

EPS YALITIM KALIPLI DONATILI BETON TAŞIYICI DUVAR SİSTEMİ İÇİN TASARLANAN BETON BİLEŞİMİNİN UYGUNLUĞUNUN BELİRLENMESİ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA

*Burak ÖZŞAHİN** 
*Abdurrahman GÜNER*** 

Alınma: 03.07.2020; düzeltme: 11.07.2020; kabul: 15.07.2020

Öz: Genleştirilmiş Polistiren Sert Köpük (EPS) Yalıtım Kalıplı Donatılı Beton Taşıyıcı (EPS YKDBT) Duvar Sistemi'nde, sistemin özellikleri dikkate alınarak tasarlanan "kendiliğinden yerleşen beton" (KYB) kullanılması uygundur. Fakat KYB'nin maliyetinin yüksek olması sebebiyle EPS YKDBT duvar sisteminde KYB'nin kullanılması sistemin yapım maliyetini artırmaktadır. Sistemin yapım maliyetini düşürmek amacıyla çalışma kapsamında EPS YKDBT duvar sistemi için "çok akıcı" kıvamda geleneksel beton bileşimi tasarlandı. EPS YKDBT duvar sistemi için tasarlanan istenir geleneksel beton bileşiminin uygunluğu, KYB ile karşılaştırılarak deneysel olarak belirlenmeye çalışıldı. Çalışma sonucu incelenen EPS YKDBT Duvarlı bina yapım sisteminde vibrasyon uygulanmadan çok akıcı kıvamda geleneksel beton bileşiminin kullanılmasının uygun olmayacağı sonucuna varıldı.

Anahtar Kelimeler: EPS, EPS YKDBT Duvar Sistemi, Kendiliğinden Yerleşen Beton, İstenir Beton

A Study On The Determination Of Eligibility Of Concrete Composition Designed For Expanded Polystyrene Foam Insulating Concrete Form Wall System

Abstract: The self compacting concrete (SCC) designed taking into account the properties of the system is suitable for use in Expanded Polystyrene Foam Insulating Concrete Form (EPS ICF) Wall System. However, the high cost of the SCC increases construction costs. In this paper, in order to reduce the construction cost of EPS ICF Wall System, a very high workability, preferably free-flowing traditional concrete composition was designed for the system. The suitability of the concrete designed was compared experimentally with that of SCC. The results of the study suggested that the usage of a desirable very high workability or flowing consistency traditional concrete placed without vibration would not be appropriate for the EPS ICF Wall System.

Keywords: EPS, ICF Wall System, Self Compacting Concrete, Desirable Concrete

*Kırklareli Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Kırklareli

**İstanbul Esenyurt Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İstanbul

İletişim Yazarı: Burak ÖZŞAHİN (burak.ozsahin@klu.edu.tr)

1. GİRİŞ

EPS YKDBT duvar sisteminde duvarlar, EPS kalıplara çelik donatıların yerleştirilmesinden sonra betonun doldurulmasıyla oluşturulmaktadır. EPS YKDBT duvar sisteminde beton dökümü sırasında ve sonrasında kalıpların şekillerini korumaları için kalıp ara yüzeylerinde bağlantı köprülerinin bulunması ayrıca duvar kalınlığının fazla olmaması sebebiyle betonun doldurulacağı gözlerin (boşlukların) boyutları oldukça küçüktür. Betonda yer yer boşluk oluşumuna yol açan çeper etkisi (wall-effect) ortaya çıkabilmektedir. EPS YKDBT duvar sistemi uygulamalarında EPS kalıplar kalıcı olup beton dökümünden sonra sökülmedikleri için kalıp içine dökülen betonun boşluksuz yerleşip yerleşmediği görülememektedir. Sistemde kullanılan kalıplar EPS olduğu için, kalıpların içine beton yerleştirilip sıkıştırılmasında vibrasyon uygulanması kısıtlanmaktadır. Bu sebeple sistemde kullanılacak betonun yüksek ayrışma dirençli, dar engeller arasından geçebilme ve boşlukları doldurabilme kabiliyetine sahip, çok akıcı kıvamda olması gerekmektedir (Özşahin, 2011; Özşahin ve Güner, 2016).

Sistemde boşluksuz beton yerleşiminin sağlanması için vibrasyon uygulamak yerine genellikle KYB kullanılması tercih edilmektedir. Fakat KYB'nin maliyetinin yüksek olması sebebiyle EPS YKDBT duvar sisteminde KYB'nin kullanılması sistemin ilk yapım maliyetini artırmaktadır. Söz konusu sistemde KYB yerine çok akıcı kıvamda geleneksel beton bileşimi kullanılabilirse, sistemin ilk yapım maliyetini düşürmek mümkün olabilecektir. Bu amaçla çalışma kapsamında sistem için istenir (uygun olabilecek) bir geleneksel beton bileşimi tasarlandı ve bu beton bileşiminin uygunluğunun sınanması için deneyler yapıldı.

2. EPS YALITIM KALIPLI DONATILI BETON TAŞIYICI DUVAR SİSTEMİ

Gelişen sanayisi, artan nüfusu, yetersiz enerji kaynakları ve üretimi sebebiyle kendi enerji ihtiyacını öz kaynakları ile karşılayamayan Türkiye'de enerji tüketiminin önemli bir bölümünü, binaların ısıtılması için kullanılan enerji oluşturmaktadır (Özşahin ve Güner, 2015). Binalarda ısıtma amaçlı enerji tüketimini sınırlandırabilmek için bina kabuğunda duvar, zemin ve çatı gibi dış ortam ile temas eden yapı elemanlarının ısı iletiminin en aza indirilmesi gerekmektedir. Binalarda ısı yalıtımı uygulamalarıyla hem enerji tasarrufu sağlanacak hem de binaların ısıtılmasında tüketilen yakıtlardan atmosfere karışan zararlı gazlar azalacaktır (Özşahin, 2011; Özşahin vd., 2013).

Isıtma amaçlı enerji tüketimini azaltmak için yeni yapılacak binalar ile mevcut binaların yalıtılmasının yanında enerji tüketimini sınırlayan yalıtımlı bina sistemlerinin uygulanması yoluna da gidilmektedir. Enerji tüketimini sınırlayan yalıtımlı bina sistemlerinden biri olan EPS Yalıtım Kalıplı Donatılı Beton Taşıyıcı (EPS YKDBT) Duvar Sistemi uygulamaları son yıllarda Türkiye'de de artmaktadır (Özşahin ve Güner, 2015).

Uluslararası literatürde "ICF (Insulating Concrete Form) Walls" olarak tanınan sistemde iki tarafta EPS'den oluşan yalıtım malzemesi, aralarında iç kısımda bağlantı köprüleri ve donatılı betondan oluşan taşıyıcı çekirdek bulunmaktadır (Vanderwerf ve Munsell, 1996; Vanderwerf vd., 1997; Vanderwerf ve Panushev, 2004). EPS YKDBT duvar sisteminde yalıtım ve aynı zamanda kalıp vazifesi gören EPS elemanlar, levha veya blok olarak kullanılmakta, aralarına donatı yerleştirildikten sonra beton doldurulmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1:
Sistemde Duvar İmalatı (Özşahin, 2011)

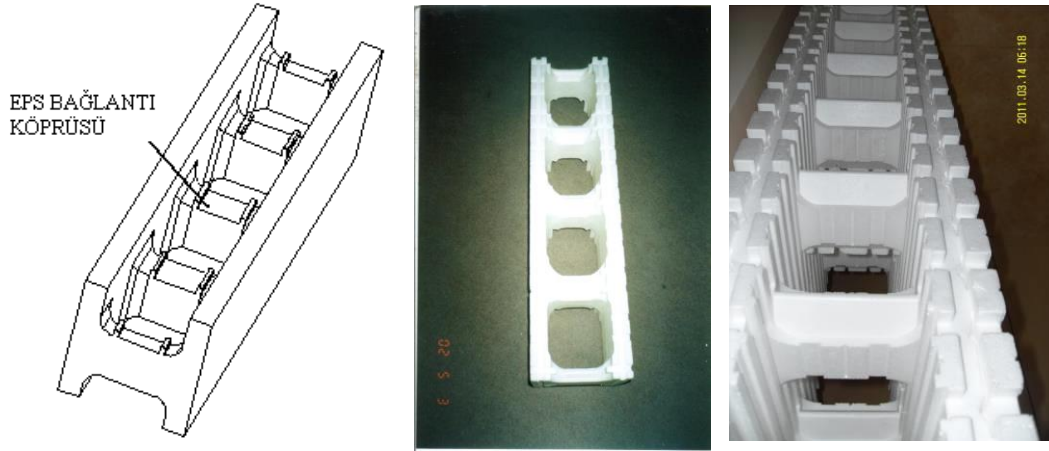
Sistemi oluşturan taşıyıcı duvarlar, yapıya etkimesi muhtemel yüklere ve iklimsel çevre koşullarına bağlı olarak istenen ısı konfora göre belirlenen duvar kalınlığına uygun şekilde çeşitli yoğunluklu EPS kalıplar üst üste ve yan yana dizilerek oluşturulmaktadır. Yapıya etkimesi muhtemel yüklere göre belirlenen düşey ve yatay donatılar şantiyede EPS kalıplar ile oluşturulan duvarlara yerleştirildikten sonra kalıplar arasındaki boşluk beton ile doldurulmaktadır. Beton karışımı ile EPS kalıplarda birbirlerine zarar verecek herhangi bir madde bulunmaması, bu iki malzemenin rahatlıkla birlikte kullanılmasını sağlamaktadır. EPS kalıpların üst üste ve yan yana dizilip, kenetlenmesi ve herhangi bir yapıdırma işlemine gerek kalmaksızın duvar sisteminin oluşturulması için EPS kalıpların üzerlerinde dişler bulunmaktadır (Özşahin, 2011).

Betonun yerleştirilmesi sırasında EPS kalıpların şekillerini korumak, beton dökümü sırasında betonun kalıba uyguladığı yanıl kuvvetleri karşılamak ve beton sertleştikten sonra iki yüzeyde bulunan EPS elemanların betonla bir arada kalmasına yardımcı olmak için, kalıp içinde iç yüzeye dik doğrultuda belirli aralıklarla bağlantı köprüleri, öğeleri bulunmaktadır (Özşahin ve Güner, 2015; Özşahin vd., 2013).

EPS kalıp türlerine göre EPS, metal, plastik vb. malzemelerden yapılan, çeşitli biçim ve boyutlarda imal edilen bağlantı köprülerinin bazı türleri kalıpla birlikte fabrikada imal edilirken, bazı türleri ise kalıplara şantiyede monte edilmektedir (Şekil 2).

Sistemi oluşturan duvarlara beton dökümü sırasında kalıpların patlamaması için genellikle vibrasyon uygulanmaz ve betonun dökülmesi kademeli olarak yapılır. Kat yüksekliğine bağlı olarak binayı oluşturan duvarların ilk önce 1.00–1.50 m yüksekliğe sahip ilk kademesine beton dökülür. Binayı oluşturan tüm duvarların ilk kademe betonu döküldükten sonra duvarların kalan kısmının betonu dökülür (Özşahin, 2011).

EPS YKDBT duvar sisteminin uygulama detayları ve sistemde kullanılan kalıp malzemesi EPS ile ilgili teknik özellikler hakkında kapsamlı bilgilere Özşahin, 2011; Özşahin ve Güner, 2015; Özşahin ve Güner, 2016; HUD, 2002; HUD, 2001; NAHB, 2000 kaynaklarından ulaşılabilir.



Şekil 2:
Sistemde kullanılan EPS kalıpların bağlantı köprüleri (Özşahin 2004, 2011)

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1 Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzeme Özellikleri

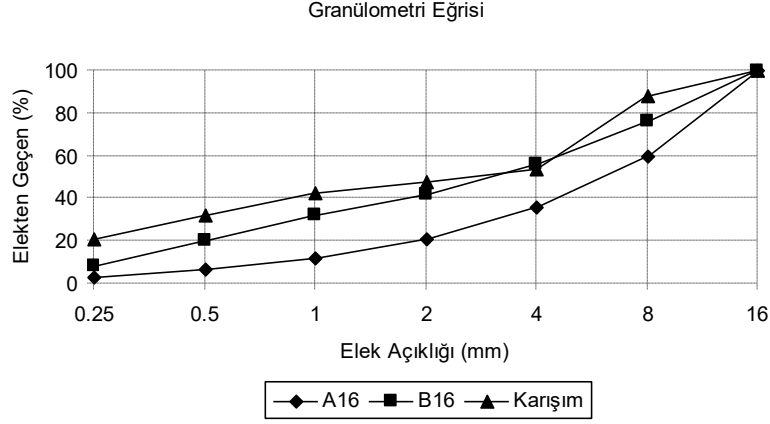
3.1.1 Agregata

EPS YKDBT duvar sisteminde kullanılacak beton için önemli bir husus, agregata karışımının en büyük tane büyüklüğüdür ($D_{en\ büyük}$). Bu çalışmada $D_{en\ büyük}$, EPS YKDBT duvar sistemini oluşturan en elverişsiz birim hücre boyutlarında çeper etkisi göz önüne alınarak belirlendi. Deneysel çalışmada kullanılan doğal kum ve agregatanın özellikleri Tablo 1’de verildi.

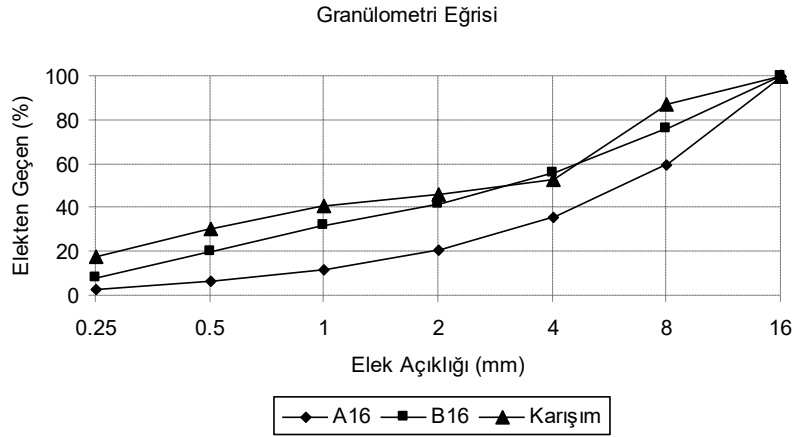
Tablo 1. 0/4 mm Doğal Kum ve 4/12 mm Agregata Özellikleri (Özşahin, 2011)

Deney Adı	0/4 mm Doğal Kum	4/12 mm İri Agregata	İlgili Standard
Suya Doymun Yüzey Kuru Tane Yoğunluğu, kg/m^3	2580	2710	TS EN 1097-6
Gevşek Birim Hacim Kütle, kg/m^3	1530	1340	TS EN 1097-3
Kütlece Su Emme, %	1,90	0,70	TS EN 1097-6
Tane Şekil Sınıfı (Yassılık İndeksi)	-	%14 (FI_{15})	TS EN 933-3
Kütlece İnce Madde Oranı, %	0,70 (f_3)	-	TS EN 933-3
Organik Madde	Renksiz	-	TS EN 1744-1
İri Agregaların Parçalanmaya Karşı Direnci-Los Angeles, %	-	20 (LA_{20})	TS EN 1097-2

EPS YKDBT duvar sistemi için tasarlanan geleneksel beton ve KYB’de kullanılan agrega karışımına ait agrega tane büyüklüğü dağılımı eğrileri sırasıyla Şekil 3 ve Şekil 4’te verildi.



Şekil 3:
Geleneksel Beton Bileşimi Agrega Tane Büyüklüğü Dağılımı Eğrisi (Özşahin, 2011)



Şekil 4:
Kendiliğinden Yerleşen Beton Bileşimi Agrega Tane Büyüklüğü Dağılımı Eğrisi (Özşahin, 2011)

3.1.2. Bağlayıcı Madde

Deneysel çalışmada TS EN 197–1 CEM I 42,5 R bağlayıcı kullanıldı. Kullanılan bağlayıcının bazı fiziksel, kimyasal ve mekaniksel özellikleri Tablo 2’de verildi.

Tablo 2. Kullanılan Bağlayıcının Fiziksel, Kimyasal ve Mekaniksel Özellikleri (Özşahin, 2011)

Kimyasal Bileşim	(kütlece %)
SiO ₂	20,32
Al ₂ O ₃	5,59
Fe ₂ O ₃	3,09
CaO	62,50
MgO	1,74
SO ₃	2,78
Na ₂ O	0,34
K ₂ O	0,91
Kızdırma Kaybı	1,34
Çözünmeyen Kalıntı	0,56
Serbest CaO	0,93
Fiziksel Özellikler	
Priz Başlangıcı (dk)	144
Priz Sonu (dk)	209
Hacim Genleşmesi (mm)	1,0
Tane Yoğunluğu (Mg/m ³)	3,14
Özgül Yüzey (m ² /kg)	399,0
45 µm elek kalıntısı (kütlece %)	9,9
90 µm elek kalıntısı (kütlece %)	1,0
Mekaniksel Özellikler	
Basma Dayanımı	(MPa)
2 Günlük	30,3
7 Günlük	47,1
28 Günlük	59,1

3.1.3. Taş Tozu

DeneySEL çalışmada üretilen beton bileşimlerinde viskozite arttırıcı toz malzeme olarak tane büyüklüğü < 0,063 mm kireçtaşı tozu kullanıldı.

3.1.4. Karışım Suyu

EPS YKDBT duvar sistemi için tasarlanan geleneksel beton ve KYB üretiminde içilebilir kuyu suyu kullanıldı.

3.1.5. Kimyasal Katkı

Beton üretiminde kimyasal katkı olarak süper akışkanlaştırıcı kullanıldı. Beton bileşimlerinde kullanılan polinaftalin esaslı sentetik polimer türü süper akışkanlaştırıcının özellikleri Tablo 3'te verildi.

Tablo 3. Süper akışkanlaştırıcının Özellikleri (Özşahin, 2011)

Süper akışkanlaştırıcı			
Teknik Özellikler			
Görünüm	Sıvı	Bağıl Yoğunluk	1,21 ± 0,03
Renk	Kahverengi	pH	6,0 ± 1,0
Katı Madde	Kütlece % 41,0 ± % 5	Klorür İçeriği	< Kütlece % 0,1
Dozaj	100 kg bağlayıcı için 1,0 kg ile 2,0 kg arasındadır. Genelde kullanma dozajı, karışım içerisindeki etkin bağlayıcı kütesinin %1,2'si dolayındadır.		

3.2 Betonların Bileşimleri

Beton bileşimi TS EN 206-1/Nisan 2002'de tanımlı C30/37 beton dayanım sınıfına göre tasarlandı. EPS YKDBT duvar sistemi için tasarlanan geleneksel beton bileşiminde ve KYB bileşiminde kullanılan malzeme miktarları Tablo 4'te verildi.

Tablo 4. EPS YKDBT Duvar Sistemi için Tasarlanan Beton Bileşimleri (Özşahin, 2011)

Bileşen	Geleneksel Beton (kgBileşen/m³TazeBeton)	Kendiliğinden Yerleşen Beton (kgBileşen/m³TazeBeton)
Bağlayıcı (CEM I 42,5 R), B	352	370
Taş Tozu (< 0,063 mm), TT	417	330
Su, S	155	155
İnce Agregası (0/4)	577	640
İri Agregası (4/16)	788	850
Kimyasal Katkı, KK	5,5 (B × % 1,7)	8,0 (B × % 2,0)
Toplam	2295	2353
Toplam Toz+Bağlayıcı	769	700
Tasarım Parametreleri		
S/B (Su/Bağlayıcı Oranı)	0,44	0,42
S/(B+TT) (Su/(Bağlayıcı+Toz) Oranı)	0,20	0,22

3.3. Taze ve Sertleşmiş Beton Deneyleri

Çalışma kapsamında EPS YKDBT duvar sistemi için tasarlanan geleneksel beton bileşiminin uygunluğunun belirlenmesi için yapılan taze beton ve sertleşmiş beton deneyleri Tablo 5'te verildi.

Tablo 5. Çalışma Kapsamında Yapılan Deneyler (Özşahin, 2011)

Taze Beton Deneyleri	Sertleşmiş Beton Deneyleri
Çökme (Slump)	Basınç Dayanımı
Çökmede Yayılma	Yarmada Çekme Dayanımı
V Hunisi	Sertleşmiş Beton Yoğunluğu
J Halkası	Tek Eksenli Gerilme Şekil Değiştirme
L Kutusu	Elastisite Modülü
Taze Beton Yoğunluğu	Ultrases Geçiş Hızı
Taze Beton Hava İçeriği	

3.3.1 Taze Beton Deneyleri

EPS YKDBT duvar sistemi için tasarlanan geleneksel beton bileşimi ve KYB bileşiminin taze halde işlenebilirlik özelliklerini belirlemek için Tablo 5’te verilen taze beton deneyleri yapıldı (Şekil 5). Taze beton deneyleri yapılırken ortam sıcaklığı 16,7 °C, geleneksel beton sıcaklığı 20,9 °C ve KYB sıcaklığı 21,1 °C olarak ölçüldü.

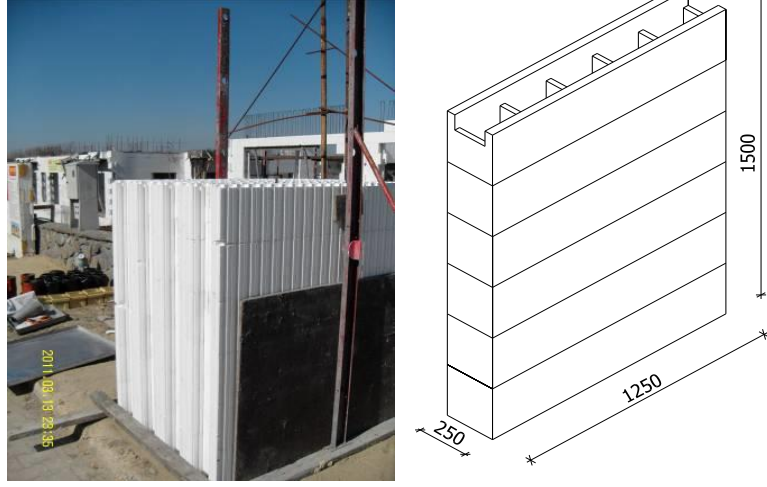


Şekil 5:
Çalışma Kapsamında Yapılan Taze Beton Deneyleri (Özşahin, 2011)

3.3.2. EPS YKDBT Duvar Sistemi İçin Tasarlanan Beton Bileşiminin Uygunluğunun Taşıyıcı Sistem Elemanları Üzerinde Denenmesi

DeneySEL çalışmada EPS YKDBT duvar sistemi için tasarlanan geleneksel beton bileşiminin uygunluğunun taşıyıcı sistem elemanları (duvarlar) üzerinde denenmesi için EPS bağlantı köprülü kalıplar kullanılarak 1,25 m × 1,50 m boyutunda dört adet duvar numunesi hazırlandı (Şekil 6).

Hazırlanan duvar numunelerinin iki tanesine geleneksel beton ve diğer iki tanesine de KYB ayrı ayrı döküldü. Geleneksel betonun ve KYB’nin döküldüğü duvarlardan bir tanesine yatay ve düşey donatı yerleştirildi, diğerine taşıma kancası dışında donatı yerleştirilmedi (Şekil 7). Duvarlara beton dökülürken geleneksel betonda vibrasyon uygulandı, KYB’de vibrasyon uygulanmadı. Beton dökümünden sonra duvarların üzerleri 24 saat muşamba ile örtülerek koruma altına alındı (Özşahin, 2011).



Şekil 6:
Deneysel Çalışmada Kullanılan Duvar Numuneleri ve Boyutları (Özşahin, 2011)

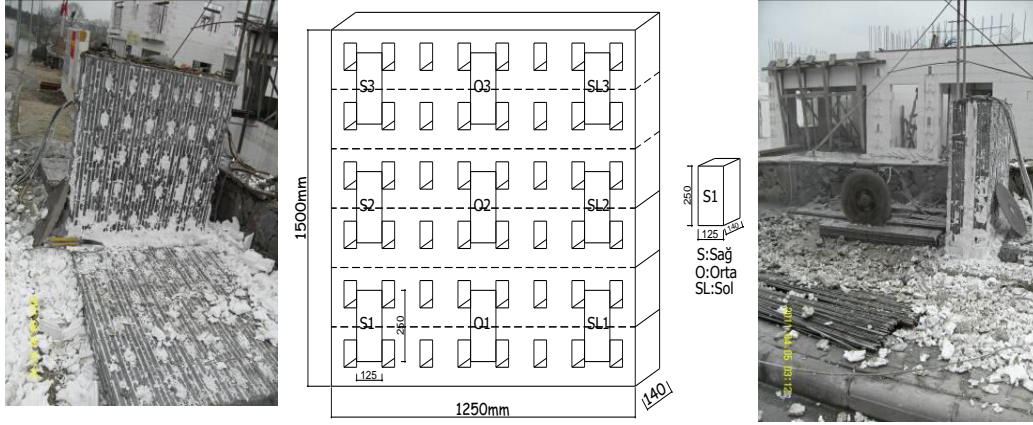


Şekil 7:
Deneysel Çalışmada Kullanılan Donatılı ve Donatısız Duvar Numunelerinin Beton Dökümü (Özşahin, 2011)

3.3.3. Sertleşmiş Beton Deneyleri

Taze beton deneyleri tamamlandıktan sonra EPS YKDBT duvar sistemi için tasarlanan geleneksel beton sarsma tablası ile sıkıştırılarak, KYB ise herhangi bir sıkıştırma veya sarsma işlemi olmaksızın 150 mm küp ve $\text{Ø}150 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$ boyutlarındaki silindir kalıplara yerleştirildi. Kalıplara yerleştirilen standard beton numuneler 24 saat boyunca kalıplarda bekletildikten sonra kalıptan çıkartılarak $20 \text{ °C} \pm 2 \text{ °C}$ sıcaklıktaki kirece doymun su içerisinde deney gününe kadar saklandı.

EPS YKDBT duvar sisteminde kalıp ve yalıtım görevi gören EPS kalıplar, duvar numunelerin beton dökümünden 21 gün sonra kalıp içindeki betonlarda yerleşme ve boşlukluluk durumunu görmek için söküldü (Şekil 8).



Şekil 8:

Yüzeyindeki EPS Kalıpları Soyulmuş Duvar Numuneleri ve Kesim Planına Göre Duvarların Kesilmesi (Özşahin, 2011)

Yüzeyindeki EPS kalıpları sökülen duvarlardan prizmatik beton numuneler Şekil 8’de görülen kesim planına göre üç farklı seviyeden kesilerek alındı. Duvarlarda prizmatik numunelerin kesilmesinde beton döküm yönü dikkate alındı. Basma deneylerinde yükler beton döküm doğrultusunda uygulandı (Özşahin, 2011).

Duvarlardan prizmatik beton numunelerinin alınmasında hidrolik beton kesme makinesi kullanıldı. Dört adet duvardan kesilerek alınan prizmatik numuneler isimlendirilerek diğer numunelerle birlikte deney gününe kadar $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta kirece doymun su içerisinde saklandı. Beton dökümü sırasında alınan silindir ve küp numuneler ile duvarlardan kesilerek alınan prizmatik numuneler üzerinde Tablo 5’te verilen deneyler yapılarak sertleşmiş haldeki beton özellikleri incelendi (Şekil 9).



Şekil 9:

Çalışma Kapsamında Yapılan Sertleşmiş Beton Deneyleri (Özşahin, 2011)

4. BULGULAR

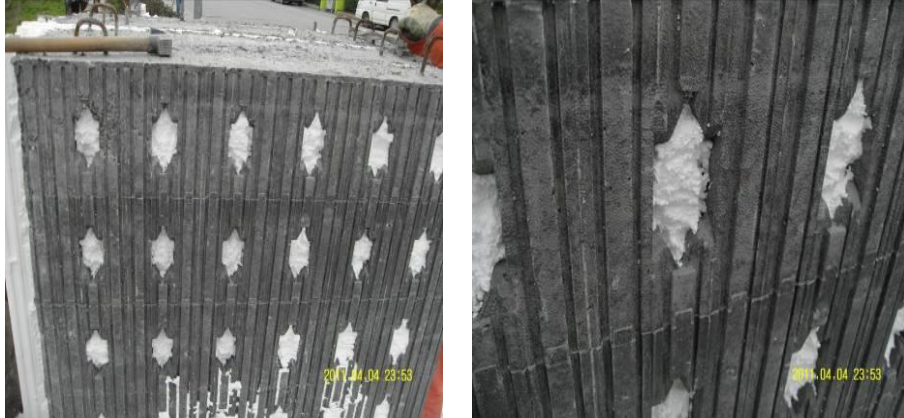
Çalışma kapsamında EPS YKDBT duvar sistemi için tasarlanan geleneksel beton ve KYB'ye uygulanan taze beton deney sonuçları Tablo 6'da toplu olarak görülmektedir.

Tablo 6. Taze Beton Deney Sonuçları (Özşahin, 2011)

Deney Yöntemi	Geleneksel Beton	KYB
Çökme (Slump), mm	180	–
Çökme-Yayıma, mm	270	680
Çökme-Yayılmada T ₅₀₀ Süresi, s	Ulaşmadı	4,2
V-Hunisi, s	Akış olmadı	7,0
V-Hunisi T _{5 dakika} Süresi, s	Uygulanmadı	11,5
L-Kutusu, h ₂ /h ₁ (-)	Akış olmadı	0,65
J-Halkası, mm	Uygulanmadı	640
Hava İçeriği, hacimce %	1,0	1,8
Birim Hacim Kütlesi, kg/m ³	2310	2349

Yapılan taze beton deneylerinin sonuçlarına göre EPS YKDBT duvar sistemi için tasarlanan KYB'nin sistem için istenen taze beton özelliklerinin tamamını sağladığı, geleneksel betonun ise sistem için istenen taze beton özelliklerini kısmen karşıladığı görülmektedir. Taze beton deneyleri sırasında geleneksel beton ve KYB'de ayrışma olmadığı gözlemlendi.

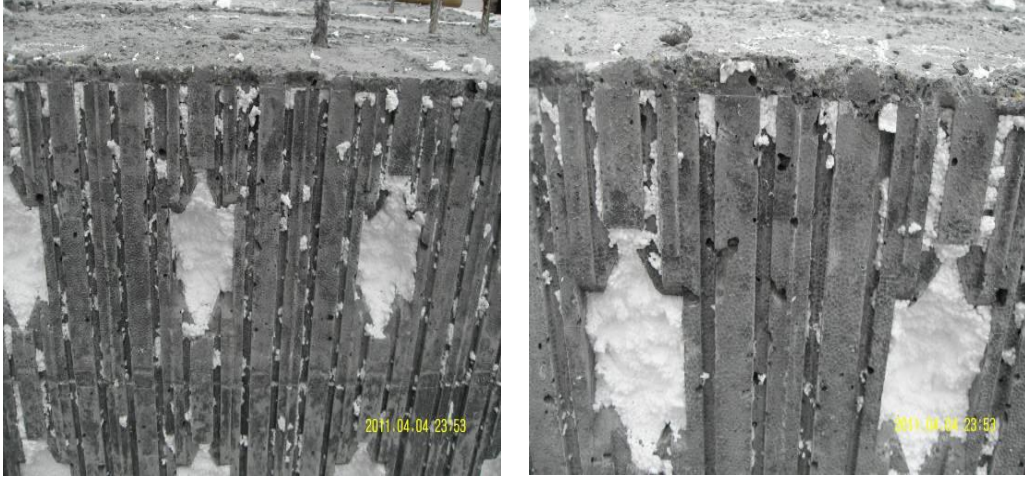
Beton dökümünden 21 gün sonra EPS kalıp içindeki betonlardaki yerleşme ve boşlukluluk durumunu belirlemek amacıyla duvarların yüzeyindeki EPS kalıplar söküldüğünde, sistem için tasarlanan KYB'nin kalıp içinde boşluksuz olarak yerleştiği, betonda ayrışma oluşmadığı, kaba ve ince malzemelerin homojen dağıldığı gözlemlendi (Şekil 10).



Şekil 10:
EPS Kalıp Söküldükten Sonra KYB Yüzeyi (Özşahin, 2011)

EPS YKDBT duvar sistemi için tasarlanan geleneksel EPS betonun kalıp içinde az da olsa ayrıştığı ve KYB'ye göre daha boşluklu olarak yerleştiği gözlemlendi (Şekil 11). Kalıplar söküldükten sonra geleneksel betonun döküldüğü iki duvardan yatay ve dikey donatılı olarak düzenlenen duvarda ayrışma oluştuğu, kaba ve ince malzemenin duvar dibinde homojen dağılmadığı, iri malzemenin dibe çöktüğü gözlemlendi (Şekil 12).

Çalışma kapsamında incelenen kalıp sisteminde KYB'nin vibrasyon uygulanmadan kullanılmasının uygun olacağı, sistem için tasarlanan geleneksel betonun ise vibrasyon uygulanmadan kullanılmasının uygun olmayacağı sonucuna varıldı.



Şekil 11:
EPS Kalıp Söküldükten Sonra Geleneksel Beton Yüzeyi (Özşahin, 2011)



Şekil 12:
EPS Kalıp Söküldükten Sonra Geleneksel Betonda Gözlenen Ayrışma (Özşahin, 2011)

Deneyel çalışmada küp, silindir ve prizmatik beton numuneleri üzerinde yapılan sertleşmiş beton deney sonuçları Tablo 7-13'te verildi. Deney sonuçlarının verildiği tablolarda, **GK** geleneksel beton küp numuneyi, **KK** kendiliğinden yerleşen beton küp numuneyi, **GS** geleneksel beton silindir numuneyi ve **KS** kendiliğinden yerleşen beton silindir numuneyi ifade etmektedir. Tablo 13'te ise **G** geleneksel beton ve **K** kendiliğinden yerleşen beton kısaltmalarından sonraki **S** sağ, **O** orta, **SL** sol, **1** birinci seviye, **2** ikinci seviye ve **3** üçüncü seviyeyi ifade etmektedir. Örneğin **GS1** duvarın sağından 1. seviyeden alınan geleneksel beton numunesidir.

Tablo 7. Küp Numune Basınç Deneyi Sonuçları ve Birim Hacim Kütleleri (Özşahin, 2011)

Numune Adı	Basmada Kırılma Yüğü, kN		Boyutlar, mm			Basınç Dayanımı, f_{ci} , N/mm ²	Birim Hacim Kütle, kg/m ³
	7 günlük	28 günlük	En	Boy	Yükseklik		
GK04	832,4	-	150	150	151	37,00	2311,6
GK07	846,5	-	150	150	151	37,62	2323,5
Ortalama	839,5					37,31	2317,6
GK01	-	986,2	150	150	150	43,83	2343,1
GK02	-	973,7	150	150	151	43,28	2335,2
GK05	-	975,3	150	150	150	43,35	2334,5
GK06	-	969,9	150	150	150	43,11	2318,1
Ortalama		976,3				43,39	2332,7
KK02	989,7	-	150	150	150	43,99	2340,2
KK09	967,5	-	150	150	150	43,00	2349,7
Ortalama	978,6					43,50	2345,0
KK01	-	1061	150	150	150	47,15	2341,6
KK05	-	1103	150	150	150	49,02	2340,7
KK06	-	1101	150	150	150	48,93	2336,5
KK07	-	1100	150	150	150	48,89	2351,9
Ortalama		1091,3				48,50	2342,7

Küp basınç dayanımı deney sonuçları TS 500 ve TS EN 206-1'de beton basınç dayanımı uygunluk kriterleri dikkate alınarak değerlendirildiğinde, EPS YKDBT duvar sistemi için deneysel çalışmada hedeflenen C30/37 beton dayanımının her iki beton bileşimi için sağlandığı görülmektedir (Tablo 7). EPS YKDBT duvar sistemi için tasarlanan KYB'nin ortalama basınç dayanımı, sistem için tasarlanan geleneksel betonun ortalama basınç dayanımından %12 daha büyüktür. Geleneksel beton 7 günlük ortalama basınç dayanımı, 28 günlük ortalama basınç dayanımının %86'sı, KYB 7 günlük basınç dayanımı ise 28 günlük basınç dayanımının %90'ı kadardır.

Silindir basınç dayanımı deney sonuçlarına göre EPS YKDBT duvar sistemi için hedeflenen basınç dayanımının her iki beton bileşimi için sağlandığı görülmektedir. Küp numunelere benzer şekilde, EPS YKDBT duvar sistemi için tasarlanan KYB ortalama silindir basınç dayanımı, sistem için tasarlanan geleneksel beton ortalama silindir basınç dayanımından %11 daha büyüktür.

Tablo 8. Silindir Numune Beton Basınç Dayanımı Deney Sonuçları (Özşahin, 2011)

Numune Adı	Basmada Kırılma Yüğü, kN	Boyutlar, mm		Basınç Dayanımı, f_{ci} , N/mm ²
	28 günlük	Çap	Yükseklik	
GS01	735,9	150	300	41,64
GS03	704,5	150	300	39,87
GS05	675,6	150	300	38,23
Ortalama	705,3			39,91
KS02	824,2	150	300	46,64
KS04	841,3	150	300	47,61
KS05	854,2	150	300	48,34
Ortalama	839,9			47,53

Tablo 9. Küp Numune Yarmada ekme Deneyi Sonuçları ve Birim Hacim Kütleleri (Özşahin, 2011)

Numune Adı	Yarmada Kırılma Yükü, kN	Boyutlar, mm			Yarmada ekme Dayanımı, f_{cti} , N/mm ²	Birim Hacim Kütle, kg/m ³
		En	Boy	Yükseklik		
GK08	110,0	150	150	151	3,09	2326,1
GK10	133,8	150	150	150	3,79	2338,7
Ortalama	121,9				3,44	2332,4
KK04	147,2	150	150	151	4,14	2328,9
KK10	132,8	150	150	151	3,73	2350,3
Ortalama	140,0				3,94	2339,6

Küp numuneler üzerinde yapılan yarmada çekme deney sonuçlarına göre EPS YKDBT duvar sistemi için tasarlanan KYB'nin ortalama yarmada çekme dayanımı, geleneksel beton ortalama yarmada çekme dayanımından %15 daha büyüktür (Tablo 9). Silindir numuneler üzerinde yapılan yarmada çekme dayanımı deney sonuçlarına göre geleneksel betonun ortalama yarmada çekme dayanımı, KYB'nin ortalama yarmada çekme dayanımından yaklaşık olarak %14 daha büyüktür (Tablo 10). EPS YKDBT duvar sistemi için tasarlanan her iki beton bileşimi de standartta verilen uygunluk ölçütlerini sağlamaktadır.

Tablo 10. Silindir Numune Yarmada ekme Deneyi Sonuçları (Özşahin, 2011)

Numune Adı	Yarmada Kırılma Yükü, kN	Boyutlar, mm		Yarmada ekme Dayanımı f_{cti} , N/mm ²
		En	Boy	
GS08	278,0	150	300	3,93
GS09	283,0	150	300	4,00
Ortalama	280,5			3,97
KS09	260,0	150	300	3,68
KS10	232,0	150	300	3,28
Ortalama	246,0			3,48

EPS YKDBT duvar sistemi için tasarlanan her iki beton bileşimi için silindir numuneler üzerinde yapılan basınç deneyi sonucu elde edilen gerilme-deformasyon eğrisi yardımıyla hesaplanan elastisite modülü değerleri Tablo 11'de verildi.

Tablo 11. Silindir Numune Elastisite Modülü Sonuçları (Özşahin, 2011)

Numune Adı	Basınç Dayanımı f_{ci} , N/mm ²	Boyutlar, mm		Elastisite Modülü, N/mm ²
		Çap	Yükseklik	
GS02	38,54	150	300	33726
GS04	37,39	150	300	32250
GS04	39,56	150	300	35173
Ortalama	38,50			33716,3
KS01	37,04	150	300	37019
KS03	42,98	150	300	38229
KS06	39,06	150	300	29430
Ortalama	39,69			34892,7

EPS YKDBT duvar sistemi için tasarlanan geleneksel beton bileşiminin uygunluğunu belirlemek amacıyla üretilen duvarlardan üç farklı seviyeden kesilerek alınan prizmatik numuneler üzerinde yapılan gözlem ve basınç deney sonuçlarına göre EPS kalıplarda beton dökümü sırasında beton bileşiminde bozulma, ayrışma veya topaklanma oluşmadığı söylenebilir. Geleneksel beton ve KYB için farklı seviyelerden alınan prizmatik numuneler üzerinde yapılan beton basınç deney sonuçlarına göre basınç dayanımı değerlerinde üst yüzeyden derinlik veya seviyeden kaynaklı farklar, $t_{Stat} = 0,94-1,14 < t_{kritik\ tek\ uçlu} = 2,92$ olduğundan $\alpha=0,050$ anlamlılık için dahi ihmal edilebilir düzeydedir (Tablo 12).

Tablo 12. Prizmatik Numune Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları (Özşahin, 2011)

Numune Adı	Basmada Kırılma Yüğü, kN	Boyutlar, mm			Basınç Dayanımı, f_{ci} , N/mm ²	Ortalama Basınç Dayanımı, N/mm ²
		En	Boy	Yükseklik		
GS1	639,0	123,0	130	255	39,96	39,69
GO1	607,1	118,0	130	252	39,58	
GSL1	634,9	123,5	130	255	39,54	
GS2	604,2	119,5	130	248	38,89	39,20
GO2	620,4	119,5	130	250	39,94	
GSL2	619,9	123,0	130	248	38,77	
GS3	602,0	122,0	130	240	37,96	39,00
GO3	633,8	121,5	130	244	40,13	
GSL3	592,0	117,0	130	246	38,92	
Ortalama	617,0				39,30	39,30
KS1	626,7	117,0	130	252	41,20	39,82
KO1	591,2	116,0	130	250	39,20	
KSL1	637,4	125,5	130	251	39,07	
KS2	635,4	120,5	130	250	40,56	40,20
KO2	598,3	116,0	130	251	39,68	
KSL2	655,7	125,0	130	252	40,35	
KS3	642,1	124,5	130	255	39,67	39,37
KO3	560,3	117,0	130	258	36,84	
KSL3	654,2	121,0	130	257	41,60	
Ortalama	622,4				39,80	39,80

Duvarlardan kesilerek alınan prizmatik numuneler üzerinde yapılan ultrases geçiş hızı deneyi sonuçlarına göre KYB’de ortalama ultrases geçiş hızı süresi, geleneksel beton ortalama ultrases geçiş hızı süresinden fazladır. Duvarlardan kalıplar söküldükten sonra kesilerek alınan numunelerde geleneksel betonun KYB’ye göre daha boşluklu olarak yerleştiği gözlemlendiğinden, KYB’de ultrases geçiş hızının geleneksel betondan daha fazla olması beklenen bir durumdur. Farklı seviyelerden alınan prizmatik numuneler üzerinde yapılan ultrases okumalarındaki sapmalar, basınç dayanımı deneyi sonuçlarında olduğu gibi kabul edilebilir düzeydedir. EPS kalıpların arasına beton dökümü ve yerleştirilmesinden kaynaklanan beton bileşiminde bozulma, ayrılma veya topaklanma oluşmadığı rahatlıkla söylenebilir (Tablo 13).

Tablo 13. Prizmatik Numune Ultrases Geçiş Hızı Sonuçları (Özşahin, 2011)

Numune Adı	Boyutlar, mm		Enine* Ultrases Geçiş Süresi, μ s	Boyuna** Ultrases Geçiş Süresi, μ s	Enine* Ultrases Hızı, km/s		Boyuna** Ultrases Hızı, km/s	
	En	Boy			Değer	Ortalama	Değer	Ortalama
GS1	123,0	255	26,5	59,0	4,64	4,61	4,32	4,36
GO1	118,0	252	25,6	57,2	4,61		4,41	
GSL1	123,5	255	27,1	58,6	4,58		4,35	
GS2	119,5	248	26,5	59,6	4,51	4,50	4,16	4,28
GO2	119,5	250	26,5	57,4	4,51		4,36	
GSL2	123,0	248	27,4	57,4	4,49		4,32	
GS3	122,0	240	26,4	54,4	4,62	4,52	4,41	4,34
GO3	121,5	244	27,0	56,5	4,50		4,32	
GSL3	117,0	246	26,4	57,2	4,43		4,30	
Ortalama					4,54	4,54	4,33	4,33
KS1	117,0	252	24,8	54,8	4,72	4,73	4,59	4,52
KO1	116,0	250	25,3	56,1	4,58		4,46	
KSL1	125,5	251	25,6	55,8	4,90		4,50	
KS2	120,5	250	25,7	55,6	4,69	4,68	4,50	4,36
KO2	116,0	251	25,1	58,9	4,62		4,26	
KSL2	125,0	252	26,5	58,2	4,72		4,33	
KS3	124,5	255	26,6	57,1	4,68	4,60	4,47	4,41
KO3	117,0	258	24,9	59,0	4,69		4,37	
KSL3	121,0	257	27,3	58,4	4,43		4,40	
Ortalama					4,67	4,67	4,43	4,43
* Döküm doğrultusuna dik ** Döküm doğrultusuna paralel								

5. SONUÇ

Kolay inşaat imkânı sağlayan, inşaat süresini kısaltan, kalıp işçiliği maliyetini düşüren, kesintisiz ve sürekli yalıtım sağlayan EPS YKDBT duvar sisteminde kullanılan kalıcı EPS kalıpların arasına betonun yerleştirileceği boşluk boyutlarının küçük olması, sistemde EPS kalıpların arasına betonun boşluksuz yerleştirilmesini önemli bir konu haline getirmektedir.

Çalışmada incelenen kalıp sisteminde KYB’nin vibrasyon uygulanmadan kullanılmasının mümkün olduğu, çok akıcı kıvamda geleneksel betonun vibrasyon uygulanmadan kullanılmasının uygun olmayabileceği sonucuna varıldı.

EPS YKDBT duvar sisteminde vibrasyon uygulanarak çok akıcı kıvamda geleneksel beton kullanılması halinde betonun taze haldeki işlenebilirlik özelliklerinin, KYB işlenebilirlik düzeyleri temel alınarak tedarikçi ve uygulayıcı firmalar tarafından devamlı denetim altında tutulması gerekmektedir.

EPS YKDBT duvar sisteminde, çok akıcı kıvamda geleneksel betonun yerleştirilmesinde EPS kalıplara zarar vermeyecek özelliklere sahip (frekansı ~12 000 devir/dak, şişe (uç) çapı ~25 mm) dalıcı vibratör kullanılmalıdır.

EPS YKDBT duvar sisteminde beton dökümü sırasında kalıplarda patlama, betonun kaçması vb. sorunları önlemek için beton dökümü kademeli olarak yapılmalıdır.

Çalışma sonuçları, EPS kalıplara çok yüksek işlenebilirlikli beton dökümü ve yerleştirilmesinin beton bileşimi ve özelliklerinde, geleneksel kalıp sistemlerindeki farklı herhangi bir sorun oluşturmadığını gösterdi.

TEŞEKKÜR

Çalışmada kullanılan EPS Kalıplar, ISORAST Yapı Elemanları Sanayi ve Ticaret A.Ş firması tarafından temin edildi ve kuruldu. Çok akıcı kıvamdaki geleneksel beton ve KYB, BETONSA-AKÇANSA tarafından temin edildi ve yerleştirildi.

Çalışmadaki katkılarından dolayı ISORAST Türkiye ve AKÇANSA'ya çok teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

1. Department of Housing and Urban Development (HUD), Portland Association (PCA) ve National Association of Home Builders (NAHB) Research Center (2001), *In-Plane Shear Resistance of Insulating Concrete Form Walls*, Marlboro, USA
2. National Association of Home Builders (NAHB) (2000), *Insulating Concrete Form Systems (ICFs)*, Marlboro, USA
3. Özşahin, B. ve Güner, A., (2015). EPS yalıtım kalıplı donatılı beton taşıyıcı duvar sistemi ile diğer yapı sistemlerinin kaba yapım maliyetlerinin karşılaştırılması, *Kırklareli Üniversitesi Journal of Engineering and Science*, Cilt 1, Sayı 1, s. 41-57
4. Özşahin, B., (2004). EPS bloklü çelik donatılı beton taşıyıcı duvar sistemi, *Yüksek Lisans Tezi*, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne
5. Özşahin, B., (2011). Yalıtım kalıplı donatılı beton duvarlı binaların yapımsal ve ekonomik uygulanabilirliği, *Doktora Tezi*, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne
6. Özşahin, B., Cihan M.T. ve Mıhlayanlar E. (2013). EPS yalıtım kalıplı donatılı beton taşıyıcı duvar sistemi ile geleneksel yapım sistemlerinde kullanılan duvarların ısı performanslarının karşılaştırılması, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Cilt:14 Sayı:2, ISSN: 2147-0308, s. 105-114
7. Özşahin, B. ve Güner, A. (2016). EPS yalıtım kalıplı donatılı beton taşıyıcı duvar sistemi, *EPS Haber*, Yıl:6, Sayı: 22, EPS Sanayi Derneği Yayın Organı, s. 36-41
8. TS 3502, (1981). Betonda statik elastisite modülü ve poisson oranı tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
9. TS 500, (2000). Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
10. TS EN 1097-2, (2010). Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler Bölüm 2: Parçalanma direncinin tayini için metotlar, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
11. TS EN 1097-3, (1999). Agregaların fiziksel ve mekanik özellikleri için deneyler Bölüm 3: Gevşek yığın yoğunluğunun ve boşluk hacminin tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
12. TS EN 1097-6, (2002). Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler Bölüm 6: Tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

13. TS EN 1744–1, (2010). Agregaların kimyasal özellikleri için deneyler- Bölüm 1: Kimyasal analiz, Ankara
14. TS EN 197–1, (2002). Çimento-Bölüm 1: Genel çimentolar-bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
15. TS EN 206–1, (2002). Beton-Bölüm 1: Özellik, performans, imalat ve uygunluk, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
16. TS EN 933–3, (2006). Agregaların geometrik özellikleri için deneyler Bölüm 3: Tane şekli tayini yassılık endeksi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
17. U.S Department of Housing and Urban Development, Portland Cement Association ve NAHB Research Center (2002), *Prescriptive Method for Insulating Concrete Forms in Residential Construction- Second Edition*, Marlboro, USA
18. Vanderwerf, P.A. ve Munsell, W.K., (1996). *Insulating Concrete Forms Construction Manual*, Portland Cement Association, Illinois
19. Vanderwerf, P.A. ve Panushev. I.S., (2004). *Insulating Concrete Forms Construction: Demand, Evaluation & Technical Practice*, McGraw-Hill, New York
20. Vanderwerf, P.A., Feige, S.J, Chammas, P. ve Lemay, L.A., (1997). *Insulating Concrete Forms for Residential Design and Construction*, McGraw-Hill, New York