



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 21.11.2022
Kabul Tarihi : 20.08.2023

Received Date : 21.11.2022
Accepted Date : 20.08.2023

SAYDAM BETONUN ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA

LIGHT TRANSMITTING CONCRETE PRODUCTION

İlker Bekir TOPÇU¹ (ORCID: 0000-0002-2075-6361)
Recep KURAL^{2*} (ORCID: 0000-0002-8280-9385)

¹ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye
² Sinop Üniversitesi, Boyabat Meslek Yüksekokulu, Emlak Yönetimi Bölümü, Sinop, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Recep KURAL, recep_kural@sinop.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, saydam betonun fiziksel ve mekanik özellikleri, dayanıklılığı ve doğal ışığı geçirme yoğunluğu üzerinde durulup, üretiminde kullanılan malzemelerin özellikleri ve oranları, betonu üreten şirketler ve uygulama örnekleri hakkında bilgi verilmiştir. Sonuç olarak, ışık geçirme özelliğine sahip malzemeler (optik fiberler, kauçuk, cam vb.) arasında en çok tercih edilenin optik fiberler (cam optik fiber, plastik optik fiber vb.) olduğu, bunların beton içerisinde farklı yerleşimleri ve yerleşim doğrultularının, farklı lif oranlarının ve lif çaplarının, saydam betonun mekanik ve fiziksel özelliklerini etkilediği gözlenmiştir. Son on yılda yapılan araştırmaları incelediğimizde çoğunun betonun ışık geçirme özelliği üzerine olduğu, estetik açıdan yapılaraya katkı sağlayıcı ve enerji tüketimini azaltacağı yönünde öneriler getirildiği, fakat mekanik özellikleri üzerinde herhangi bir iyileştirme çalışmaları yapılmadığı hem geopolimer beton hem de saydam malzemelerin faydalarını birleştiren beton üretimi konusunda yeterince çalışma olmadığı görülmüştür. Bu literatür taraması ile günümüz mühendislik uygulamalarında adı çok geçen “endüstriyel atık”, “geri dönüşüm”, “sürdürülebilirlik” ve “enerji verimliliği/ekonomik” kavramları ele alınarak çevre dostu yeni bir saydam betonun tasarlanıp, üretilebileceği kanısına varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Optik fiber, ışık geçiren beton, kompozit malzeme, enerji tasarrufu.

ABSTRACT

In this study, the physical and mechanical properties, durability, and natural light transmission density of transparent concrete are emphasized, and information is given about the properties and proportions of the materials used in its production, the companies producing the concrete and application examples. As a result, optical fibers (glass optical fiber, plastic optical fiber, etc.) are the most preferred materials among the materials with light transmittance (optical fibers, rubber, glass, etc.); their different placements and placement directions in concrete, different fiber ratios and fiber diameters affect the mechanical and physical properties of transparent concrete. Most of the research conducted in the last decade has focused on the light transmittance of concrete, suggesting that it will contribute to the structures aesthetically and reduce energy consumption, but no improvement studies have been made on its mechanical properties; and there is not enough information about the production of concrete that combines the benefits of both geopolimer concrete and light-transmitting materials. With this literature review, that new environmentally friendly transparent concrete can be designed and produced by considering the concepts of "industrial waste", "recycling", "sustainability" and "energy efficiency/ saving", which are mentioned a lot in today's engineering applications.

Keywords: Optical fiber, transparent concrete, composite material, energy conversion.

GİRİŞ

Saydam beton, yapılarda enerji tüketimini azaltarak yapıların sürdürülebilirliğine katkı sağlayan, arkasındaki objelerin görüntülerini, hareketlerini, renklerini ön yüze geçiren, özel hazırlanmış kalıpların içerisine uzun doğrultuda ve düzenli şekilde yerleştirilen ışık geçirme özelliğine sahip malzemeler (optik fiberler, kauçuk, cam vb.) (Şekil 1 (a)) ile çimento, su, ince agrega ve gerekli ise katkı maddesi kullanılarak üretilen kompozit bir malzemedir (Şekil 1 (b)) (Çakmak, 2012; Emanet, 2022; Shen ve Zhou, 2021). İlk olarak 2001 yılında Macar Mimar Aaron Losonczy tarafından icat edilmiş ve geliştirilmiştir. Losonczy, 600x300 mm boyutlarında kalıp içerisine %96 oranında beton, %4 oranında optik fiber yerleştirerek, basınç dayanımı 50 MPa eğilme dayanımı 7 MPa ve yoğunluğu 2100-2400 kg/m³ olan saydam betonu üretmiş ve 2002 yılında patent almıştır. Beton üretimi ve satışı için de 2004 yılında Litracon firmasını kurmuştur [1-3]. Dünyanın ilk ticari olarak temin edilebilen saydam betonu (Litracon Classic) Şekil 1 (c)'de gösterilmiştir (Litracon, 2022).



Şekil 1. (a) Ahşap Kalıba Yerleştirilen O.F. (Subathra ve Sangeetha, 2020), (b) Saydam Beton (Shen ve Zhou, 2021), (c) Litracon Classic (Litracon, 2022)

Saydam beton üretiminde kullanılan malzemelerle ilgili çok sayıda araştırmalar ve deneyler yapılmıştır. Bittis, saydam beton üretiminde kullandığı optik cam liflerini bir dokuma haline getirerek kalıba yerleştirmiştir. Böylelikle liflerin çizgisel ve düzgün olarak yerleşmesini sağlamıştır. Italcementi Group, 2010 yılında önceden şekillendirilmiş reçineyi ince taneli betona katarak yeni bir saydam beton üretmiştir. Bu ürünleri de Şangay'daki bir fuarda (Shanghai Expo) İtalyan Pavyonu'nda (Italian Pavilion) kullanmıştır (Şekil 2) (Emanet, 2022).



Şekil 2. İtalyan Pavyonu'nun Dış Ve İç Görünümü (Şangay Expo) (Italcementi Group, 2022).

Li vd. (2012); Li, Li ve Guo (2015), optik fiberleri, döküm kalıbı kullanarak ve eşit bir şekilde betona gömerek, daha yüksek bir ışık geçirgenliğine ulaşılabileceğini, ayrıca optik fiber içeriği arttığında basınç mukavemeti ve eğilme dayanımı arasındaki oranın arttığını gözlemlemişlerdir. Spiesz, Rouvas ve Brouwers (2016), yapmış olduğu araştırma sonuçları da saydam betonun iyi mekanik özelliklere, ışık geçirgenliğine ve dayanıklılığa sahip olabileceğini göstermiştir. Ahuja ve Mosalam (2017), saydam beton içerisine %6 oranında optik fiber yerleştirerek sistemin %50 oranında enerji tasarrufu sağladığını, Tuam vd. (2019) ise %6 oranında optik fiber yerleştirilerek üretilen betonun sadece ışığın geçmesine izin vermediğini, aynı zamanda betonun dayanımını da arttırdığını belirtmişlerdir.

Tahwia vd. (2021) yılında yapmış olduğu çalışmada, 2 mm çaplı plastik optik fiberin, %4 oranlarında beton karışıma katılmasıyla elde edilen saydam betonun (basınç dayanımı 48 MPa), doğal ışık kullanıldığında %21,35 oranında, yapay ışık kullanıldığında ise %24,7 oranında ışık geçirdiği görülmüştür.



Şekil 3. (a) Atık Cam İçeren Saydam Beton Panel (Pilipenko vd., 2018). (b) Polimer Reçine İçeren Saydam Beton Panel (Emanet, 2022).

Üretimde kullanılan optik fiberlerin çapları genelde 2 μm ve 2 mm arasında olup ışığı yaklaşık 15 metre (50 fit) uzaklığa iletebilmektedirler. Optik fiberlerin beton içerisinde farklı yerleşimleri ve yerleşim doğrultuları, farklı lif oranları ve lif çapları, saydam betonun mekanik ve fiziksel özelliklerini etkilemektedir (Bajpai, 2013) . Optik fiberlerin maliyetinin yüksek ve uygulanmasının karmaşık olması nedeniyle atık cam, reçine gibi daha ekonomik malzemeler kullanılarak saydam beton üretimleri de yapılmıştır (Şekil 3 (a,b)).

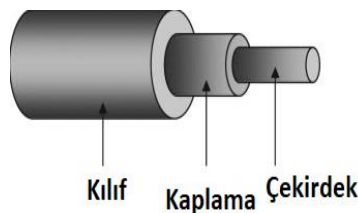
Bu çalışma ile ışık geçirme özelliğine sahip malzemeler (optik fiberler, kauçuk, cam vb.) kullanılarak üretilen saydam betonlarla ilgili son gelişmeleri derleyip literatüre kazandırmak amaçlanmıştır. Ayrıca günümüz mühendislik uygulamalarında adı çok geçen “endüstriyel atık”, “geri dönüşüm”, “sürdürülebilirlik” ve “enerji verimliliği/ekonomik” kavramlarını bir arada bulunduran çevre dostu yeni bir saydam beton üretiminin mümkün olup olmadığını tartışmaktadır.

IŞIK GEÇİRME ÖZELLİĞİNE SAHİP MALZEMELER

Optik Fiberler

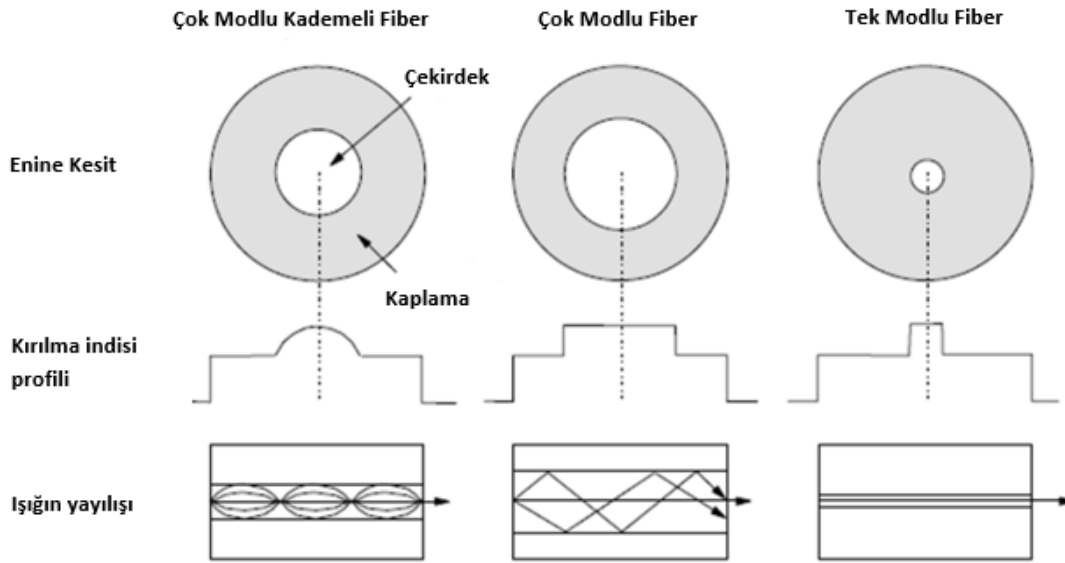
Optik fiber, bünyesindeki ışığı büyük mesafeler boyunca ışık hızında iletebilen, insan saçından biraz daha kalın, esnek, şeffaf bir malzemedir. Tıpta, iletişimde, dekoratif tekniklerde, lazerlerde vb. hayatın birçok alanında kullanılmaktadır. Saydam beton üretiminde de en çok tercih edilen malzemedir (Zielińska ve Ciesielski, 2017). Üç ana kısımdan oluşmaktadır (Şekil 4) (Silalahi, 2023).

- 1) **Çekirdek:** Işık sinyalinin bir noktadan diğerine yayılmasını sağlar. Çok yüksek kaliteli camdan yapılmıştır. 5-10 μm 'lik bir çapa sahiptir. Çekirdeğin boyutu fiber optiğin özelliklerini etkilemektedir.
- 2) **Kaplama:** Çekirdekten daha küçük bir kırılma indisine sahiptir. Sinyalin çekirdek içinde tam yansıma yaparak ilerlemesini sağlar.
- 3) **Kılıf (ceket):** Optik fiberlerin mekanik bir koruyucusu olarak işlev görür, böylece optik fiberler dıştan gelecek tehlikelere (aşınma, baskı vb.) karşı daha dayanıklı olur.



Şekil 4. Optik Fiberin Yapısı (Silalahi, 2023)

Işık, optik fiber boyunca toplam iç yansıma ile iletilir. Gelen ışın saydam bir nesneden geçtiğinde kırılma meydana gelir. Eğer gelen ışının açısı kritik açıyı aşarsa, ışık kırılma yerine yansıyacaktır. Optik fiberdeki toplam iç yansıma, çok modlu kademeli fiber, çok modlu fiber ve tek modlu fiber olmak üzere üç kategoride sınıflandırılabilir (Şekil 5) (Chiew,2021). Tek modlu fiber optik kablo, yaklaşık 0,00035 inç veya 9 mikron çapından küçük bir çekirdeğe sahiptir. Bir seferde çekirdek boyunca yalnızca bir ışık modunun yayılmasına izin verir. Çok modlu fiber kablo ise yaklaşık 0,0025 inç veya 62,5 mikron çapındadır. Tek modlu fiber optik kablodan daha büyük bir çekirdeğe sahiptir. Bir seferde yüzlerce ışık modunun aynı anda yayılmasına izin verir. Fakat çoklu modların varlığı, fiberden çıkan ışık demetinin kalitesi üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir (Silalahi, 2023). Çok modlu fiberlerdeki dağılımı en aza indirmek için, çekirdeğin kırılma indisi profili merkezden kenara doğru kademeli olarak azalacak şekilde tasarlanır. Böylelikle ışığın iletim yolu boyunca bükülmesini sağlayan gradyan indeksli fiberler elde edilmiş olur (Tahwia vd., 2021).



Şekil 5. Optik Fiberlerin Mod Türlerine Göre Işık Yayılımı

POF, çekirdek malzemesi olarak polistiren (PS), polimetil metakrilat (PMMA), polikarbonat (PC) ve kaplama malzemesi olarak PMMA, floroplastik gibi yüksek şeffaflığa sahip polimer içeren bir tür optik fiberdir. Saf bir cam (SiO₂) çekirdekten oluşan SOF'lar ise daha fazla ışığın içeri girmesini sağlar.

Reçine

Işık geçirme özelliğine sahip malzeme olarak polimetil metakrilat (PMMA) reçinesi, polyester reçinesi ve epoksi reçinesi gibi farklı polimer reçineleri kullanılmıştır. Polyester reçineler mükemmel mekanik özelliklere, hafifliğe, ucuzluğa, yüksek çekme mukavemetine sahiptir ve yüksek sıcaklıklara, suya, kimyasallara ve aşınmaya karşı dayanıklıdır. Ayrıca yüksek derecede şeffaflığa sahiptirler (Alzahrani, 2023).

SAYDAM BETON ÜRETİMİ

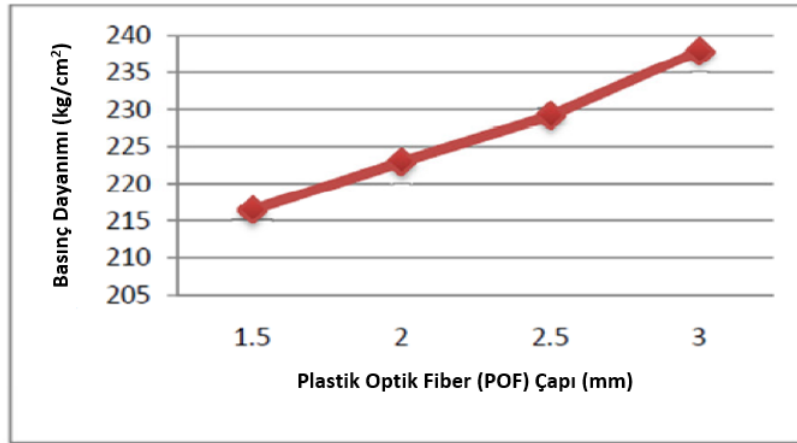
2013-2023 yılları arasında üretilen saydam beton numunelerinin ana bileşenleri ağırlıklı olarak Portland Çimentosu, maksimum tane çapı 0,6-4,75 mm olan ince agrega (kum), maksimum tane çapı 10-12 mm olan iri agrega (çakıl), optik fiberler ve sudan oluşmaktadır.

Bazı araştırmacılar; saydam betonun özelliklerini geliştirmek için optik fiberler yerine atık camlar (Spiesz, Rouvas ve Brouwers, 2016; Pagliolico vd., 2015), cam çubuklar (Kankriya, 2016), akrilik çubuklar (Kim, 2017) ve özel plastik reçineler (Valambhiya, Tuvar ve Rayjada, 2017) gibi daha ucuz ışık yönlendirici malzemeler ile çimento yerine ikame edilen silis dumanı, uçucu kül vb. puzolanlar, süperakışkanlaştırıcı vb. katkı maddeleri de kullanmışlardır.

SAYDAM BETON İLE İLGİLİ YAPILAN DENEYLER VE SONUÇLARI

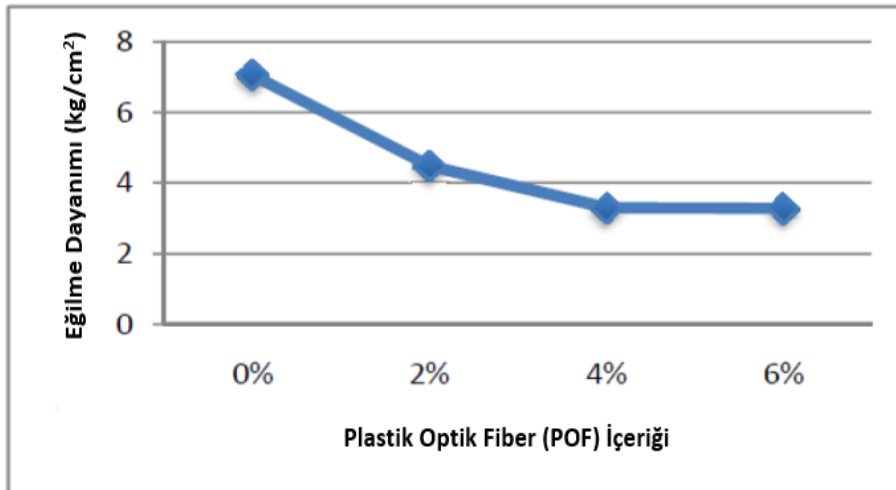
Mekanik ve Fiziksel Özellikleri Belirlemeye Yönelik Testler

Saydam betonun mekanik ve fiziksel özelliklerini ölçmek için eğilme ve basınç dayanımları üzerine araştırmalar yapılmıştır. Bashbash vd. (2013), 1,5 / 2 / 2,5 / 3 (mm) çaplarında ve %2 / 4 / 6 oranlarında plastik optik fiber kullanarak ürettikleri saydam beton üzerinde basınç ve eğilme dayanımı deneyi yapılmış, Plastik optik fiber çapı arttıkça beton basınç dayanımının arttığı, lif içeriği arttıkça beton basınç ve eğilme dayanımının azaldığı sonucuna varılmıştır (Şekil 6 ve Şekil 7). Ayrıca beton içerisine 3 mm çapında ve %4 oranında plastik optik fiber yerleştirilerek en iyi basınç dayanım değerine ulaşılmıştır (Şekil 6) (Bashbash vd., 2013). Momin vd. (2014)'nin plastik optik fiber (200 µ çaplı) ve 0,5 mm çapındaki cam çubuklar ile ürettiği iki farklı saydam betonun basınç dayanım sonuçları incelendiğinde, optik fiber ile üretilen numunenin basınç dayanımının 20-23 MPa arasında, cam çubuk ile üretilen numunenin basınç dayanımının ise 24-26 MPa arasında olduğu görülmüştür.



Şekil 6. Basınç Dayanımı Sonuçları (28 Günlük) (Bashbash vd., 2013)

Luhar ve Khandelwal (2015), ürettikleri saydam betonun basınç dayanımının, geleneksel betonun basınç dayanım değerine yaklaşık olarak eşit olduğu, Kumar ve Ahlawat (2017)'in bulmuş olduğu basınç dayanım sonuçları karşılaştırıldığında ise saydam betonda geleneksel betona kıyasla neredeyse hiç dayanım kaybı olmadığı görülmektedir.



Şekil 7. Eğilme Dayanımı Sonuçları (28 Günlük) (Bashbash vd., 2013)

Diğer araştırmacıların basınç dayanım değerleri incelendiğinde beton içerisindeki optik fiber yüzdesi arttıkça 28 günlük basınç dayanımlarında azalma olduğu, optik fiberlerin yerleşimlerinin dayanım üzerinde etkisi olduğu ve düzenli ve uzun doğrultuda yerleştirilen optik fiberlerin betonun basınç dayanımını arttırdığı sonuçları çıkarılmıştır (Emanet, 2022; Valambhiya, Tuvar ve Rayjada, 2017; Li, Li ve Guo, 2015).

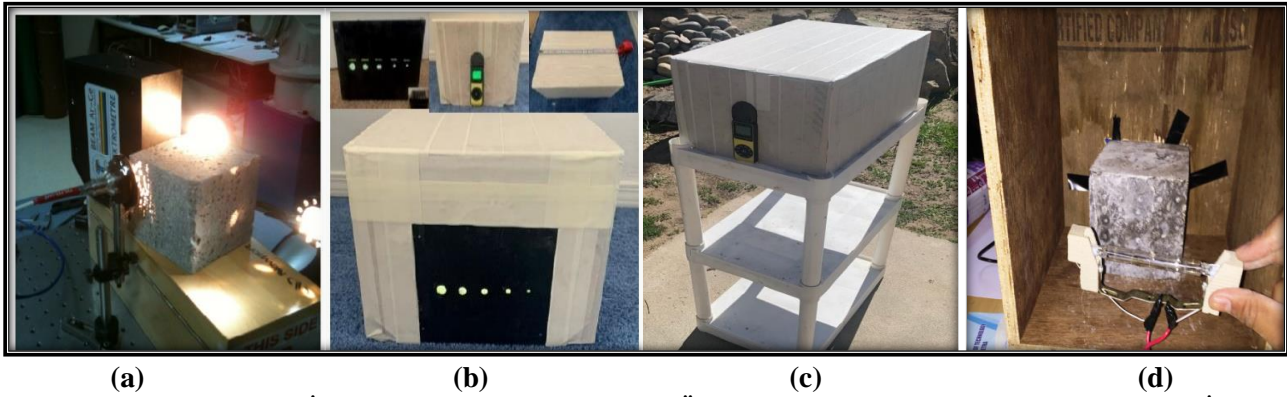
Tablo 1. Düzenli Ve Rastgele Dizilmiş POF İle Üretilmiş Beton Numuneleri Arasında Karşılaştırma Çalışması (Said, 2020).

POF içeriği %	Basınç dayanımında azalma		Eğilme dayanımında azalma	
	Düzenli olarak hizalanmış %	Rastgele hizalanmış %	Düzenli olarak hizalanmış %	Rastgele hizalanmış %
2	0	11,5	18	20,5
3,5	5	15	20	32
5	11	20	18	25,5

Son zamanlarda, Tahwia vd. (2022), 120 MPa sınıfına kadar yüksek dayanımlı saydam betonu geliştirdi, fakat bu durumda optik fiberlerin hacim içeriği sadece %1'dir. Aynı çalışmada, %2-4 hacim içeriğine sahip optik fiberler kullanıldığında basınç dayanımı 40 ila 50 MPa arasında değişmektedir. Nam vd. (2023), birçok çalışmanın aksine hacim olarak %7 'den fazla optik fiber içeriğine sahip, %50 oranında çevre dostu (uçucu kül ve yüksek fırın cürufu) hammadde kullanarak, 80 MPa basınç dayanımına ve yüksek ışık geçirgenliğine sahip süperakışkanlaştırıcı içeren saydam betonu geliştirmiştir.

Işık Geçirgenlik Özelliğini Belirlemeye Yönelik Testler

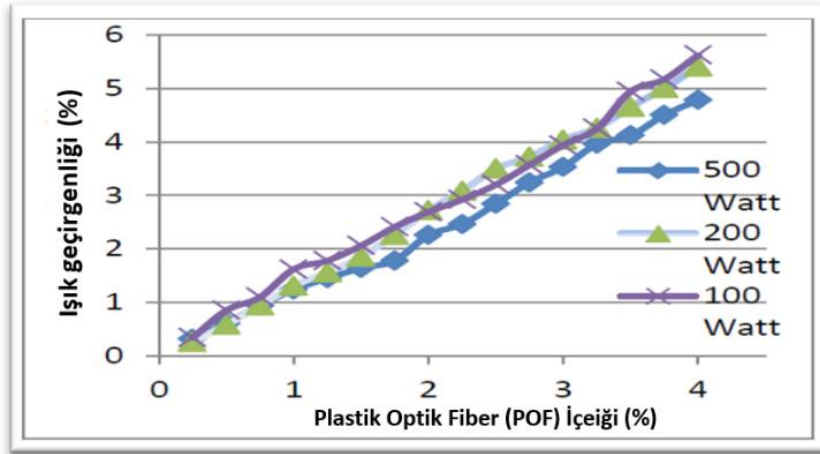
Saydam betonun ışık geçirme özelliğini incelemek için oluşturulmuş herhangi bir yönerge ve standart olmamasına rağmen araştırmacılar çeşitli değişkenler üzerinden saydam betonun ışık iletim testlerini yapmaktadırlar (Shen ve Zhou, 2021). Bu testlerle pus, kırılma indeksi, çift kırılım, geçirgenlik oranı ve yayılma gibi özellikler hesaplanmaktadır (Şekil 8). En çok kullanılanı ise geçirgenlik oranıdır (Topçu ve Uygunoğlu, 2016). Saydam betonda ışık iletimi optik fiberler veya cam, reçine gibi daha ekonomik malzemelerle sağlandığı için, bu malzemelerin ışık iletim özelliklerini anlamak, tüm saydam betonun ışık iletim özelliklerini analiz etmek için bir ön koşuldur (Huang, 2020).



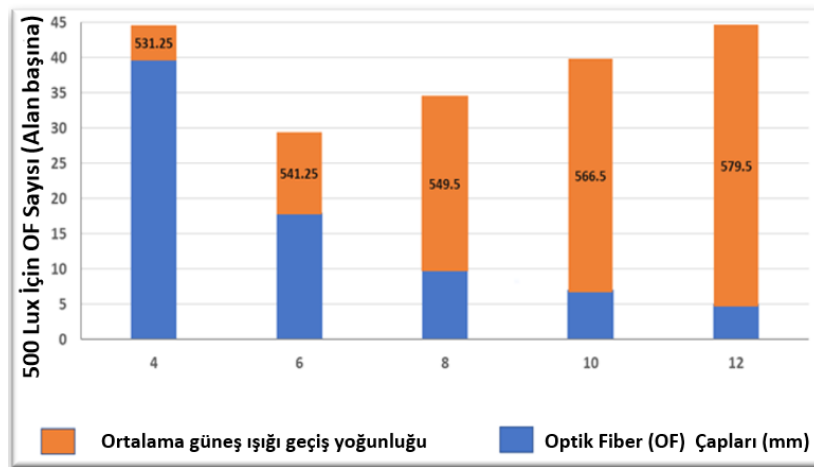
Şekil 8. (a) Spektrometre İle Işık Şiddeti Ve Dalga Boyu Ölçümü (Çakmak, 2012), (b), (c) Luxmetre İle Işık Geçirgenlik Yüzdesinin Belirlenmesi (Hlelai, 2021), (d) Fotometre İle Işık Yönlendirme Özelliğinin Tayini (Kumar ve Ahlawat, 2017).

Momin vd. (2014)'nin plastik optik fiber (200 μ çaplı) ve 0,5 mm çapındaki cam çubuklar ile ürettiği iki farklı numunenin ışık geçirgenlik sonuçlarına bakıldığında, fiber optik numunenin %7,0 ila 10,0 oranında, cam çubuk numunenin %0,2 ila %1,50 oranında ışık geçirdiği görülmüştür. Kumar ve Ahlawat (2017), ürettikleri betonların ışık geçirgenlik özelliklerini, 100 Watt ve 200 Watt akkor ışık kaynağı ve 500 Watt yoğunlukta bir halojen ışık kaynağı kullanarak fotometre ile ölçmüş ve ışık geçirgenliğinin 100W ışık kaynağı için %0,34 ile %5,62, 200W ışık kaynağı için %0,26 ile %5,40 ve 500W ışık kaynağı için %0,32 ile %4,78 arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Ayrıca %5,62'lik ışık geçirgenliğine %4 oranında POF kullanılarak ulaşılmıştır (Şekil 9).

Hlelai (2021), tarafından yapılan çalışmada, 4, 6, 8, 10 ve 12 mm farklı optik fiber çapları ile üretilen numunelerin güneş ışığı geçiş şiddeti, günün farklı saatlerinde ölçülmüş ve elde edilen değerler Şekil 10'da gösterilmiştir. Bu sonuca göre güneş ışığı geçiş şiddetleri, yapı endüstrisindeki çoğu aydınlatma sistemi için gerekli olan 500 lux / yard² güneş ışığı yoğunluğunun üzerindedir.



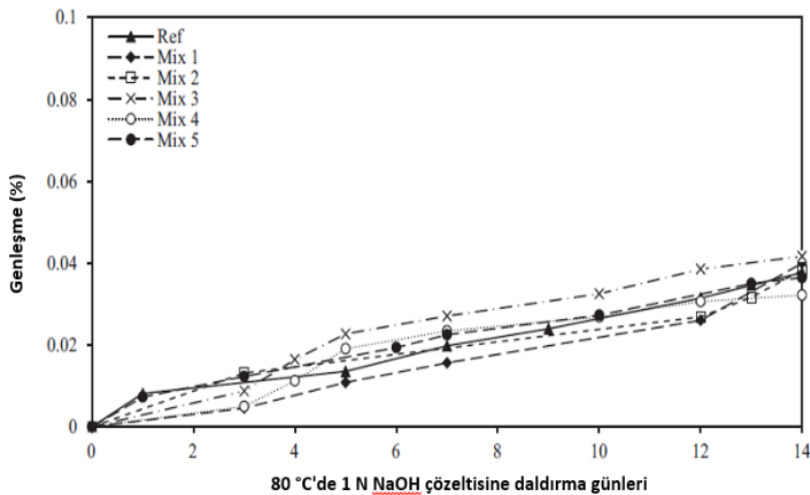
Şekil 9. Işık Geçiş Yüzdesi (Kumar ve Ahlawat, 2017)



Şekil 10. OF Sayı Ve Çapları İle Ortalama Güneş Işığı Geçiş Yoğunluğu Arasındaki İlişki (Hlelai, 2021)

Dayanıklılık Testi

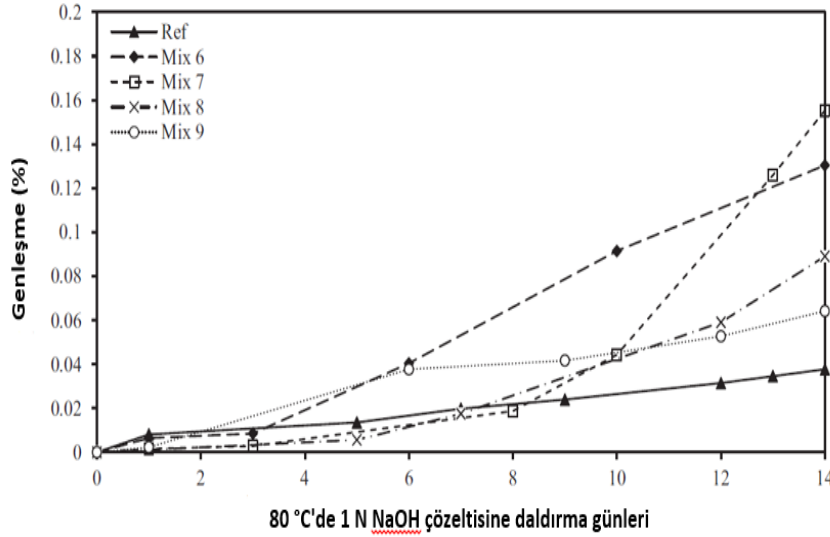
Saydam betonun dayanıklılık araştırmaları beton üretiminde kullanılan yarı saydam elemana dayalı yapılmıştır. Pagliolico vd. (2015)'nin, yarı saydam bir malzeme olan camı kullanarak ürettikleri betonda, hızlandırılmış ASR deneyi altında %0.01'den daha düşük önemsiz bir genişleme görülmüş, bu da camın alkali reaktif olmayan olarak sınıflandırılması gerektiği göstermiştir.



Şekil 11. Betonun ASR Genleşmesi-Seri 1 (Karışım 1-5) (Spiesz, Rouvas ve Brouwers, 2016)

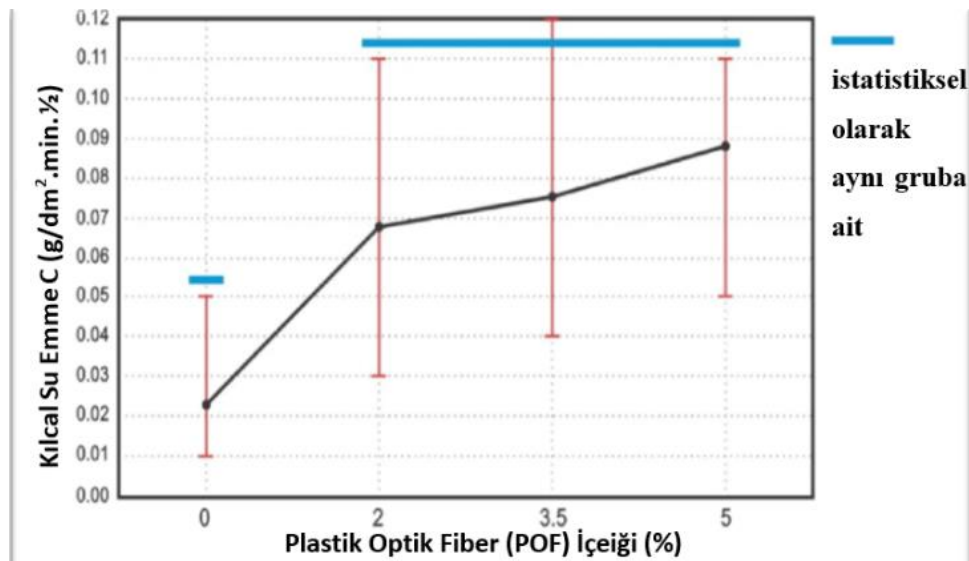
Spiesz, Rouvas ve Brouwers (2016), yıkanmamış ve yıkanmış atık cam kullanarak ürettikleri şeffaf betonun hızlandırılmış ASR genleşme deneyi sonuçları, geleneksel agregaların kullanıldığı referans karışım ile karşılaştırıldığında; referans karışımında kullanılan geleneksel kum ve agregalarda reaktif bir silis kaynağının bulunmamasından dolayı referans betonda yaklaşık %0,037'lik düşük bir genleşme gözlemlenmiştir.

Karışım (Mix) 1-5'te numuneler oluşturulurken uçucu kül (FA) ve cam tozu kullanılması, camdaki reaktif silikanın varlığının betonda oluşturabileceği genleşmeleri önemli oranda azaltmıştır. En yüksek genleşme; iri agregaların yerine iri atık cam parçaları kullanılarak üretilen Karışım 3 (Mix 3) numunesinde görülmektedir (Şekil 11 ve Şekil 12).

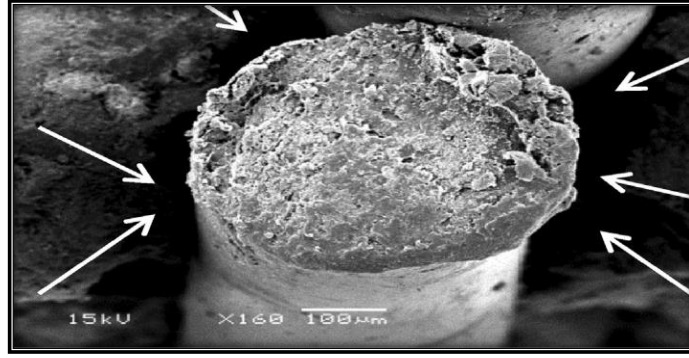


Şekil 12. Betonun ASR Genleşmesi-Seri 2 (Karışım 6-9) (Spiesz, Rouvas ve Brouwers, 2016)

Pilipenko vd. (2018), saydam beton üretiminde ışık ileten malzeme olarak polimer epoksi kullanmış ve geçirgenlik, renk solmasına karşı direnç, donma-çözülme direnci, su emme ve kimyasal dirençle ilgili deneylere odaklanmışlardır. Henriques vd. (2020), %0 (referans), %2, %3,5 ve %5 (kabul edilen en büyük POF içeriği) oranında optik fiber katarak saydam beton üretmiş ve bunlar üzerinde geçirgenlik, gözeneklilik ve su emme testleri uygulamışlardır. Sonuçlar referans numune (%0 POF) ile karşılaştırıldığında, %2, %3,5 ve %5 POF içerikli numuneler, kılcal su emmesi için sırasıyla %309, %345 ve %400'lük artışların olduğu görülmüştür (Şekil 13).



Şekil 13. Kapiler Su Emme Deneylerinin Ortalama Sonuçları (28 Günlük) (Henriques vd., 2020)



Şekil 14. Mevcut Boşlukları Gösteren Fiber/Matris Ara Yüzü SEM Görüntüsü. (Henriques vd., 2020)

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan bu literatür araştırmasında, saydam betonun fiziksel ve mekanik özellikleri, dayanıklılığı ve doğal ışığı geçirme yoğunluğu üzerinde durulup, üretiminde kullanılan malzemelerin özellikleri ve oranları, betonu üreten şirketler ve uygulama örnekleri araştırılmış ve sonuçlar aşağıda listelenmiştir.

- Saydam beton ile ilgili yapılmış son on yıldaki araştırmalar, beton ile doğal aydınlatmanın sağlayabildiğini ve böylelikle enerji tüketiminde yaklaşık %50 oranında azalma olduğunu göstermektedir.
- Işık geçirme özelliğine sahip malzemeler (optik fiberler, kauçuk, cam vb.) arasında en çok tercih edilenin optik fiberler (cam optik fiber, plastik optik fiber vb.) olduğu ve saydam beton içerisindeki optik fiber yüzdesi arttıkça beton dayanımının düştüğü, kılcal su emmesinin arttığı görülmüştür. Fakat saydam beton içerisine %4-7 oranında düzenli ve uzun doğrultuda optik fiber yerleştirilmesi ile üretilen betonun sadece ışığın geçmesine izin vermediğini, aynı zamanda betonun dayanımını da arttırdığını (deneysel sonucunda elde edilen basınç dayanımı 80 MPa) söyleyebiliriz.
- Atık cam kullanılarak üretilecek saydam betonlarda uçucu kül, öğütülmüş yüksek fırın cürufu, silis dumanı veya metakaolin gibi mineral katkıların kullanımı ASR (Alkali Silika Reaksiyonu) etkisini önemli ölçüde azaltabilir.
- Optik fiberlerin maliyetinin yüksek ve uygulanmasının karmaşık olması nedeniyle atık cam, reçine gibi daha ekonomik malzemeler kullanılarak üretilecek saydam betonların yapı sektöründe kullanımı teşvik edilebilir. Örneğin; gündüz saatlerinde aydınlatma maliyetini azaltmak için büyük ofis binalarının veya ticari yapıların bölme duvarlarında, merdiven boşluklarında ve güvenli yürüyüş yolları yapmak amacıyla kaldırımlarda vb. alanlarda kullanılabilir.

Bu literatür taraması ile günümüz mühendislik uygulamalarında adı çok geçen “endüstriyel atık”, “geri dönüşüm”, “sürdürülebilirlik” ve “enerji verimliliği/tasarrufu” kavramları ele alınarak çevre dostu yeni bir saydam betonun tasarlanıp, üretilebileceği kanısına varılmıştır. İlerleyen zamanlarda saydam betonu farklı yapılar, aksesuarlarda ve sanatsal objelerde sıklıkla görebiliriz.

ARAŞTIRMACILARIN KATKISI

Bu araştırmada; Yazar1, Makalenin fikri, düzenlenmesi ve kontrolü; Yazar2, bilimsel yayın araştırması, makalenin oluşturulması konularında katkı sağlamışlardır.

KAYNAKLAR

Alzahrani, S., Alkhamis, K., Felaly, R., Alkhatib, F., Pashameah, R., Shah, R., & El-Metwaly, N. M. (2023). Preparation of transparent photoluminescence plastic concrete integrated with lanthanide aluminate. *Ceramics International*, 49(8), 12702-12709.

Ahuja, A., & Mosalam, K. M. (2017). Evaluating energy consumption saving from translucent concrete building envelope. *Energy and Buildings*, 153. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.06.062>

- Bajpai, R. (2013). Application of transparent concrete in construction world. *I-Manager's Journal on Civil Engineering*, 4(1), 13–17.
- Bashbash, B. F., Hajrus, R. M., Wafi, D. F., & Alqedra, M. A. (2013). Basics of Light Transmitting Concrete. *Global Advanced Research Journal of Engineering, Technology and Innovation*, 2(3).
- Chiew, S. M., Ibrahim, I. S., Sarbini, N. N., Ariffin, M. A. M., Lee, H. S., & Singh, J. K. (2021). Development of light-transmitting concrete—A review. *Materials Today: Proceedings*, 39, 1046-1050.
- Çakmak, A. (2012). Şeffaf Betonun Mimaride Kullanımı ve Üretimine Yönelik Deneysel Bir Değerlendirme [Yükseklisans Tezi]. Kocaeli Üniversitesi.
- Emanet, S. (2022). Işık Geçiren Betonun Optik Fiber Oranları ve Yerleşimlerine Göre Özelliklerini İncelemeye Yönelik Deneysel Bir Çalışma [Yükseklisans Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Henriques, T. dos S., Dal Molin, D. C., & Masuero, Â. B. (2020). Optical fibers in cementitious composites (LTCM): Analysis and discussion of their influence when randomly arranged. *Construction and Building Materials*, 244. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118406>
- Hlelai, M. A. (2021). Study on the Properties of Transparent Geopolymer Concrete. California State University.
- Huang, B. (2020). Light transmission performance of translucent concrete building envelope. *Cogent Engineering*, 7(1). <https://doi.org/10.1080/23311916.2020.1756145>
- Italcementi Group. (2022). İtalyan Pavyonu'nun Dış ve İç Görünümü. <https://www.italcementi.it/it>. Erişim Tarihi: 22.05.22.
- Kankriya, S. M. (2016). Translucent concrete by using optical fibers and glass rods. *Int. J. Sci. Res. Publ*, 6(10), 625-627.
- Kim, B. (2017). Light transmitting lightweight concrete with transparent plastic bar. *The Open Civil Engineering Journal*, 11(1).
- Kumar, A., & Ahlawat, R. (2017). Experimental Study on Light Transmitting Concrete. In *IJISSET-International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology* (Vol. 4). www.ijiset.com
- Li, Y., Li, J., & Guo, H. (2015). Preparation and study of light transmitting properties of sulfoaluminate cement-based materials. *Materials and Design*, 83. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.06.021>
- Li, Y., Xu, Z. Y., Gu, Z. W., & Bao, Z. Z. (2012). Preparation of light transmitting cement-based material with optical fiber embedded by the means of parallel arrange. *Advanced Materials Research*, 391–392. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.391-392.677>
- Litracon. (2022). Litracon Classic. <http://www.Litracon.Hu/En/about-Us/>Erişim tarihi: 22.05.22.
- Luhar, S., & Khandelwal, U. (2015). Compressive Strength of Translucent Concrete. *International Journal of Engineering Sciences & Emerging Technologies*, 8(2).
- Momin, A. A., Kadiranaikar, R. B., Jagirdar, V., & Inamdar, A. (2014). Study on Light Transmittance of Concrete Using Optical Fibers and Glass Rods. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*.
- Nam, H. P., Hai, N. M., Van Huong, N., Quang, P. D., Tuan, N. D., Binh, N. T., & Vy, T. Q. (2023). Experimental study on 80 MPa grade light transmitting concrete with high content of optical fibers and eco-friendly raw materials. *Case Studies in Construction Materials*, 18, e01810.
- Pagliolico, S. L., Lo Verso, V. R. M., Torta, A., Giraud, M., Canonico, F., & Ligi, L. (2015). A preliminary study on light transmittance properties of translucent concrete panels with coarse waste glass inclusions. *Energy Procedia*, 78. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.317>

- Pilipenko, A., Bazhenova, S., Kryukova, A., & Khapov, M. (2018). Decorative light transmitting concrete based on crushed concrete fines. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 365(3). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/365/3/032046>
- Said, S. H. (2020). State-of-the-art developments in light transmitting concrete. *Materials Today: Proceedings*, 33, 1967-1973.
- Shen, J., & Zhou, Z. (2021). Light transmitting performance and energy-saving of plastic optical fibre transparent concrete products. *Indoor and Built Environment*, 30(5). <https://doi.org/10.1177/1420326X20903368>
- Silalahi, Y. N. (2023). Penggunaan Kabel Fiber Optik.
- Spiesz, P., Rouvas, S., & Brouwers, H. J. H. (2016). Utilization of waste glass in translucent and photocatalytic concrete. *Construction and Building Materials*, 128. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.10.063>
- Subathra, P., & Sangeetha, S. P. (2020). Study on pellucid concrete incorporating optical fibers—a review. *Materials Today: Proceedings*, 45. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.110>
- Tahwia, A. M., Heniegal, A. M., Abdellatif, M., Tayeh, B. A., & Abd Elrahman, M. (2022). Properties of ultra-high performance geopolymer concrete incorporating recycled waste glass. *Case Studies in Construction Materials*, 17, e01393.
- Tahwia, A. M., Abdel-Raheem, A., Abdel-Aziz, N., & Amin, M. (2021). Light transmittance performance of sustainable translucent self-compacting concrete. *Journal of Building Engineering*, 38. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102178>
- Topçu, B. İ., & Uygunoğlu, T. (2016). Saydam Betonların Özellikleri Üzerine Bir Araştırma. *İMO Teknik Dergi*, 7469–7475.
- Tuaum, A., Shitote, S., Oyawa, W., & Biedebrhan, M. (2019). Structural Performance of Translucent Concrete Façade Panels. *Advances in Civil Engineering*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/4604132>
- Valambhiya, H. B., Tuvar, T. J., & Rayjada, P. V. (2017). History and case study on light transmitting concrete. *J. Emerg. Technol. Innov. Res*, 4(1).
- Zielińska, M., & Ciesielski, A. (2017, October). Analysis of transparent concrete as an innovative material used in civil engineering. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 245, No. 2, p. 022071). IOP Publishing.