

İnce Agrega Olarak Granüle Yüksek Fırın Cürufunun Beton Özelliklerine Etkisi

Anıl ÇAM*, Osman GENÇEL, Muhammed Yasin DURGUN

Bartın Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Türkiye

**Sorumlu Yazar: anilcamf@yahoo.com.tr*

ÖZET

Beton, çimento, agrega, su homojen olarak karıştırılarak üretilirken kimyasal ve mineral katkı malzemelerindeki gelişme ile dünyadaki beton teknolojisi de sürekli gelişim göstermiştir. Beton, ekonomik olmasından dolayı yüksek dayanım ve dayanıklılık gibi özellikleri daha da geliştirilerek inşaat sektöründe en çok aranan ve kullanılan yapı malzemesi olmaya devam edecektir. Yüksek dayanımlı betonlarda granüle yüksek fırın cürufu içeren betonların performans araştırmaları da hız kesmeden devam etmektedir. Farklı malzemelerin kullanılması ve yeni teknolojilerin uygulanmasıyla bileşenleri ve davranış özellikleri geliştirilmeye devam edilen yüksek dayanımlı betonların sorunları çözüldükçe kullanım alanları genişleyecektir. Bu çalışmada %25, %50, %75 ve %100 oranında granüle yüksek fırın cürufu kum ile yer değiştirilerek betonlar üretilmiştir. Üretilen numuneler üzerinde slump, birim ağırlık, su emme, ultrasonik ses geçiş hızı ve basınç dayanımı deneyleri uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre yüksek fırın cürufu agregası kullanımının mekanik özellikleri bir miktar düşürdüğü, su emme, ultrasonik ses geçiş hızı gibi değerleri ise yükselttiği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Beton, granüle yüksek fırın cürufu, ince agrega, mekanik özellikler

GİRİŞ

Betonun durabilitesini uzun yıllar koruyabilmesi olumlu özelliklerini kaybetmeden sürdürebilmesine bağlıdır. Betonun uzun ömrü boyunca hiç bakım yapmadan kalıcı olması gerekmektedir. Özellikle binalarda başlanan ve devamında yaygınlaşan yüksek dayanımlı betonlar normal dayanımlı betonların yerini alarak gelişmektedir. Bu gelişimin önünü kesmemek ve betonun ekonomikliğini fazla etkilememek amacıyla katkılarla desteklenmelidir. Yüksek fırın cürufu (YFC), yüksek fırınlarda demir üretimi esnasında meydana gelen endüstriyel bir yan üründür.

Fırınlarda en yaygın olarak kullanılan yakıt kok kömürü olup, cevherin yabancı maddelerden arındırılmasına yardımcı olması için flux madde olarak bir miktar kalker taşı da cevherle birlikte üst uçtan fırına girmektedir. Kok kömürünün karbonu, cevherin içerisindeki demir oksitinin oksijeniyle birleşerek karbondioksit ve karbon monoksit olarak fırından ayrılır. Böylece, geride eriyik durumdaki demir ile birlikte, kireç, kok kömürünün külü, silis, alümin, karbon, mangan, fosfor ve sülfür gibi yabancı maddelerden oluşan ve “cüruf” adı verilen

malzeme topluluğunu bırakır. Yoğunluk farkından dolayı, demir ve cüruf ayrı çıkışlarla dışarı alınmaktadır [1].

YFC'nin çimento ve beton sektöründe çok çeşitli kullanım alanları bulunmaktadır. YFC inşaat endüstrisinde genel olarak çimento ile ikame etmek sureti ile değerlendirilmektedir. Literatürde YFC ikameli betonların, kullanılan YFC'nin fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak erken yaş dayanımlarının düşük (7 ile 28 gün arası), ileri yaş dayanımlarının yüksek olduğu (28 günden sonra), betonda işlenebilmeyi arttırdığı, priz süresini uzattığı, terlemeyi, hidrasyon ısısını ve su geçirimsizliğini azalttığı bildirilmektedir. Ayrıca YFC kullanımı ile betonun, klorür geçirimsizliğinin azaldığı, yüksek alkali silika direnci sağladığı, işlenebilirliğinin yüksek olduğu, düşük hidrasyon ısısına sahip olduğu ve donatı korozyonuna karşı direnci artırdığı bildirilmektedir [2].

Literatürde, granüle yüksek fırın cürufu (GYFC) ve taban külünün ince agrega olarak kullanılması betonun bazı dayanıklılık özelliklerini iyileştirdiği dolayısıyla granüle yüksek fırın cürufu ve taban külünün ince agrega yerine ikamesi sonucunda dayanımı yüksek beton elde etmenin mümkün olduğu söylenebilmektedir [3].

GYFC'nin ikame oranlarının artışıyla basınç ve eğilme dayanımlarında düşüş gözlenmiştir. Sebebinin ise GYFC'nin gözenekli yapısından ötürü betonda boşlukluluğu artırması olarak değerlendirilmiştir. GYFC ikameli betonlarda su emme oranında %75 ve %100 oranlarında artış olabildiği gözlenmiştir. Yaş birim ağırlığında ise ikame oranları artmasıyla GYFC'li numunelerin yaş birim ağırlığının azaldığı tespit edilmiştir [4].

YFC geçirimsizliği, yüksek mukavemeti, ateşe dayanıklılığı, ekstra sertliği, yalıtkanlığı ve hafifliğinden dolayı tercih edilir. Taze betonda işlenebilmeyi artırmakta, terlemeyi azaltmaktadır. Hidrasyon ısısını azaltarak, priz süresini uzatmaktadır. Sertleşmiş betonun su geçirimsizliğini azaltmakta ve sülfata dayanıklılığı artırmaktadır [5].

Granüle yüksek fırın cürufunun hidrolik bağlayıcılığı, çok ince öğütüldüğünde yükseleceğinden, Portland çimentosundan daha ince olacak şekilde en az 400 m²/kg inceliğe kadar öğütülmelidir [6].

Bu çalışmada GYFC ince agrega yerine çeşitli oranlarda kullanılarak beton üretimi gerçekleştirilmiştir ve elde edilen betonların birim ağırlık, işlenebilirlik, su emme, ultrases geçiş hızları ve basınç dayanımları incelenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Malzemeler

Bartın Sanko çimento fabrikası ürünü olan CEM I 42,5 R çimentosu, Bartın yöresi kırma kum agregası, süper akışkanlaştırıcı ve şehir şebeke suyu kullanılmıştır. Kum ikame malzemesi olarak Karabük-Demir Çelik Fabrikası'ndan kum boyutunda yüksek fırın cürufu temin edilmiştir. Çimentonun özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. CEM I 42,5 R kimyasal özellikleri

| İçerik | CEM I 42,5 R |
|--------------------------------|--------------|
| SiO ₂ | 19,57 |
| Al ₂ O ₃ | 5,53 |

| | |
|--------------------------------|-------|
| Fe ₂ O ₃ | 2,86 |
| CaO | 64,44 |
| MgO | 2,09 |
| SO ₃ | 2,81 |
| Cl | 0,018 |
| Na ₂ O | 1,18 |

Agregaların fiziksel özellikleri Çizelge 2’de verilmiştir. Granülometrik dağılım Çizelge 3’de görülmektedir.

Çizelge 2. Agregalar örneklerinin fiziksel özellikleri

| Fiziksel özellikler | Agrega Grubu | Deney Sonucu |
|-------------------------------------|-------------------|--------------|
| Tane Yoğunluğu (g/cm ³) | Kırma kum (0-4mm) | 2,68 |
| | YFC (0-4mm) | 2,08 |
| | 4-22,4 mm | 2,66 |
| Su Emme Oranı (%) | Kırma kum (0-4mm) | 0,80 |
| | YFC (0-4mm) | 1,235 |
| | 4-22,4 mm | 0,62 |

Çizelge 3. İnce agregaların granülometrik dağılımı

| Elek boyutu (mm) | % Geçen | |
|------------------|---------|-----------|
| | YFC | Kırma kum |
| 4 | 99,4 | 100 |
| 2 | 90,7 | 72,1 |
| 1 | 61,3 | 54,6 |
| 0,5 | 17,7 | 31,2 |
| 0,25 | 2,8 | 10 |

Yüksek fırın cürufunun kimyasal analizi Çizelge 4’te verilmiştir.

Çizelge 4. Yüksek fırın cürufunun kimyasal analiz sonuçları

| İçerik (%) | YFC |
|--------------------------------|-------|
| SiO ₂ | 35,09 |
| S | 0,66 |
| Al ₂ O ₃ | 17,54 |
| FeO | 0,7 |
| CaO | 37,79 |
| MgO | 5,5 |
| P ₂ O ₅ | 0,37 |
| MnO | 0,83 |

Katkı malzemesi olarak kullanılan süper akışkanlaştırıcı katkı malzemesinin özellikleri Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 5. Katkı maddesinin özellikleri

| Malzeme Yapısı | Analiz değerler |
|----------------|-------------------|
| Renk | Kahverengi |
| Yoğunluk | 1,069-1,109 kg/lt |
| Klor % | <0,1 |
| Alkali % | <3 |

2.2. Yöntem

Hazırlanan beton karışımının planı Çizelge 6'da verildiği gibidir.

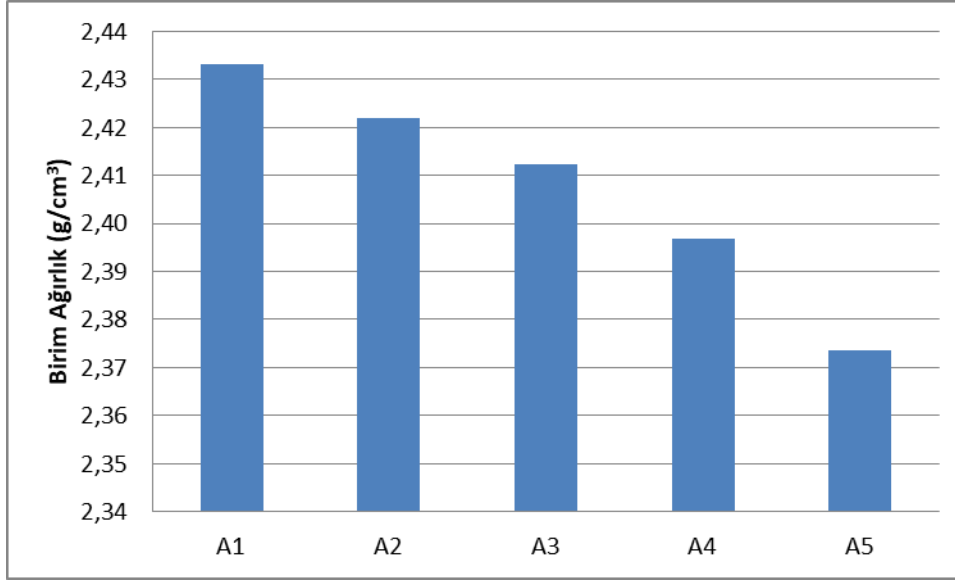
| Seri adı | Çimento (kg/m ³) | Su/Çimento | İri Agregada (kg/m ³) | Kırma kum (%) | YFC agregası (%) |
|----------|------------------------------|------------|-----------------------------------|---------------|------------------|
| A1 | 300 | 0,40 | 1100 | 100 | 0 |
| A2 | 300 | 0,40 | 1100 | 75 | 25 |
| A3 | 300 | 0,40 | 1100 | 50 | 50 |
| A4 | 300 | 0,40 | 1100 | 25 | 75 |
| A5 | 300 | 0,40 | 1100 | 0 | 100 |

Üretilen örnekler slump testi yapıldıktan sonra 150 mm çapında 300 mm yüksekliğinde silindir kalıplara dökülmüştür. Numuneler 24 saat sonra kalıplardan çıkartılarak kirece doygun kür havuzlarında 7 ve 28 günlük süreler boyunca kürlenmiştir. Bu sürelerin sonunda numunelerin ıslak ağırlıkları ve kuru ağırlıkları tartılarak su emme değerleri ve birim ağırlıkları tayin edilmiştir. Kuru numunelere ultrasonik ses geçiş hızı testleri uygulanmıştır. Daha sonra örneklere tek eksenli basınç dayanımı testleri uygulanmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Birim Ağırlık

Örneklerin 28 günlük birim ağırlık değerleri Şekil 1'de verildiği gibidir.

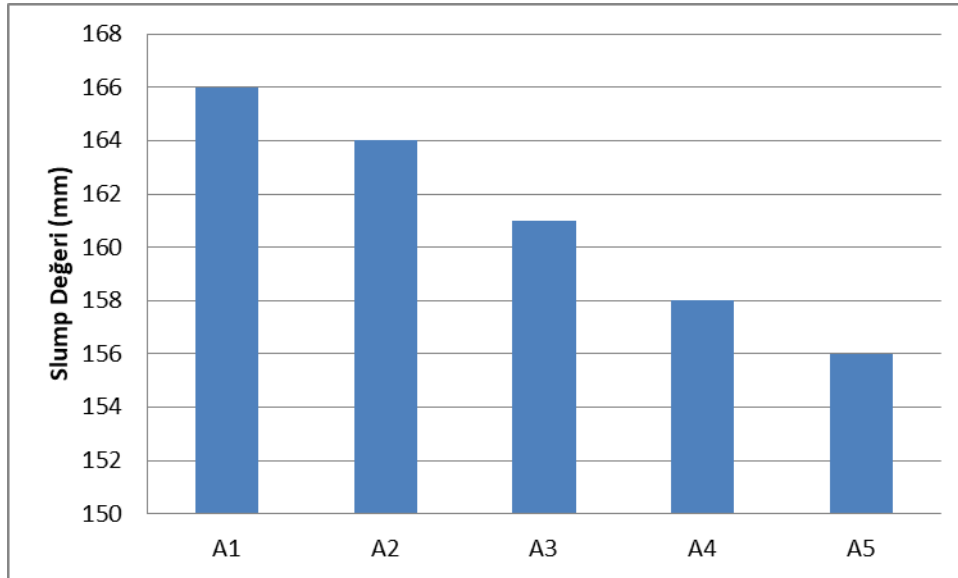


Şekil 1. 28 günlük betonların birim ağırlık değerleri

Sonuçlar incelendiğinde değerlerin yaklaşık olarak birbirlerine yakın olduğu görülmektedir. En düşük değer %100 yüksek fırın cürufu agregası içeren A5 numunesinden elde edilmiştir. Bu değer yaklaşık $2,37 \text{ g/cm}^3$ 'tür. En yüksek değer ise yaklaşık $2,43 \text{ g/cm}^3$ olarak %100 kum kullanılarak üretilen A1 örneğinden elde edilmiştir. Bunun nedeni yüksek fırın cürufu agregalarının geleneksel beton ince agregalarından daha hafif olmasına bağlanabilir.

3.2. İşlenebilirlik

Üretilen taze betonlara uygulanan slump testlerinden elde edilen sonuçlar Şekil 2'de verildiği gibidir.



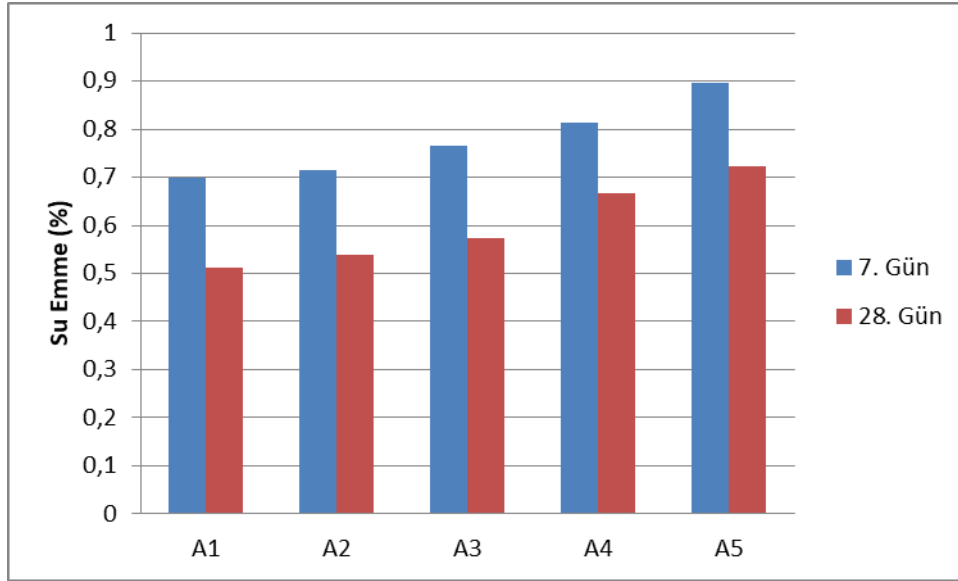
Şekil 2. Slump değerleri

Üretilen örneklerin işlenebilirlik değerleri arasında kayda değer bir fark bulunmamakla birlikte karışımda yüksek fırın cürufu agregası miktarının artmasıyla çökme değerinin daha

düşük olduğu görülmektedir. Bu durum yüksek fırın cürufu agregalarının geleneksel beton agregalarından daha hafif olmasıyla açıklanabilir. Karışımda bulunan yüksek fırın cürufu agregasının miktarındaki artışla birlikte daha hafif karışımlar ortaya çıktığı birim ağırlık sonuçlarından da görülmektedir. Bununla birlikte yüksek fırın cürufu agregalarının gözenekli yapıları su emme değerlerinin daha yüksek olmasına neden olacaktır. Dolayısıyla sabit su içeriği için çökme değerlerin azalma meydana getirmesi beklenmektedir.

3.3. Su Emme Değerleri

7 ve 28 günlük örneklerin su emme değerleri Şekil 3'te verildiği gibidir.

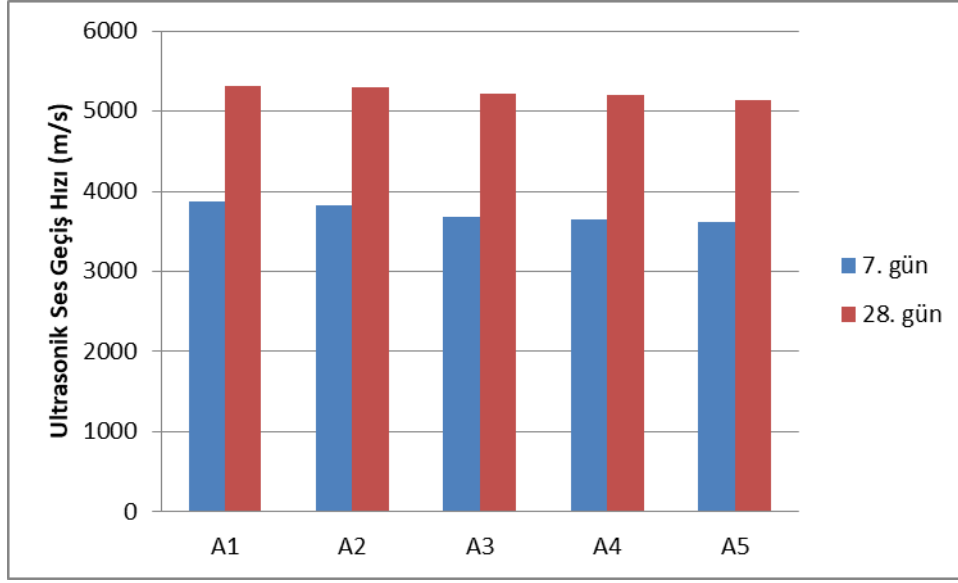


Şekil 3. 7 ve 28 günlük örneklerin su emme değerleri

Elde edilen 7 ve 28 günlük su emme değerlerine bakıldığında bütün değerlerin %1'in altında olduğu görülmektedir. Her iki yaş için de en düşük su emme değerleri %100 kum içeren A1 numunesinde elde edilmiştir. Yüksek fırın cürufu agregasının kum ile yer değiştirmesi sonucu su emme değerleri yükselmiştir. Ancak meydana gelen artış %0,2 gibi küçük bir değer olmuştur. Bu artışın nedeni yüksek fırın cürufu agregasının geleneksel agregalara göre daha fazla boşluk içermesi ve su emme kapasitesinin yüksek olmasına bağlanabilir (Bkz. Çizelge 2). 7 ve 28 günlük değerler kendi içerisinde incelendiğinde 28. günde daha düşük su emme değerleri elde edilmiştir. Bu durum zamanın ilerlemesiyle hidratasyon reaksiyonlarının ilerlemesi ve beton içyapısının daha sıkı olması ile ilişkilidir.

3.4. Ultrases Geçiş Hızları

7 ve 28 günlük örneklere uygulanan ultrasonik ses geçiş hızı testinin sonuçları Şekil 4'te verildiği gibidir.

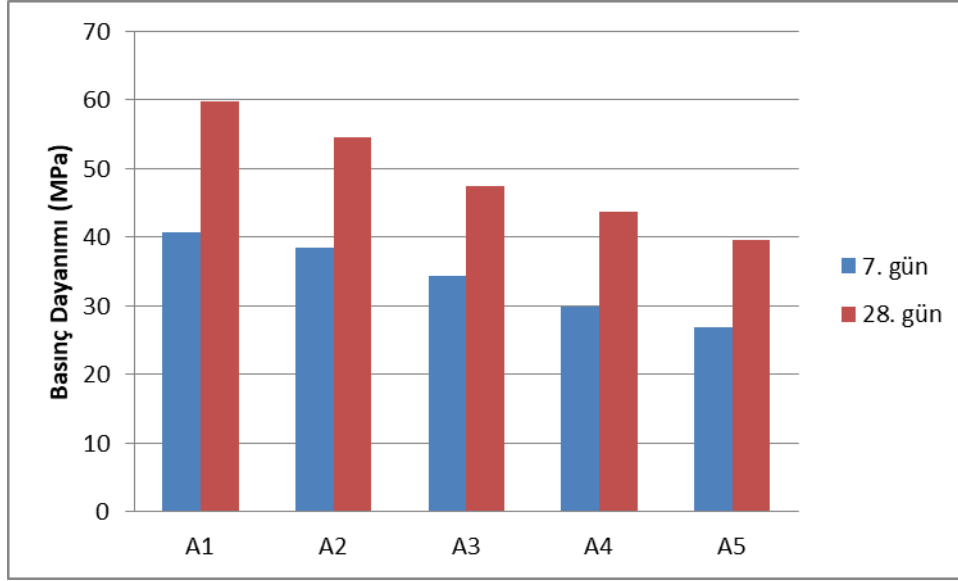


Şekil 4. Ultrasonik ses geçiş hızları

Ultrasonik ses geçiş hızı deneyi, bir ses dalgasının malzemeyi ne kadar sürede kat ettiği esasına dayalı bir testtir. Bu testten elde edilen sonuçlar ile mekanik özellikler arasında bir ilişki olduğu bilinmektedir. Bir malzemenin içyapısı daha dolu ve sıkı ise, ses dalgalarının bu malzeme içerisinden geçişi daha hızlı olacaktır. Boşluklu malzemelerde ise ses geçişi daha yavaş olacak, malzeme içerisindeki boşluklar izolasyon meydana getirecektir. Yalıtım malzemeleri bu esasa göre üretilirler. Beton örnekler üzerinde yapılan testlere göre yüksek fırın cürufu agregası kullanımının ultrasonik ses geçiş hızı değerlerinde bir miktar azalmaya neden olduğu görülmektedir. Bu azalmanın mertebesi çok yüksek değildir ancak yüksek fırın cürufu agregalarının boşluklu içyapısı ses dalgalarının daha yavaş bir şekilde numunenin diğer ucuna ulaşmasına neden olmuşlardır. 7 ve 28 günlük sonuçlar kendi içerisinde incelendiğinde 28 günlük örneklerden ses dalgalarının daha hızlı geçtiği görülmektedir. Bu durum hidrasyon gelişimine bağlı olarak malzemenin içyapısında meydana gelen iyileşmelerle açıklanabilir.

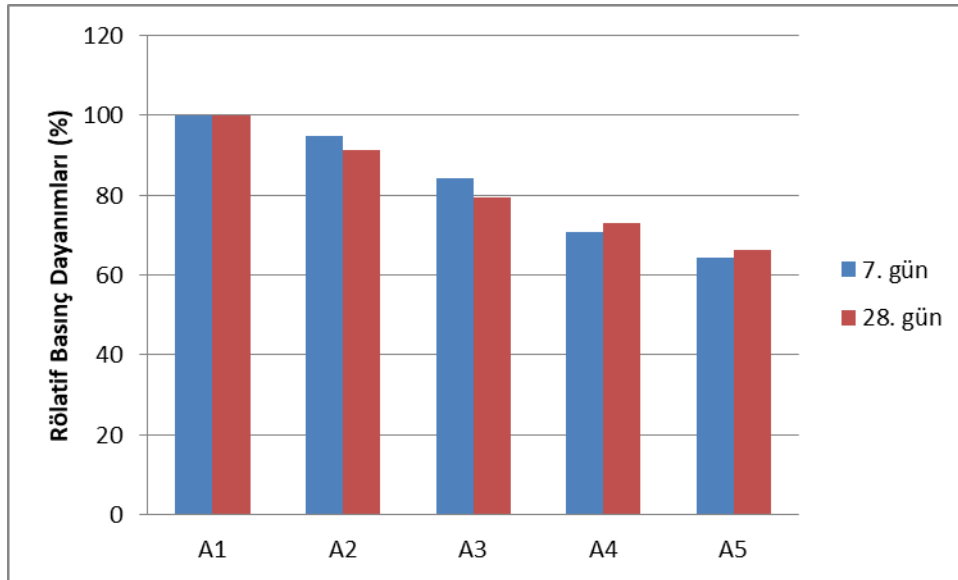
3.5. Basınç Dayanımı

Numunelerden elde edilen 7 ve 28 günlük basınç dayanımı değerleri Şekil 5'te verildiği gibidir.



Şekil 5. Basınç dayanımı sonuçları

Elde edilen sonuçlara göre en yüksek basınç dayanım değeri her iki yaş grubu için de A1 grubundan (%100 kum içeren) elde edilmiştir. Bu değerler sırasıyla 40,7 ve 59,7 MPa'dır. En düşük sonuçlar ise %100 yüksek fırın cürufu agregası ile üretilen A5 serisinden elde edilmiştir. Burada elde edilen sonuçlar ise sırasıyla 26,9 ve 39,5 MPa'dır. Şekil 6'da basınç dayanımı değerlerinin %100 kum ile üretilen referans örneğine göre rölatif değişimleri görülmektedir.



Şekil 6. Rölatif basınç dayanımı sonuçları

Şekil 6'ya göre 7 günlük değerlere göre rölatif basınç dayanımları sırasıyla %100, %94,6, %84,3, %70,8 ve %64,3 olarak bulunmuştur. 28 günlük sonuçlara göre ise %100, %94,3, %82,7, %73 ve %66,2 şeklindedir. Bu sonuçlara göre %100 oranında yüksek fırın cürufu agregası kullanıldığında örneklerin basınç dayanımı 7. günde %35,7 ve 28. günde %33,9 oranında düşmektedir. Bu değerler matematiksel açıdan bir sorun olarak görülse de elde

edilen basınç dayanımı değerleri incelendiğinde elde edilen değerlerin 2018 yılından yayınlanan Türk Bina Deprem Yönetmeliği'nde belirtilen, deprem bölgelerinde kullanılması gereken minimum beton sınıfı olan C25 değerinin üzerinde olduğu görülmektedir. Aynı zamanda basınç dayanımı sonuçları birim ağırlık değerleri ile birlikte yorumlandığında, yüksek fırın cürufu agregası kullanımının beton ağırlığını düşürmesi, yapı ağırlığının da düşmesi anlamına gelecektir. Böylece depremsellik bakımından avantaj sağlanmış olacaktır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan deneysel çalışmalardan aşağıdaki sonuçlara varılabilir;

- 1) Yüksek fırın cürufu agregası kullanımı birim ağırlık değerlerini hafifçe düşürmüştür. A1 örneğinde 2,43 g/cm³ olan değer, 2,37 g/cm³'e kadar düşmüştür.
- 2) Yüksek fırın cürufu agregası kullanımı çökme değerlerinin daha düşük olmasına neden olmuştur. Bu agregaların hafifliği ve su emme değerleri ile ilişkilidir.
- 3) Beton örneklerin su emme değerleri yüksek fırın cürufu agregası miktarı arttıkça artmıştır. Bu sonuç yüksek fırın cürufu agregalarının su emmesinin yüksek olması ile bağlantılıdır.
- 4) Ultrasonik ses geçiş hızların yüksek fırın cürufu agregası kullanımı ile azalmıştır. Bu durum yüksek fırın cürufu agregalarının geleneksel agregalara göre daha fazla boşluk içermesi ile bağlantılıdır.
- 5) Yüksek fırın cürufu agregalarının kullanımı basınç dayanım değerlerini düşürmüştür. Ancak tamamen yüksek fırın cürufu agregası kullanılması durumunda dahi elde edilen değerler minimum koşulları sağlamaktadır.

Yapılan çalışmanın sonucunda yüksek fırın cürufu agregalarının geleneksel beton agregalarının yerine belirli oranlarda kullanılabileceğini göstermiştir. Bu konuda daha kapsamlı çalışmalar yapılarak, beton özellikleri çok yönlü olarak değerlendirilip optimum oranlar elde edilmelidir. Böylece demir-çelik endüstrilerinin bir atığı olan yüksek fırın cürufunun agrega olarak kullanımı bakımından yeni alanlar ortaya çıkacaktır.

KAYNAKLAR

- 1) Bilim C., "Yüksek Fırın Cürufu Katkısının Çimento Tabanlı Malzemelerde Kullanılabilirliği" Dr. Tezi Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Adana (2006).
- 2) Emiroğlu, V.,vd., "Yüksek Fırın Cürufunun Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi", 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 May 2011, Elazığ, Turkey, 113-117.

- 3) Yüksel İ, Bilir T and Özkan Ö (2007) Durability of Concrete Incorporating NonGround Blast Furnace Slag and Bottom Ash as Fine Aggregate, Building and Environment, 42: 2651-2659.
- 4) Yüksel İ, Özkan Ö ve Bilir T (2003) Granüle Yüksek Fırın Cürufunun Betonda İnce Agregada Olarak Kullanımı, 5. Ulusal Beton Kongresi Bildiriler Kitabı, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, İstanbul, 471-481.
- 5) Beycioğlu A, Başyigit C, Subaşı S (2008). Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanımı ile Geri Kazanılması ve Çevresel Etkilerinin Azaltılması. Çevre Sorunları Sempozyumu, I.Cilt, 1386-1394, Kocaeli.
- 6) Newman, J. & Choo, B. S., 2003. Advanced Concrete Technology. Oxford: Elsevier.