

TEKNOFEST

HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ

İNSANLIK YARARINA TEKNOLOJİ YARIŞMASI PROJE DETAY RAPORU

PROJE KATEGORİSİ: Afet Yönetimi

PROJE ADI: Yüksek Fırın Cürufu, Silis Dumanı ile Polimer Katkılar İçeren Geopolimer Beton Üretilmesi ve Dayanıklılığının Araştırılması

TAKIM ADI: Pembe Kasket

TAKIM ID: T3-21957-145

TAKIM SEVİYESİ: Lise

TAKIM ÜYELERİ: Elif Ceyda Teke-Rumeysa Gülhan

DANIŞMAN ADI: Sumru Kırpat

İçindekiler

1. Proje Özeti (Proje Tanımı)	2
2. Problem/Sorun:.....	2
3. Çözüm	3
4. Yöntem	3
5. Yenilikçi (İnovatif) Yönü	5
6. Uygulanabilirlik.....	6
7. Tahmini Maliyet ve Proje Zaman Planlaması	6
8. Proje Fikrinin Hedef Kitle (Kullanıcılar):.....	7
9. Riskler	7
11. Kaynaklar	8

1. Proje Özeti (Proje Tanımı)

Bu çalışmadaki amacımız, depreme dayanıklı bina yapımında kullanılacak yüksek dayanımlı geopolimer beton üreterek ülke ekonomisine ve çevreye fayda sağlamak, doğal kaynakların ve endüstriyel atıkların değerlendirilmesine dikkat çekmektir. Bu amaçla karbon salınımı yüksek olan çimento yerine kullanılacak doğal ve ekonomik malzemeler üzerinde durmaktır. Geopolimer beton üretiminde; öğütülmüş yüksek fırın cürufu ve silis dumanı, NaOH ve Na_2SiO_3 karışımı ile alkali aktive edilerek geopolimer beton numuneler üretilmiştir. Geopolimer beton üretiminde agrega olarak kuvars kumu kullanılmıştır. Bu proje çalışmasında alkali aktivatörlerin dayanıma etkisini belirleyebilmek için karışımlarda kullanılan yüksek fırın cürufu, silis dumanı, kuvarz ve akışkanlaştırıcı miktarı sabit tutulmuştur. Çalışma kapsamında üç farklı beton karışımı hazırlanmış ve bunların basınç dayanımları ve yarmada çekme dayanımları belirlenmiştir. Proje çalışmamızda üretilen geopolimer betonlar yüksek dayanımlı olduğu için depreme dayanıklı binaların yapımında kullanılabilir. Ayrıca çimento kullanılmadığı için CO_2 salınımı azalacak ve beton üretiminde çevreye zarar verilmeyecektir. Yüksek fırın cürufu gibi endüstriyel atıklar kullanıldığı için bu atıkların değerlendirilme sorununa çözüm üretilebilir böylece ülke ekonomisine katkı sağlanabilir.

Anahtar kelimeler: Deprem, dayanım, beton, geopolimer beton

2. Problem/Sorun:

Ülkemiz etkin deprem kuşaklarından birinin üzerinde bulunduğu için yıkıcı bir depremin yaşanma ihtimali oldukça yüksektir. Örneğin, 1999 Marmara Depremi meydana geldiği bölgeyi derinden etkilemiştir. Fazla sayıda insan, enkazın altında kalarak hayatını kaybetmiştir. Can kaybını en aza indirmek için binaların yapımında yüksek dayanımlı betonlar kullanılmalıdır. Betonun ana malzemesi olan çimentonun yapımı sırasında açığa çıkan karbondioksit gazı hava kirliliğinin yaklaşık olarak %7'sini oluşturmaktadır. Diğer önemli bir sorun ise beton üretimi sırasında fazla miktarda su kullanımınıdır. Günümüzde nüfus artışıyla birlikte artan su ihtiyacı su kaynaklarının tükenmesi sorununu ortaya çıkarmıştır. Bu nedenle su kullanmadan beton üretme önemli bir alternatif yöntemdir.

3. Çözüm

Betonun ana maddelerinden biri olan çimentonun üretimi sonucu açığa çıkan CO₂ gazı hava kirliliğinin büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Çimentosuz beton sayesinde bu kirliliğe yüksek oranda engel olunmaktadır. Su yerine akışkanlaştırıcılar kullanıldığı için su israfının önüne geçmek mümkündür. Ayrıca bu projede, betonun dayanımı artırılarak depreme karşı daha dayanıklı binalar inşa edilebilir. Çalışma kapsamında üç farklı beton karışımı hazırlanmış ve bunların basınç dayanımları ve yarmada çekme dayanımları belirlenmiştir. İşlemler 3 kez tekrar edilmiştir. En iyi basınç dayanımı birinci karışımda (NaOH-Na₂SiO₃; 240-80; kg/1 m³) tespit edilmiştir. Ayrıca farklı karışımların tümünde, beton yaşına bakıldığında 28 günlük betonun basınç dayanımı ortalaması 7 günlük betonun basınç dayanımından daha yüksek değerdedir. 28 günlük betonların yarmada çekme dayanımlarında ise en iyi sonuçlar yine birinci karışımda elde edilmiştir. Yaptığımız analizler ve yorumlar ile bu durum açıklanmaya çalışılmıştır.

4. Yöntem

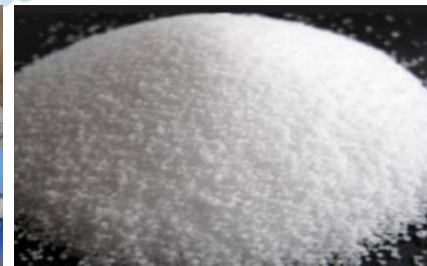
Bu çalışmada nicel yöntemlerden deney yöntemi kullanılmıştır. Geopolimer beton üretimi için yüksek fırın cürufu, silis dumanı, alkali aktivatörler, kuvarz kumu ve akışkanlaştırıcılar gibi malzemelerle çalışılmıştır. Endüstriyel bir atık olan yüksek fırın cürufu (Resim 1), ince taneli duruma getirilerek, betonun agresif çevre koşullarına karşı daha dayanıklı olmasını sağlamıştır. Sodyum Hidroksit (Resim 2) ve Sodyum Silikatın (Resim 3) karışımıyla oluşan alkali aktivatörler betonun bağlayıcılığını artırmıştır. Silikon metalinin veya Silikonlu metal alaşımların üretimi sırasında ortaya çıkan gazın yoğunlaştırılması sonucunda elde edilen Silis Dumanı (Resim 4), aşırı ince parçalara ve reaktiviteye sahip olduğu için yüksek dayanımlı beton üretiminde kullanılmaktadır. Kuvarz kumu (Resim 5), diğer kayalara göre daha sert ve sağlam bir yapıya sahip olduğundan dolayı aşınma direnci yüksektir. Bu yüzden yüksek dayanımlı beton üretiminde agrega olarak kullanılmıştır. Taze betonun, döküleceği yere ulaşması esnasında oluşan zaman kaybı sebebiyle kıvam kaybı da oluşabilmektedir. Bu durumda su kullanılmasının betonun fiziksel özelliklerine olumsuz etkileri olabilmektedir. Dolayısıyla basınç dayanımı düşürülmeden akıcılığın sağlanabilmesi için akışkanlaştırıcılar kullanılmıştır.



Resim 1. Yüksek Fırın Cürufu



Resim 2. Sodyum Silikat



Resim 3. Boncuk Sodyum Hidroksit



Resim 4. Nano Silis (Silis Dumanı)



Resim 5. Kuvarz Kumu

Bu çalışmada alkali aktivatörlerin betonun dayanımına etkisini görebilmek amacıyla diğer malzemelerin miktarı sabit tutularak üç farklı beton üretilmiştir. Ön üretimi yapılan karışımlar tablo 1’de gösterilmiştir. Deneyler 3 kez tekrar edilmiştir.

Tablo 1. Karışımda kullanılan malzeme miktarları (kg/1 m³ geopolimer beton için)

Kullanılan malzemeler	K1	K2	K3
Silis Dumanı	200	200	200
Yüksek Fırın Cürufu	630	630	630
NaOH çözeltisi	240	160	80
Na₂SiO₃	80	160	240
Akışkanlaştırıcı	5	5	5
Kuvarz	1185	1185	1185

Geopolimer betonun mekanik özelliklerinden basınç dayanımı eksenel basınç testi ile çekme dayanımı ise yarmada çekme testi ile belirlenmiştir. Üretilen geopolimer betonların basınç dayanımları Laboratuvarında bulunan 3000 kN kapasiteli beton presi ile elde edilmiştir (Resim 6). Çalışmada, her bir karışım için 6 adet küp numune alınmıştır. Küp numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları tablo 2’de gösterilmiştir. Eksenel basınç testlerinde yükleme hızı 1 MPa/sn alınmıştır.

Tablo 2. 7 ve 28 günlük basınç dayanımları

	7 günlük basınç dayanımı MPa				28 günlük basınç dayanımı MPa			
	1	2	3	Ortalama	1	2	3	Ortalama
K1	78.4	91.9	91.3	87.2	93.3	97.6	97.5	96.1
K2	62.0	64.3	59.4	61.9	70.1	70.0	72.2	70.8
K3	71.3	75.31	73.1	73.2	80.1	81.1	82.7	81.3

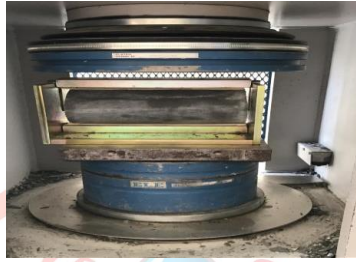


Resim 6. Basınç Presi ve kırılan numune

Betonun çekme dayanımının indirek bir metot olan yarma deneyi ile belirlenmesi, Brezilyalı Fernando Carneiro tarafından ortaya atılmıştır. Deneyde; (Resim 7) deki gibi test cihazının basınç levhaları arasına yatay vaziyette yerleştirilen beton silindire basınç uygulanır ve düşey çap doğrultusunda yarılmaya parçalanmaya kadar yük artırılır. Geopolimer betonların çekme dayanımının belirlenmesi için her bir karışımda 2 silindir numune 28 günde test edilmiş ve sonuçlar tablo 3’ te gösterilmiştir.

Tablo 3. 28 günlük yarmada çekme dayanımları

28 günlük yarmada çekme dayanımı MPa			
	1	2	Ortalama
K1	5.45	5.35	5.4
K2	3.55	3.00	3.3
K3	4.83	4.22	4.5



Resim 7. Yarmada çekme test düzeneği

5. Yenilikçi (İnovatif) Yönü

Mevcut Türk yönetmeliklerde yüksek dayanımlı beton için bir sınır dayanım değeri verilmemiştir. Amerika Beton Enstitüsü (ACI American Concrete Institute) tarafından ACI 363R-10'da Yüksek dayanımlı beton "55 MPa ve üzerindeki basınç dayanımına" sahip beton olarak tanımlanmaktadır. Yeni deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelikte en az beton sınıfı hazır beton için C25/30 (25 MPa), önüretimli beton elemanlar için C30/37 (30MPa) olarak belirlenmiştir.

Bu proje kapsamında minimum 90 MPa dayanıma sahip geopolimer beton üretilmesi amaçlanmaktadır. Dolayısı ile piyasada mevcut kullanılan klasik betonlara göre çok daha yüksek dayanıma sahiptir. İnşaat sektöründe yoğun olarak kullanılan geleneksel beton ile geopolimer beton karşılaştırıldığında en büyük fark geopolimer betonda çimento kullanılmamasıdır.

Dünyadaki çimento üretimi ve talebi günden güne artmaktadır. 2009 yılında, Dünyadaki toplam çimento üretimi üç milyar tonu aşmış, 2012 ve 2015 yıllarında ise toplam çimento üretimi sırasıyla yaklaşık 3,6 ve 4,18 milyar tona ulaşmıştır. Dünya çapında CO₂ salınmasından dolayı başlayan iklim değişikliğinin mevcut durumunda, doğal afetlerin ortaya çıkması, deniz suyu seviyesinin yükselmesi vb. ile sonuçlanan özel bir durum olarak düşünülmektedir. Çimento üretimi sadece çevresel bir soruna neden olmakla kalmaz, aynı zamanda büyük miktarda el değmemiş malzemenin de kullanılmasına sebep olur. Bir ton çimento üretimi için bir buçuk ton el değmemiş malzeme kullanılmaktadır. Buna ek olarak, çimento üretimi büyük enerjiye ihtiyaç duyar ve paha biçilmez bir malzeme olarak tekrar kullanılır. Çimento üretiminin çevresel etkisinin azaltılması için, daha az doğal kaynağın kullanılmasına ve daha az karbondioksit yayan enerji kaynağı gerektiren alternatiflerine ihtiyaç duyulmuştur. Bu amaçla yanan kömürden elde edilen uçucu kül ve demir üretiminde yan ürün olarak oluşan cüruf gibi doğal atıkların karıştırılması ile yeni bir malzeme üretilmekte ve geopolimer olarak adlandırılmaktadır.

Sonuç olarak; Projemizde, su ve çimento kullanmadan yaptığımız beton yüksek dayanımı ile farklıdır. Diğer betonlara kıyasla hava kirliliğini azaltmakta ve atık maddelerin kullanılması çevre dostu olmasını sağlamıştır. Bunun yanında kullandığımız malzemelerin hepsi çok ince

taneli olduğu için sıkı bir iç yapıya sahiptir. Üretimde kullanılan agrega haricinde bağlayıcı olarak kullanılan malzemelerin hepsi küldür.

6. Uygulanabilirlik

Projemizin uygulanma aşamaları sıralı bir şekilde çözüm ve yöntem kısmında belirtilmiştir. Proje kapsamında ön üretimler yapılmıştır. Ön üretimlerde kullanılan karışımlar yöntem kısmında tablo 1’de verilmiştir. Tahmini maliyet bölümünde belirtildiği gibi planmasını yaptığımız diğer üretimlerden sonra karışım oranları en son şeklini alacaktır. Geliştirdiğimiz geopolimer beton örnekleri yapılan testler dikkate alınarak geliştirme çalışmaları devam edecektir. Geliştirilen ürün, önemli kurumların sponsorlukları eşliğinde yaygınlaştırılıp ticari bir ürüne dönüştürülebilir. Yüksek fırın cürufu ve uçucu kül gibi endüstriyel atıklar kullanıldığı için bu atıkların değerlendirilme sorununa çözüm üretilebilir böylece ülke ekonomisine katkı sağlanabilir.

7. Tahmini Maliyet ve Proje Zaman Planlaması

Proje kapsamında 4 farklı grupta döküm yapılacak ve bu numunelerin dayanım değerleri 7 ve 28 günde elde edilecektir. Her grup içinde ayrıca 3 karışım yapılacak ve her karışım için 9 küp numune alınacaktır. Planlanan dökümler aşağıdaki tablo 4’te gösterilmiştir.

Tablo 4. Planlanan Dökümler

	Grup 1	Grup 2	Grup 3	Grup 4
Silis Dumanı	X	X	X	X
Yüksek Fırın Cürufu	X		X	
Uçucu Kül		X		X
Akışkanlaştırıcı	X	X	X	X
NaOH çözeltisi	X	X		
Na₂SiO₃ çözeltisi	X	X		
KOH			X	X
K₂Si₂O₅			X	X
Kuvarz	X	X	X	X

Proje kapsamında yapılacak dökümler için gerekli olan malzemeler ve fiyatları tablo 5’te verilmiştir. Geopolimer betonların ön üretimleri ve yapılması planlanan diğer üretimler Balıkesir Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Mekaniği Laboratuvarında gerçekleşeceği için laboratuvarında daha önce temin edilen kuvarz kumu, yüksek fırın cürufu ve uçucu kül bulunmaktadır. Bu nedenle bu malzemeler tablo 5’te yer almamıştır.

Tablo 5. Maliyet hesabı

Malzeme Listesi	Miktar	Fiyat
Silis Dumanı	100 kg	250 TL
NaOH	10 kg	200 TL
Na₂SiO₃	10 lt	200 TL
KOH	10 kg	200 TL
K₂Si₂O₅	10 lt	350 TL
Toplam		1200 TL

Proje başlangıcında tüm alımlar yapıp ilgili çözeltiler döküm öncesinde hazırlanacaktır. Bu maliyet, seri üretime geçme veya mühendisler tarafından tekrardan tasarlanma gibi durumlarda düşecektir. Rajarajeswari ve Dhinakaran (2016) tarafından yapılan çalışmada 28 MPa basınç dayanımına sahip normal Portland çimentolu 1 m³ betonun maliyetini 83.05 dolar olarak hesaplanmış, 26.97 MPa basınç dayanımına sahip 1 m³ geopolimer betonun maliyetini 51.66 dolar, 32.98 MPa basınç dayanımına sahip 1 m³ geopolimer betonun maliyetini 57.05 dolar, 37.65 MPa basınç dayanımına sahip 1 m³ geopolimer betonun maliyetini 61.66 dolar olarak elde etmişlerdir. Yapılan deneysel çalışmalarda, geopolimer betonun daha az maliyetli olduğu ortaya çıkarılmıştır.

Proje zaman planlaması tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6. Proje zaman planlaması

Haziran	Temmuz	Ağustos
<ul style="list-style-type: none"> Proje malzemelerinin temini ve geopolimer betonların dökümünün yapılması 	<ul style="list-style-type: none"> Geopolimer betonların 7 ve 28 günlük kür süresinin tamamlanması 	<ul style="list-style-type: none"> Geopolimer betonların basınç testlerinin ve yarmada çekme testlerinin yapılarak verilerin toplanması. Projenin tamamen bitirilmesi ve sunuma hazır hale getirilmesi

8. Proje Fikrinin Hedef Kitle (Kullanıcılar):

Geopolimer çok iyi sergilemiş olduğu fiziksel ve kimyasal içerikleriyle; hazır yapı sanayisi, kullanılmakta olan yapı malzemeleri, heykeltçilik ve süsleme alanları, beton içerikli yol kaplamaları, zemin onarma, zararlı ve nükleer atıkların depolanması, farklı seramik malzeme üretimi, kötü iklim şartlarına ve ısıya dayanıklı duvar kaplaması üretimi, güçlendirme, tarihi yapıların statiksel kısımlarının onarılması, uçak ve yarış arabası sanayisi ve nükleer santrallerde kullanılabilir.

9. Riskler

Proje kapsamında en büyük risk hedef beton basınç dayanımına ulaşamamasıdır. Proje kapsamındaki karışımlardaki çözeltilerin molariteleri sabit tutulmuştur. Hedef basınç dayanımına ulaşamaması durumunda B planı olarak farklı çözeltiler için dökümler tekrar edilecektir.

10. Proje Ekibi

Takım Lideri: Elif Ceyda Teke

Adı Soyadı	Görevi	Okul	Projeye veya problemle ilgili tecrübesi
Elif Ceyda TEKE	Tasarım, gözlem, deney ve araştırma	Sırrı Yırcalı Anadolu Lisesi	Marmara Bölgesinde meydana gelen depremlere tanıklık
Rumeysa GÜLHAN	Tasarım, gözlem, deney ve araştırma	Sırrı Yırcalı Anadolu Lisesi	Marmara Bölgesinde meydana gelen depremlere tanıklık

11. Kaynaklar

- Adak, D., Sarkar, M., Mandal, S. (2014). Effect of nano-silica on strength and durability of fly ash based geopolymer mortar, *Constr. Build. Mater* 70:453– 459.
- Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı. (2014). Müdahale, İyileştirme ve Sosyoekonomik Açından Van Depremi 2011. AFAD Yayınları, Ankara.
- Akan, G. (2018). Geopolimer Beton, Erişim Tarihi, 1.12.2019. <https://www.muhendisol.com/2018/03/22/geopolimer-beton/>
- Ali, H. K. ve Tayşi, N. (2019). Investigation of Alkaline Activator Ratio on Geopolymer Concrete Under Ambient Curing Regime, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 4(2):89-100.
- Ambily, Ravisankar, Umarani, Dattatreya and Iyer, (2014). “Development of Ultra-High-Performance Geopolymer Concrete”, *Magazine of Concrete Research*, 66(2):82–89.
- Abdul Aleem, M. I. and Arumairaj, P. D. (2012). Geopolymer concrete- a review. *International Journal of Engineering Sciences & Emerging Technologies*. 1: 118-122.
- Alsahooki, S. T. K. (2018). Geopolimer Beton İçi Boş Kirişlerin Eğilme Davranışlarına Lifler Etkisinin İncelenmesi Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Gaziantep.
- Bayındırlık ve İskân Bakanlığı. (2004). Deprem Şurası Sonuç Bildirgesi. İstanbul.
- Gao, X., Yu, Q.L., Brouwers, H.J.H. (2015). Characterization of alkali activated slag–fly ash blends containing nano-silica, *Constr. Build Mater*, 98: 397–406.
- Koca, C. (1996). Yüksek Performanslı Beton Üretiminde Mikrosilis, Curuf, Klinker Karışımı Çimento Kullanımı. 4. Ulusal Beton Kongresi Beton Teknolojisinde Mineral ve Kimyasal Katkılar Bildiri Kitabı, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul, s.381-394.
- İşçi, C. (2008). Deprem Nedir ve Nasıl Korunuruz, *Journal of Yasar University* 3(9): 959-983.
- Kantarıcı, F. (2013). Elazığ Ferrokrom Cürufundan Alkali aktivasyon Metoduyla Üretilen Geopolimer Çimentolu Betonların Yangın Dayanımının Araştırılması, Yüksek lisans tezi, İnönü Üniversitesi, Malatya.
- Kantarıcı, F. (2018). Nano Silis, Makro Silis ve Polimer Katkılar İçeren Volkanik Tüf Esaslı Geopolimer Beton Üretimi ve Özelliklerinin Araştırılması, Doktora Tezi. İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Malatya.
- Malhotra, V. M. (1997). Mineral Admixtures. *Concrete Construction Engineering Handbook*, Nawy Edward G. CRC Press, New York, pp.27-36.
- Mohd A., A. Z., Sanjayan, J. ve Guerrieri, M. (2017). Performance of Geopolymer High Strenç Concrete Wall Panels and Cylinders When Exposed to a Hydrocarbon, *Construction and Building Materials*, 137:195-207.
- Neupane, K., Chalmers, D. ve Kidd, P. (2018). High-Strength Geopolymer Concrete- Properties, Advantages and Challenges, *Advances in Materials*, 7(2): 15-25.
- Orhon, A. V. (2012). Tasarımdan Yapıma, Sürdürülebilir Beton Yaklaşımları, Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Urla-İzmir.
- Rangan, B. V. (2008). Research Report GC 4 Engineering Faculty Curtin University of Technology Perth, Australia.
- Rajarajeswari, A., Dhinakaran, G. (2016). Compressive strength of GGBFS based GPC under thermal curing. *Constr. Build. Mater*. 126: 552–559.
- SinghIshwarya, B., Gupta, G.M., ve Bhattacharyya, S. K. (2015). Geopolymer Concrete: A Review of Some Recent Developments, *Construction and Building Materials* 85: 78-90.
- Şahin, C., Sipahioğlu, Ş. (2002). Doğal Afetler ve Türkiye, Gündüz Yayınları, Ankara.
- Türkel, S. (2007). Özelbetonlar Hafifbeton, İMO İzmir Şubesi Bülteni, 135:30-3PROJE