KÜKÜRTLÜ BETONDAKİ SON GELİŞMELER

RECENT DEVELOPMENT OF SULFUROUS CONCRETE

Prof. Dr. İlker Bekir TOPÇU
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, ilkerbt@ogu.edu.tr, (sorumlu yazar), ORCİD NO: 0000-0002-2075-6361

Muhammed Emre DANIŞ
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, m.emre44@gmail.com
ORCİD NO: 0000-0002-3594-3231

ÖZET

Gelişen beton teknolojileri içerisinde henüz yeni sayılabilecek beton türü olan kükürtlü beton, diğer adıyla susuz beton, kendisine has özelikleri ile geleneksel portland çimentolu betona göre avantajları ile öne çıkmaktadır. Su kullanılmadan, ısı enerjisi ile bağlayıcılık kazanan kükürt, agrega ve çeşitli katkılarla dayanımı daha yüksek bir beton ortaya çıkmaktadır. Son zamanlarda bilim insanlarının ilgisini çeken kükürtlü beton üzerinde onlarca çalışma yapılmıştır. Çeşitli uygulamalarda da kullanılan kükürtlü beton, inşaatın bir çok alanına uygulanabilecek özeliklere sahiptir. Ayrıca prizlenme süresi, düşük boşluk oranı, asidik ve tuzlu ortam koşullarına karşı yüksek direnci gibi önemli parametrelerde üstün özelikleri ile karşımıza çıkmaktadır. Susuz beton üretimi ile ilgili yapılan bu yeni çalışmalar, betonun yapı sektöründe vazgeçilmez bir malzeme olarak kullanılması özelliğini sağlamlaştırmıştır (1,2 Işıkdağ ve Topçu, 2018;). Susuz beton aynı zamanda çeşitli kuruluş ve ülkelerin ayda kullanılmasının da olası olduğunu kanıtlamıştır. Ayın regolit tabakasında bulunan ve çeşitli metotlar ile elde edilen kükürtün ısı enerjisi ile beton formuna dönüşmesi sonucu ayda yapı inşa edilmesine olanak sağlamıştır. Bu bildiri de kükürtlü betonun özelikleri anlatılacak olup son gelişmelere yer verilecektir.

Anahtar kelimeler: Kükürtlü beton, susuz beton, dayanım, kullanım alanları, son gelişmeler.

ABSTRACT

Sulfur concrete, also known as waterless concrete, which can be considered as a new type of concrete among the developing concrete technologies, stands out with its unique features and advantages compared to traditional portland cement concrete. A concrete with higher strength emerges with sulphur, aggregate and various additives that become binding with heat energy without the use of water. Recently, many studies have been carried out on sulfur concrete, which has attracted the attention of scientists. Sulfur concrete, which is also used in various applications, has properties that can be applied to many areas of construction. In addition, it appears with its superior properties in important parameters such as setting time, low void ratio, high resistance to acidic and salty environment conditions. These new studies on the production of waterless concrete have strengthened the feature of using concrete as an indispensable material in the construction industry (1,2 Işıkdağ ve Topçu, 2018;). Waterless concrete has also proven that it is possible for various organizations and countries to be used on the moon. As a result of the conversion of the sulfur in the regolith layer of the moon and obtained by various methods into concrete form with heat energy, it has made it possible to build a building on the moon. In this paper, the properties of sulphurous concrete will be explained and the latest developments will be included.

Keywords: Sulfur Concrete, Waterless Concrete, Strength, Usage Areas, Recent Developments.

GİRİŞ

Susuz beton, içinde su bulunmayan ana bileşenleri modifiye edilmiş kükürtlü çimento ve agregadan oluşan özel bir beton türüdür. Özel bir çalışma olan susuz betonun oluşmasını sağlayan ana maddesinin kükürt olduğu görülmektedir. Literatür araştırmalarına bakıldığında kükürdün kullanımının çok eskilere dayandığı görülmektedir. 17. Yüz yıl boyunca metalin taşa ankraj edilmesinde kükürt kullanılmıştır Bu şekilde kükürdün inşaat malzemesi olarak kullanılmaya başlandığı görülmektedir. [1,2]

1921'de %40 kükürt içeren harçla yapı malzemesi üretilmiştir. Asidik ortama karşı yüksek direnç göstermiştir ve mekanik özellikleri de olumlu sonuçlar vermiştir ancak sıcaklık değişimleri ile eğilme dayanımlarının azaldığı görülmüştür. 1940 yılında kükürtle ilgili çalışmalar geliştirilmiş viskozitesi arttırılarak endüstriyel asidik ortamlarda kullanımı incelenmiştir. 1960 yılında, bu malzemenin viskozitesi üzerinde çalışılmış ve 1970 yılında dayanıklılığı ile ilgilenilmiş ve Kuzey Amerika'da başarılı çalışmalar yürütülmüş ve endüstriyel yapılarda çalışılmıştır. [3]. Ham petrolün rafine edilmesi, metal sülfür cevherlerinin işlenmesi ve kömürden geri kazanım gibi ikincil kaynaklardan kükürt elde edilmektedir.1972'de, Maden Bürosu, kükürtün yeni kullanımlarını araştırmak ve 1980'lerin sonlarında ikincil sülfürün geri kazanımının artmasına dayanarak tahmin edilen malzemenin öngörülen fazlalığından yararlanmak için bir araştırma programı başlatmıştır. Programın amacı asfalt ve çimento gibi yapı malzemeleri gibi kükürtlü inşaat malzemeleri amaçlanmıştır [4]. 1980'lerde, kükürtlü beton, ABD'de inşa edilen birçok otoyol ve sanayi katının yapımında kullanılan yapı malzemelerinden biri haline gelmiştir [3,4].

İnşaat sektöründe kullanılan en yaygın beton türü geleneksel betondur. Geleneksel beton; çimento, su ve agrega ana bileşenlerinden oluşan betondur. Susuz beton ise adından da anlaşılacağı üzere bağlayıcılık özelliği açısından etken role sahip olan suyun bulunmadığı beton türüdür [4]. Susuz beton, dış görünüm itibariyle geleneksel betona benziyor olsa da üretim ve yerleştirme tekniği, karışım hesabı ve kullanım alanları gibi özellikleri sebebiyle nispeten yeni bir malzemedir

Bu beton türünde çimento ile suyun birleşiminden ortaya çıkan bağlayıcılık özelliği kükürt elementiyle sağlanmaktadır [5]. Kükürt ise ya doğal ham madde kaynağı ya da taşıdığı uçuculuk özelliği sebebiyle yan sanayi ürünü olarak elde edilmektedir [3]. Kükürt üretiminde başı çeken Çin ve Amerika Birleşik Devletleri (ABD) gibi ülkelerde yıllık toplam üretimin büyük bir kısmı doğal rezerv kaynaklarından sağlanmaktadır [6]. Doğal ham madde kaynağı olarak zengin maden yataklarından çıkartılan kükürt, 2013 yılı verilerine göre yıllık 10,5 milyon ton üretim miktarı ile en çok Çin'de üretilmektedir. Çin'i 9,2 milyon ton ile ABD takip etmektedir [6]. Bunun yanında dünyada kükürt üretiminde söz sahibi olan fakat kükürt üretiminin neredeyse tamamına yakınını yan sanayi ürün olarak sağlayan Katar gibi petrol üreten ülkelerde bulunmaktadır [7]. Katar'ın 2012 yılı itibariyle yan sanayi ürünü olarak toplam 4 milyon ton kükürt üretimi yaptığı resmi kayıtlarda yer almaktadır [7]



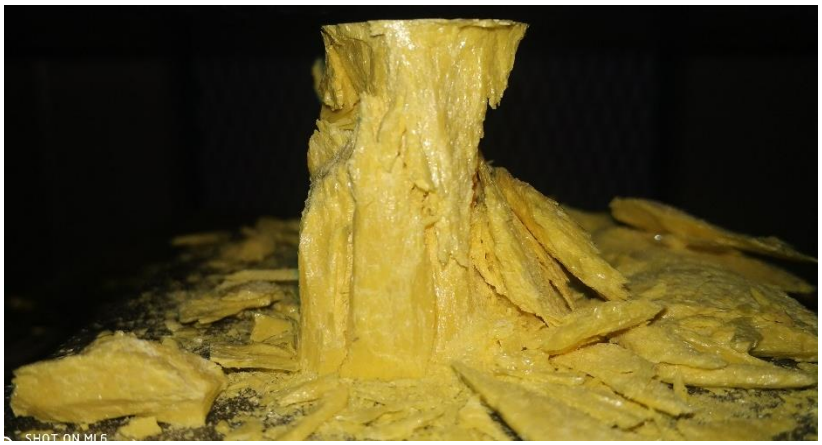
Şekil 1. Kükürtlü beton numunesi

Susuz beton üretiminde kullanılan kükürtün tarihçesi aslında tarih öncesi çağlara kadar uzanmakla birlikte malzemenin beton uygulamalarında kullanımına 1970'li yıllarda başlanmıştır. Geçmişteki kısıtlı uygulamaların aksine, geleneksel betona göre sağladığı avantajlar dolayısı ile susuz beton şimdilerde yoğun bir şekilde çok özellikli alanlarda kullanılmaktadır [8]. Günümüzde ABD ve Rusya başta olmak üzere Kanada ve Polonya gibi ülkeler tarafından da özellikli projelerde kullanıldığı bilgisi literatürde yer almaktadır [9].

KÜKÜRTLÜ BETONUN TARİHÇESİ VE GELİŞİMİ

Susuz beton üretim teknolojisindeki ilk kayda değer gelişmelere 1970'li yıllarda yapılan çalışmalarda rastlanmaktadır. Susuz beton teknolojisinin tarihçesi incelenirken göz önüne alınması gereken ana parametre betonu oluşturan ve su ihtiyacını ortadan kaldıran kükürt malzemesidir. Bu malzemenin beton teknolojisinde kullanımını sağlayan tarihi süreç kronolojik sıra ile aşağıda yer almaktadır. Susuz betonun tarihi gelişimi incelenirken öncelikle bu betonun ana ham maddesi olan kükürt irdelenmiş ve ardından susuz betonun üretiminde kullanılan beton teknolojisinde sağlanan gelişmeler aktarılmıştır.[10] ABD Maden İşleri Dairesi ve Kükürt Enstitüsü, 1971 yılında kükürtün kullanımı ile ilgili araştırma ve geliştirme kapsamında ortak bir çalışma başlatmıştır. Yapılan detaylı çalışmaya göre kükürtün yapı malzemesi olarak kullanılması kararlaştırılmıştır. ABD Maden İşleri Dairesi, kükürtün ticari amaç doğrultusunda 1976 yılından önce kullanılmaya başlanmasını hedeflemiştir.

1972 yılında ise Kanada Mineral ve Enerji Teknolojisi Merkezi ile Kanada Ulusal Araştırma Konseyi, araştırma programlarına kükürtün yapı malzemesi olarak kullanılmasını almışlar ve bunu Kanada'daki diğer üniversiteler takip etmiştir. Beton ile ilgili ilk ciddi test çalışmalarına ise 1977 yılında ABD Maden İşleri Dairesi ile Kükürt Enstitüsü'nün ortaklaşa üstlendiği program kapsamında başlanmıştır [11]. Bu program kapsamında, öncelikli olarak ön dökümlü yapı elemanları olarak tanımlanan fayans, döşeme, depolar ve pompa istasyonlarının temelleri test edilmiştir. 1978 yılına gelindiğinde ise saha testlerine ağırlık verilmiş fakat saha testlerinden, yüklenici firma çalışanlarının teknik yetersizlik ve deneyim eksikliklerinden kaynaklanan nedenler dolayısı ile olumsuz sonuçlar elde edilmiştir. 1979 yılı kışında ise her biri 1.730 kg ağırlığında olan toplam 750 adet kanalizasyon borusu Kanada'nın Alberta eyaletinin kuzey bölgesinde yer alan sahada başarı ile dökülmüştür [11,12].



Şekil 2. Elementel kükürt basınç numunesi

1980 yılında toplam 110 adet 107 cm çapa sahip polimer katkılı kükürt betondan üretilen doğalgaz borusu suyun hidrostatik kaldırma etkisinden maksimum düzeyde yararlanmak amacı ile üretilmiştir. 1982 yılında ABD'nin Illinois merkezli SULCON firması özellikle Kükürt Enstitüsü tarafından geliştirilen kükürt beton teknolojisini bir sanayi tesisinin temelini iyileştirme çalışması kapsamında kullanmıştır. 1983 ile 1986 yılları arasında ise Brown and Root adlı ABD'nin Houston, Texas merkezli firma, bir sanayi tesisine ait iki adet betonarme döşemeyi kükürtlü beton kullanarak üretmiştir [13]. 1991 yılında Arizona'da yer alan bir sanayi tesisisin gelişme projesinde tamamı ile polimer katkılı kükürt kullanımına karar verilmiştir. 1992 yılında ise Güney Afrika Cumhuriyeti'nde yer alan bir projede bulunan atık drenaj boruları kükürtlü betondan oluşan yeni drenaj boruları kullanılarak değiştirilmiştir.

Kükürtlü beton kullanımına ait bir diğer proje ise 1996 yılında Güney Amerika Kıtası'nda yer alan Şili'de gerçekleştirilmiştir. Aynı yıl içerisinde Kanada'nın British Columbia eyaletindeki Trail şehrinde yer alan bir çinko madeni üretim tesisinde kükürtlü beton uygulanmıştır. 2000'li yıllarda ise kükürtlü beton kullanımı dünyanın belli başlı ülkelerinde yaygınlaşmaya başlamıştır. Nippon Petrol Şirketi tarafından geliştirilen yeni teknoloji ile üretilen kükürtlü beton hem Japonya hem de Birleşik Arap Emirlikleri'ndeki birçok projede özellikle 2000'li yılların sonuna doğru yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Susuz beton üretme fikri ayrıca NASA'nın 2020 yılı hedefleri arasında gösterilen Ay'a insanlı yolculukların yeniden başlatılması ve Ay ortamında kalıcı bir Ay üssü yapılması fikri ile de gündeme gelmiştir. Bu tür üs yapımı için kullanılacak yapı malzemeleri hakkında literatürde pek çok araştırma yer almaktadır. [14,15,21] Betonun diğer malzemelere kıyasla Ay ortamındaki ışıma, radyasyon ve toz parçacıklarından kaynaklı aşınma problemleri gibi olumsuz çevre koşullarına karşı daha dayanıklı ve uyumlu olacağı uzmanlar tarafından öngörülmüştür.

Bunun üzerine bilim insanları öncelikli olarak beton üretimi için gerekli ana malzemelerin Ay'da var olup olmadığı konusu üzerine odaklanmıştır. Yapılan araştırmalar, çimento ve agrega temini için Ay toprağı olarak bilinen Regolit tabakasının yeterli olacağı fikrini öne sürmüştür [16]. Ay'da suyun varlığı hakkında kesin bir bilgiye henüz ulaşılmamakla birlikte literatür çalışmaları incelendiğinde birtakım yöntemlerle suyun elde edilebileceği (ayrıştırma yöntemi, kutup bölgelerinin karanlık noktalarında bulunan buzullardan suyun temini gibi) fikri gündeme gelmiştir. Fakat bu yöntemlerle elde edilen suyun üs inşasında kullanılması yerine astronotların

ya da Ay'a giden araştırmacılar için kullanılması fikri doğal olarak daha ağır basmıştır. Suyun, Ay başta olmak üzere diğer gökcisimlerinde elde edilmesinin bu denli zor olduğunun farkında olan bilim insanları ise su kullanmadan beton üretiminin yapılıp yapılamayacağı üzerine araştırmalar yapmaya başlamışlardır [17,19]. Bu noktada, araştırmalar suya nispeten Ay'da daha çok bulunan ve bağlayıcılık vazifesi görecek malzemeler üzerine yoğunlaşmıştır.

Sonuç olarak, yürütülen bilimsel çalışmalar su yerine alternatif olarak kükürt kullanabileceğini göstermiştir. Konuya ilişkin olarak, H. A. Toutanji, 2005 yılında kükürtlü betonun alternatif bir yapı malzemesi olarak Ay'daki uygulamalarda kullanılabileceğini yaptığı deneysel çalışmalarla göstermiştir.

Susuz beton ile ilgili çalışmaların tarihçesi 1970'li yıllara kadar dayanmakla birlikte dünyada bu beton türüne olan ilgi gün geçtikçe artmaktadır. Gelişen beton teknolojisinin de yardımıyla bugün dünyadaki birçok yapıda, susuz beton sahip olduğu olumlu özellikleri (hızlı priz alması, yüksek erken dayanım, asidik ve tuzlu ortam koşullarına karşı dirençli gibi belli başlı özellikler) nedeniyle tercih edilmektedir [20]. Kükürdün beton teknolojisinde tercih edilmesindeki bir diğer sebep ise yan sanayi olarak elde edilebiliyor olmasıdır. Bu sayede hem ekonomik hem de çevre dostu bir betonun üretilmesine olanak sağlanmaktadır. Kullanım alanlarının dünya ile sınırlı kalmayıp diğer gökcisimlerinde inşa edilecek üslerde dahi değerlendirilecek olması malzemeyi cazip kılan bir diğer neden olarak karşımıza çıkmaktadır.

Yapılan çalışmalarda susuz betonun birçok avantajları tespit edilmiştir:
· Düşük geçirimlilik ve boşluk oranı,
· Yüksek çekme, basınç ve eğilme dayanımı,
· Asidik ve tuzlu ortam koşularına karşı dirençli olması,
· Suya gereksinim duyulmama özelliği,
· Donma-Çözünme döngüsüne karşı dirençli olması,
· Radyoaktif ışımaya karşı koruyucu özellik,
· Geri dönüşümle yeniden kullanılabilme özelliği,
· Üretim sürecinde düşük karbon salınımına sahip olması,
· Yüksek yorulma direnci.

Savunma sanayisinde önemli parametreler vardır. Bunlardan ikisi zaman ve mekandır. Kükürtlü beton hızlı priz alması ile bilinir. Yaklaşık 24 saatte dayanımının % 70ini sağlar. Portland çimentolu betonda ise bu dayanım yaklaşık 7 günde sağlanır. Bu özelik savunma sanayinde kullanıcıyı rakiplerine karşı bir adım öne çıkarır. Hızlı kurulum ile sahada daha etkin hareket edip kuruluma ayrılan zamanı yapılması gereken diğer operasyonlara ayırabilir. Hızlı olmasının yanı sıra demontajı, geri dönüşümü ile de betonarmeden farklıdır.

SONUÇLAR

Portland çimentolu betona alternatif olarak ortaya çıkan kükürtlü beton birçok alanda kullanılabilecek potansiyele sahiptir. Karakteristik özelikleri, dayanımı, durabilitesi, agresif ortamlara karşı direnci ve işlenebilirliği gibi özellikleri ile gelecekte daha sık karşılaşabileceğimiz bir beton türüdür. Son zamanlarda uzaya dair çalışmalar artması ile birlikte kükürtlü betonun ayda kullanılması, portland çimentolu betona göre daha olasıdır. Bunun yanında altyapı çalışmalarında, savunma sanayisinde değerlendirilmesi, kullanıcıya maddi ve fonksiyonel olarak avantaj sağlayacaktır.

Kaynaklar

1. B. Işıkdağ, İ.B. Topçu, An Overview on the Properties of Sulphurous Concrete. 3. International Conference on Civil and Environmental Engineering (ICOCEE – Çeşme 2018). İzmir. (24 – 27 Nisan 2018) Paper ID 226. 449-452.
2. T. Uygunoğlu, S.B. Özgüven, İ.B. Topçu, Construction Materials and Properties Produced with 3D Printing Technology. 4th International Congress on 3D Printing (Additive Manufacturing) Technologies and Digital Industry, IC3DPTDI. 11-14 Nisan 2019, Antalya, Number : 144.
3. R.E. Loov, A.H. Vroom, M.A. Ward, Sulfurous Concrete-A New Construction Material, PCI Journal. (January-February 1974) 86-95.
4. Toutanji, H.A, Grugel, R.N. Mechanical Properties and Durability Performance of Waterless Concrete, Earth and Space, 2008.
5. Toutanji, H.A., Evans, S., Grugel, R. N. Performance of Waterless Concrete, 13th International Congress on Polymers in Concrete, 2010.
6. U.S. Geological Survey. Sulfur, Mineral Commodity Summaries, Ocak 2015.
7. Al-Ansary, M. Innovative Solutions for Sulphur in Qatar, Qatar Shell Research and Technology Centre (QSRTC), Sulphur Utilization, Doha, Katar, 2010,.
8. Khademi, A.G., Sar, H.I.K. Comparison of Sulfur Concrete, Cement Concrete and Cement-sulfur Concrete and Their Properties and Application, Current World Environment, Cilt 10, 2015, s.201-207.
9. "Technology Summary" for Innovative Technique Award, Japan Society of Civil Engineers, 2009. http://www.jsce.or.jp/committee/concrete/e/newsletter/newsletter24/index_files/techaward.htm, Erisim Tarihi: 22.02.2016.
10. Vlahovic, M.M., Savic, M.M., Martinovic, S.P., Boljanac, T.D., Volkov-Husovic, T. Use of Image Analysis for Durability Testing of Sulfur Concrete and Portland Cement Concrete, Materials and Design, 2011, s. 346-354.
11. M. Shin, K. Kim, S. Gwon, S. Cha, Durability of sustainable sulfurous concrete with fly ash and recycled aggregate against chemical and weathering environments, Construction and Building Materials. 69 (2014), 167–176
12. H.A. Omar, Production of Lunar Concrete Using Molten Sulfurous. Final Research Report for JoVe NASA Grant NAG8– 278, (1993).
13. N.S. Erdem, Investigation of Construction Systems of Moon Structures. Dokuz Eylül University Science Institute Ms Thesis İzmir Turkey, (in Turkish).2012.
14. S.W. Koh, J. Yoo, L.E. Bernold, T.S. Lee, Experimental study of waterless concrete for lunar construction. In Earth and Space 2010, Engineering, Science, Construction, and Operations in Challenging Environments. (2010) 1098-1102.
15. Y.C. Toklu, A.E. Çerçevik, M. Şahinöz, Determination of Materials to be Used in Automated Building Production Technology. Journal of Süleyman Demirel University Science Institute. (2017), 21,1, 51-57, (in Turkish).
16. G. Fernandes, L. Feitosa, Impact of Contour Crafting on Civil Engineering. Int. Journal of Engineering Research & Technology (IJERT). (2015) 2278-0181.
17. J. Zhang, B. Khoshnevis, Optimal machine operation planning for construction by Contour Crafting. Automation in Construction. 29 (2013) 50-67.
18. B. Khoshnevis, Automated construction by contour crafting - Related robotics and information Technologies. Automation in Construction 13(1):5-19, January 2004, DOI: 10.1016/j.autcon.2003.08.012.
19. B. Khoshnevis, M. Thangavelu, X. Yuan, J. Zhang, Advances in contour crafting technology for extraterrestrial settlement infrastructure buildup. In AIAA SPACE 2013 Conference and Exposition (2013), 5438.
20. E. Zolfaghari, NASA's plan to build homes on the Moon: Space agency backs 3D print technology which could build base. Dailymail-sciencetech.15 January 2014.
21. M. Kuvvet, Use of Moon Soil Regolite as Building Material. Air Force Academy, Institute of Aeronautics and Astronautics Technologies, Dept. of Space Sciences. 2009.
22. X. Hou, T. Ding, T. Chen, Y. Liu, M. Li, Z. Deng, Constitutive properties of irregularly shaped lunar soil simulant particles. Powder Technology. 15 March 2019 Volume 346, 137-149