir. Bu durum çimento miktarının fazla olduğu 500 kg/m^3 bağlayıcı dozajlı karışımlarda, çimento hamurunda meydana gelen büzülmenin daha belirgin olarak ortaya çıkması ve perlit tozu kullanılarak azalan çimento miktarıyla kuruma büzülmelerindeki düşüşün daha belirgin hale gelmesi ile açıklanabilir. Laboratuvar koşullarında küçük boyutlu numuneler kullanıldığından, yapısal uygulamalardaki büyük kesitli betonarme elemanlarda meydana gelecek büzülmenin, burada ölçülen değerlerden daha düşük olacağı unutulmamalıdır.



Şekil 10. Büzülme (300 kg/m^3 bağlayıcılı beton)



Şekil 11. Büzülme (500 kg/m³ bağlayıcı beton)

5. SONUÇLAR

Bu çalışma sonucunda, Erzincan Mollaköy ham perlit agregası ile hazırlanan taşıyıcı hafif beton karışımlar üzerinde elde edilen deneysel veriler ışığında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

1. Hazırlanan beton karışımları, çökme değerleri ve priz süreleri açısından yapısal kullanıma uygundur.
2. Hazırlanan karışımlar içerdikleri %4-6'lık hava miktarları ile donma-çözünme direnci için gerekli hava miktarına sahiptirler.
3. Hazırlanan beton karışımlarıyla C20, C30 ve C40 dayanım sınıfında taşıyıcı beton üretmek mümkündür. Erzincan Mollaköy ham perlit agregası ile elde edilen hafif beton karışımları, literatür taramasında verilen hafif beton karışımlarıyla karşılaştırıldığında benzer birim ağırlık değerleri için oldukça iyi basınç dayanımı performansı gösterdiği gözlenmiştir.
4. Hazırlanan beton karışımların elastik modüllerinin benzer dayanımdaki normal ağırlıklı betonlara göre az olması kullanılacağı yapıların betonarme tasarım hesaplarında göz önünde bulundurulmalıdır.
5. Betonun geçirimsizliğinin düşük seviyelerde olduğu klor-iyon geçirgenliği deneyiyle gösterilmiştir.

Doç. Dr. Lutfullah Turanlı
Yapı Malzemeleri Dalı
İnşaat Mühendisliği Bölümü
Orta Doğu Teknik Üniversitesi

KAYNAKLAR

1. TS 2511, Taşıyıcı Hafif Betonların Hesap Esasları, Türk Standartları Enstitüsü, 1977.
2. ACI 213R-87, Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete, American Concrete Institute, Committee 213, USA.
3. V. M. Malhotra, Proceedings of 2nd International Symposium on High Strength Concrete, W.T: Hester ed. , ACI SP-121, pp. 645-666, 1990.
4. P. K. Mehta, P.J.M. Monteiro, Concrete; Microstructure, Properties, and Materials, 3rd Edition, McGraw-Hill, New York, 2006.
5. J. A. Rossignola, M.V.C. Agnessi, J.A. Morais, Properties of High Performance LWAC for Precast Structures with Brazilian Lightweight Aggregate, Cement and Concrete Composites, Vol. 23, pp. 77-82, 2003.
6. E. Yasar, C. D. Atis, A. Kılıç, H. Gülsen, Strength Properties of Lightweight Concrete Made with Basaltic Pumice and Fly Ash, Materials Letters, Vol. 57, pp. 2267-2270, 2003.
7. A. Kılıç, C.D. Atis, E. Yasar, F. Özcan, High-strength Lightweight Concrete MAde with Scoria Aggregate Containing Mineral Admixtures, Cement and Concrete Reesearch, Vol. 33, pp. 1595-1599, 2003.
8. Bektas, F., Turanlı, L., Topal, T., Goncuoglu, M.C., "Alkali reactivity of mortars containing chert and incorporating moderate-calcium fly ash", Cem. Concr. Res. Vol.34, 34 2209-2214, (2004).
9. Bektas, F., Turanlı, L., Monteiro, P.J.M., "Use of perlit powder to suppress the alkali-silica reaction", Cem. Concr. Res. 35 2014-2017 (2005).
10. Turanlı, L., Uzal, B., Bektaş, F., Effects of material characteristics on properties of blended cements containing high volumes of natural pozzolans, Cem. Concr. Res. 34 2277-2282, (2004).
11. Turanlı, L., Uzal, B., Bektas, F., Effect of Large Amounts of Natural Pozzolan Addition on properties of blended cements, Cem. Concr. Res. 35 1106-1111, (2005)