

## Farklı Pomza Agregata Türlerinden Elde Edilen Hafif Betonun Sıcaklık Etkisindeki Bazı Özellikleri Üzerine Bir Araştırma

Hakan CEYLAN<sup>1</sup>, M. Saim SARAÇ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Pomza Araştırma ve Uygulama Merkezi / ISPARTA

<sup>2</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi / ISPARTA

**Özet :** Bu çalışma, pomzanın taşıyıcı olmayan hafif beton üretiminde, hafif agregata olarak kullanımını ve pomza kullanılarak üretilmiş hafif betonların belirli bir sıcaklık etkisine maruz kaldıktan sonraki dayanım değerlerindeki değişimleri incelemektedir. Türkiye’de, değişik türde pomza yataklanmaları mevcuttur. Bu çalışma için, bu türlerden Kayseri İli Talas İlçesi’nden, Nevşehir İli Göre Beldesi’nden çıkarılan pomzalar ve İzmir İli Menderes İlçesi’nden çıkarılan perlitik pomzalar seçilmiştir. Çalışmada kullanılan türlerin, hafif agregata özellikleri incelendikten sonra, belirlenen 26 karışıma ait 3 farklı çimento oranında, 78 ayrı hafif beton dökümü yapılmış ve elde edilen hafif beton numunelerinin kuru birim hacim ağırlık, su emme, dayanım, sıcaklık etkisinde dayanım gibi bazı teknik özellikleri belirlenmiştir. Araştırmada kullanılan Nevşehir-Göre, Kayseri-Talas pomzası ve İzmir-Menderes perlitik pomzasından üretilen hafif beton numuneleri üzerinde yapılan deneysel çalışmaların sonucunda, çimento oranının hafif beton numunelerinin dayanımına ve birim hacim ağırlığına etkisi, sıcaklığın hafif beton numunelerinin dayanımına ve kuru birim hacim ağırlığına etkisi, hafif beton numunelerinde kullanılan pomza türlerinin sıcaklık etkisindeki karakteristiği ve pomza türlerinin birbirleri ile kıyaslanması hususunda irdelemeler yapılmıştır. Elde edilen bulgulara göre, pomza türleri ve bu türlerden üretilen hafif betonların sıcaklık etkisinde bazı özellikleri ile ilgili çıkarımlar elde edilmeye çalışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Pomza, Hafif Agregata, Hafif Beton, Sıcaklık Etkisi

## A Research on Some Properties of the Lightweight Concrete Obtained From Different Pumice Aggregate Types Under the Heat Effect

**Abstract :** In this study, different pumice aggregates as a natural raw material for civil engineering applications were experimentally analysed. A comprehensive experimental research work was carried out on their use in non-load bearing applications and as lightweight aggregate. Specially, the research study was detailed on the compressive strength characteristics of pumice aggregate lightweight concrete under the different temperature effects. A series of experimental research program was followed to analyse the different pumice aggregate in different mixture proportions under a variety of temperature values. Pumice aggregates were collected from Kayseri Talas Region, Nevşehir Göre Region and İzmir Menderes Region for the research activities. In the research, characteristics of pumice aggregate as a natural material was first analysed for suitability of experimental concrete test program. then, 26 mixture group was determined based on three different cement percentage and totally 78 pumice aggregate batches were cast for technical testing applications. In these tests, a series of technical properties of lightweight concrete samples were determined such as dry bulk density, water absorption compressive strength, temperature effects on strength etc. A technical approach was developed for the temperature effects on strength characteristics of pumice aggregate lightweight concrete according to the research findings. A comparative meaning of tests was also discussed in detail.

**Key Words :** Pumice, Lightweight Aggregate, Lightweight Concrete, Temperature Effects

### Giriş

Pomza, volkanik faaliyetler sonucu oluşan; gözenekli, doğal kökenli hafif bir kayaç türüdür. Birçok sektörde kullanılmakla birlikte, en fazla tüketimi inşaat sektöründe olmaktadır. Ülkemizde de özellikle inşaat sektöründe kullanımı giderek artmakta ve önem kazanmaktadır. Pomza, inşaat sektöründe, yapı malzemesi olarak değişik amaçlarla üretilen hafif betonun elde edilmesinde agregata olarak kullanılmaktadır. Bu çalışma, endüstriyel bir hammadde olan pomzanın, inşaat sektöründe bimsblok üretiminde (hafif betonda agregata olarak) kullanımını, pomzadan elde edilen hafif betonların sıcaklık etkisine maruz bırakıldıktan sonraki bazı teknik özelliklerinin belirlenmesi ile ilgili deneysel çalışmaları ve bu deneysel çalışmaların

sonuçlarının yorumlanmasını kapsamaktadır. Ayrıca bu çalışmalar sonucu elde edilebilecek veri ve bulgularla, pomza madeninin hafif agregata olarak ülke genelinde, endüstriyel bazda, yaygın olarak kullanılabilirliğinin sağlanması amaçlanmaktadır.

Türkiye’nin değişik yörelerinde farklı karakteristiklere sahip birçok pomza türü mevcuttur. Farklı tür ve karışımlarda pomza agregasından elde edilen hafif beton uygulamaları üzerine henüz yeterli düzeyde inceleme, analiz ve araştırma yapılmamıştır. Bu bakımdan, ülkemizin değişik bölgelerinde üretilen, farklı karakteristik özellikler gösteren pomza türlerinin hafif beton üretiminde agregata olarak kullanımı ile ilgili çalışmaların yapılması gerekmektedir (1).

Bu çalışmada, Nevşehir-Göre, Kayseri-Talas yöresi pomzası ve İzmir-Menderes perlitik pomzası ana materyal olarak kullanılmıştır. Elde edilen bulgulara göre, bu türlerin hafif beton üretiminde agrega olarak kullanımı ile ilgili olarak, literatürde yeterli düzeyde bir araştırma veya ARGE çalışmasına rastlanılmamıştır. Yani, ülkemizde bulunan birçok pomza türünde olduğu gibi, Nevşehir-Göre, Kayseri-Talas pomzası ve İzmir-Menderes perlitik pomzasının hafif beton agregası olarak kullanımı ile ilgili henüz yeterli düzeyde çalışmalar yapılmamıştır. Ancak betonların sıcaklık etkisindeki bazı özelliklerinin araştırılması ile ilgili çalışmalar mevcuttur. Literatürde, farklı agrega türlerinden elde edilmiş ve genellikle yüksek dayanımlı betonlarla ilgili yapılmış çalışmalardan bazıları şunlardır: Neville (2) 600 °C sıcaklık uygulamasından sonra hafif betonlarda normal betonlara göre çok daha az basınç dayanım kaybı oluştuğunu belirtmiştir. Altun (3), düşük çimento oranlı farklı agrega türleri ile elde edilmiş betonun sıcaklık etkisiyle mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimleri araştıran bir çalışma yapmıştır. Xu vd. (4), uçucu külden elde edilen betonun yüksek ısıya maruz kalması sonucu oluşan etkileri inceleyen bir çalışması mevcuttur. Uçucu küllü beton için yaptığı, 800 °C'ye varan sıcaklık etkisi ile ilgili çalışmada, genel olarak sıcaklık arttıkça dayanımın düştüğünü ancak 250 °C'de elde edilen verilerden bir dayanım artışı olduğunu gözlemlemiştir. Bu dayanım artışını, muhtemel olarak çimentonun kurumaması nedeniyle çimento hamurunda oluşan kuvvetlenmeye bağlamaktadır. Cülük ve Özturan (5), yüksek dayanımlı harcın mekanik özelliklerine yüksek sıcaklığın etkisi ile ilgili bir araştırma yapmış ve beton karışımına katılan grafit tozunun yüksek ısıya dayanımı arttırdığını gözlemlemiştir. Sancak ve Şimşek (6), yüksek sıcaklığın silis dumanı ve süperakışkanlaştırıcı katkı hafif betona etkileri üzerine bir çalışma yapmıştır. Konget et al. (7) ve Abeles and Bardhan-Roy (8), hafif agregalı betonlarda yaklaşık 500°C'ye kadar dayanımın değişmediğini ancak 500°C ile 800°C arasında %60'a yakın değer kaybı olduğunu belirlemiştir. Türker vd. (9), pomzadan üretilmiş harçlarda yüksek sıcaklık uygulanması sonucu arayüzeyde çatlak gelişimi yerine agreganın kendisinde çatlak oluştuğunu gözlemlemiştir. Bu da pomzalı harçlarda arayüzeyin kuvvetli olduğunu göstermektedir. Gül ve Bingöl (10), hafif betonların yangın dayanımını incelemiş ve birim ağırlık arttıkça yangın dayanımında azalma olduğunu belirtmişlerdir.

## Materyal ve Yöntem

### Materyal

Araştırmada kullanılan materyaller, Nevşehir-Göre pomzası, Kayseri-Talas pomzası, İzmir-Menderes perlitik pomzası, çimento, beton karma suyu ve deneysel çalışmalarda kullanılan araçlardır.

### Nevşehir-Göre Pomzası

Araştırmada kullanılan pomza türlerinden biri, Nevşehir-Göre yöresine ait pomzadır. Beton karışımlarında, Nevşehir-Göre yöresine ait 0/4 mm, 4/8 mm ve 8/16 mm

aralığında gruplandırılmış 3 ayrı boyutta ve TS 1114 (Hafif Agregalar-Beton İçin) standardına uygun pomza agregası kullanılmıştır (11).

### Kayseri-Talas Pomzası

Beton karışımlarında kullanılan pomza türlerinden bir diğeri de Kayseri-Talas yöresine ait pomzadır. Araştırmada, Kayseri-Talas yöresine ait 0/4 mm, 4/8 mm ve 8/16 mm aralığında gruplandırılmış 3 ayrı boyutlu ve TS 1114 standardına uygun nitelikte pomza kullanılmıştır.

### İzmir-Menderes Perlitik Pomzası

Araştırmada kullanılan diğer bir hafif agrega da İzmir-Menderes perlitik pomzasıdır. Beton karışımlarında 0/4 mm ve 4/8 mm boyutlu agrega kullanılmıştır. Kullanılan malzemenin TS 1114 standardına uygun olduğu deneysel çalışmayla belirlenmiştir.

### Çimento

Deneysel çalışmalarda kullanılan beton numunelerinin elde edilmesinde bağlayıcı madde olarak Göлтаş Çimento Fabrikası (Isparta) ürünü Portland Çimentosu (PÇ 32,5) kullanılmıştır.

### Su

Çalışmada, beton karma suyu olarak Süleyman Demirel Üniversitesi Batı kampusunda kullanılan şebeke suyu kullanılmıştır.

### Çalışmada Kullanılan Araçlar

Çalışmalarda Süleyman Demirel Üniversitesi Pomza Araştırma ve Uygulama Merkezinde bulunan mikser, pres, elek, etüv vb. gibi araç ve deney düzenekleri kullanılmıştır. Kullanılan pomza agregalarının, hafif beton agregası olarak değerlendirilebilirliğinin belirlenmesi amacıyla "TS 1114 Hafif Agregalar-Beton İçin" standardında belirtilen araç ve düzeneklerden yararlanılmıştır.

### Hafif Beton Numunelerinin Hazırlanması

Hafif beton numuneleri, karışım hazırlama ünitesinde hazırlandıktan sonra, beton mikserinde karıştırılarak döküme hazır hale getirilmiştir. Daha sonra vibrasyonlu pres yardımıyla numune kalıplarına dökülmüştür. Dökümü yapılan numuneler laboratuvar ortamında kür kamaralarında beklemeye alınmıştır. Çizelge 2.1'de 1 m<sup>3</sup> hafif beton için kullanılan malzeme miktarları verilmiştir.

**Çizelge 2.1.** 1 m<sup>3</sup> hafif betondaki malzeme miktarları

| No | Çimento (kg) | Su (lt) | Agrega (kg) |        |         |
|----|--------------|---------|-------------|--------|---------|
|    |              |         | 0-4 mm      | 4-8 mm | 8-16 mm |
| 1  | 0,78         | 1,,89   | 4,84        | 1,39   | -       |
| 2  | 1,04         | 1,,93   | 4,73        | 1,36   | -       |
| 3  | 1,30         | 1,96    | 4,63        | 1,33   | -       |
| 4  | 0,78         | 1,83    | 4,15        | 1,86   | -       |
| 5  | 1,04         | 1,87    | 4,06        | 1,82   | -       |
| 6  | 1,30         | 1,76    | 3,97        | 1,78   | -       |
| 7  | 0,78         | 1,64    | 3,45        | 2,32   | -       |
| 8  | 1,04         | 1,67    | 3,38        | 2,27   | -       |
| 9  | 1,30         | 1,71    | 3,31        | 2,22   | -       |
| 10 | 0,78         | 1,71    | 2,76        | 2,79   | -       |
| 11 | 1,04         | 1,75    | 2,70        | 2,73   | -       |
| 12 | 1,30         | 1,79    | 2,65        | 2,67   | -       |
| 13 | 0,78         | 1,71    | 2,07        | 3,25   | -       |
| 14 | 1,04         | 2,06    | 2,03        | 3,18   | -       |
| 15 | 1,30         | 1,80    | 1,98        | 3,11   | -       |
| 16 | 0,78         | 2,15    | 4,84        | 0,70   | -       |
| 17 | 1,04         | 2,19    | 4,73        | 0,68   | -       |
| 18 | 1,30         | 2,23    | 4,63        | 0,67   | -       |
| 19 | 0,78         | 2,10    | 4,15        | 0,93   | -       |
| 20 | 1,04         | 1,97    | 4,06        | 0,91   | -       |
| 21 | 1,30         | 2,01    | 3,97        | 0,89   | -       |
| 22 | 0,78         | 1,97    | 3,45        | 1,16   | -       |
| 23 | 1,04         | 1,97    | 3,38        | 1,14   | -       |
| 24 | 1,30         | 2,05    | 3,31        | 1,11   | -       |
| 25 | 0,78         | 2,12    | 4,84        | 1,62   | -       |
| 26 | 1,04         | 2,15    | 4,73        | 1,59   | -       |
| 27 | 1,30         | 2,23    | 4,63        | 1,56   | -       |
| 28 | 0,78         | 2,12    | 4,15        | 2,17   | -       |
| 29 | 1,04         | 1,55    | 4,06        | 2,12   | -       |
| 30 | 1,30         | 1,58    | 3,97        | 2,07   | -       |
| 31 | 0,78         | 1,14    | 3,45        | 2,71   | -       |
| 32 | 1,04         | 1,14    | 3,38        | 2,65   | -       |
| 33 | 1,30         | 1,14    | 3,31        | 2,59   | -       |
| 34 | 0,78         | 1,44    | 4,84        | 0,70   | 0,51    |
| 35 | 1,04         | 1,40    | 4,73        | 0,68   | 0,50    |
| 36 | 1,30         | 1,40    | 4,63        | 0,67   | 0,49    |
| 37 | 0,78         | 1,40    | 4,15        | 0,93   | 0,68    |
| 38 | 1,04         | 1,44    | 4,06        | 0,91   | 0,66    |
| 39 | 1,30         | 1,44    | 3,97        | 0,89   | 0,65    |
| 40 | 0,78         | 1,44    | 3,45        | 1,16   | 0,85    |
| 41 | 1,04         | 1,44    | 3,38        | 1,14   | 0,83    |
| 42 | 1,30         | 1,44    | 3,31        | 1,11   | 0,81    |
| 43 | 0,78         | 1,44    | 4,84        | 2,11   | -       |
| 44 | 1,04         | 1,14    | 4,73        | 2,06   | -       |
| 45 | 1,30         | 1,14    | 4,63        | 2,02   | -       |
| 46 | 0,78         | 1,14    | 4,15        | 2,81   | -       |
| 47 | 1,04         | 1,14    | 4,06        | 2,75   | -       |
| 48 | 1,30         | 1,14    | 3,97        | 2,69   | -       |
| 49 | 0,78         | 1,19    | 3,45        | 3,52   | -       |
| 50 | 1,04         | 1,21    | 3,38        | 3,44   | -       |
| 51 | 1,30         | 1,21    | 3,31        | 3,37   | -       |
| 52 | 0,78         | 1,33    | 11,30       | -      | -       |
| 53 | 1,04         | 1,33    | 11,06       | -      | -       |
| 54 | 1,30         | 1,33    | 10,82       | -      | -       |
| 55 | 0,78         | 1,33    | 9,04        | 1,91   | -       |
| 56 | 1,04         | 1,33    | 8,85        | 1,87   | -       |
| 57 | 1,30         | 1,33    | 8,65        | 1,83   | -       |
| 58 | 0,78         | 1,33    | 7,91        | 2,87   | -       |
| 59 | 1,04         | 1,33    | 7,74        | 2,80   | -       |
| 60 | 1,30         | 1,33    | 7,57        | 2,74   | -       |
| 61 | 0,78         | 1,33    | 6,78        | 3,92   | -       |
| 62 | 1,04         | 1,33    | 6,64        | 3,74   | -       |
| 63 | 1,30         | 1,33    | 6,49        | 3,66   | -       |
| 64 | 0,78         | 1,33    | 5,65        | 4,78   | -       |

|    |      |      |      |      |   |
|----|------|------|------|------|---|
| 65 | 1,04 | 1,33 | 5,53 | 4,68 | - |
| 66 | 1,30 | 1,33 | 5,41 | 4,57 | - |
| 67 | 0,78 | 1,33 | 4,52 | 5,73 | - |
| 68 | 1,04 | 1,33 | 4,42 | 5,61 | - |
| 69 | 1,30 | 1,33 | 4,73 | 5,49 | - |
| 70 | 0,78 | 1,29 | 3,39 | 6,69 | - |
| 71 | 1,04 | 1,29 | 3,32 | 6,54 | - |
| 72 | 1,30 | 1,21 | 3,25 | 6,40 | - |
| 73 | 0,78 | 1,21 | 2,26 | 7,64 | - |
| 74 | 1,04 | 1,21 | 2,21 | 7,48 | - |
| 75 | 1,30 | 1,21 | 2,16 | 7,32 | - |
| 76 | 0,78 | 1,21 | -    | 9,55 | - |
| 77 | 1,04 | 1,14 | -    | 9,35 | - |
| 78 | 1,30 | 1,06 | -    | 9,14 | - |

Hafif beton numunelerinin tek eksenli basınç dayanımları, 200 ton yüklem kapasitesine sahip kalibrasyonlu ve tamamen bilgisayar kontrollü bir hidrolik preste kırılarak belirlenmiştir.

### Metot

#### Pomza Agregalarının Analizinde Uygulanan Metotlar

Çalışma için seçilen, Nevşehir-Göze, Kayseri-Talas ve İzmir-Menderes perlitik pomzasının, hafif beton yapımında, doğal hafif agregalar olarak kullanılabilirliğinin belirlenmesi amacıyla bir dizi deneysel çalışmalar ve analizler yapılmıştır. Deneysel çalışmalar, TS 1114 "Hafif Agregalar-Beton İçin" standardına uygun olarak yapılmıştır.

#### Hafif Beton Numunelerinin Analizinde Uygulanan Metotlar

Pomza ile değişik çimento oranlarında, taşıyıcı, yarı taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan karakteristikte hafif beton üretimi mümkün olabilmektedir. Bu çalışmada, Kayseri-Talas pomzasından elde edilen, taşıyıcı olmayan, bimsblok üretimine yönelik hafif betonlarla ilgili deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu amaçla, kaya mekaniği prensiplerine göre hazırlanan 10x10x10 cm boyutlarında kübik formlu, içi dolu, pomzadan mamul blok elemanları kullanılmıştır. Konu ile ilgili yapılan önceki çalışmalarda, bu kübik formlu elemanların normal blok formlu elemanları sembolize ettiği ve bu kübik formlu elemanların analizlerinden elde edilen bulguların normal blok formlu elemanlarla ilişkilendirilebileceği belirtilmektedir (12).

Araştırmada kullanılan Nevşehir-Göze, Kayseri-Talas pomzası ve İzmir-Menderes perlitik pomzası ile 26 ayrı karışım grubu oluşturulmuştur. Belirlenen her karışım grubu, hacimce %6, %8, %10 oranlarında Portland çimentosu ile karıştırılarak üç ayrı döküm yapılmıştır. 26 ayrı karışım grubundan toplam 78 ayrı seri hafif beton numunesi elde edilmiş olup her seriye ait 10x10x10 cm boyutlarında 9 adet beton numunesi dökülmüştür. Karışımlar hazırlanırken kullanılan su miktarı kıvama göre belirlenerek tek tek not edilmiştir. Dökümden sonra malzemeler küremeye tabi tutulmuş ve beklemeye alınmıştır. Çalışmada kullanılan üç ayrı türe ait belirlenen karışım grupları EK-1'de verilmiş olup, PK: Kayseri-

Talas pomzasını, PN: Nevşehir-Göre pomzasını, PM: İzmir-Menderes perlitik pomzasını PÇ: Portland çimentosunu sembolize etmektedir.

Her seriye ait hafif beton numunelerin ağırlıkları hassas terazide ayrı ayrı tartılarak belirlenmiştir. Daha sonra kumpasla numune boyutları (yükseklik) ölçülerek kaydedilmiştir. Elde edilen değerlerle numunelerin kuru birim hacim ağırlıkları hesaplanmıştır. Hafif beton numuneleri su emme deneyine tabi tutulmuştur. Her serinin 24., 48. ve 72. saatteki su emme miktarları tespit edilerek su emme oranları hesaplanmıştır. Numuneler hidrolik preste kırılarak basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuş ve tek eksenli basınç dayanım değerleri hesaplanmıştır.

Daha sonra hafif beton örneklerinin sıcaklık etkisindeki özelliklerini analiz etmek amacıyla her seriden alınan numuneler, etüvde üç ayrı sıcaklık değerine maruz bırakılmıştır. Her seri, etüvde 120°C, 180°C ve 200°C sıcaklıkta 72 saat bekletilmiştir. Daha sonra bu numunelerin basınç dayanım değerleri analiz edilmiştir. Her bir numune preste ayrı ayrı kırılarak kırılma değeri belirlenmiş ve bu değer yardımıyla basınç dayanım değerleri hesaplanmıştır.

Çalışmanın sonucunda elde edilen değerlerle, her bir reçete için basınç dayanımı-çimento oranı, kuru birim hacim ağırlık-çimento oranı, ve kuru birim hacim ağırlık-basınç dayanımı ilişkisi incelenerek değerlendirilmiştir.

## Bulgular

### Pomza Agregaları İle İlgili Analiz Bulguları

Pomza agregaları üzerinde yapılan tane büyüklüğü dağılımı (granülometri), birim ağırlık, organik madde içeriği, su emme oranı, porozite, kompasite ve doyma derecesi, incelik modülü, ince madde oranı, sülfat tayini, dona dayanıklılık, kızdırma kaybı gibi özellikleri deneysel çalışmalarla analiz edilmiş ve TS 1114 standardına uygun olduğu belirlenmiştir.

### Hafif Beton Numuneleri İle İlgili Analiz Bulguları

#### Kuru Birim Hacim Ağırlık

Hafif beton numunelerinin, kuru birim hacim ağırlık değerleri (EK-1), 659 ile 1495 kg/m<sup>3</sup> arasında değişmektedir. En küçük değer olan 659 değeri 13. seriye ait olup bu seri, Kayseri-Talas pomzasının 0/4 mm fraksiyonundan %30 ve 4/8 mm fraksiyonundan %70 oranında karıştırılarak hacimce %6 Portland çimentosu ile dökümü sonucu elde edilmiştir. En büyük değer ise 1495 olup 56. seriye aittir. Bu seri de İzmir-Menderes pomzasının %80 0/4 mm fraksiyonunun %20 4/8 mm fraksiyonu ile karıştırılarak hacimce %8 Portland çimentosu kullanılarak dökümü sonucu elde edilmiştir. İzmir-Menderes perlitik pomzasından üretilen hafif beton numunelerine ait kuru birim hacim ağırlık değerleri genel olarak 1200 kg/m<sup>3</sup>'ün üzerinde olup Nevşehir-Göre ve Kayseri-Talas pomzasından üretilenlere göre oldukça yüksektir. Kayseri-Talas ve Nevşehir-Göre pomzalarından üretilen hafif beton numunelerinin kuru

birim hacim ağırlıkları ise 659 ile 978 kg/m<sup>3</sup> arasında değişmekte olup genel olarak her iki türe ait numunelerin kuru birim hacim ağırlık değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür.

### Su Emme

Hafif beton numunelerinin 24, 48 ve 72. saatteki su emme miktarları tespit edilerek su emme oranları hesaplanmıştır. Numunelerin su emme oranlarının genel olarak 72. saatte doygunluğa ulaştığı tespit edilmiştir. Hafif beton numunelerine ait su emme değerleri (EK-1), %13 ile %46 arasında değişmektedir. En düşük su emme oranı 78. seriden elde edilmiş olup bu seri de tamamı İzmir-Menderes pomzasının 4/8 mm fraksiyonundan oluşan agreganın hacimce %10 Portland çimentosu ile dökümü sonucu elde edilen hafif beton numunesinden oluşmaktadır. En yüksek su emme oranı ise %46 ile 7. seriye aittir. Bu seri, Kayseri-Talas pomzasının 0/4 mm ve 4/8 mm fraksiyonunun %50 oranlarına karışımının hacimce %6 Portland çimentosu ile dökümü sonucu elde edilmiştir.

### Tek Eksenli Basınç Dayanımı

Hafif beton numunelerinin 28 günlük basınç dayanım değerleri incelendiğinde (EK-1), en yüksek dayanım değerinin 41 kg/cm<sup>2</sup> olup 30. seriye ait olduğu anlaşılmaktadır. En yüksek dayanımın elde edildiği 30. seri, 0/4 mm boyutlu Kayseri-Talas pomzasından %60, 4/8 mm boyutlu Nevşehir-Göre pomzasından %40 oranında karıştırılıp hacimce %10 Portland çimentosu ile dökümü sonucu elde edilmiş bir karışımdır. En yüksek dayanımın elde edildiği 2. karışım 3 numaralı karışım olup dayanım değeri 38 kg/cm<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir. 3. büyük değer ise 5 numaralı karışıma ait olup dayanım değeri 38 kg/cm<sup>2</sup>'dir.

### Sıcaklık Etkisi Analizi İle İlgili Bulgular

Etüvde 72 saat süre ile 120°C sıcaklığa maruz bırakılan hafif beton numunelerine soğuduktan sonra tek eksenli basınç dayanım deneyi uygulanması sonucu elde edilen değerler incelendiğinde (EK-1) en yüksek dayanımın 69. seriye ait olup bu değer 46 kg/cm<sup>2</sup> olduğu anlaşılmaktadır. Bu serideki hafif beton numuneleri, İzmir-Menderes perlitik pomzasından üretilmiştir. Dayanım olarak yüksek diğer seriler ise sırasıyla 63, 3, 30, 39, 5 numaralı serilerdir.

Hafif beton numunelerine 180°C sıcaklık uygulanması sonucu elde edilen basınç dayanım değerlerine göre, en yüksek dayanım 120°C'lik uygulamada olduğu gibi 69. seriden elde edilmiştir. Diğer yüksek dayanımlı seriler ise sırasıyla 30, 39, 63, 24, 33. serilerdir.

Hafif beton numunelerine 200°C sıcaklık uygulandıktan sonra yapılan tek eksenli basınç dayanım deneyi sonuçlarına göre, en yüksek dayanım 63. seriden elde edilmiş olup bu değer 41 kg/cm<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir. Bu seri de İzmir-Menderes perlitik pomzasından üretilmiş hafif beton numunelerine aittir. En yüksek dayanımlı

diğer seriler ise sırasıyla 60, 69, 39, 66, 56 olarak görülmektedir.

Hafif beton numuneleri üzerinde yapılan normal oda sıcaklığında (20°C) ve sıcaklık etkisindeki tek eksenli basınç dayanım değerleri incelendiğinde, genel olarak bazı sonuçlar elde etmek mümkün görünmektedir. Hafif beton numunelerinden elde edilen basınç dayanım değerleri karşılaştırmalı olarak incelendiğinde (EK-1), 28 günlük külden sonra yapılan basınç dayanım deneyinden elde edilen değerlerin sıcaklık uygulaması sonucunda büyük oranda değiştiği görülmektedir. 120°C sıcaklık uygulamasından sonra, 46 seriye ait dayanım değeri düşmüş, 32 seriye ait dayanım değeri artmıştır. 180°C sıcaklık uygulamasından sonra, 36 seriye ait dayanım değeri düşmüş, 42 seriye ait dayanım değeri artmıştır. 200°C sıcaklık uygulamasından sonra ise 20 seriye ait dayanım değeri düşmüş, 57 seriye ait dayanım değeri artmış, 1 seriye ait dayanım değeri ise değişmemiştir. Sonuçlara göre, genel olarak en fazla dayanım artışının 200°C sıcaklık uygulaması sonucunda olduğu gözlenmektedir. Bu artış ve düşüşlerde genel olarak belirli seriler ön plana çıkmaktadır. Örneğin sadece Kayseri-Talas pomzası kullanılarak üretilen hafif beton numunelerinin dayanım değerlerinin genel olarak sıcaklık arttıkça düştüğü görülmüştür. İzmir-Menderes perlitik pomzasından elde edilen hafif beton numunelerinin dayanım değerlerinin bütün sıcaklık uygulamalarından sonra arttığı görülmüştür. Kayseri-Talas ve Nevşehir-Göre pomzalarının karışımlarından elde edilmiş diğer hafif beton numunelerinin ise bazı serilerde 120°C bazılarının ise 180°C sıcaklık uygulaması sonucunda basınç dayanımlarının düştüğü belirlenmiştir.

## Tartışma ve Sonuç

Bu çalışma kapsamında, farklı pomza türlerinden, değişik çimento oranlarında elde edilmiş hafif beton örneklerinin belirli sıcaklıklardaki bazı özelliklerindeki değişimler araştırılmıştır. Yapılan çalışmalardan elde edilen bulguların yorumlanması ile elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

Nevşehir-Göre, Kayseri-Talas pomzaları ve İzmir-Menderes perlitik pomzasının TS 1114 standardı kapsamında hafif beton agregası olarak kullanılabilir olduğu belirlenmiştir. Çalışmadaki bulgulara göre, en hafif beton Kayseri-Talas pomzasına, en ağır ise İzmir-Menderes perlitik pomzasına ait bir karışımdan elde edilmiştir.

Su emme deneylerinden elde edilen sonuçlar incelendiğinde, İzmir-Menderes perlitik pomzasından üretilen hafif beton numunelerinin su emmesinin %12-18 aralığında ve oldukça uygun değerlere sahip olduğu anlaşılmaktadır. Diğer iki türün su emme oranları ise %30-40 civarlarındadır. Sonuçlardan görüldüğü gibi hafif beton numunelerinin su emme oranları kabul edilebilir sınırlardadır.

Bimsblokte minimum 25 kg/cm<sup>2</sup> dayanım değeri istenmektedir (13). Buna göre, hafif beton numunelerinin, 28 günlük doğal ortam kürlenmesi sonucunda yapılan tek eksenli basınç dayanım deneyi sonuçları, bimsblok üretiminde kullanılabilirlik açısından incelendiğinde, sadece 10 karışıma ait dayanım değerinin istenen değerleri sağladığı, diğer karışımlara ait dayanım değerlerinin 25 kg/cm<sup>2</sup>'nin altında olduğu belirlenmiştir.

28 günlük kür sonrası ve her sıcaklık uygulamasından sonra yapılan tek eksenli basınç dayanım deneylerinden elde edilen dayanım değerlerine göre, her gruba ait en yüksek dayanımın elde edildiği ilk 10 seri Çizelge 4.1'deki gibidir.

**Çizelge 4.1.** En yüksek basınç dayanımının elde edildiği ilk 10 seri

| $\sigma_{28}$ 'deki ilk 10 seri | $\sigma_{120^\circ\text{C}}$ 'deki ilk 10 seri | $\sigma_{180^\circ\text{C}}$ 'deki ilk 10 seri | $\sigma_{200^\circ\text{C}}$ 'deki ilk 10 seri |
|---------------------------------|--|--|--|
| 30                              | 69   | 69   | 63   |
| 3                               | 63   | 30   | 60   |
| 5                               | 3  | 39   | 69   |
| 60                              | 30   | 63   | 39   |
| 6                               | 39   | 24   | 66   |
| 18                              | 5  | 33   | 56   |
| 56                              | 72   | 3  | 3  |
| 2                               | 36   | 72   | 30   |
| 24                              | 78   | 78   | 1, 71, 59                                      |
| 69                              | 65   | 6  | 72   |

En yüksek 10 basınç dayanımına sahip karışımlar listelendiğinde bazılarının ön plana çıktığı görülmektedir. Özellikle sıcaklık uygulamasından sonra yapılan dayanım ölçümlerinde, dayanım değeri ilk 10'a giren seriler her üç grupta da benzerlik göstermektedir. Örneğin, 69, 63, 3, 30, 39, 72 numaralı serilerin her üç grupta da olduğu görülmektedir.

28 günlük doğal ortam kürlenmesi sonrası ölçülen basınç dayanım değerlerine göre yapılan ilk 10 sıralama, sıcaklık uygulamasından sonra yapılan sıralamayla genel olarak uyum göstermemektedir. 28 günlük külden sonraki dayanımlara göre yapılan ilk 10 sıralamasında sadece 30 ve 3 numaralı seriler bütün gruplarda dayanım olarak ilk 10 seri arasına girmiştir. Diğer 8 seri, sıcaklık uygulaması sonucu dayanım değerlerinin düşmesi nedeniyle diğer gruplarda dayanım açısından ilk 10'da yoktur. Bu serilerin yerine, sıcaklık uygulaması sonucu dayanımı artan bazı serilerin geldiği anlaşılmaktadır. Bu sonuçlara göre, sıcaklık uygulaması sonucunda hafif beton numunelerinde bazı karışım gruplarının sıcaklık etkisi sonucu dayanımının azaldığı, bazılarının ise arttığı görülmüştür. Bu farklılıkların hafif beton numunelerinin karışım oranları, agregada türü, agregada boyutu ve çimento oranı gibi değişik parametrelere bağlı olduğu düşünülmektedir.

Hafif beton numuneleri üzerinde sıcaklık uygulamasından önce ve sonra yapılan tek eksenli basınç dayanım deneyi sonuçlarına göre, 28 günlük doğal ortam kürlenmesi sonrası yapılan deneylerde en yüksek dayanım, Kayseri-Talas ve Nevşehir-Göre pomzalarının karışımından oluşan hafif beton numunelerinden, sıcaklık uygulamalarından sonra yapılan deney sonuçlarına göre ise en yüksek dayanımlar, İzmir-Menderes perlitik pomzasına ait karışımlardan elde edilmiştir.

Hafif beton numunelerine sıcaklık uygulanması sonucunda, kuru birim hacim ağırlık değerlerinde değişimler olduğu görülmektedir. Bu değişimler, genel olarak sıcaklık arttıkça kuru birim hacim ağırlık değerinin azalması yönündedir. Kuru birim hacim ağırlık değerleri, bazı serilerde 120°C'de, bazılarında ise 180°C veya 200°C'de minimum değerlere ulaşmaktadır.

Kayseri-Talas, Nevşehir-Göre pomzası ve İzmir-Menderes perlitik pomzasından elde edilen hafif beton numunelerinin, tek eksenli basınç dayanım değerlerinin, genel olarak, çoğunluğu 120°C'de olmak üzere 120°C ve 180°C sıcaklık uygulanmasından sonra azaldığı, 200°C'de bir iyileşme olduğu gözlenmiştir.

Kayseri-Talas pomzası ile Nevşehir-Göre pomzasının değişik granülometrik bileşimlerinden oluşan hafif beton numunelerinin sıcaklık etkisindeki basınç dayanım değeri değişimlerinde 120°C ve 180°C sıcaklık uygulamalarından sonra düşüşler görülmektedir. Ancak, burada 120°C sıcaklık uygulamasından sonraki dayanım değeri düşüşleri daha açık görülmektedir. Dayanım değerleri çoğunlukla 120°C sıcaklık uygulamasından sonra düşüş göstermektedir. 180°C ve 200°C sıcaklık uygulamalarından sonra ise genel bir yükseliş trendi görülmektedir. Elde edilen basınç dayanım değerleri kıyaslandığında, 200°C sıcaklık uygulamasından sonra Nevşehir-Göre ve Kayseri-Talas karışımından oluşan 27 seriden 21'nin basınç dayanım değerinin, 28 günlük kür sonucu elde edilen basınç dayanım değerlerine göre arttığı tespit edilmiştir. Bu durumda, 200°C sıcaklık uygulamasının bu seriler üzerinde dayanımı artırıcı etki yarattığı 120°C sıcaklık uygulamasının ise dayanımı azaltıcı etki yaptığı gözlenmiştir.

Kayseri-Talas ve Nevşehir-Göre pomzasının birlikte kullanıldığı hafif beton serileri ile sadece Kayseri-Talas pomzasının kullanıldığı hafif beton serileri sıcaklık-dayanım değerleri açısından kıyaslandığında, 120°C sıcaklık uygulamalarında, bütün serilerde dayanımın minimum değerler aldığı, 180°C ve 200°C sıcaklık uygulamalarında ise muhtemelen karışımlardaki Nevşehir-Göre pomzası nedeniyle Kayseri-Talas ve Nevşehir-Göre pomzasının birlikte kullanıldığı hafif beton serilerinin sadece Kayseri-Talas pomzasının kullanıldığı hafif beton serilerine oranla dayanım değerlerinde artışlar olduğu tespit edilmiştir. Bu bulgulara göre, sıcaklık etkisine dayanım açısından, Nevşehir-Göre pomzasının Kayseri-Talas pomzası ile birlikte, hafif agrega olarak kullanımının, tek başına

Kayseri-Talas pomzası kullanımına göre daha avantajlı olduğu belirlenmiştir.

İzmir-Menderes perlitik pomzasının değişik granülometrik bileşimlerinden oluşan serilerde de 120°C ya da 180°C sıcaklık uygulamalarından sonra dayanım değerlerinde düşüşler oluşmaktadır. Ancak 200°C sıcaklık uygulamasından sonra dayanım değerlerinde artışlar tespit edilmiştir.

Kayseri-Talas pomzası ve İzmir-Menderes perlitik pomzasının aynı granülometrik bileşimde kullanıldığı hafif beton numunelerinin ait sıcaklık-dayanım değişimleri kıyaslandığında, İzmir-Menderes perlitik pomzasından elde edilen hafif beton numunelerinde, Kayseri-Talas pomzasından üretilen hafif beton numunelerine göre, sıcaklık uygulaması sonucu dayanım değerlerinde oldukça yüksek artışlar görülmektedir. Kayseri-Talas pomzasından üretilen hafif beton numunelerinde genel olarak benzer bir eğilim gözlenmemiştir.

İzmir-Menderes perlitik pomzasından elde edilen hafif beton numunelerine ait serilerin çoğunluğunda, 200°C'deki dayanım değeri, 28 günlük kürden sonra ölçülen ilk dayanım değerinden yüksektir. Kayseri-Talas pomzasından elde edilen aynı karışım oranına sahip hafif beton serilerinde ise genel olarak bunun tersi bir durum görülmektedir. Yani, 200°C'deki dayanım değerleri, 28 günlük kürden sonra ölçülen ilk dayanım değerlerinden daha düşüktür.

Kayseri-Talas pomzası ve İzmir-Menderes perlitik pomzasından elde edilen hafif beton numunelerine ait seriler arasında bimsblok üretiminde kullanılabilirlik açısından değerlendirme yapıldığında, 28 günlük kürden sonra elde edilen basınç dayanım değerlerine göre en uygun karışım gruplarının 1, 2, 3, 4, 20 ve 23. karışım grupları olduğu görülmektedir. Aynı değerlendirme sıcaklık etkisinde dayanım değerlerine göre yapıldığında, en uygun karışım gruplarının 1, 2, 20, 21. karışım grupları olduğu görülmektedir. Diğer karışım gruplarına ait serilerinde, genel olarak 25 kg/cm<sup>2</sup>'nin üzerinde dayanım değeri görülmemektedir. Sadece İzmir-Menderes pomzasına ait 22, 23 ve 24. karışım gruplarının %10 çimento oranlı serilerinde 25 kg/cm<sup>2</sup>'nin üzerinde dayanım değerleri ölçülmüştür.

Sadece Kayseri-Talas pomzası ve Kayseri-Talas pomzasına Nevşehir-Göre pomzası ilave edilmesiyle elde edilen karışımlardan oluşan hafif beton numunelerine ait dayanım değerleri bimsblok üretiminde kullanılabilirlik açısından değerlendirildiğinde, 28 günlük kürden sonra elde edilen basınç dayanım değerlerine göre en uygun karışım gruplarının 6 ve 8. karışım grupları olduğu görülmektedir. Bu grupların sadece %10'luk çimento oranlı serilerinde 25 kg/cm<sup>2</sup>'nin üzerinde dayanım değerleri elde edilmiştir. Diğer hiçbir seride uygun dayanım elde edilememiştir. Aynı değerlendirme sıcaklık

etkisinden sonra elde edilen dayanım değerlerine göre yapıldığında, en uygun karışım gruplarının 6, 8, 12 ve 13. karışım grupları olduğu görülmektedir.

Kayseri-Talas ve Nevşehir-Göre pomzasının karıştırılmasıyla elde edilen hafif beton numunelerine ait serilerin, hemen hemen tümünde, 200°C'deki dayanım değeri, 28 günlük külden sonra ölçülen ilk dayanım değerinden yüksektir. Sadece Kayseri-Talas pomzasından elde edilen hafif beton serilerinin sıcaklık uygulamasından sonraki dayanım değerlerinde de genel olarak bir artış görülmektedir. Ancak Kayseri-Talas pomzasından üretilen ilk 5 karışım grubunda benzer bir artış trendi gözlenmemiştir. Bunun nedeni muhtemelen granülometrik bileşimlerdeki farklılıklardır. İlk 5 karışım grubunda, Kayseri-Talas pomzasına ait 0/4 mm ve 4/8 mm fraksiyonları kullanılmıştır. 6, 7 ve 8. karışım gruplarında ise 0/4 mm, 4/8 mm ve 8/16 mm fraksiyonları kullanılmıştır. Bu nedenle, granülometrik bileşimlerin, sıcaklık etkisinde dayanım değerlerini etkilediği belirlenmiştir.

#### Yazar Notu

Bu çalışma, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

#### Kaynaklar

- [1]. Gündüz, L., Sarıışık, A., Tozaçan, B., Davraz, M., Uğur, İ., Çankıran, O. 1998. Pomza Teknolojisi, Cilt I. Isparta, 285 s.
- [2]. Neville, A.M. 1997. Cement and Concrete, Longman Group Ltd, 843 pp.
- [3]. Altun, İ.A. 2001. Effect of temperature on the mechanical properties of self-flowing low cement refractory concrete, Cement and Concrete Research, 31, 1233-1237.
- [4]. Xu, Y., Wong, Y.L., Poon, C.S., Anson, M., 2001. Impact of temperature on PFA concrete. Cement and Concrete Research, 31, 1065-1073.
- [5]. Cülfik, M.S., Özturan T. 2002. Effect of elevated temperatures on the residual mechanical properties of high-performance mortar. Cement and Concrete Research, 32, 809-816.
- [6]. Sancak, E., Şimşek, O. 2006. Yüksek Sıcaklığın Silis Dumanı ve Süperakışkanlaştırıcı Katkılı Hafif Betona Etkileri, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. 21, 3, 443-450.
- [7]. Kong, F. K., Evans, R.H., Cohen, E., Roll, F. 1983. Handbook of Structural Concrete, Pitman Books Limited, London, 7 pp.
- [8]. Abeles, P.W., Bardhan-Roy, B.K. 1981. Prestressed Concrete Designer's Handbook, 3<sup>rd</sup> Edition, A Viewpoint Publication, Cement and Concrete Association, Wexham Springs, 556 pp.
- [9]. Türker, P., Erdoğan, K., Erdoğan, B. 2001. Farklı Tiplerde Agregalar İçeren Yangına Maruz Kalmış

- Harçların İncelenmesi, Çimento ve Beton Dünyası Dergisi, 6, 52-69.
- [10]. Gül, R., Bingöl, F. 2002. Betonun Yangın Dayanımına Genel Bir Bakış, DSİ Teknik Bülteni, 99, 3-18.
- [11]. TS 1114, 1986, (Tadil: 1987/10/13). Hafif Agregalar-Beton İçin, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 17 s.
- [12]. Gündüz, L., Uğur, İ. 2000. Pomzadan Mamul Blok Elemanlarında Kayaç Parametreleri-Ses Akustiği İlişkisi Üzerine Teknik Bir Analiz, V. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu Bildiriler Kitabı. (Saraç, S., Gündüz, L., Altındağ, R.), Isparta, 205-215.
- [13]. TS 2823, 1986 (Tadil: 1988/08). Bimsbetondan Mamul Yapı Elemanları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 28 s.

**EK-1**

Sertleşmiş hafif beton numunelerine ait bazı değerler

| Karışım                             | Su emme oranı (%) | Doğal Ortamda             |                                     | 120 °C'deki               |                                      | 180 °C'deki               |                                      | 200 °C'deki               |                                      |
|-------------------------------------|-------------------|---------------------------|-------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|
|                                     |                   | KBHA (kg/m <sup>3</sup> ) | $\sigma_{28}$ (kg/cm <sup>2</sup> ) | KBHA (kg/m <sup>3</sup> ) | $\sigma_{120}$ (kg/cm <sup>2</sup> ) | KBHA (kg/m <sup>3</sup> ) | $\sigma_{180}$ (kg/cm <sup>2</sup> ) | KBHA (kg/m <sup>3</sup> ) | $\sigma_{200}$ (kg/cm <sup>2</sup> ) |
| 70PK(0/4)+30PK(4/8)+6ÇP             | 38                | 872                       | 23                                  | 880                       | 19                                   | 874                       | 17                                   | 895                       | 30                                   |
| 70PK(0/4)+30PK(4/8)+8ÇP             | 36                | 941                       | 27                                  | 857                       | 19                                   | 886                       | 20                                   | 840                       | 21                                   |
| 70PK(0/4)+30PK(4/8)+10ÇP            | 32                | 977                       | 38                                  | 972                       | 31                                   | 914                       | 26                                   | 928                       | 33                                   |
| 60PK(0/4)+40PK(4/8)+6ÇP             | 43                | 837                       | 21                                  | 775                       | 7                                    | 794                       | 10                                   | 769                       | 9                                    |
| 60PK(0/4)+40PK(4/8)+8ÇP             | 33                | 932                       | 38                                  | 875                       | 26                                   | 759                       | 21                                   | 765                       | 27                                   |
| 60PK(0/4)+40PK(4/8)+10ÇP            | 36                | 848                       | 28                                  | 867                       | 17                                   | 843                       | 23                                   | 864                       | 27                                   |
| 50PK(0/4)+50PK(4/8)+6ÇP             | 46                | 704                       | 8                                   | 699                       | 3                                    | 748                       | 11                                   | 718                       | 17                                   |
| 50PK(0/4)+50PK(4/8)+8ÇP             | 42                | 825                       | 23                                  | 765                       | 11                                   | 771                       | 14                                   | 795                       | 22                                   |
| 50PK(0/4)+50PK(4/8)+10ÇP            | 39                | 832                       | 24                                  | 784                       | 14                                   | 760                       | 13                                   | 809                       | 23                                   |
| 40PK(0/4)+60PK(4/8)+6ÇP             | 45                | 732                       | 14                                  | 684                       | 0,3                                  | 701                       | 12                                   | 664                       | 10                                   |
| 40PK(0/4)+60PK(4/8)+8ÇP             | 39                | 716                       | 12                                  | 708                       | 9                                    | 670                       | 12                                   | 711                       | 16                                   |
| 40PK(0/4)+60PK(4/8)+10ÇP            | 37                | 803                       | 23                                  | 706                       | 7                                    | 761                       | 18                                   | 744                       | 14                                   |
| 30PK(0/4)+70PK(4/8)+6ÇP             | 44                | 659                       | 5                                   | 672                       | 1                                    | 678                       | 8                                    | 673                       | 9                                    |
| 30PK(0/4)+70PK(4/8)+8ÇP             | 39                | 716                       | 13                                  | 728                       | 8                                    | 694                       | 8                                    | 721                       | 17                                   |
| 30PK(0/4)+70PK(4/8)+10ÇP            | 37                | 747                       | 18                                  | 748                       | 12                                   | 736                       | 16                                   | 739                       | 18                                   |
| 70PK(0/4)+15PK(4/8)+15PK(8/16)+6ÇP  | 46                | 752                       | 8                                   | 751                       | 0,1                                  | 747                       | 6                                    | 752                       | 10                                   |
| 70PK(0/4)+15PK(4/8)+15PK(8/16)+8ÇP  | 43                | 803                       | 12                                  | 812                       | 6                                    | 790                       | 9                                    | 820                       | 17                                   |
| 70PK(0/4)+15PK(4/8)+15PK(8/16)+10ÇP | 33                | 922                       | 27                                  | 821                       | 1                                    | 877                       | 6                                    | 818                       | 21                                   |
| 60PK(0/4)+20PK(4/8)+20PK(8/16)+6ÇP  | 41                | 806                       | 9                                   | 766                       | 5                                    | 752                       | 18                                   | 741                       | 10                                   |
| 60PK(0/4)+20PK(4/8)+20PK(8/16)+8ÇP  | 39                | 810                       | 9                                   | 784                       | 7                                    | 778                       | 8                                    | 784                       | 12                                   |
| 60PK(0/4)+20PK(4/8)+20PK(8/16)+10ÇP | 36                | 916                       | 21                                  | 835                       | 13                                   | 849                       | 18                                   | 851                       | 2                                    |
| 50PK(0/4)+25PK(4/8)+25PK(8/16)+6ÇP  | 38                | 748                       | 7                                   | 745                       | 9                                    | 719                       | 8                                    | 737                       | 11                                   |
| 50PK(0/4)+25PK(4/8)+25PK(8/16)+8ÇP  | 36                | 886                       | 19                                  | 846                       | 15                                   | 820                       | 18                                   | 814                       | 19                                   |
| 50PK(0/4)+25PK(4/8)+25PK(8/16)+10ÇP | 30                | 921                       | 26                                  | 845                       | 9                                    | 901                       | 32                                   | 894                       | 23                                   |
| 70PK(0/4)+30PN(4/8)+6ÇP             | 40                | 867                       | 14                                  | 857                       | 12                                   | 870                       | 12                                   | 876                       | 18                                   |
| 70PK(0/4)+30PN(4/8)+8ÇP             | 41                | 829                       | 13                                  | 852                       | 16                                   | 839                       | 18                                   | 817                       | 19                                   |
| 70PK(0/4)+30PN(4/8)+10ÇP            | 41                | 789                       | 10                                  | 803                       | 20                                   | 805                       | 20                                   | 793                       | 18                                   |
| 60PK(0/4)+40PN(4/8)+6ÇP             | 43                | 727                       | 2                                   | 737                       | 6                                    | 719                       | 9                                    | 706                       | 6                                    |
| 60PK(0/4)+40PN(4/8)+8ÇP             | 37                | 824                       | 15                                  | 792                       | 9                                    | 792                       | 15                                   | 789                       | 13                                   |
| 60PK(0/4)+40PN(4/8)+10ÇP            | 28                | 978                       | 41                                  | 921                       | 28                                   | 954                       | 37                                   | 934                       | 31                                   |
| 50PK(0/4)+50PN(4/8)+6ÇP             | 35                | 789                       | 15                                  | 779                       | 7                                    | 776                       | 12                                   | 864                       | 13                                   |
| 50PK(0/4)+50PN(4/8)+8ÇP             | 33                | 849                       | 16                                  | 808                       | 12                                   | 777                       | 13                                   | 834                       | 18                                   |
| 50PK(0/4)+50PN(4/8)+10ÇP            | 30                | 864                       | 14                                  | 842                       | 15                                   | 898                       | 28                                   | 859                       | 23                                   |
| 70PK(0/4)+15PK(4/8)+15PN(8/16)+6ÇP  | 41                | 820                       | 14                                  | 795                       | 12                                   | 766                       | 16                                   | 785                       | 16                                   |
| 70PK(0/4)+15PK(4/8)+15PN(8/16)+8ÇP  | 38                | 830                       | 15                                  | 804                       | 12                                   | 813                       | 19                                   | 808                       | 19                                   |
| 70PK(0/4)+15PK(4/8)+15PN(8/16)+10ÇP | 37                | 806                       | 16                                  | 829                       | 24                                   | 814                       | 22                                   | 826                       | 28                                   |
| 60PK(0/4)+20PK(4/8)+20PN(8/16)+6ÇP  | 41                | 736                       | 7                                   | 747                       | 6                                    | 746                       | 11                                   | 773                       | 17                                   |
| 60PK(0/4)+20PK(4/8)+20PN(8/16)+8ÇP  | 34                | 859                       | 23                                  | 883                       | 19                                   | 852                       | 21                                   | 817                       | 22                                   |
| 60PK(0/4)+20PK(4/8)+20PN(8/16)+10ÇP | 28                | 894                       | 9                                   | 760                       | 26                                   | 906                       | 37                                   | 877                       | 40                                   |
| 50PK(0/4)+25PK(4/8)+25PN(8/16)+6ÇP  | 38                | 716                       | 8                                   | 707                       | 4                                    | 708                       | 13                                   | 725                       | 14                                   |
| 50PK(0/4)+25PK(4/8)+25PN(8/16)+8ÇP  | 37                | 702                       | 8                                   | 741                       | 10                                   | 759                       | 13                                   | 754                       | 18                                   |
| 50PK(0/4)+25PK(4/8)+25PN(8/16)+10ÇP | 37                | 728                       | 13                                  | 798                       | 18                                   | 798                       | 16                                   | 771                       | 25                                   |
| 70PK(0/4)+30PN(4/8)+6ÇP             | 44                | 877                       | 8                                   | 838                       | 4                                    | 838                       | 7                                    | 831                       | 11                                   |
| 70PK(0/4)+30PN(4/8)+8ÇP             | 43                | 812                       | 7                                   | 783                       | 3                                    | 810                       | 6                                    | 810                       | 11                                   |
| 70PK(0/4)+30PN(4/8)+10ÇP            | 41                | 908                       | 18                                  | 911                       | 17                                   | 876                       | 15                                   | 871                       | 17                                   |
| 60PK(0/4)+40PN(4/8)+6ÇP             | 43                | 891                       | 5                                   | 894                       | 7                                    | 842                       | 2                                    | 850                       | 8                                    |
| 60PK(0/4)+40PN(4/8)+8ÇP             | 43                | 871                       | 9                                   | 866                       | 9                                    | 903                       | 16                                   | 909                       | 22                                   |
| 60PK(0/4)+40PN(4/8)+10ÇP            | 42                | 924                       | 23                                  | 913                       | 20                                   | 880                       | 15                                   | 892                       | 22                                   |
| 50PK(0/4)+50PN(4/8)+6ÇP             | 42                | 778                       | 3                                   | 807                       | 6                                    | 812                       | 5                                    | 809                       | 11                                   |
| 50PK(0/4)+50PN(4/8)+8ÇP             | 39                | 828                       | 6                                   | 824                       | 7                                    | 803                       | 7                                    | 809                       | 13                                   |
| 50PK(0/4)+50PN(4/8)+10ÇP            | 42                | 820                       | 7                                   | 828                       | 8                                    | 823                       | 8                                    | 841                       | 15                                   |
| 100PM(0/4)+6ÇP                      | 18                | 1288                      | 4                                   | 1256                      | 0,1                                  | 1394                      | 9                                    | 1371                      | 15                                   |



**EK-1 (Devamı)**

|                          |    |      |    |      |    |      |    |      |    |
|--------------------------|----|------|----|------|----|------|----|------|----|
| 100PM(0/4)+8ÇP           | 19 | 1379 | 17 | 1436 | 9  | 1377 | 9  | 1426 | 17 |
| 100PM(0/4)+10ÇP          | 17 | 1478 | 25 | 1431 | 20 | 1409 | 17 | 1436 | 30 |
| 80PM(0/4)+20PM(4/8)+6PÇ  | 16 | 1349 | 4  | 1385 | 9  | 1385 | 9  | 1410 | 18 |
| 80PM(0/4)+20PM(4/8)+8PÇ  | 17 | 1495 | 27 | 1468 | 19 | 1468 | 19 | 1503 | 34 |
| 80PM(0/4)+20PM(4/8)+10PÇ | 16 | 1372 | 19 | 1333 | 15 | 1333 | 15 | 1360 | 21 |
| 70PM(0/4)+30PM(4/8)+6PÇ  | 16 | 1384 | 12 | 1444 | 16 | 1444 | 16 | 1390 | 17 |
| 70PM(0/4)+30PM(4/8)+8PÇ  | 16 | 1345 | 10 | 1368 | 12 | 1368 | 12 | 1424 | 30 |
| 70PM(0/4)+30PM(4/8)+10PÇ | 14 | 1454 | 35 | 1411 | 21 | 1411 | 21 | 1484 | 41 |
| 60PM(0/4)+40PM(4/8)+6PÇ  | 15 | 1356 | 8  | 1465 | 17 | 1465 | 17 | 1456 | 22 |
| 60PM(0/4)+40PM(4/8)+8PÇ  | 16 | 1342 | 10 | 1328 | 12 | 1328 | 12 | 1413 | 25 |
| 60PM(0/4)+40PM(4/8)+10PÇ | 15 | 1397 | 15 | 1434 | 32 | 1434 | 32 | 1482 | 41 |
| 50PM(0/4)+50PM(4/8)+6PÇ  | 16 | 1367 | 7  | 1368 | 13 | 1368 | 13 | 1386 | 22 |
| 50PM(0/4)+50PM(4/8)+8PÇ  | 15 | 1447 | 19 | 1454 | 22 | 1454 | 22 | 1334 | 17 |
| 50PM(0/4)+50PM(4/8)+10PÇ | 13 | 1406 | 21 | 1393 | 20 | 1393 | 20 | 1450 | 37 |
| 40PM(0/4)+60PM(4/8)+6PÇ  | 14 | 1349 | 6  | 1310 | 6  | 1310 | 6  | 1302 | 10 |
| 40PM(0/4)+60PM(4/8)+8PÇ  | 13 | 1416 | 14 | 1371 | 11 | 1371 | 11 | 1409 | 27 |
| 40PM(0/4)+60PM(4/8)+10PÇ | 14 | 1471 | 26 | 1461 | 46 | 1461 | 46 | 1459 | 41 |
| 30PM(0/4)+70PM(4/8)+6PÇ  | 14 | 1365 | 5  | 1418 | 13 | 1418 | 13 | 1306 | 14 |
| 30PM(0/4)+70PM(4/8)+8PÇ  | 13 | 1384 | 15 | 1376 | 20 | 1376 | 20 | 1398 | 30 |
| 30PM(0/4)+70PM(4/8)+10PÇ | 13 | 1301 | 6  | 1339 | 26 | 1339 | 26 | 1236 | 30 |
| 20PM(0/4)+80PM(4/8)+6PÇ  | 14 | 1299 | 5  | 1292 | 10 | 1292 | 10 | 1320 | 17 |
| 20PM(0/4)+80PM(4/8)+8PÇ  | 14 | 1181 | 7  | 1222 | 18 | 1222 | 18 | 1230 | 28 |
| 20PM(0/4)+80PM(4/8)+10PÇ | 13 | 1163 | 6  | 1267 | 21 | 1267 | 21 | 1282 | 27 |
| 100PM(4/8)+6ÇP           | 14 | 1364 | 7  | 1372 | 9  | 1372 | 9  | 1315 | 10 |
| 100PM(4/8)+8ÇP           | 14 | 1366 | 7  | 1349 | 10 | 1349 | 10 | 1370 | 23 |
| 100PM(4/8)+10ÇP          | 13 | 1336 | 14 | 1362 | 23 | 1362 | 23 | 1337 | 28 |