



AYDA BETON DÖKÜLEBİLİR Mİ?

Bu çalışmada, Ay üzerinde yapılması planlanan üs ve yerleşim birimlerinin inşasında kullanılmak üzere en ekonomik yapı malzemesi olarak üretilmesi planlanan beton türünün özellikleri dünyada yapılmış çalışmalardan da yararlanılarak araştırıldı. Bu tür betonun ay üzerinde hangi koşullar altında, nasıl üretilebileceği ve üretim teknikleri bir araştırma yazısı olarak siz okuyuculara sunuldu. Buna göre, ayda bina yapımı için gerekli malzemelerin (betonarme demiri) ve betonun üretiminde kullanılacak malzemelerin (kum-çakıl, su, çimento) ay toprağından elde edilebiliyor. Ayrıca, ay koşullarında beton dökülebilmesi için de çeşitli yöntemler geliştirildi. Sonuç olarak, ayda beton dökülebilmesi ve bina yapımı beton teknolojisi açısından olanaklıdır. Bu söz konusu bilgiler yazı içerisinde daha detaylı olarak verilmiştir.

1960'lı yılların sonunda uzay çalışmaları yoğunlaştı ve insanoğlu aya ayak bastı. Bundan sonra diğer gezegenlere seyahat etme projeleri geliştirmeye başladı ve bu amaçla ayda bir üs kurulması fikri oluştu. Bu çerçevede, ayda yapılaşmanın kurulması için de planlamalar yapıldı. Ayda yapılaşmanın sağlanabilmesi için bilim adamları çok çeşitli çalışmalar yaptılar. Bunun için de en uygun malzemenin beton olduğu görüldü. Bununla beraber, 2004 yılında USA Başkanı George W. Bush ayda uzay üssü kurulması, ayda yaşam, ay toprağıının solunabilir hava ve roket yakıtı olarak kullanılması, ayın Mars'a yolculukta üs olarak kullanılması konularında araştırmaları içeren 2020 yılına kadar sürecek uzay programını açıkladı. Uzay turizmi, sanayileşmesi, oksijen ve He3 depolama tesisleri, iniş ve hareket etme yapıları ile yüzey nakliye sistemlerinin hepsi büyük hacimde inşaat malzemeleriyle yapılabiliyor. Bu nedenle, yapılacak binaların ve yapıların maliyetleri yüksek oluyor. Bu kadar malzemenin dünyadan taşınması ekonomik değildir. Ayda yapılaşma yerel ay malzemesinden yararlanarak yapılmalıdır.

Ayda Beton Malzemelerinin Elde Edilmesi

Ayda betonunun özelliklerinin belirlenmesi ve beton malzemelerinin yerel olarak üretimi için, Amerikan Beton Enstitüsü ve Amerikan Standartlar Enstitüsü (ACI ve NIST) tarafından 1980'li yıllarda özel bir çalışma grubu kuruldu. Bu grup ve

bir takım araştırmacılar tarafından barınmanın nasıl yapılacağı, beton ve betonarme malzemelerinin elde edilmesi (çimento üretimi, su elde edilmesi, demir elde edilmesi, hammadde elde edilmesi v.b.), beton yapımı ve bu malzemelerin aydaki çevre koşulları uyumu araştırıldı ve bir takım sonuçlara ulaşılar.

Söz konusu çalışmalara göre, öncelikle ayın atmosferi olmadığından yapılacak bu yapılarda barınacak olan insanların güneşin direkt radyasyon etkilerinden korunması gerekliliği dikkate alındı. Radyasyon etkilerine karşı ve taşıyıcı nitelikte en ekonomik yapı malzemesi betondur. Aydaki yerel malzemelerin agrega ve çimento yapımı için çok uygun oldukları aydan getirilen örnek

ler üzerinde yapılan deneyler sonucunda belirlendi.

Agrega (Kum-Çakıl, Kırmataş)

Ay toprağıının agrega (kum-çakıl) olarak kullanıldığı küp beton numunelerinde yapılan deneylerde basınç dayanımının 70 MPa'ın üzerinde çıktı. Bu dayanım, beton hakkındaki bilginin ve yeni beton teknolojilerinin geliştirilmesinde uzmanlaşmış Amerikan Beton Enstitüsü (ACI) standartlarında belirtilen yapı tasarımı için gerekli dayanımın iki katıdır. Bu yüzden, ay toprağıından elde edilen kırmataş agrega (kum-çakıl) kullanılmasıyla üretilen beton yapılaşmada kullanılabilir.

Çimento

NASA'dan alınan anorthosit kayaları ve ay bazaltı çimento malzemeleri formüle etmek üzere uygun buhar koşullarında yüksek bağlayıcılık performansı göstererek 49 MPa harç dayanımına ulaşmıştır. Bu dayanım da dünyada üretilen çimentolar için uygun bir dayanım değeridir. Bu durum, ay toprağıından çimento üretilebileceğini bize göstermektedir.

Su

Söz konusu betonla yapılan ay yapıları radyasyon, güneş kaynaklı aygıtlar, ayın aşırı sıcaklık ve sıcaklık değişimleri (gündüz 120 °C olan sıcaklığın gece -157 °C'lere kadar düşmesi), farklı yer çekimi ve hava basıncı (1.62 m/sn², 10-13





atm.), hızlı buharlaşma, gibi çevresel koşullara uyum sağlayabilmelidir. Ay atmosferi gaz konsantrasyonunun dünyaya göre 14 kat daha az (104-105 molekül/cm³) olmasından dolayı vakum etkisine sahiptir. Bu durumda oksijen ve suyun üretilmesi için regolit olarak adlandırılan 4-15 m arasındaki ay toprağından yararlanılır. Ay toprağındaki silikatların veya ilmenitteki hidrojenin (H₂) indirgenmesi ile su ve suyun elektrolizi ile de oksijen (O₂) elde edebiliyoruz.

Ayda başka su kaynakları da bulunuyor. 1998'de NASA'nın maden arama ekibi ayın kutup bölgelerinde toprakla karışık buzun varlığına rastladı. Suyun devamlı don altındaki alt toprak tabakasından elde etmenin olanaklı olduğunu düşünüyoruz. Kuzey ve güney kutuplardaki akış düşmesi verilerine göre kuru regolit tabakasının yaklaşık 50 cm altında bağlı veya serbest su-buz tortuları vardır. Her kutupta 3 milyon m³ su-buz karışımı olduğunu tahmin ediyoruz. Bu kutuplardaki suyun kullanılması ile beton üretimi ve yapılaşmanın önü açılıyor. Suyu üretebilme olanağımız da ayda ekonomik ve teknik açıdan beton dökmemizi sağlayan faktörlerden birisi.

Betonarme Demiri Üretimi

Ayrıca, yine karbotermal indirgeme ve hidrojenin (H₂) indirgenmesi ile ay toprağı numunesinden demir elde edebiliyor. Su sıvı hidrojenin FeTiO₃, FeO₂ veya sıvı oksijenle reaksiyonu sonucu elde ediliyor. Oksijen ve suyun ay ilmelitinden elde edilmesinde hidrojenin indirgenmesi işlemi araştırmacılar tarafından ortaya kondu ve bilim camiasında kabul gördü. Bu işlemin artık maddesi demir ve titanyum oksit bileşimidir. Bu bileşimle çekme dayanımı yüksek çubuk ve liflerin üretilmesi söz konusudur.

Regolit numunesi eritildiğinde metaller Fe-Si-P alaşımları şeklinde oluşuyor, sıvı matris içinde gelişen daha sonraki eritme işlemleri sonunda ise metallerin daha rahat çözünmesi sonucu % 95 oranında saf demir elementleri elde ediliyor. Bir başka deyişle, ay toprağından beton üretiminde kullanılabilecek suyun yanında aynı işlem sonucunda betonarme yapının üretimi için gerekli demiri (donatısı) üretebiliyor.

Ayda Bina Yapımı

Ayda yapılaşma için gerekli tüm çalışmalar beton ve çimento teknolojileri konusunda uzman bilim adamları tarafından gerçekleştirildi. Aya insanlığınu yerleşmesi ve yapılaşmanın gerçekleştirilmesinde aydaki ortam koşullarına göre gerekli tüm malzemelerin üretim yöntemleri (çimento, su, agrega, demir donatı) ve inşa edilecek beto-

narme yapıların yapımında kullanılması gereken yeni yapım teknikleri teorik ve deneysel olarak belirlendi. Ayda yerleşim birimleri kurmanın ve uzayın derinliklerin keşfi için bir geçiş üssü olarak kullanmanın insanoğlu için artık birer hayal olmadığını görülmüyor. Hatta şunu da söylenebilir; gelecek kuşaklar ayda, Marsta hatta uzaya binalar inşa edecek, yerleşim birimleri, şehirler kuracak ve insanoğlunun medeniyetini çok uzaklara taşıyacaklar. Horasan harcı, kerpiç, tuğla ve mermer gibi yapı malzemelerinin kullanımıyla gelişen medeniyetimiz çok daha ilerilere gidecek.

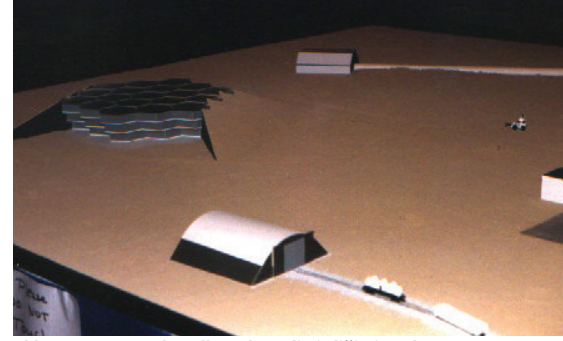


Bina Yapım Teknikleri

Ayrıca, bu yapıların inşaa aşamasında kullanılabilecek yapım tekniklerini bilim adamları geliştirdi. Taiwan'da Chiago-Tung Üniversitesinde kuru karışım/buhar enjeksiyon (KKBE) sistemi temel olarak uzayda beton dökmek üzere gerçekleştirildi. Çimento ve agregalar kuru bir yüzeyde karıştırılarak sınırlanmış özel bir odada yüksek sıcaklıkta su buharı ile bakım uygulandı. En yüksek dayanım değerlerini veren bakım; 18 saat süre ile 160±180°C (0.62±1.0 MPa) buhar küre olarak belirlendi. Bu sistemle betonda kullanılacak çimento ve su miktarları azalıyor ve betonun dayanım kazanma hızı artıyor. Böylece, daha kısa sürede istenilen dayanıma ulaşıyor.

Sonuç

Sonuç olarak, ay toprağından, çimento, agrega (kum-çakıl) ve su elde edilerek beton üretiliyor. Aynı zamanda, betonarme yapının demir donatısı da üretilerek ayda betonarme yapılar inşa edebiliyor. Dolayısıyla, sadece ay toprağına bir takım işlemler uygulayarak yapılaşma için gerekli tüm yapı malzemelerini yine yerinde sağlıyor. Yani, beton üretimi için gerekli çimento, kum ve çakıl ya da kırmataşı ay toprağından üretiliyor. Bunun yanında, beton malzemelerini sağla-



dıktan sonra ay koşullarında geliştirdiğimiz tekniklerle beton dökülebilir. Böylece, ayda yapılaşmanın gerçekleştirilebilir bir olay olduğu ortaya konmuş oluyor. Her ne kadar söz konusu çalışmalar bir takım uluslar arası kuruluşların desteğiyle yabancı bilim adamları tarafından yapılmış olsa da Türk bilim adamları ve Mühendisleri de bu tür malzemeleri ayda ay toprağından üretme ve bu malzemeleri kullanarak beton üretiminin gerçekleştirilmesinde yeterli Beton Teknolojisi deneyimi ve bilgi birikimine sahiptirler. İnsanoğlunun medeniyetini önce aya sonra uzaya taşımasında Türk bilim adamları da yerlerini alacaklardır.

Prof. Dr. İlker Bekir Topçu,
Arş. Gör. Turhan Bilir
ESOGÜ, Müh. Mim. Fak., İnşaat Müh. Bölümü,
E-posta: ilkerbt@ogu.edu.tr

Kaynaklar

- İ.B. Topçu, (2006) Beton Teknolojisi, 570 s., Eskişehir.
- T. D., Lin, (1987) Concrete for Lunar Base Construction, ACI Concrete International, V.9, N.7, pp. 48-53.
- R. Agha, (2005) Space exploration-Surgical insights and future perspectives International Journal of Surgery, Vol. 3, pp. 263-267.
- P. Jakeš, Institute of Geochemistry, Mineralogy and Mineral Resources, Faculty of Science, Charles University
- H. Benaroya, Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Rutgers University, 98 Brett Road, Piscataway USA.
- PW Weiblen, MJ Murawa, KJ Reid, Preparation of simulants for lunar surface materials, Engineering, Construction and Operation in Space II, pp. 428-435.
- David S. McKay, James L. Carter, Walter W. Boles, Carlton C. Allen, Judith H. Allton JSC-1: A New Lunar Soil Simulant Engineering, Construction and Operations in Space IV, ASCE.
- V.M. Kenkre, L. Skala, M.W. Weiser, J.D. Katz, (1991) Theory of microwave interactions in ceramic materials: the phenomenon of thermal runaway. Journal of Materials Science, 26
- G. Scott Hubbard, William Feldman, S. A. Cox, M. A. Smith, L. Chu-Thielbar, (2002) Lunar Prospector: First Results and Lessons Learned, Acta Astronautica, Vol. 50, No. 1, pp. 39-47.
- S. Sen, C. S. Ray, R. G. Reddy, (2005) Processing of lunar soil simulant for space exploration applications, Materials Science and Engineering A 413-414, pp. 592-597.
- R. K. Tripathi, J. W. Wilson, F. A. Cucinotta, B. M. Anderson, L. C. Simonsen, (2003) Materials trade study for lunar/gateway missions, Adv. Space Res. Vol. 31, No. 11, pp. 2383-2388.
- A. Hepp et al., (1994) Journal of Propulsion and Power, NASA
- G. A. Landis (1996) Workshop on Space Resource Utilization, Lunar and Planetary Institute, Houston; SPS-97: Space and Electric Power for Humanity, pp. 311-318.
- N. Sua, Y-N. Peng, (2001) The characteristics and engineering properties of dry-mix/steam-injection concrete, Cement and Concrete Research 31, pp. 609-619.
- J. D. Mackenzie, R. Claridge, (1979) Glass and Ceramics from Lunar Materials, Space Manufacturing Facilities 3, AIAA, NY.

