

---

Makale / Research Paper

---

## Kriyojenik Sıcaklık Koşullarının Kendiliğinden Yerleşen Betonların Mekanik ve Fiziksel Özelliklerine Etkisi

Ümit YURT<sup>a</sup>, Mehmet EMİROĞLU<sup>b</sup>, Bekir ÇOMAK<sup>c</sup>, Mehmetcan YÜKSEK<sup>d</sup>

<sup>a</sup>Düzce Üniversitesi, Düzce MYO, İnşaat Bölümü, 81010 Düzce/TÜRKİYE

[umityurt@duzce.edu.tr](mailto:umityurt@duzce.edu.tr)

<sup>b,c,d</sup>Düzce Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 81620 Düzce/TÜRKİYE

Geliş/Received: 29.02.2016

Düzeltilme/Revised: 26.03.2016

Kabul/Accepted: 19.04.2016

---

**Özet:** Bu çalışmada doğalgaz depolama tanklarında kullanılması önerilebilecek Yüksek Fırın Cürufu (YFC) katkılı Kendiliğinden Yerleşen Betonunun (KYB) kriyojenik sıcaklık koşulları altında fiziksel ve mekanik özelliklerine düşük sıcaklıkların (-196 °C) etkisi incelenmiştir. Bu amaçla üretilen numuneler 90 gün su küründe dayanım kazanmış ve sonrasında 20 dakika sıvı nitrojene maruz bırakılmıştır. Isı alış verişinin tamamlanması için kriyojenik kür tankında bir saat bekletilen numunelerin oda sıcaklığında 24 saat çözülmesi sağlanmıştır. Bir çevrim donma-çözülme etkisinde kalan numuneler üzerinde, dinamik elastisite modülü, ultrases geçiş hızı, basınç ve eğilme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak kendiliğinden yerleşen betonların bir çevrim kriyojenik sıvı etkisi ile dinamik elastisite modülü ve ultrases geçiş hızı değerlerinde referans numuneye göre sırasıyla % 16,60 ve % 10,87 düşüş gözlenmiştir. Basınç ve eğilme dayanımı değerlerinde ise sırasıyla bir çevrim sonucunda % 10,11 ve % 5,61 oranında artış görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Doğalgaz, Kendiliğinden yerleşen beton, kriyojenik sıcaklık

---

## The Effect of Cryogenic Temperature Conditions on the Mechanical and Physical Properties of Self-Compacting Concretes

**Abstract:** This study investigates the effect of low temperatures (-196 °C) on the physical and mechanical properties of self-compacting concretes (SCC) made with blast furnace slag, which can be suggested to be used in natural gas storage tanks, under cryogenic temperature conditions. The specimens produced for this purpose gained resistance in water cure for 90 days and then were exposed to liquid nitrogen for 20 minutes. The specimens that were kept in the cryogenic cure tank for one hour so that heat exchange would be completed were put to dissolution in the room temperature for 24 hours. Dynamic modulus of elasticity, ultrasound pulse velocity, pressure, and flexural strength tests were carried out on the specimens that were exposed to one-cycle freezing-thawing effect. In the end, it was observed that one-cycle cryogenic liquid effect led to a fall of 16.60% and a fall of 10.87% in the dynamic modulus of elasticity and ultrasound pulse velocity values of the self-compacting concretes respectively compared to the reference specimen. At the end of one cycle, an increase of 10.11% and an increase of 5.61% were observed in the pressure and flexural strength values respectively.

**Keywords:** Natural gas, Self-compacting concrete, cryogenic temperature

---

*Bu makaleye atıf yapmak için*

Yurt, Ü., Emiroğlu, M., Çomak B., Yüksek M., "Kriyojenik Sıcaklık Koşullarının Kendiliğinden Yerleşen Betonların Mekanik Ve Fiziksel Özelliklerine Etkisi" El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi 2016, 3(2); 248-257.

*How to cite this article*

Yurt, Ü., Emiroğlu, M., Çomak B., Yüksek M., "The Effect of Cryogenic Temperature Conditions on the Mechanical and Physical Properties of Self-Compacting Concretes" El-Cezerî Journal of Science and Engineering, 2016, 3(2); 248-257.

## 1. Giriş

Dünya genelinde enerjiye olan talep sanayinin gelişimine paralel olarak artmıştır. En temel enerji kaynaklarından birisi olan fosil yakıtlar vazgeçilmez enerji kaynaklarıdır. Bu enerji grubunda yer alan ve evre dostu olarak bilinen doğalgaz, mesken, işyeri, sanayi, elektrik üretimi gibi birçok alanda kullanılmakta olup özellikle konut yaşamının önemli bir ihtiyaıdır. Bu kaynağın kullanılabilmesi her ülke için kolay ulaşılabilir olmamaktadır. Nitekim bu temiz ve evre dostu enerji kaynağını kullanmak isteyen ülkeler rezervleri bulunan ülkelerden ithalat yaparak ülkelerinin ihtiyaını karşılamaktadır [1]. Fakat zaman zaman ülkeler arası anlaşmazlıklar nedeniyle doğalgaz iletimi kesintiye uğramaktadır. Bu gibi durumlarda, ülke içi talebin karşılanması gerekmektedir. Bu ve bunun gibi durumlar için doğalgazın sıvılaştırılarak depolanması son derece önemlidir. Sıvılaştırma işlemi sayesinde daha fazla miktarda doğalgaz depolamak mümkün olabilmektedir. Sıvılaştırma işlemi düşük sıcaklıklarda gerçekleşmektedir. Düşük sıcaklıklardaki sıvılar (153,15°C'nin altındaki) kriyojenik sıvılar olarak ifade edilmektedir [2]. Kriyojenik sıvıların büyük miktarlarda depolanmasında beton muhafazalı tanklar yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tür tank uygulamalarında kullanılacak olan betonun mekanik performansının yüksek olması, kalıba boşluksuz yerleşmesi ve kriyojenik sıcaklıklara dayanıklı olması gerekmektedir. Bu zelliklerin tümü bize Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB) kullanımının önemini göstermektedir. Literatür incelendiğinde kriyojenik sıcaklıklardaki geleneksel beton davranışı ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır [3-5]. Fakat kendiliğinden yerleşen beton teknolojisi yeni bir teknoloji olduğundan bu konu ile ilgili yeterli çalışmaya rastlanmamıştır. Yapılan bu çalışma ile kendiliğinden yerleşen betonun kriyojenik sıvı ile teması sonucunda, betonun fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimi, donma-çözülme işlemi sonrası incelenmiştir.

## 2. Deneysel alışmalar

### 2.1. Malzemeler

#### 2.1.1. Çimento

Çalışmada kullanılan imento CEM I 42,5 R tipi çimentodur ve Oyak Bolu imento Fabrikası A.ř'den temin edilmiştir. Karışımda kullanılan Yüksek Fırın Cürufu (YFC) ise, Oyak Bolu imento Ereğli ğtme ve Paketleme Tesislerinden temin edilmiş olup kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri, imento ile birlikte Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. CEM I 42,5 R tipi imento ve YFC'nin teknik zellikleri

Kimyasal Kompozisyon (%)	YFC	CEM I 42,5 R	imentonun Fiziksel ve Mekanik zellikleri	
SiO <sub>2</sub>	40,52	18,95	Priz başlangıcı (sa/dk)	02:19
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,10	4,07	Priz sonu (sa/dk)	03:53
TiO <sub>2</sub>	0,98	–	Hacim sabitliği. (mm)	1,31
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,59	5,32	özgül ağırlık	3,16
CaO	34,18	64,72	zgl yüzey (cm <sup>2</sup> /g)	4208
MgO	7,29	1,35	Elek st (45 µ) %	3,64
Na <sub>2</sub> O	0,58	0,16	<b>Basınç dayanımı</b>	<b>MPa</b>
K <sub>2</sub> O	1,1	0,51	2. Gün	31,10
SO <sub>3</sub>	0,16	2,7	7. Gün	39,61
Toplam Alkali	-	0,61	28.Gün	55,22
Kızdırma Kaybı	-	4,21	<b>Eğilme Dayanımı (28 Gün )</b>	8,44

### 2.1.2. Su ve Kimyasal Katkı

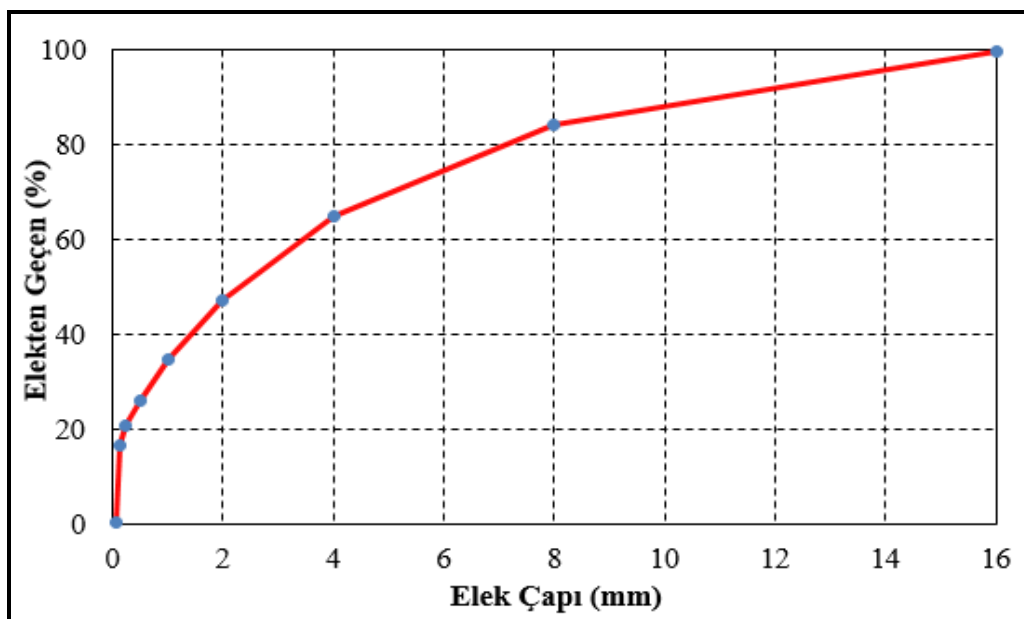
Çalışmada kullanılan beton katkısı ‘‘Sika Viscocrete Hi-Tech 79’’ yüksek oranda su azaltıcı, hiper akışkanlaştırıcı, Sika Yapı Kimyasalları A.Ş.’den temin edilmiş olup, firmanın açıkladığı ürün bilgisi Tablo 2.2’de verilmiştir. Deneylerde içilebilir nitelikte olan Düzce Belediyesi şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

Tablo 2.2. Hiperakışkanlaştırıcı katkıya ait teknik özellikler

Teknik Özellikler	Test Metodu	Sonuçlar	Sika Standart		EN 934-1’in Standart Değerleri
Homojenlik	Görsel	Homojen	Homojen		Homojen. Ayrışma, beyan edilen sınırı aşmamalıdır.
Renk	Görsel	Kahverengi	Kahverengi		Üniform ve üreticinin verdiği tarife uygun
Efektif Bileşen	EN 480-6	-	-		Referans IR ile kıyaslandığında değişiklik göstermemelidir.
Yoğunluk 20°C, g/cm <sup>3</sup>	ISO 758	1,0672	1,05	1,07	d>1,10: d±0,03, d<1,10 : d±0,02
Katı Madde Yüzdesi, %	EN 480-8	20,07	14,01	23,01	T>%20: 0,95T<X<1,05T T<%20: 0,90T<X<1,10T
pH, (%10'luk Çözelti)	ISO 4316	4,71	3,01	7,02	Üreticinin beyan ettiği değer ±1 veya beyan ettiği aralık içinde
Suda Çözünebilen Klor Yüzdesi, %	EN 480-10	0,0548	Max. 0,11		Maksimum % 0,10 veya beyan ettiği değer altında
Alkali Yüzdesi, % (Na <sub>2</sub> O'e ekivalendir.)	EN 480-12	0,87	Max. 3,01		Üreticinin beyan ettiği en yüksek değer altında
Korozyon Davranışı	EN 480-14	Korozyona etkisi yoktur	Korozyona etkisi yoktur		Korozyona etkisi yoktur

### 2.1.3. Agrega

Kendiliğinden yerleşen beton (KYB) karışımında en büyük tane çapı 16 mm olan, Düzce bölgesinden temin edilen kireçtaşı kullanılmıştır. Kullanılan agregaya ait granülometri eğrisi Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1. Agregaya ait granülometri eğrisi

### 2.1.4. Kriyojenik Sıvı

Çalışmada hedeflenen düşük sıcaklıkların laboratuvar ortamında oluşturulabilmesi için sıvı azot kullanılmıştır. Tablo 2.3' de teknik özellikleri verilen azot, renksiz, kokusuz, tatsız ve havadan hafif bir gazdır. Sıvı fazda sıcaklığı -196 °C'a kadar düşmektedir.

Tablo 2.3. Azota ait teknik bilgiler

<b>Azotun Teknik Özellikleri</b>	
Fiziksel Hali	Sıvı + Gaz
Koku / Renk	Kokusuz, Renksiz
Molekül Ağırlık	28,01 mol-
Kaynama Noktası	- 195,8 °C
Ergime Noktası	- 210 °C
Kritik Sıcaklık	- 147 °C
Gazın zgl Ağırlığı ( Hava = 1 )	0,967
Sıvının Yoğunluğu (-195,8 °C, 1 atm.)	0,808 kg/dm <sup>3</sup>
Gaz Yoğunluğu	1,25 kg/Nm <sup>3</sup> ( 0 °C, 1 bar )
Çözünürlük ( H <sub>2</sub> O )	20 mg/l
Diğer Bilgiler	Zehirsizdir. Havadan hafiftir

### 2.2. Metot

Kendiliğinden Yerleşen betonlarının karışım oranları daha önce aynı malzemeler kullanılarak yapılan bir doktora tez çalışmasından alınmıştır [1]. Bu kısımda karışım oranları, numune hazırlama aşamaları, kr işlemi, kriyojenik çevrimin uygulanması, taze ve sertleşmiş beton deneyleri ile mekanik testler ile ilgili bilgiler yer almaktadır.

Üretilen kendiliğinden yerleşen beton karışımları ilgili standartlarda [6] belirtilmiş olan ve duvar elemanlarında kullanılması nerilen SF2 (hedef slump yayılma çapı (660–750 mm)) akışkanlık sınıfı hedef alınarak belirlenmiştir. Deneylerde kullanılan karışım oranları Tablo 2.4'de verilmiştir. Verilen bu oranlara göre hazırlanan taze beton numuneleri üzerinde EFNARC 2005'e uygun olarak, kendiliğinden yerleşen beton deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2.4. KYB karışım miktarları (1 m<sup>3</sup>)

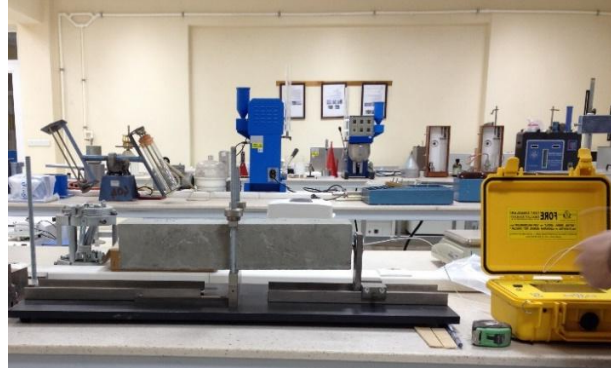
<b>imento (kg)</b>	<b>YFC (kg)</b>	<b>Toplam Filler (kg)</b>	<b>Toplam Su (kg)</b>	<b>Katkı Maddesi (kg)</b>	<b>İnce Agregası (kg)</b>	<b>İri Agregası (kg)</b>
375	175	550	193	7,98	1077	580

Kendiliğinden yerleşen betonların kriyojenik şartlardaki performansları donma-çözülme etkisi göz önüne alınarak belirlenmiştir. Donma-özlme işlemi 1 saat -196 °C'de donma ve 24 saat +20 °C oda sıcaklığında çözülme şeklinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada iki farklı etki oluşturacak şekilde çevrim uygulanmıştır. Bunlar evrim olmadan ve bir çevrim şeklinde gerçekleştirilmiştir. Beton numunelerin sıvı azot ile teması şekil 2.2'de görülen kriyojenik kr tankı ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.2. Kriyojenik kür tankı

Çalışmada dinamik elastisite modülü değerleri, rezonans frekansı deneyi (ASTM 215) sonucunda hesaplanmıştır. Rezonans frekansı deneyi 100x100x500 mm boyutunda kiriş numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu numuneler 90 gün su küründe dayanım kazandıktan sonra, rezonans frekansı ölçümlerine tabii tutulmuştur.



Şekil 2.3. Boyuna rezonans frekansı ölçümü

Her bir çevrim ardından ölçülen değerler denklem 2.1 kullanılarak dinamik elastisite modülü hesaplanmıştır. Burada ‘E’, Dinamik elastisite modülü, ‘L’, Numune uzunluğu, ‘ρ’ Malzeme yoğunluğu, ‘N’, Boyuna rezonans frekansı olarak verilmiştir.

$$E = 4L^2 \rho N^2 \quad (2.1)$$

Sertleşmiş beton numuneleri üzerinde 90 gün su küründe dayanım kazandıktan sonra, her bir çevrim ardından ultrases hızı ölçümleri gerçekleştirilmiş ve denklem 2.2 yardımıyla ultrases geçiş hızı değerleri hesaplanmıştır.

$$V = \frac{S}{t} \left( \frac{km}{sn} \right) \quad (2.2)$$



Şekil 2.4. Ultrases geçiş hızı ölçümü

Su küründe 90 gün boyunca dayanım kazanan 15 cm kenar uzunluğuna sahip küp numuneler üzerinde bir çevrim kriyojenik işlemin ardından basınç dayanımı deneyi gerçekleştirilmiştir. Bu deneyde 300 ton kapasiteli tek eksenli hidrolik pres kullanılmıştır. Hidrolik test cihazı, beton numunesinin taşıyabileceği en fazla kuvvete ulaştığı anda yüklemeye otomatik olarak son vermiştir. Maksimum kırılma yük değerlerine göre küp numunelerin basınç dayanımları,

$$\sigma = \frac{P_{max}}{A} (MPa) \quad (2.3)$$

denklem 2.3 kullanılarak hesaplanmıştır.

Eğilme dayanımı değerleri ise üretilen kirişler üzerinde üç noktalı eğilme deneyi sonucunda elde edilen maksimum yük değerleri kullanılarak denklem 2.4'den hesaplanmıştır.

$$\sigma_f = \frac{3PL}{2bd^2} (MPa) \quad (2.4)$$

Burada “ $\sigma_f$ ”, eğilme dayanımı “P”, maksimum kırılma yükü, “L”, yükleme yapılan kirişin etkili boyu “b”, kiriş genişliği “d”, kiriş yüksekliği olarak verilmiştir.

### 3. Bulgular Ve Tartışma

#### 3.1. Taze Beton Özellikleri

Çalışmada YFC kullanılarak hazırlanan kendiliğinden yerleşen beton numunelere ait akışkanlık değerleri Tablo 3.1'de verilmiştir. Üretilen KYB karışımının Tablo 3.1'de verilen yayılma çapı değeri incelendiğinde 740 mm yayılma çapına sahip olduğu görülmektedir. Kriyojenik beton tankların duvarlarında kullanılması düşünölen bu karışımın uygunluğu için gerekli olan değeri, EFNARC standardına göre SF2 slump yayılma sınıfında olması önerilmektedir. Slump yayılma çapı değeri göz önüne alındığında SF2 (660-750 mm) slump yayılma sınıfının sağlandığı görülmektedir. T500 değerleri incelendiğinde 500 mm akma çapına 4,10 sn sürede ulaşıldığı görülmektedir.

Tablo 3.1 Taze beton deney sonuçları

L-KUTUSU		U- KUTUSU		J RİNGİ		
T <sub>20</sub> (s)	6,20	h <sub>1</sub>	160	D <sub>İşort</sub>	125 mm	h <sub>ort</sub> (mm)
T <sub>40</sub> (s)	13,01	h <sub>2</sub>	165	İç <sub>ort</sub>	120 mm	5 mm
H <sub>1</sub> (mm)	80	(h <sub>2</sub> -h <sub>1</sub> ) mm	5	T <sub>500</sub> (s)		6
H <sub>2</sub> (mm)	67	Elek Segregasyon (%)	10,27	Yayılma Çap (d <sub>1</sub> +d <sub>2</sub> )/2		755 mm
H <sub>2</sub> /H <sub>1</sub>	0,84	Taze Birim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	2372,2	Orta Nokta Çökme		115mm
<b>SLAMP YAYILMA</b>		D <sub>1</sub> (mm)	D <sub>2</sub> (mm)	D (mm)		T <sub>500</sub> (s)
		740	735	737,5		4,10

EFNARC sınıflandırılmasına göre üretilen KYB'nin viskozite sınıfı VS2/ VF2 (T<sub>500</sub>>2 sn) olarak tespit edilmiştir. Viskozite sınıflandırması açısından da üretilen KYB'nin duvar elemanlarında kullanılabilir bir beton türü olduğu görülmektedir. L-kutusu deney sonucu değerlendirildiğinde H<sub>2</sub>/H<sub>1</sub> oranının 0,84 ile KYB üretimi için uygun olduğu ve elek segregasyon değeri açısından (%10,27) SR2 segregasyon sınıfında (<%15) olduğu tespit edilmiştir.

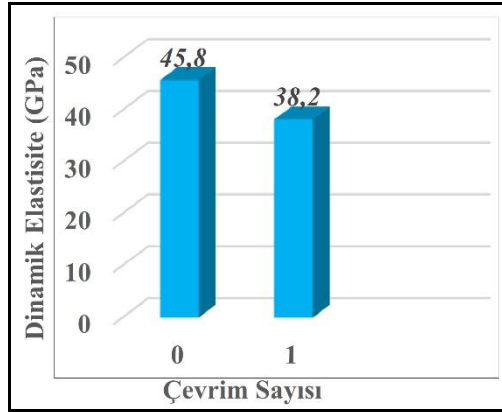


Şekil 3.1. Slamp deneyi

Şekil 3.1'de doğalgaz beton depolama tanklarında kullanılması önerilebilecek, YFC içeren bir KYB karışımı için gerçekleştirilen slamp yayılma deneyi görülmektedir.

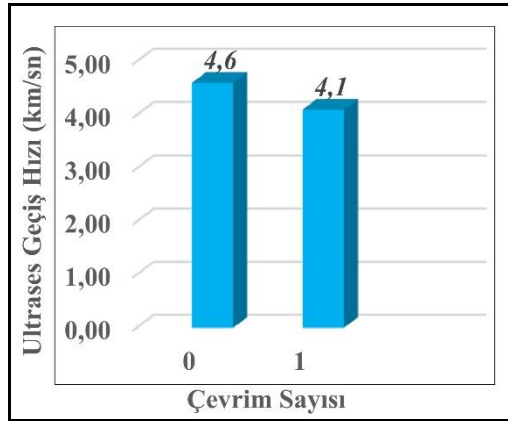
### 3.2. Sertleşmiş Beton Özellikleri

Bir çevrim kriyojenik çevrim ardından (100x100x500 mm) prizma kirişler üzerinde yapılan boyuna rezonans frekansı ölçümleri sonucunda elde edilen değerler kullanılarak hesaplanan dinamik elastisite modülü değerleri Şekil 3.2'de sütun grafik olarak verilmiştir. Elde edilen değerler incelendiğinde çevrim sayısına bağlı olarak dinamik elastisite modülündeki değişim görülmektedir. Su küründe dayanım kazanmış numunelerde referans numuneye göre bir çevrimin ardından %16,60 düşüş gerçekleşmiştir. Dinamik elastisite modülündeki değişim incelendiğinde, betonun nem içeriğinin önemli rol oynadığı düşünülmektedir. Ultrases geçiş hızı ölçülen numunelerin değerleri kullanılarak hazırlanmış olan sütun grafik ise Şekil 3.3'de verilmiştir.



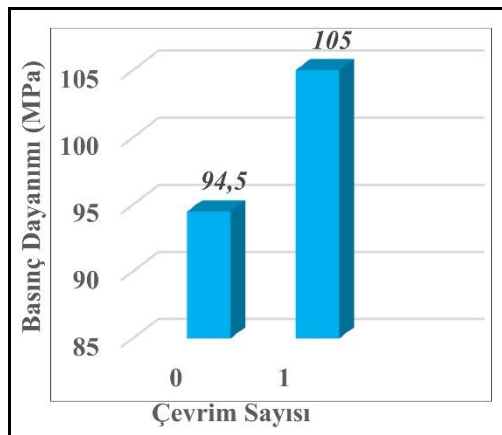
Şekil 3.2. Dinamik Elastisite modülü değişim grafiği

Ultrases geçiş hızı değerleri incelendiğinde bir çevrim kriyojenik kr sonucunda % 10,87 oranında düşüş gözlenmiştir. Ultrases geçiş hızı sonuçlarının, dinamik elastisite değerleriyle paralellik gösterdiği gözlemlenmiştir.



Şekil 3.3. Ultrases geçiş hızı değişim grafiği

Basınç dayanımı testi sonucunda elde edilen değerler kullanılarak hazırlanmış olan sütün grafik Şekil 3.4'de verilmiştir. Su krnde dayanım kazanmış numunelerin basınç dayanımı değerleri kriyojenik çevrim sonucunda % 10,11 oranında artış gerçekleşmiştir. Xie ve arkadaşları (2014) donatılı betonlar üzerinde yaptıkları çalışmada sıcaklığın azalmasıyla dayanımın arttığını bildirmişlerdir.

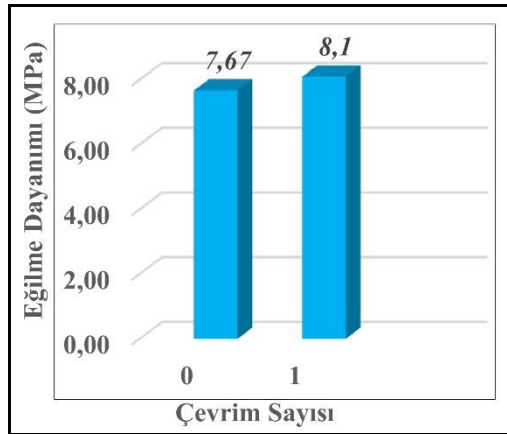


Şekil 3.4. Basınç dayanımı değişim grafiği



Numuneleri dayanım testinden hemen önce düşük sıcaklıklara maruz bırakarak teste tabi tutmuşlardır [7]. Talbot (2009) toz malzeme olarak uçucu kül içeren KYB üzerine gerçekleştirdiği çalışmada numuneleri bir saat sıvı azota maruz bıraktıktan sonra kırk sekiz saat çözülmesini beklemişlerdir. Daha sonra basınç testine tabi tutmuş ve basınç dayanımı değerlerinde artış olduğunu bildirmiştir [8]. Tek çevrim olarak gerçekleştirilen bu çalışmanın sonuçları ile Şekil 3.4'de görüldüğü üzere tek çevrim sonuçları uyum sağlamaktadır.

Eğilme dayanım değerleri kullanılarak çizilen grafik Şekil 3.5'de görülmektedir. Grafik incelendiğinde su küründe dayanım kazanan ve bir çevrim kriyojenik işlem sonucunda referans numuneye göre, %5,61 oranında artış gerçekleşmiştir. Elices ve arkadaşları (1987) yaptıkları çalışmalarında 90 günlük geleneksel beton numunelerini kriyojenik sıcaklık altında ( $-170^{\circ}\text{C}$ ) eğilme dayanımı testine tabi tutmuşlardır. Suya doymun kirış numuneler üzerinde gerçekleştirdikleri test sonucunda, eğilme dayanımı deney sonuçlarının referans numuneye oranla artış gösterdiği hatta bazı numunelerde %100'ün üzerinde dayanım artışı gözlemlendiğini bildirmişlerdir. Bu durum yazarlar tarafından numune bünyesinde bulunan suyun buz kristallerine dönüşerek dayanıma katkı sağlamış olduğu olarak yorumlamışlardır [9].



Şekil 3.5 Eğilme dayanımı değişim grafiği

Bu çalışmada sıvı nitrojen kullanılarak donma-çözülme uygulanmış KYB numunelerinin eğilme dayanımında da artışlar meydana gelmiş ancak belirtilen çalışmadaki gibi yüksek dayanım artışları gözlenmemiştir. Bunun temel nedeni yapılan donma-çözülme işlemi olduğu düşünülmektedir. Kriyojenik işlem esnasında oluşan buz kristalleri bir gün laboratuvar koşulunda bekletilmesi ile çözülmüş ve buzun dayanıma olan katkısı fazla gözlenmemiştir.

#### 4. Sonuçlar

Kriyojenik beton tank tasarımının önemli bir bölümünü oluşturan, doğalgaz tanklarının betonarme elamanlarında kullanılabilecek, kendiliğinden yerleşen yüksek dayanımlı bir beton karışımı elde edilmiş olup, KYB tasarımında değerlendirme ölçütü olarak kabul gören standartlarda taze beton özelliklerine ulaşılmıştır. Kriyojenik sıcaklık koşulları altında nem içeriğinin önemli bir değişken olduğu, kriyojenik sıcaklık etkisi altında kalan nem içeriği yüksek betonların donma-çözülme etkisi ile birlikte dinamik elastisite modülü ve ultrases geçiş hızı değerlerinin bir çevrim sonucunda azaldığı görülmüştür. Genel olarak basınç dayanımı değerlerinin nem içeriği yüksek betonlarda (Su küründe dayanım kazanmış) bir çevrim kriyojenik işlem sonucunda arttığı, eğilme dayanımı sonuçlarının ise bir çevrim sonucunda basınç dayanımı ile paralellik gösterdiği, fakat artışın eğilme dayanımı değerlerine göre daha az olduğu görülmüştür. Kriyojenik sıvı etkisinde kalmayan numunelerle, bir çevrim kriyojenik sıvı etkisinde kalan numuneler karşılaştırıldığında kriyojenik sıvı ile temas eden numunelerin basınç ve eğilme dayanımlarında genel olarak artış gözlemlenmiştir.

## 5. TeŖekkr

Bu tez alıŖmasına maddi destek veren (Proje No: BAP–2015.07.05.293) Düzce Üniversitesi Bilimsel AraŖtırma Koordinatrlğne teŖekkr ederim.

Doktora alıŖmam boyunca TÜBİTAK 2211-C ncelikli Alanlara Yönelik Doktora Bursu ile maddi destek sağlayan ve 113M454 numaralı TÜBİTAK projesinin imkân ve olanakları içinde TÜBİTAK’a katkılarından dolayı sonsuz teŖekkrlerimi sunarım.

## Kaynaklar

- [1] . Yurt, Kriyojenik Sıcaklık Etkisindeki Kendiliğinden YerleŖen Betonlarda Kırılma Mekanik Perforansının Belirlenmesi, Düzce, Doktora Tezi, Dzce Üniversitesi, 2016.
- [2] P. Lebrun, An introduction to cryogenics, European Organization For Nuclear Research Laboratory for Particle Physics, Geneva, 2007.
- [3] Law B., Concrete Construction, cilt 28, no. 6, pp. 465-466, 1983.
- [4] L. Vandewalle, Bond between a reinforcement bar and concrete at normal and cryogenic temperatures, Journal of Materials Science Letters, cilt 8, no. 2, pp. 147-149., 1989.
- [5] D. E. Berner ve B. C. Gerwick, Static and cyclic behavior of structural lightweight concrete at cryogenic temperatures, Ocean Space Utilization '85, Japan, Springer, 1985, pp. 439-445.
- [6] EFNARC, The european guidelines for self-compacting concrete: specification, production and use, The european federation of specialist construction chemicals and concrete, 2005.
- [7] J. Xie, X. Li, ve H. Wu, Experimental study on the axial-compression performance of concrete at cryogenic temperatures, Construction and Building Materials, cilt 72, pp. 380-388., 2014.
- [8] C. Talbot, Behavior of Self-Consolidating Concrete at Cryogenic Temperatures, Concrete plant international, cilt 1, no. 1, pp. 66-68., 2009.
- [9] M. Elices, J. Planas ve P. Maturana, Fracture of concrete at cryogenic temperatures, Fracture of Concrete and Rock, pp. 106-116., 1989.
- [10] S. O. Demirpolat, SıvılaŖtırılmıŖ doğal gazın (LNG) kriyojenik enerjisini kullanarak g retiminin araŖtırılması: rnek alıŖma Marmara Ereğlisi LNG alım terminali, Konya: Yüksek Lisans Tezi, Seluk niversitesi,, 2007.