

## Hava Sürükleyici Katkısının Betonun Aşınma Direnci ve Mekanik Özelliklerine Etkisi

Metehan ARDAHANLI<sup>1\*</sup>, Turkey KOTAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Erzurum Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 25050, Erzurum, Türkiye

<sup>2</sup>Erzurum Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 25050, Erzurum, Türkiye

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-8091-2792>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-9125-8220>

\*Sorumlu yazar: metehan.ardahanli@erzurum.edu.tr

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 08.12.2022

Kabul tarihi: 18.06.2023

Online Yayınlanma: 20.12.2023

#### Anahtar Kelimeler:

Hava sürükleyici katkı

Aşınma direnci

Hava içeriği

Basınç dayanımı

### ÖZ

Betonun taze veya sertleşmiş halindeki özelliklerini iyileştirmek için çeşitli kimyasal veya mineral katkılar tercih edilmektedir. Bu katkılardan biri de hava sürükleyicilerdir. Hava sürükleyici katkılar, çoğunlukla soğuk iklim şartlarında kullanılacak beton yapılar donma-çözülme direncini artırıcı yönde etkisinden dolayı tercih edilen bir katkı malzemesidir. Hava sürükleyici katkıların kullanıldığı beton yollar ve havalimanı beton pistleri gibi aşınma etkisinde kalan beton yapılar, günümüzde önemli yer tutmaktadır. Bu çalışmada hava sürükleyici katkı maddesinin betonun dayanımında ciddi kayıplar vermeden oluşturabileceği en yüksek hava içeriği oranında kullanımı ile betonun aşınma direnci ve mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Çalışmanın sonuçları incelendiğinde, hava sürükleyici katkı maddesinin yüksek hava içeriği (%7) sağlayacak oranda kullanılması sonucunda, basınç ve çekme dayanımlarının hava katkısız numunelerin dayanımlarına yaklaşık eş değer sonuçlar elde edilmiştir. Hava sürükleyici katkı maddesinin kapiler su emme miktarını azalttığı ve böhme aşınma deneyi sonucunda ciddi aşınma kayıplarına sebep olmadığı tespit edilmiştir. Bu nedenle aşınmanın önemli bir faktör olduğu beton yapılar, hava sürükleyici katkısının dayanımda ciddi kayıplara sebep olmadan yüksek hava içeriği oluşturabilecek oranda kullanılabilirliği belirlenmiştir.

## Effect of Air Entraining Admixture on Abrasion Resistance and Mechanical Properties of Concrete

### Research Article

#### Article History:

Received: 08.12.2022

Accepted: 18.06.2023

Published online: 20.12.2023

#### Keywords:

Air entraining admixture

Abrasion resistance

Air content

Compressive strength

### ABSTRACT

Various chemical or mineral additives are preferred to improve the fresh or hardened properties of concrete. One of these admixtures is air entrainers. Air-entraining admixtures are a preferred additive material, mostly in concrete structures to be used in cold climate conditions, due to their effect on increasing the freeze-thaw resistance. Concrete structures exposed to abrasion such as concrete roads and airport concrete runways, where air-entraining admixtures are used, have an important place in today. In this study, the effect of air-entraining admixture on the abrasion resistance and mechanical properties of the concrete was investigated by using the air-entraining admixture at the highest air content ratio without serious losses in the strength of the concrete. When the results of the study were examined, the results were approximately equivalent to the compressive and tensile strengths of the samples without air additive, by using the air-entraining admixture at a rate that would provide high air content (7%). It has been determined that the air-entraining admixture reduces the capillary water absorption amount and does not cause serious abrasion losses as a result of the Bohme abrasion test. For this reason, it has been determined that air-entraining admixture can be used at a rate that can create high air content without causing serious losses in strength

## Giriş

Beton, yaklaşık olarak son 200 yıldır hayatımızda olan ve insanlığın başta barınma olmak üzere birçok önemli ihtiyacını gidermeyi başaran bir yapı malzemesidir. İnsanoğlunun ezelden gelen sürekli artan ihtiyaçları, betonun gelişmesini elzem kılmıştır. Özellikle günümüzde teknolojinin gelişmesiyle beton daha iyi analiz edilmiş ve artan bu ihtiyaçlar doğrultusunda betonun çeşitli özelliklerini iyileştirmek için birçok çalışma yapılmaya başlanmıştır. Bu çalışmalar, betonun kullanılacağı yapının özellikleri, ortam koşulları, maruz kaldığı dış etkiler ve dayanım gibi birçok faktör göz önüne alarak yapılmaktadır.

İhtiyaca uygun olarak yapılan beton tasarımları, çoğu zaman betonu oluşturan malzemelerin daha yüksek performanslı ve ekonomik olan mineral katkılarla değiştirilmesi (Alameri ve ark., 2020; Ardahanlı ve ark., 2021; Abdulrahman ve ark., 2022; McCarthy ve ark., 2022) veya kimyasal katkıların katılması (Kılınçarslan ve Şenli, 2015; Vijay ve Sajeeb, 2022) ile yapılmaktadır. Betonda kullanılan bu kimyasal katılardan birisi de hava sürükleyici katılardır.

Hava sürükleyici katkılar, çoğunlukla harcın veya betonun donma-çözülme ve tuz etkisine karşı direncini artırmak için kullanılırken bu katkıların betonda oluşturacağı diğer mekanik etkilerin incelendiği çalışmalarda mevcuttur;

Hava sürükleyici katkı içeren harçlara uçucu kül ve silis dumanı mineral katkısı ilave edilmiş, çimento yerine ağırlıkça %30 oranında uçucu kül ve %10 oranında silis dumanı ile hava sürükleyici katkısının birlikte kullanımının donma çözülme direncinde en iyi sonuçları verdiği (Güleryüz ve ark., 2020), hava sürükleyici katkısının ağırlıkça %0,1 kullanımı beton ultrases geçiş hızını 4,32 km/sn'den 3,74 km/sn'ye ve ısı iletkenlik katsayısını ise 1,15 W/m.K'den 0,75 W/m.K'ye azaltabileceği (Özcan ve Akçaözoğlu, 2018) ve silis dumanının çimento yerine ikame olarak ağırlıkça %8, hava sürükleyici katkısının ise ağırlıkça %0,09 oranında birlikte kullanımının ise tuz etkisine karşı direnci artırabileceği (Nili ve ark., 2021) ifade edilirken betondaki hava içeriğinin %7'den büyük olması halinde dayanımda ciddi oranda kayıp olacağı (Zhang ve ark., 2018) belirlenmiştir. Ayrıca silis dumanı ile hava sürükleyici katkısı kullanılarak üretilen ve farklı su/çimento oranına sahip betonların ASTM C779-82 (Anonymous, 1995) standardına göre aşınma dirençleri incelenmiş; silis dumanı katkısının beton aşınma direncini artırdığı, su/çimento oranının artışının ise beton aşınma direncini azalttığı tespit edilmiştir (Laplante ve ark., 1991).

Soğuk iklim bölgelerinde hava sürükleyici katkısı kullanılarak üretilen beton yol veya döşemelerin aşınmaya da maruz kaldığı bir gerçektir. Aşınma kavramı, yüzeyde sürtünme ve çarpma şeklinde oluşan etkilerle meydana gelen parçacık kaybı olarak ifade edilebilir. Beton yollar, hava alanı pist betonları ve çeşitli beton döşemeler gün içerisinde aşınmaya sürekli olarak maruz kalabilmektedir.

Betonların agrega tipini değiştirerek veya herhangi bir mineral katkı kullanımı ile aşınma direncini inceleyen birçok çalışma mevcuttur;

İnce agrega yerine geri dnüşürölmüş beton agregası %10, 20, 30, 40, 50 ve 100 oranlarında kullanılarak elde edilen betonun aşınma direnci incelendiğinde %100 oranında ince agrega yerine kullanılması ile aşınma direncinde %30 oranında artış sağlanabildiği (De Brito ve Evangelista, 2007), %30 oranına kadar plastik agreganın (PVC) ince ve iri agrega yerine kullanılması ile aşınma direncinin arttığı (Mohammed ve ark., 2019) uçucu kül içeren betona silis dumanı ilave edilmesi ile aşınma direncinde %2,1–8,5 oranında artış sağlanabildiği (Wang ve ark., 2017), silis dumanı ve uçucu külün aşınma direncine etkisinin karşılaştırıldığı çalışmada silis dumanının aşınma direncini daha fazla arttırdığı (Kumar ve Sharma, 2014) belirlenmiştir.

Çoğunlukla betonun donma-özölme direncini iyileştirmek için kullanılan hava sürükleyici katkıların, aşınmaya maruz kalabilecek beton yapılar (yol betonları ve hava limanı beton pistleri gibi) tercih edilmesi sonucunda aşınmaya etkisi, konu olarak önemli bir yer tutmaktadır. Literatür incelendiğinde, beton dayanımında ciddi kayıp vermeden en yüksek hava içeriği oluşturacak miktarda hava sürükleyici katkısının kullanıldığı ve betonun aşınma direncinin incelendiği herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Çalışma kapsamında kontrol grubuna ek olarak beton dayanımında ciddi kayıplara sebep olmadan %7 oranında hava içeriğine sahip hava sürükleyici katkılı beton grubu üretilmiştir. Literatürdeki yeri ile yenilikçi ve özgün yönüyle ön plana çıkan bu çalışmada, hava sürükleyici katkısının beton dayanımında büyük kayıplara sebep olmadan ve oluşturabileceği en yüksek hava içeriği (%7) oranında (Zhang ve ark., 2018) kullanılarak betonun aşınma direnci ve diğer mekanik özelliklerine olan etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

## **Materyal ve Metot**

### **Materyal**

Bu alışmada Erzurum Aşkale imento fabrikasından CEM II / A-M (P-LL) 42,5 R tipi imento kullanılmıştır. Sika AER hava sürükleyici katkısı, en az %4 hava içeriği için ön denemeler sonucunda imento ağırlığının %0,09'u oranında kullanılarak hava katkısı içeren grup oluşturulmuştur. Çalışmada kullanılan çimentonun kimyasal özellikleri Tablo 1'de, hava sürükleyici katkı maddesinin özellikleri ise Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 1.** imentonun kimyasal özellikleri

<b>İçerik (%)</b>	<b>imento</b>
SiO <sub>2</sub>	22,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,18
CaO	57,94
MgO	1,10
SO <sub>3</sub>	2,78
Kızdırma kaybı	-
Na <sub>2</sub> O	0,56
K <sub>2</sub> O	0,78

Cl	0,0105
Ölçülemeyen	-
Serbest CaO	1,49

**Tablo 2.** Hava sürükleyici katkısının özellikleri

Ürün Bilgileri	Değer
Görünüm	Sarımsı veya renksiz berrak sıvı
Kimyasal Yapı	Özel yüzey aktif maddelerden oluşan sıvı
Yoğunluk	0,99-1,03 kg/l
pH Değeri	3-7
Donma Noktası	0 °C
Toplam Klorür İyon İçeriği	-
Alkali Miktarı	En fazla %3

Çalışmada 0-2, 2-4, 4-8 ve 8-16 mm olmak üzere 4 farklı boyutta bazalt agregası kullanılmıştır. Bazalt agregasına ait fiziksel özellikler Tablo 3'te verilmiştir.

**Tablo 3.** Agreganın fiziksel özellikleri

Agrega Boyutu (mm)	Doygun Kuru Yüzey Tane Yoğunluğu (g/cm <sup>3</sup> )	Su Emme (%)	Yüzey Nemi (%)
0-2	2,61	2,98	2,59
2-4	2,61	2,95	2,39
4-8	2,63	1,40	1,49
8-16	2,63	1,47	1,17

### Beton Karışım Grupları

Çimento ağırlığının %0,09 oranında hava sürükleyici katkı maddesinin kullanıldığı ve herhangi bir katkıının kullanılmadığı kontrol karışımına ait beton karışım oranları Tablo 4'te verilmiştir.

**Tablo 4.** Beton karışım grupları

Beton Grupları	Malzeme Miktarı (kg/m <sup>3</sup> )					S	S/B	HK
	Ç	Agrega (mm)						
		0-2	2-4	4-8	8-16			
KB	452	477	230	333	614	213	0,47	-
HB	452	477	230	333	614	208	0,47	0,41

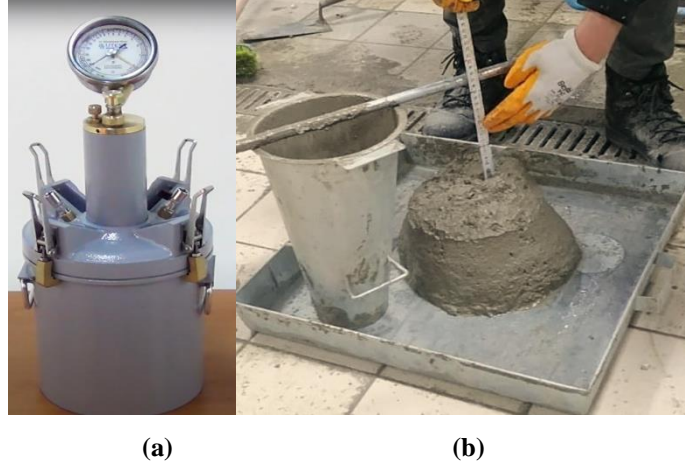
**KB:** Kontrol Betonu, **HB:** Hava Katkılı Beton **Ç:** Çimento, **S:** Su, **S/B:** Su/Bağlayıcı Oranı, **HK:** Hava Sürükleyici Katkısı

### Metot

Bu bölümde air meter ve slump (çökme) taze beton deneylerine ek olarak sertleşmiş beton numuneleri üzerinde gerçekleştirilen; basınç dayanımı deneyi, yarmada çekme deneyi, kapiler su emme deneyi, ultrases hızı deneyi, Schmidt sertlik deneyi ve böhme aşınma deneyi açıklanmıştır.

### **Air Meter ve Slump (Çökme) Deneyi**

TS EN 12350-7 (Anonim, 2019) standardına uygun olarak gerçekleştirilen air meter deneyi (Şekil 1a), üretilen taze beton içeriğindeki toplam hava içeriğinin belirlenmesinde kullanılır. HB karışım gruplarında kullanılan hava sürükleyici katkısının oluşturduğu hava içeriği bu deney yardımıyla belirlenmiştir. Numune gruplarına slump (çökme) deneyi uygulanarak, beton grupların kıvamı ve işlenebilirliği incelenmiştir.



**Şekil 1.** Air meter (a) ve slump (b) deneyi

### **Basınç Dayanımı Deneyi**

Basınç dayanımı deneyi (Şekil 2), 28 gün standart kür etkisinde kalan 150×150×150 mm boyutlu küp numunelerde TS EN 12390-3 (Anonim, 2019) standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Standarda uygun şekilde yükleme hızı 0,4 MPa/s alınarak deney gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 2.** Basınç dayanımı deneyi

### **Yarmada Çekme Dayanımı Deneyi**

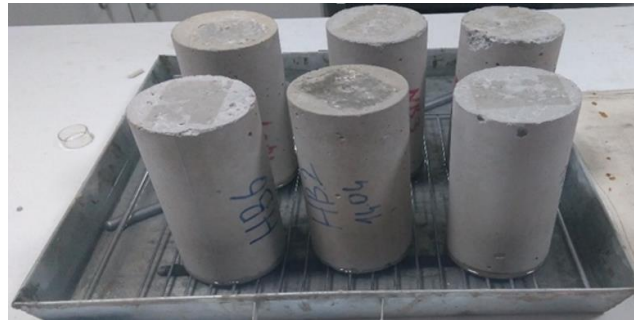
Yarmada çekme dayanımı deneyi (Şekil 3), 28 gün standart kür etkisinde kalan 100×200 mm boyutlu silindir numunelerde TS EN 12390-6 (Anonim, 2010) standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Standarda uygun şekilde yükleme hızı 0,05 MPa/s alınarak deney gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 3.** Yarmada çekme dayanımı deneyi

### **Kapiler Su Emme Deneyi**

Betonda kapiler su emme deneyi TS EN 13057 (Anonim, 2004) standardına uygun olarak 100×200 mm boyutlu silindir numunelerde yapılmıştır. Deneyde (Şekil 4) numuneler 28 gün standart su kürü sonunda 24 saat süreyle 100 °C etüvde tutulduktan sonra kesik yüzeyleri batacak şekilde ızgara yüzeyinde en fazla 5 mm yüksekliğindeki suda bekletilmiştir. Belirli süre aralıklarında (5 dakika, 10 dakika, 20 dakika, 1 saat, 2 saat, 4 saat, 8 saat ve 24 saat) numunelerin kapiler emdiği su miktarı ölçülmüştür.



**Şekil 4.** Kapiler su emme deneyi

### **Böhme Aşınma Deneyi**

Böhme aşınma deneyi (Şekil 5), TS 2824 EN 1338 (Anonim, 2005) standardına uygun olarak her numunenin beton döküm yönlerindeki yüzeyleri hariç diğer 4 yüzeyine toplam 352 tur olacak şekilde

aşınma testi uygulanmıştır. Deney sonucunda oluşan kütle kaybı belirlenerek aşınma miktarı tespit edilmiştir.



Şekil 5. Böhme aşındırma cihazı

### **Ultrases Hızı Deneyi**

Ultrases hızı deneyi TS EN 12504-4 (Anonim, 2012) standardına uygun olarak 150×150×150 mm boyutlu küp numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu deney, numunelerin sahip oldukları boşluk oranı ve beton kalitesi hakkında bilgi verir. Deneyde her numunenin beton döküm yönüne paralel olan yan yüzeylerinden beşer ölçüm yapılarak ortalaması alınmıştır.

### **Schmidt Sertlik Deneyi**

Schmidt sertlik deneyi TS EN 12504-2 (Anonim, 2013) standardına uygun olarak 150×150×150 mm boyutlu küp numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Her bir numuneye onar kez uygulanan deneyde, numune yüzeylerinin sertliğine bağlı olarak elde edilen geri sıçrama değerlerinin ortalaması alınmıştır.

### **Bulgular ve Tartışma**

#### **Air Meter ve Slump (Çökme) Sonuçları**

Hava sürükleyici katkısı içeren beton grubunun air meter deneyi sonucunda belirlenen hava içeriği %7 olarak bulunmuştur. %7 oranını aşan hava miktarının dayanımda ciddi kayıplara neden olabileceğinden (Zhang ve ark., 2018) hava içeriğinin maksimum olarak bu oranda belirlenerek hava katkısız beton grubu ile karşılaştırılma yapılması önem arz etmektedir.

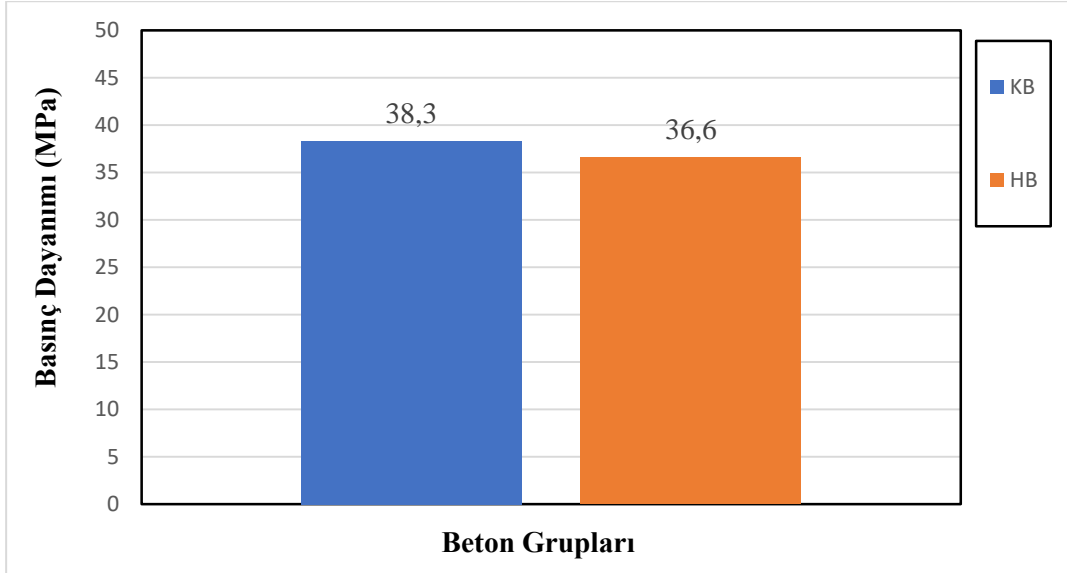
Tablo 5 incelendiğinde, KB taze beton grubunun slump (çökme) miktarı 10 cm iken HB taze beton grubunun slump (çökme) miktarının ise 15 cm olduğu görülmektedir. Hava sürükleyici katkısının slump miktarını artırdığı ve bu durumun işlenebilirliği olumlu etkilediği söylenebilmektedir.

**Tablo 5.** Air Meter ve slump (çökme) deneyi sonuçları

Beton Grubu	Çökme (cm)	Hava İçeriği (%)
KB	10	-
HB	15	7

### Basınç dayanımı sonuçları

Bu deney sonuçları hava katkılı veya katkısız gruplarda alınan üçer numunenin ortalaması şeklinde Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 6 incelendiğinde hava sürükleyici katkısının basınç dayanımını %4,5 oranında azalttığı görülmektedir. Bu durum literatür ile de desteklenmektedir (Karakurt ve Bayazıt, 2015; Salem ve Pandey, 2017; Özcan ve Koç, 2018; Tolegenova ve ark., 2022). Bu çalışmada hava katkılı beton grubunda basınç dayanımının az da olsa düşmesinin temel sebebi; hava sürükleyici katkısının beton içerisinde oluşturduğu yüksek hava içeriğinin (Shah ve ark., 2021) olduğu öngörülmektedir.

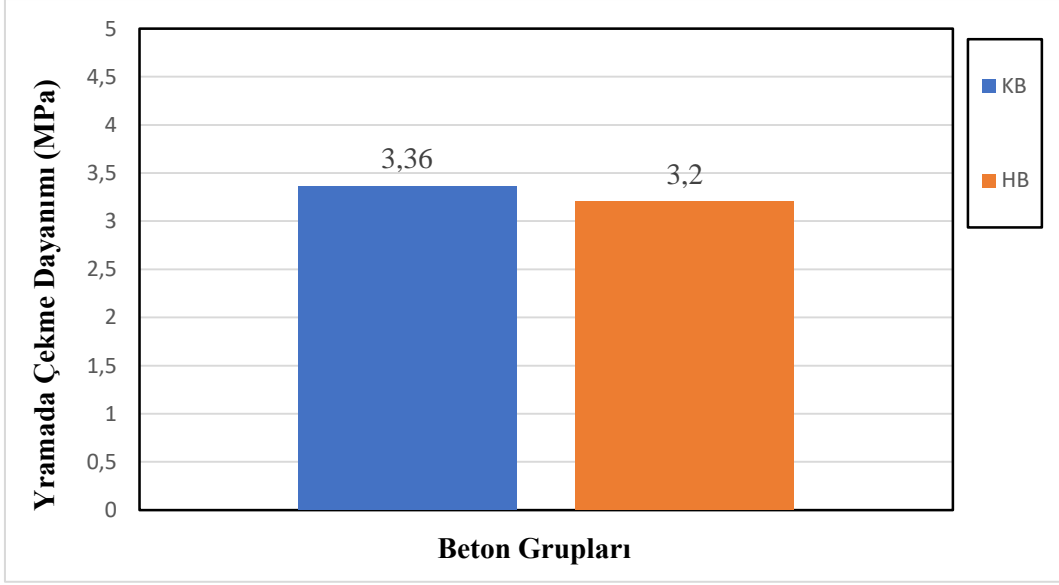


**Şekil 6.** Basınç dayanımı sonuçları

### Yarmada Çekme Dayanımı Sonuçları

Yarmada çekme deneyi sonuçları, hava katkılı veya katkısız gruplarda alınan üçer numunenin ortalaması şeklinde Şekil 7'de verilmiştir. Şekil 7 incelendiğinde hava sürükleyici katkısının yarmada çekme dayanımını %4,7 oranında azalttığı görülmektedir. Basınç dayanımı sonuçları (Şekil 6) ile yarmada çekme dayanımı sonuçları birlikte incelendiğinde sonuçların benzerlik gösterdiği belirlenmiştir. Hava sürükleyici katkısının, kullanıldığı grupta neden olduğu yüksek hava boşluğu, basınç dayanımının yanı sıra çekme dayanımını da olumsuz etkileyerek dayanımda kayba neden olduğu öngörülmektedir.

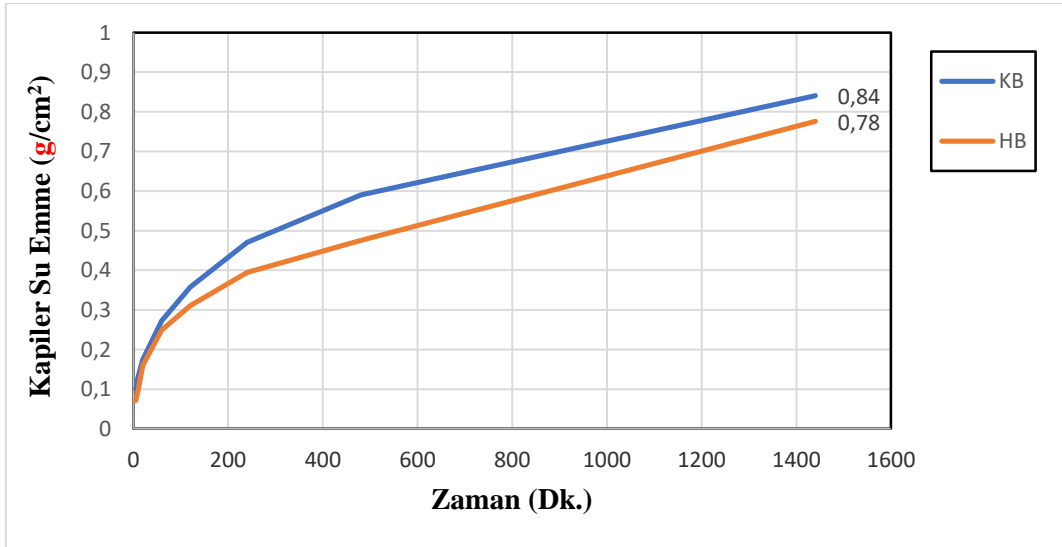




Şekil 7. Yarmada çekme dayanımı sonuçları

### Kapiler Su Emme Sonuçları

Hava katkısı içeren ve içermeyen beton gruplarına ait kapiler su emme sonuçları karşılaştırılmalı olarak Şekil 8’de verilmiştir. Şekil 8 incelendiğinde hava sürükleyici katkısı içeren beton grubunun kapiler su emme miktarı, hava sürükleyici katkısı içermeyen gruba göre daha az olduğu görülmektedir. 24 saat sonunda KB beton grubunun kapiler su emme miktarı  $0,84 \text{ g/cm}^2$  iken HB beton grubunun ise  $0,78 \text{ g/cm}^2$  olarak bulunmuştur. Hava sürükleyici katkısının beton içerisindeki kapiler sistemi engelleyerek (Zhou ve ark., 2015; Nia ve ark., 2018; Kubissa ve ark., 2021) kapiler su emme miktarını azalttığı öngörülmektedir.



Şekil 8. Kapiler su emme sonuçları

### Böhme Aşınma Sonuçları

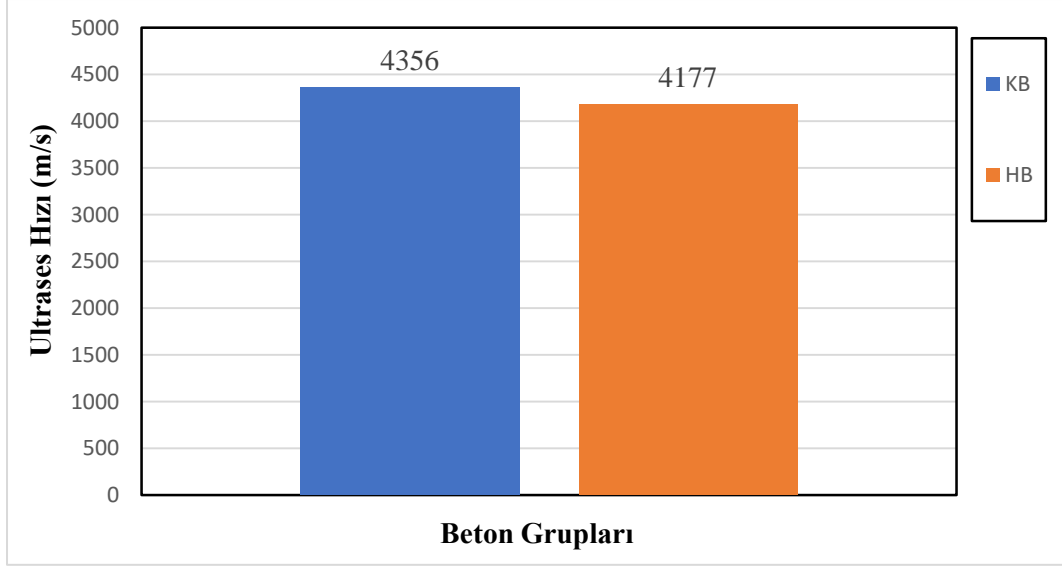
Çalışmada belirlenen her bir beton grubuna ait 3 adet numuneye uygulanan böhme aşınma deneyinin ortalama sonuçları Tablo 6’da verilmiştir. Hava sürükleyici katkılı beton numunelerinde böhme aşınma deneyi sonunda ortalama kütle kaybı %2,25 iken katkısız numunelerde %2,09 olarak bulunmuştur. Deney sonuçları incelendiğinde hava sürükleyici katkısı ile HB beton grubunda %7 hava içeriği oluşturulmasına rağmen (Tablo 5) böhme aşınma kayıpları, katkısız beton grubundaki kayıplara neredeyse eş değer olarak olduğu belirlenmiştir. Bu durum çoğunlukla betonun donma-çözülme direncini artırmak için kullanılan hava sürükleyici katkı maddesinin, aşınmanın etkili olduğu beton yollar veya havalimanı betonlarında tercih edilmesinin aşınma direncinde kayda değer kayıp oluşturmayacağını göstermektedir.

**Tablo 6.** Böhme aşınma deneyi sonuçları

KB			HB		
Deney Öncesi	Deney Sonrası	Ortalama Kütle Kaybı (%)	Deney Öncesi	Deney Sonrası	Ortalama Kütle Kaybı (%)
Ortalama Ağırlık (g)	Ortalama Ağırlık (g)		Ortalama Ağırlık (g)	Ortalama Ağırlık (g)	
777,1	760,9	2,09	743,2	726,5	2,25

### Ultrases Hızı Sonuçları

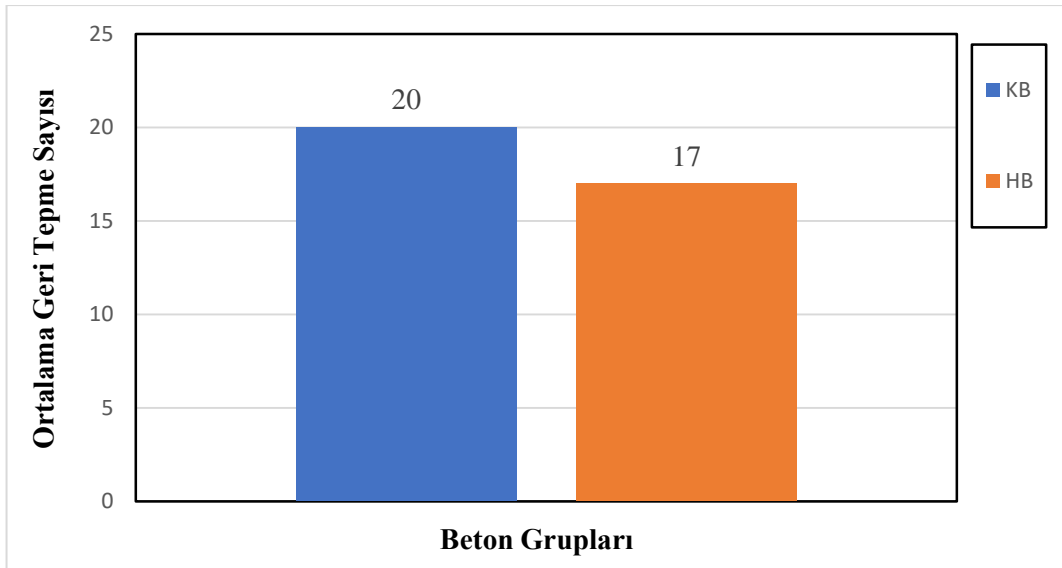
Tahribatsız yöntemlerden olan ultrases hızı deneyi her bir grup için üçer adet numune üzerinde yapılmış olup elde edilen ortalama sonuçlar Şekil 9’da verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, hava sürükleyici katkılı beton numunelerinin ultrases hızları, katkısız beton grubundaki numunelere göre daha düşük olduğu görülmektedir. Hava katkılı beton numunelerindeki ortalama ultrases hız değerinin 3500-4500 m/s hız değerleri (Whitehurst, 1951) arasında olması nedeniyle iyi bir beton kalitesine sahip olduğu söylenebilir. Elde edilen bu sonuçların beton gruplarına ait basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve böhme aşınma dayanımı sonuçları ile paralellik gösterdiği belirlenmiştir.



Şekil 9. Ultrases hızı sonuçları

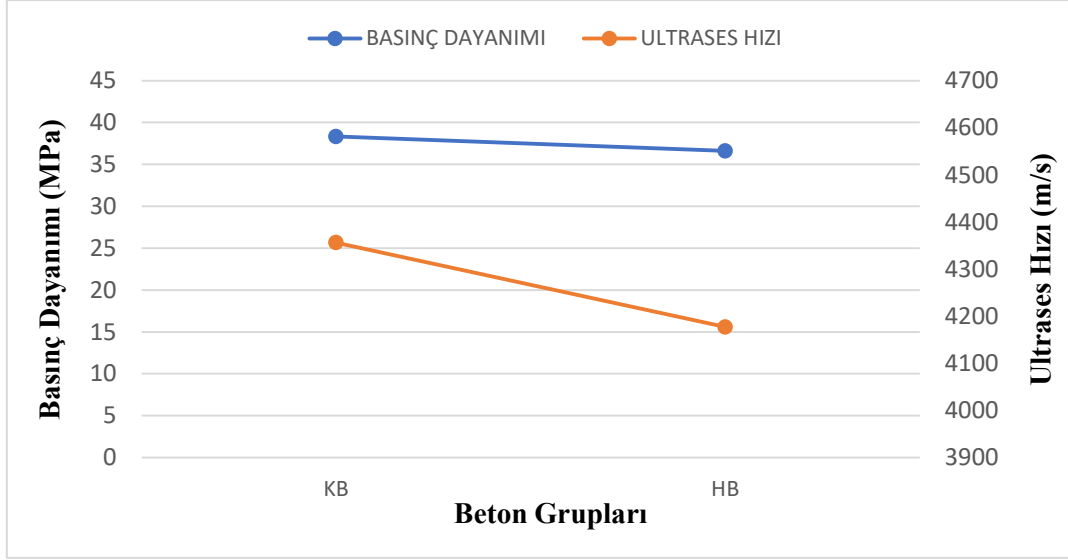
### Schmidt Sertlik Sonuçları

Schmidt çekicinin beton gruplarındaki numunelerin yüzeylerine onar adet uygulanması sonucunda elde edilen ortalama geri tepme sayısı Şekil 10'da verilmiştir. Schmidt çekiç sonuçlarının belirlenen diğer mekanik sonuçlar ve aşınma direnci sonuçları ile paralellik göstererek hava katkısız beton numunelerinde daha yüksek olduğu görülmektedir. Elde edilen beton test çekici geri tepme değerlerine bağlı olarak, deneylerde kullanılan test çekici üzerindeki geri tepme değeri – eşdeğer basınç dayanımı ilişki grafiklerinden kontrol ve hava katkılı beton grupları için elde edilen eşdeğer basınç dayanım değerleri sırasıyla 14 MPa ve 10 MPa olarak belirlenmiştir. Standart basınç deneyinden elde edilen basınç dayanımları ile karşılaştırıldığında, belirlenen eşdeğer basınç dayanımlarının daha düşük olduğu görülmüştür. Bu durumun, beton test çekici geri sıçrama değerlerinin; uygulama yönü, betonun nem durumu, bağıl nem, karbonatlaşma ve betonun boşluk durumu gibi birçok faktöre bağlı olarak güvenilirliği düşük sonuçlar verebilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

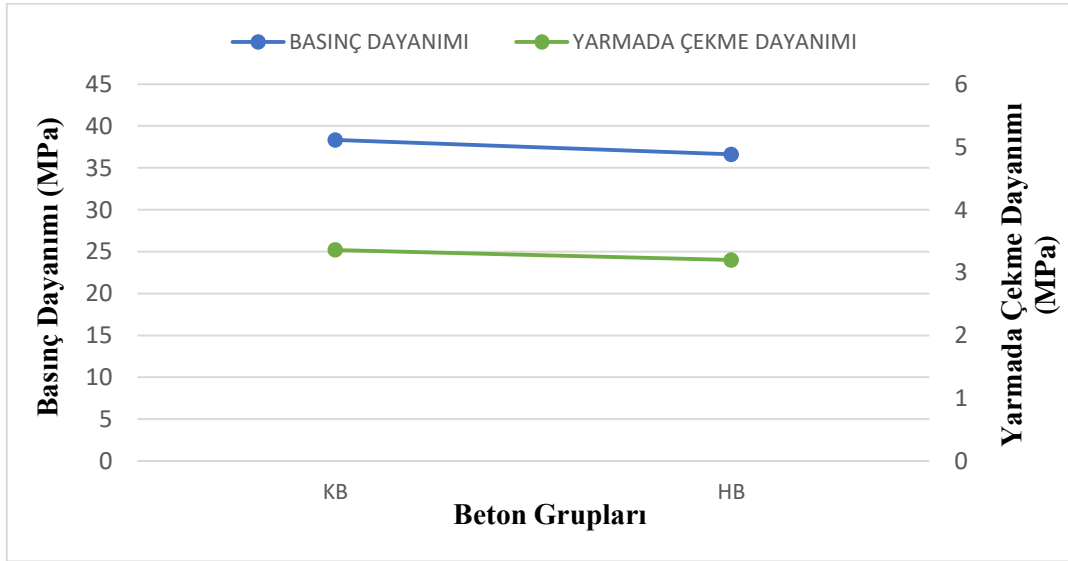


Şekil 10. Schmidt sertlik sonuçları

Kontrol (hava katkısız-KB) ve hava katkılı (HB) beton gruplarının basınç dayanımı-ultrases hızı arasındaki ilişki Şekil 11’de, basınç dayanımı-yarmada çekme dayanımı arasındaki ilişki ise Şekil 12’de verilmiştir. Şekiller incelendiğinde, KB ve HB gruplarının basınç dayanım sonuçları ile ultrases hızı ve yarmada çekme dayanımları arasındaki ilişkilerin benzer eğilimde olduğu görülmüştür.



Şekil 11. Basınç dayanımı-ultrases hızı sonuçları arasındaki ilişki



Şekil 12. Basınç dayanımı-yarmada çekme dayanımı sonuçları arasındaki ilişki

## Sonuçlar

Hava sürükleyici katkısı çoğu zaman soğuk iklim şartlarına maruz kalan başta beton yollar ve havalimanı pist betonları olmak üzere birçok yapıda tercih edilmektedir. Donma-çözülme olaylarının sık yaşandığı bölgelerde kullanılan hava sürükleyici katkısının, beton yollar ve havalimanı gibi aşınmaya maruz kalabilecek olan beton yapılarıdaki etkisinin bilinmesi önem arz etmektedir. Bu

çalışmada, hava sürükleyici katkısının beton dayanımında büyük kayıplara sebep olmadan ve oluşturabileceği en yüksek hava içeriği (%7) oranında (Zhang ve ark., 2018) kullanılarak betonun aşınma direnci ve diğer mekanik özelliklerine olan etkisi incelenmiştir. Yapılan bu çalışmada aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

- ✓ Hava sürükleyici katkısı ile %7 hava içeriği oluşturulmuş olup bu hava içeriği için kullanılan hava katkısı oranı betonun işlenebilirliğini %50 oranında artırmıştır.
- ✓ Hava katkılı numunelerin sahip olduğu yüksek hava içeriğine rağmen basınç ve yarmada çekme dayanımı sonuçlarının hava katkısız numunelerin sonuçlarına yaklaşık eş değer olduğu görülmüştür.
- ✓ Hava sürükleyici katkısı beton içerisinde kapiler boşluk sistemini keserek kapiler su emme miktarını azalttığı belirlenmiştir.
- ✓ Dayanımdan büyük kayıplar vermeden %7 hava içeriğine sahip olan hava sürükleyici katkılı betonların böhme aşınma dirençleri katkısız betonlarınkine yaklaşık eş değer bulunmuştur.
- ✓ Tahribatsız deney yöntemleri olan ultrases hızı ve Schmidt çekiç sonuçları ile yapılan mekanik deneylerin desteklendiği belirlenmiştir.

Sonraki çalışmalarda;

- %7 hava içeriğine sahip hava sürükleyici betonun donma-çözülme direncinin incelenmesi,
- Hava sürükleyici katkısının daha yüksek oranlarda kullanılarak dayanım ile aşınma direncindeki ilişkinin incelenmesi,
- Kapilarite deney sonuçlarının kapilarite katsayısı olarak ifade edilmesi,
- Hava sürükleyici katkı için kullanılan oranların artırılarak aşınma direnci için optimum oranın belirlenmesi,
- Farklı oranlarda hava sürükleyici katkı maddesi kullanılarak deneysel metotların artırılması,
- Hava sürükleyici katkısı ile birlikte herhangi bir mineral katkı kullanılarak aşınma direncindeki değişimin incelenmesi önerilmektedir.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

### **Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti**

Her bir yazar makaleye %50 oranında katkı sağlamış olduğunu beyan eder

### **Kaynakça**

Abdulrahman H., Muhamad R., Visintin P., Shukri AA. Mechanical properties and bond stress-slip behaviour of fly ash geopolymer concrete. *Construction and Building Materials* 2022; 327.

- Alameri I., Oltulu M., Ardahanlı M. Influence of preheating on the mechanical properties of high strength concrete with micro silica filler. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 2020; 7(2): 1084-1093.
- Anonim. TS 2824 EN 1338: Zemin döşemesi için beton kaplama blokları - Gerekli şartlar ve deney metotları; 2005.
- Anonim. TS EN 12350-7: Beton - Taze beton deneyleri - Bölüm 7: Hava içeriğinin tayini - Basınç yöntemleri; 2019.
- Anonim. TS EN 12390-3: Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayini; 2019.
- Anonim. TS EN 12390-6: Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 6: Deney numunelerinin yarmada çekme dayanımının tayini; 2010.
- Anonim. TS EN 12504-2: Yapılarda beton deneyleri - Bölüm 2: Tahribatsız muayene - Geri sıçrama sayısının belirlenmesi; 2013.
- Anonim. TS EN 12504-4: Yapılarda beton deneyleri - Bölüm 4: Ultrasonik atımlı dalga hızının tayini; 2012.
- Anonim. TS EN 13057: Beton yapılar - Koruma ve tamir için mamul ve sistemler - Deney metotları - Kılcal su emmeye direncin tayini; 2004.
- Anonymous. ASTM C779-82: Standard Test Method for Abrasion Resistance of Horizontal Concrete Surfaces; 1995.
- Ardahanlı M., Oltulu M., Alameri I. Uçucu küllü kendiliğinden yerleşen betonun özellikleri üzerine ön ısıtmanın etkisi. *Black Sea Journal of Engineering and Science* 2021; 4(3): 81-88.
- De Brito J., Evangelista L. Mechanical behaviour of concrete made with fine recycled concrete aggregates. *Cement and Concrete Composites* 2007; 29(5): 397-401.
- Güleryüz E., Özen S., Aghabaglou AM. Mineral katkı kullanımının hava sürükleyici katkıli çimentolu harçların taze ve sertleşmiş hal özelliklerine etkisi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilim Dergisi* 2020; 26(6): 1053-1061.
- Karakurt C., Bayazıt Y. Freeze-thaw resistance of normal and high strength concretes produced with fly ash and silica fume. *Adv. Mater. Sci. Eng.* 2015.
- Kılınçarslan Ş., Şenli G. Süper akışkanlaştırıcı katkıların ağır betonların radyasyon geçirgenliğine etkisi. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi* 2015; 7(1): 50 – 57.
- Kubissa W., Jaskulski R., Grzelak M. Torrent air permeability and sorptivity of concrete made with the use of air entraining agent and citric acid as setting retardant. *Construction and Building Materials* 2021; 268.
- Kumar R., Sharma K. Abrasion resistance of concrete containing marginal aggregates. *Construction and Building Materials* 2014; 66: 712-722.
- Laplante P., Aitcin PC., Vezina D. Abrasion resistance of concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering* 1991; 3: 19-28.

- McCarthy MJ., Yakub HI., Csetenyi LJ. Impact of fly ash production and sourcing changes on chemical and physical aspects of concrete durability. *Construction and Building Materials* 2022; 342.
- Mohammed A., Mohammed I., Mohammed S. Some properties of concrete with plastic aggregate derived from shredded PVC sheets. *Construction and Building Materials* 2019; 201: 232–245.
- Nia AZ., Tadayonfar GR., Naddaf HE. Effect of air entraining admixture on concrete under temperature changes in freeze and thaw cycles. *Materials Today: Proceedings* 2018; 5: 6208–6216.
- Nili M., Ramezani-pour AA., Sobhani J. Evaluation of the effects of silica fume and air-entrainment on deicer salt scaling resistance of concrete pavements: microstructural study and modeling. *Construction and Building Materials* 2021; 308.
- Özcan F., Akçaözoğlu K. Hava sürüklenmiş betonların ısı iletkenlik değerlerinin belirlenmesi. *Nigde Omer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences* 2018; 7(2): 716-724.
- Özcan F., Koç ME. Influence of ground pumice on compressive strength and air content of both non-air and air entrained concrete in fresh and hardened state. *Construction and Building Materials* 2018; 187: 382-393.
- Salem MAA., Pandey R. Effect of air entrainment on compressive strength, density, and ingredients of concrete. *Int. J Adv. Mech. Civ. Eng.* 2017; 4: 77-81.
- Shah HA., Yuan Q., Zuo S. Air entrainment in fresh concrete and its effects on hardened concrete-a review. *Construction and Building Materials* 2021; 274.
- Tolegenova A., Skripkiunas G., Rishko L., Akmalaiuly K. Both plasticizing and air-entraining effect on cement-based material porosity and durability. *Materials* 2022; 15: 4382.
- Vijay A., Sajeeb R. Effect of superplasticizer on the characteristics of stabilized earth concrete. *Materials Today: Proceedings* 2022; 65(2): 455-460.
- Wang L., Zhou H., Shi W., Tang E. Effect of silica fume and PVA fiber on the abrasion resistance and volume stability of concrete. *Composites Part B: Engineering* 2017; 130: 28-37.
- Whitehurst E. Soniscope tests concrete structures. *J. of American Concrete Institute* 1951; 443-444.
- Zhang P., Li D., Qiao Y., Zhang S., Sun C., Zhao T. Effect of air entrainment on the mechanical properties, chloride migration, and microstructure of ordinary concrete and fly ash concrete. *J. Mater. Civ. Eng.* 2018; 30.
- Zhou T., Bazant M.Z., Pellenq RJM. Modeling freeze-thaw in concrete. *CSHub@MIT, Research Brief* 2015; 5.