

Kırmataş Agregalı Hafif Betonların Mühendislik Özelliklerinin İyileştirilmesi Üzerine Bir Analiz

An Analysis for Improving the Engineering Properties of the Lightweight Concretes With Crushed Aggregates

Ibrahim UĞUR

SDU, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 32260, İsparta
ugur@mmf.sdu.edu.tr

ÖZET: Günümüz teknolojisinde geleneksel olarak kullanılagelen ve halen yaygın bir kullanım alanı bulan kalker esaslı kırmataş agregalar, farklı beton türlerinin üretiminde ana hammaddelerden birisini oluşturmaktadır. Ancak, ısısal ve akustik konforun ön plana çıktığı günümüz inşaat uygulamalarında, bu geleneksel beton türlerinin, dayanım özelliği bakımından belirli şartları sağlamasına karşın, birim hacim ağırlık değerlerinin yüksek olması nedeniyle, yapıda yüksek bir duraylılığın sağlanması ve istenilen yalıtım özelliklerinin elde edilmesi belirli oranda güçleşebilmektedir. Bu nedenle yapı malzemelerinin birim hacim ağırlığının uygun yöntemler kullanılarak azaltılması gerekmektedir. Bu çalışmada, belirli bir gözeneklilik derecesine sahip özellikle volkanik cüruf ve perlitik pomza oluşumlarından elde edilen doğal hafif agrega türlerinin hafif beton karışımı içerisinde kırmataş agrega olarak kullanımında etken parametreler irdelenmiştir. Ayrıca endüstriyel olarak üretilen genleşmiş polistrenin farklı oranlardaki kullanımıyla birlikte elde edilen karışım ve kullanılan çimento miktarı arasındaki rasyonel ilişkiler araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Volkanik Cüruf, Genleşmiş Polistren, Perlitik Pomza, Hafif Beton, Gözeneklilik

ABSTRACT : In current technology, some traditional materials like as crushed limestone aggregates are widely used as a basic raw material in order to produce different kinds of concretes. Although these types of concretes obtain limit strength values, it will not be possible to achieve high durability and desired insulation characteristics because of the higher unit volume weights for some civil engineering applications in which the thermal and acoustic comfort parameters have primarily been considered. For this reason, the unit volume weights of the structural materials must be lowered by using the appropriate processes. In this research, the effective parameters have been examined for some natural lightweight aggregate types as a crushed stone in lightweight concrete, obtained especially from porous volcanic slugs and perlite-pumice formations. In addition, the specific rational relationships were investigated in detail between the different usage ratios of industrial expanded polystyrene and cement dosage used in the mixture.

Keywords : Volcanic Slug, Expanded Polystyrene, Perlite-Pumice, Lightweight Concrete, Porosity

1. GİRİŞ

inşaat sektöründe son yıllarda görülen büyük ivmelenme sektörde kullanılacak yapı malzemelerinin teknik yönden üstün parametre ve değerlere sahip olmalarının gerekliliği, birçok yeni yapı malzemelerinin kullanımına ve uygulanmasına zemin hazırlamaktadır. Sert kayaç kökenli geleneksel doğal agregaların özgül ağırlığının genellikle küçük bir değişim aralığına sahip olması nedeniyle, bu tür agregalardan elde edilmiş betonlar birim hacim ağırlık bakımından büyük bir değişiklik göstermemektedir. Karışım içerisinde kullanılan agregaların hacimsel içeriği, beton yoğunluğuna belirli oranda etki etmekle birlikte, temel neden olmamaktadır [1].

Bilindiği gibi inşaa edilen konutlarda kullanılan malzemenin hafifliği binanın ölü ağırlığının düşük bir değerde olmasına direkt bir etkidir. Pratik uygulamalarda, normal betonun birim hacim ağırlığı 2200-2600 kg/m³ arasında değişmektedir. Bunun doğal bir sonucu olarak da, beton elemanlarının ölü ağırlık değerleri artarak, yapı üzerindeki yükün de belirli oranda artmasına neden olmaktadır. Bina statiği açısından bina ölü ağırlığının mühendislik parametrelerinde belirli sınır değerleri korumak koşulu ile düşürülmeye çalışılması binanın olası gelebilecek şok darbelere ve titreşimlere karşı daha duraylı olmasını sağlamaktadır. Bu nedenle düşük birim hacim ağırlık değerine sahip hafif betonlar, yük taşıyıcı ağır yapı elemanlarının kullanımının neden olduğu kesit daralmalarının önlenmesi ve temele iletilen yüklerin azalması göz önüne alındığında, yapı üzerinde önemli faydalar sağlamaktadır [2]. Bu bakımdan inşaat sektöründe kullanılan hafif agregaların önemi giderek artmaktadır.

Geleneksel beton uygulamalarındaki karışım parametrelerinin, doğada kolaylıkla bulunabilen daha hafif doğal malzemeler ile teknik özellikleri iyileştirilebilmektedir. Bu amaç doğrultusunda, yurdumuzda bol miktarda bulunan ve agregalar olarak üretimi yapılan volkanik cürufur, pomza, puzzolanlar, tüf, diyatomit, vermikülit, perlit gibi başlıca doğal agregalar türlerinin yanı sıra, endüstriyel olarak üretilen genleşmiş polistren gibi suni malzemelerin de beton karışımı içerisinde kullanılması sonucu elde edilen hafif yapı bloğu

özelliklerinin bilimsel yöntemlerle incelenerek değerlendirilmesi ve uygulama alanlarının genişletilmesi gerekmektedir [3].

Bu hususa bir ışık tutmak amacıyla, doğal gözenekli malzemelerin kırmataş agregalar olarak irdelenmesi için çeşitli karışımlar hazırlanmış ve gerekli analizleri yapılmıştır.

2. HAFİF AGREGALAR

Hafif agregaların en belirgin özelliği, düşük özgül ağırlığı ile ilişkili olarak yüksek oranda poroziteye sahip olmasıdır. Bazı hafif agregalar türleri doğal olarak oluşurken, bazıları ise doğal malzemelerden veya endüstriyel yan ürünlerden elde edilmektedir [4].

2.1. Doğal Agregalar

Bu sınıfta yer alanlar temel agregalar, diyatomit, pomza, bazaltik pomza, volkanik küller, tüfler ve volkanik cürufur olarak sayılabilmektedir. Bunlardan diyatomitin dışında yer alan diğer agregalar volkanik orijinlidir. Dünyanın sadece belirli bölgelerinde bulunan ve genellikle çok fazla tüketilmeyen volkanik kökenli bu agregalar türleri orta mukavemetli beton üretiminde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Pomza, açık renkli ve oluşum dinamiğine bağlı olarak yığın yoğunluğu 500-900 kg/m³ arasında değişen volkanik camsı bir kayadır. Pomzanın sahip olduğu bu değişken özellikler, çok düşük seviyeli olmayan yapısal amaçlı kullanımında 800-1800 kg/m³ birim hacim ağırlığında ve yüksek yalıtım özelliğine sahip olmakla birlikte, aynı zamanda yüksek absorpsiyon ve büzülme karakteristiği gösteren beton üretimini mümkün kılmaktadır [1].

2.2. Suni Olarak Üretilen Agregalar

Bu agregalar türleri geniş bir çeşitliliğe sahip ticari isimleri ile bilinmekle birlikte, temel sınıflandırma, üretim esnasında kullanılan hammadde ve belirli oranda genleşmeye neden olarak görünür özgül ağırlık değerinde azalma sağlayan üretim yöntemine göre yapılmaktadır.

Yapısal amaçlı olarak üretilen beton içerisinde kullanılan ve doğal malzemelerden elde edilen hafif agregalar türleri; genleşmiş kil, şeyi ve arduvaz olarak sayılabilmektedir. Bu agregalar, kullanılan hammaddelerin döner

fırınlarda içerisinde 1000-1200°C sıcaklıkta ergime başlangıcına kadar ısıtılması ile viskoz kütle içerisinde oluşan gazların bünyeyi terk etmesine bağlı olarak sağlanan genişleme nedeniyle suni olarak üretilmektedir. Daha sonra oluşan bu gözenekli yapı soğuduktan sonra görünür özgül ağırlık bakımından ısıtma işlemi öncesine nazaran daha düşük seviyelerde kalmaktadır. Bu işlemde genellikle hammadde, kalsinasyon öncesi istenilen boyuta indirgenmekte ve sağlanan genişleme sonrası elde edilen malzeme kırma işlemine tabi olmaktadır. Daha sonra, nemlendirme işlemine tabi tutulan ve belirli oranda yanıcı madde içeren malzeme, hareketli ızgaralar ile yakıcı sistemlerin altına taşınmakta ve gerçekleşen yanma malzeme yatağının derinliklerine kadar kademeli olarak nüfuz edebilmektedir.

Döner fırınlardan geçirildikten sonra soğutulan malzeme, kırma işlemine tabi tutularak belirli boyuta indirilmektedir. Başlangıçta alternatif olarak peletlenmiş kil veya pulverize edilmiş şeylin kullanılabilmesi de mümkündür [1].

3. HAFİF BETON NEDİR

Birim ağırlığı normal betonlardan belirli şekilde küçük olan betonlara hafif beton denilmektedir. Hafif betonların elde edilmesi için kullanılan malzeme ve yöntemle bağlı olarak, hafif beton yoğunluğu 300-1850 kg/m³ arasında değişmekte ve bu yoğunluk değerlerine karşılık gelen dayanım değerleri ise, genellikle 0,3-70 MPa ve bazen de 90 MPa değerlerine ulaşabilmektedir [5]. Beton bileşiminde meydana gelen büyük farklılık, hafif agregaya içeren betonların bazı özelliklerinde büyük ölçüde farklılık yaratmaktadır. Hafif betonların sahip oldukları üstünlüklerden dolayı bu malzemenin üretimi son senelerde çok artmış ve bu alanda önemli bir endüstri gelişmiştir. Hafif betonlar aşağıdaki metotları uygulayarak üretilmektedir.

- Hafif agregaya kullanarak beton üretmek
- Kum kullanmadan yalnız iri agregaya ile beton üretmek
- Köpüklü beton
- Gaz beton
- Muhtelif metotları aynı zamanda uygulayarak beton üretmek

Hafif betonlar çimento, birim ağırlığı düşük hafif agregaya ve normal agregadan meydana gelmektedir. Agregaya karışımında hafif agregaya miktarının arttırılmasıyla daha hafif veya birim ağırlığı daha düşük olan betonlar elde edilmektedir.

3.1. Hafif Betonların Sınıflandırılması

Normal betonun ağırlığı, karışım içerisinde kullanılan katı malzemenin bir kısmının hava ile yer değiştirmesi veya bir başka deyişle, beton içerisinde bir miktar hava boşluğu bırakmak suretiyle azaltılabilmektedir [5].

Havanın beton içerisinde bulunuşu 3 farklı şekilde olabilmektedir:

- 1) Hafif agregaya olarak bilinen agregaya türlerinin içerisinde
- 2) Hüresel beton içerisinde
- 3) İri agregalar arasında bulunan ince agregaların azaltılması ile elde edilen ince danesiz boşluklu beton eldesi ile

Hafif betonun birim hacim ağırlık değeri genellikle 300 kg/m³-1850 kg/m³ arasında bir değişim aralığına sahiptir. Birim hacim ağırlık esasına dayalı sınıflandırma, yoğunluk ile dayanımın büyük oranda ilişkili olması nedeniyle, ACI 213 R-87 elde edilen betonları uygulama alanlarına göre 3 kategoride sınıflandırmıştır.

3.1.1. Taşıyıcı Hafif Betonlar

28 günlük silindirik mukavemeti 170 kgf/cm² değerinden küçük olmayan ve birim ağırlığı 1350-1900 kg/m³ arasında değişen yapısal hafif beton betonlar ASTM (C330-77) standardına göre taşıyıcı beton olarak kabul edilmektedir. Bu tür betonların betonarme yapılarda kullanılması ile daimi yükün, %25 gibi belirgin bir ölçüde azalması sağlanmaktadır. Bundan dolayı betonarme yapı tekniğinde hafif taşıyıcı beton kullanılması eğilimi gittikçe artmaktadır. Önceden yalnız binaların yapımında kullanılan bu tür betonlarla günümüzde 140 m açıklığında betonarme köprülerin yapımına başlanmıştır. Bu tür malzemeye yönelmenin başlıca nedeni yapının tüm ağırlığının azaltılmasından yararlanılarak

taşıyıcı elemanların kesitlerini küçültmek ve böylelikle yapılacak işin maliyetini düşürmektir.

Hafif taşıyıcı betonların, yapının maliyeti üzerindeki önemli katkısının dışında, yapıların depreme dayanıklılığının artırılması bakımından çok yararlı bir işlevi de bulunmaktadır [6].

3.1.2. Yarı Taşıyıcı Hafif Betonlar

Bu beton türü, 7-17 MPa basınç dayanım değerine sahip orta mukavemetli beton sınıfında yer almakta ve ısı yalıtım karakteristiği açısından da ara bölgede bulunmaktadır.

3.1.3. Taşıyıcı Olmayan Hafif Betonlar

Bu beton türü, yapısal amaçlı olmayan, yoğunluğu 300-800 kg/m³ arasında değişen ve özellikle yüksek ısı yalıtımının sağlandığı hafif betondur. Bu tür betonlar, sektörde genellikle kuru karışım betonlar olarak da bilinmekte olup, taşıyıcı olmayan duvar dolgu elemanlarının üretilmesinde kullanılmaktadır. Bu amaçla yapılan beton karışımlarından elde edilen ürünlerin, minimum basınç mukavemetlerinin 2,5 MPa olması gerekmektedir [6].

4. DENEYSSEL ÇALIŞMA - HAFİF AGREGALI BETON ELDESİ

Yukarıda genel anlamda tanımı verilen taşıyıcı olmayan hafif betonların, kuru birim ağırlıklarının daha düşük değerlerde elde edilebilmesi ve standartların öngördüğü dayanımı sağlayan beton türlerinin elde edilebilmesi amacıyla, bir dizi deneysel çalışma yapılmıştır. Aşağıdaki alt bölümlerde bu deneysel çalışma ve kullanılan malzemeler detaylı olarak verilmiştir.

4.1. Deneysel Kullanılan Hafif Agregalar

4.1.1. Volkanik Cüruflar

Volkanik cüruflar volkanizma faaliyetleri sürecinde volkanik püskürme malzemesi olarak oluşan kahverengi tonlarında, gözenekli bir yapı gösteren ve bazaltik özellikteki volkanik kökenli bir kayadır. Volkanik cürufların, mikroskobik özellikleri üzerinde yapılan incelemelerde, süngerimsi yapıda ve içerdiği boşlukların farklı boyutlarda ve birbirinden bağımsız gözenekler halinde olduğu, gözenek boyutlarının 0,17 - 4,2

mm arasında değişim gösterdiği, fenokristallerin (olivin-piroksen) ise 0,17-0,84 mm arası boyutlarda kırıklı ve aşınmış bir yapıda olduğu gözlenmiştir.



Şekil 1. Volkanik cüruf genel görünümü

Şekil 1 'de görüldüğü gibi, volkanik cüruf kayacının yapısında, çoğunlukla farklı şekil ve boyut dağılımlarına sahip bazalt kırıntularına rastlanılabilmektedir.



Şekil 2. Volkanik cüruf genel görünümü

Şekil 2'de, volkanik cüruf yüzey yapısına ait 5 cm uzunluğunda bir alanın görünümü verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, yüzey üzerinde bulunan ve hemen hemen yapının tamamını oluşturan gözenek oluşumları, çoğunlukla şekil, boyut ve dağılım açısından belirli bir homojenliğe sahip olması nedeniyle, oldukça düşük seviyede bir ağırlık değerine sahiptir.

4.1.2. Perlitik Pomza

Genellikle kirlili beyaz-gri renklere sahip olmakla birlikte, tipik olarak pomza ve perlit

arasında geçişli bir kayaç özelliğine sahiptir. Kimyasal bileşimi pomzaya benzemekle birlikte, su içeriği bakımından daha zengin (%5-9) bir karakteristik gösterirler. Mikroskop altında renksiz ve izotrop olduğu gözlenir. Zaman zaman sanidin, oligoklaz, kuvars, piroksen fenokristalleri içerebilirler. Bol miktarda mikrolit ve kristalite rastlanmakla birlikte perlitik çatlaklara da sahip olabilirler. Gerek mikrolitlerin yönlendirilmesi ve gerekse bantların dizilimi ile belirginleşen bir akma dokusu gösterebilirler.

4.1.3. Genleşmiş Polistren

Yerli olarak temin edilen polistren hammaddesinden, ekstrüzyon yolu ile elde edilmektedir. Kullanım yeri ve amacına göre, farklı boyut ve yoğunlukta, değişik kenar ve yüzey şekillerinde levha olarak üretilebilmekte ve esas itibarıyla ısı yalıtım amaçlı kullanılmaktadır. Isı iletkenlik değeri, $X=0.028-0,031$ W/mK'dır. Su buharı difüzyon direnç faktörü, $u=80-250$, etkili kullanım sıcaklığı ise $-50/+75^{\circ}\text{C}$ aralığındadır. %100 kapalı gözenekli bir homojen hücre yapısına sahip olup, bünyesine su alma özelliği bulunmamaktadır. Kapiler emiciliği bulunmamasının yanı sıra, boyut stabilitesi ve basınç dayanımı yüksektir.

Hafif agregalı betonlar, su, çimento ve hafif agregaların belirli oranlarda karıştırılmasıyla oluşan malzemelerdir. Bu deneysel çalışmada hazırlanan hafif betonlar, 4-12 mm boyutunda iri perlitik pomza, 0-4 mm boyutunda ince kırmızı cüruf, genişmiş polistren, çimento ve karışım oranına uygun miktarda sudan oluşmaktadır. Hafif agregalı ve genişmiş polistren bileşikli hafif betonların elde edilmesi için, kullanılacak malzemeler, istenilen boy ve miktarlarda hazırlandıktan sonra, hazırlanan karışımdan 10x10x10 cm ebatlı küp numuneler oluşturulur. Baskı ve vibrasyonun birlikte kullanıldığı bir döküm ünitesi kullanılarak yapılan döküm işlemi tamamlandıktan sonra, numuneler doğal ortamda 28 günlük kürlenmeye tabi tutulmuştur. Hafif agrega, çimento ve genişmiş polistrenin karışım içerisinde hacimsel olarak kullanılması oranları Çizelge 1 ve Çizelge 3'te gösterilmiştir.

Çizelge 1. Karışıma Ait Malzeme Oranları

Malzeme	Hacimce %	Hacimce %
	%50P.Pomza % 50K.Curuf %15 G.Pol.	%50P.Pomza % 50K.Curuf %20 G.Pol.
Per. Pomza	39,95	37,60
Kır. Cüruf	39,95	37,60
Çimento	6,00	6,00
G.Pol.	14,10	18,80

Per. Pomza	39,10	36,80
Kır. Cüruf	39,10	36,80
Çimento	8,00	8,00
G.Pol.	13,80	18,40

Per Pomza	38,25	36,00
Kır. Cüruf	38,25	36,00
Çimento	10,00	10,00
G Pol.	13,50	18,00

Çizelge 2. Karışıma Ait Malzeme Oranları

Malzeme	Hacimce %	Hacimce %
	%60P.Pomza % 40K.Curuf %15 G.Pol.	%60P.Pomza % 40K.Curuf %20 G.Pol.
Per. Pomza	47,94	45,12
Kır. Cüruf	31,96	30,08
Çimento	6,00	6,00
G.Pol.	14,10	18,80

Per. Pomza	46,92	44,16
Kır. Cüruf	31,28	29,44
Çimento	8,00	8,00
G.Pol.	13,80	18,40

Per. Pomza	45,90	43,20
Kır Cüruf	30,60	28,80
Çimento	10,00	10,00
G.Pol.	13,50	18,00

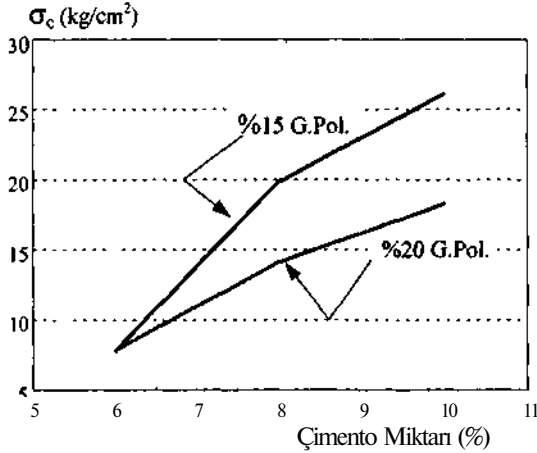
Çizelge 3. Karışıma Ait Malzeme Oranları

Malzeme	Hacimce %	Hacimce %
	%70P.Pomza % 30K.Curuf %15 G.Pol.	%70P.Pomza %30K.Curuf %20 G.Pol.
Per. Pomza	55,93	52,64
Kır. <i>CuruT</i>	23,97	22,56
Çimento	6,00	6,00
G.Pol.	14,10	18,80

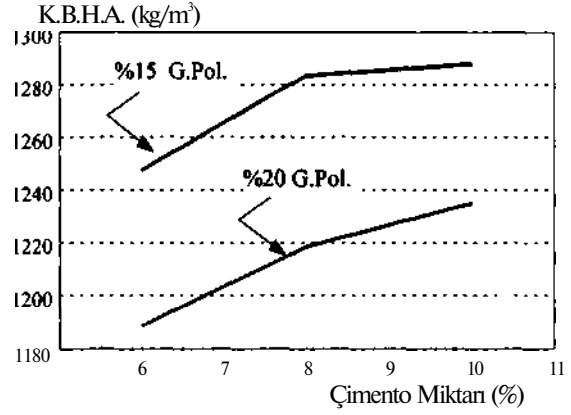
Per Pomza	54,74	51,52
Kır. Cüruf	23,46	22,08
Çimento	8,00	8,00
G.Pol.	13,80	18,40

Per. Pomza	53,55	50,40
Kır. Cüruf	22,95	21,60
Çimento	10,00	10,00
G.Pol.	13,50	18,00

Çizelge 1 - Çizelge 3'te verilen bu 3 ayrı karışım kombinasyonuna göre, farklı çimento kullanım oranlarında hazırlanmış olan standart küp numunelerinin 28 günlük dayanım değerlerinin çimento kullanım oranına göre değişimi Şekil 3 ve elde edilen birim hacim ağırlık değerlerinin kullanılan çimento oranına göre değişimi ise Şekil 4'de gösterilmiştir.



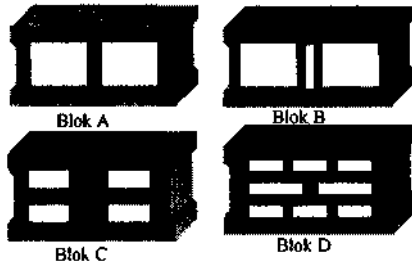
Şekil 3. Basınç dayanımı-çimento kullanım oranı ilişkisi



Şekil 4. Kuru Birim Hacim Ağırlık-Çimento Kullanım Oranı İlişkisi


Şekil 3'te görüldüğü gibi, betonu belirli derecede hafifletmek için karışımda kullanılan genişletilmiş polistren oranı arttıkça, aynı düzeyde bir dayanım elde etmek için kullanılması gereken çimento miktarında belirgin bir artış gözlenmektedir. Şekil 4'te ise genişletilmiş polistren kullanım oranındaki artışa bağlı olarak hafif beton karışımında önemli ölçüde bir ağırlık azalması sağlandığı görülmektedir. Bu değişim olgusu göz önünde bulundurulduğunda, elde edilmek istenen dayanım değerine göre, çimento kullanım oranının nasıl optimize edilebileceğine ilişkin bir yaklaşımın tanımlanması gerekliliği kaçınılmaz olmaktadır.

Bu bağlamda, Şekil 5'te sembolik olarak gösterimi verilen blok formları için, temel prensip olarak blok formlarında konu ile ilgili standartlar tarafından öngörülen minimum standart dayanım değerini sağlayabilmek için, bir örnek teşkil etmesi amacıyla C kodu ile verilen blok formuna ait dolu alan basınç dayanım değeri belirlenmiş ve bloğun dolu kısmının dayanımını temsil eden küp numune dayanım değerine bağlı teknik bir analiz yapılarak sonuçları Çizelge 4'te verilmiştir.

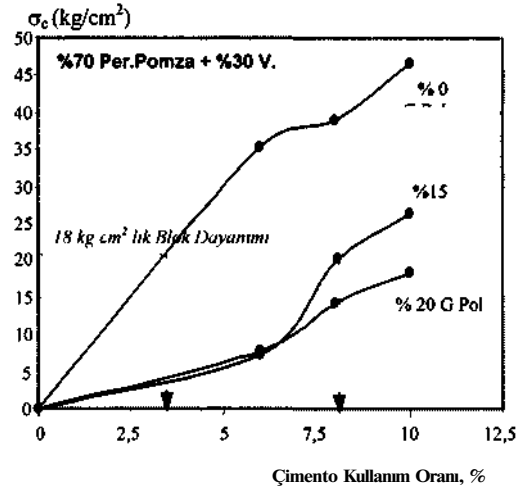


Şekil 5. Teknik İrdeme için Kullanılan Blok Formları

Çizelge 4. Blok Formları İçin Kullanılan Veriler

Blok Kodu	C 
Blok Boyutları (mm)	390x100x185
Toplam Yüzey Alanı (mm ²)	39000
Dolu Alan (mm ²)	33975
Boş Alan (mm ²)	5025
Alansal Doluluk, %	87,12
Alansal Boşluk, %	12,88
Blok için İstenilen Dayanım kg/cm ²	Küp Num. Dayanımı kg/cm ²
25	28,70
20	22,96
18	20,66
17	19,51
15	17,22

Çizelge 4'te verilen *dolu alan dayanımı* ifadesi, karışım analizlerinde dökümü yapılan küp numunelerde minimum elde edilmesi gereken dayanım değerini ifade etmektedir. Bu dayanım değerlerine göre, deneysel olarak elde edilen küp numunelerin dayanım değerlerinin irdelenerek, en uygun çimento kullanımının ne olabileceği ve hangi oranlarda malzeme kullanılabilmesi yorumlanabilmektedir. Şekil 6'da verilen bulgularla yapılan, grafiksel analiz yardımı ile yukarıda tanımlanan blok formları için en uygun çimento kullanım oranlarının belirlenmesi mümkün olmaktadır.



Şekil 6. Optimum Çimento Kullanım Oranları

Şekil 6 incelendiğinde, 18 kg/cm² büyüklüğünde boşluklu blok dayanım değerine karşılık gelen 20,66 kg/cm² küp blok dayanım değerlerinin kullanılan çimento dozajı ile ilgili nasıl bir değişim içerisinde olduğu görülmektedir. Bir başka ifadeyle, karışımda kullanılan genişletilmiş polistren oranlarının, arzu edilen dayanım değerinin sağlanmasında, kullanılan çimento dozajını artırıcı yönde bir etkiye sahip olmasının yanı sıra, birim hacim ağırlığın azalması yönünde de olumlu bir katkıda bulunduğu sonucuna varılabilmektedir.

5. SONUÇLAR

Düşük birim hacim ağırlık değerine sahip ve kuru karışım olarak değerlendirilen hafif betonlar, normal betonlara nazaran daha yüksek oranda yalıtım özelliğine sahip olmakla birlikte, karışım içerisinde daha yüksek oranda çimento kullanımı gerektirmektedirler. Bu nedenle artan çimento kullanımı, daha yüksek maliyet oluşturan hafif agregaya ilaveten ek bir maliyet oluşturmaktadır. Tüm bu belirtilen hususların yanısıra, maliyetlerin oluşturulması aşamasında da, kullanılan malzemenin ekonomiklik düzeyinin belirlenmesinden daha öncelikli olarak, hafif betonun kullanıldığı yapının temel tasarım maliyetinin dikkate alınması daha uygun olacaktır.

Kaynaklar

- [1] Neville A. M., 1996, "Properties of Concrete", Fourth and Final Edition, Addison Wesley Longman Limited, Harlow, UK.
- [2] Kornev N.A., Kramar V.G. and Kudryavtsev A.A., 1980, " Design Peculiarities of prestressed supporting constructions from concretes on porous aggregates", The Concrete Society, The Construction Press, Lancaster, London, New York, UK
- [3] Uğur I., Gündüz L., 2002. "Rock Mechanics Aspects of the Lightweight Pumice Concrete" Vth Regional Rock Mechanics Symposium, ROCKMEC'2002, 10-11 October, Konya.
- [4] Failla A., Mancuso P and Miraglia N , 1997, * Experimental - Theoretical Study on Pumice Aggregate Lightweight Concrete", Technical Report, Italy.
- [5] Gündüz L, Uğur I., 2001 "Gözenekli ve Hafif Doğal Kayaçlardan Elde Edilen Blok Malzemelerin Kaya Mekaniği Açısından İrdelenmesi" 17th. International Mining Congress & Exhibition of Turkey, June 19-22, Ankara-Turkey.
- [6] Uğur I., 2003, "Improving the Strength Characteristics of the Pumice Aggregate Lightweight Concretes", 18th International Mining Congress & Exhibition of Turkey, June 10-13, Ankara-Turkey.