



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Bilgisayar Kontrollü Bs En 772-18 Standardına Uygun Donma- Çözülme Test Cihazının Geliştirilmesi ve Uygulanması¹

 İsmail Serkan ÜNCÜ^{a*},  Serhat UYSAL^b,  Reşat SELBAŞ^c,  Şemsettin KILINÇARSLAN^d

^a Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Isparta, TÜRKİYE

^b Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Uluborlu Selahattin Karasoy Meslek Yüksekokulu, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Isparta, TÜRKİYE

^c Makine Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Isparta, TÜRKİYE

^d İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: serkanuncu@isparta.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.1015243

ÖZ

Yapı malzemeleri; üretim teknolojisi, uygun tasarım, kimyasal oran, yerleştirme ve sıkıştırma dereceleri, üretim standartları gibi kriterler dikkate alınarak değişken bir dayanım ölçeğinde izin verilen bir standartta üretilirler. Bu standartlardan uygun yapı kimyasallarının seçimi ve çevre şartları için özellikle tip ve dayanım sınıfı açısından tanımlı standartlar vardır. Yapı malzemelerinin dayanımını özellikle şiddetli çevresel şartlarda, kimyasal seçimi, içeriği oluşturan malzemelerin donma dayanıklılık, kimyasal direnç ve donatının korunması gibi dayanıklılık özelliklerine de dikkat edilir. Yapı malzemelerinin en büyük yapısal bozulma nedeni nemli ortamlarda donma çözülme olayının meydana gelmesidir. Bu bozulmalar binalarda enerji kaybına da neden olmaktadır. Bu çalışmada ayarlanabilen nemli ortamlarda istenen sıcaklıkta istenen zaman aralığında yapı malzemelerini tutabilen bilgisayar kontrollü donma çözülme test cihazı geliştirilmiştir. Bu cihaz ile yapı malzemelerinin yüksek sıcaklık ve donma-çözülme etkisinde mekanik ve fiziksel davranışı gözlemlenebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Donma çözülme test cihazı, Yapı malzemeleri, Birim hacim kütle, Su emme, Porozite.

Development And Implementation of Computer Controlled Freeze Thaw Test Device According to Bs En 772-18 Standard

ABSTRACT

Taking care of criterias like, production technology, appropriate chemical rate, placement and compression rates and production standarts, construction materials are produced on a variable strength scale with a permitted standard. For choosing the appropriate structure chemicals of these standards and for the environmental conditions, there are pre-defined standards especially for the type and strength class. It is taken great care of the construction materials, especially in the severe environmental conditions, also durability properties like, choosing the chemicals, the durability of the ingredients of the content, chemical resistance and equipment's protection. The biggest structural corruption reason of the construction materials is that the occurrence of the freeze-thaw in the moist environments. These corruptions also cause energy loss in the structures. In this work, a test device controlled by a computer, got developed, that can hold the construction materials between a desired time interval, at a desired heat in a scalable moist environment. Mechanical and physical behaviors of building materials can be observed under high temperature and freeze-thaw effect by this device.

Keywords: Freeze- thaw testing device, Construction materials, Unit volume mass, Water absorption, Porosity.

¹ ICAIAME 2021 konferansında sunulmuştur.

Geliş: 28/10/2021, Düzeltme: 13/12/2021, Kabul: 19/12/2021

I. GİRİŞ

Enerji kaynaklarındaki azalma, enerji tüketiminin artması ve özellikle fosil yakıt tüketiminin sebep olduğu çevre kirliliğinden dolayı birçok bilim dalında, enerji verimliliği konusunda yopun çalışmalar yapılmakta ve çözüm önerileri aranmaktadır. Enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik bu çalışmalarda, binalarda enerji verimliliğinin artırılması ve özellikle de ısı konfor amaçlı enerji tüketiminde, kullanıcıların sağlıklı ve üretken olmaları için gerekli şartlardan taviz vermeden enerji tüketiminin azaltılması birinci hedef olarak seçilmiştir. 20. yüzyılın başlarından itibaren hem teknolojinin gelişmesi hem de modern mimarideki taleplerin artması ile, modern konstrüksiyon metodlarının hızla kullanılmaya başlanmıştır. Yapı malzemelerinin, taşıyıcılık görevlerinin azalmasını, incelmelerini ve ısı geçirgenlik direncinin önemli miktarda düşmesini sağlamıştır. Yapılar çeşitli mekanik, fiziksel, kimyasal ve atmosferik etkiler altında zamanla özelliklerini kaybederler. Bu etkiler altında kalan yapılarda uzun zaman içerisinde bozulmalar oluşmaktadır. Isı geçirgenlik direncinin düşmesi yapı malzemesi yüzeyinde yoğunlaşmaya sebep olabilmektedir. Isı geçirgenlik direncinin yükseltilmesi, dolayısıyla ısı ekonomisinin sağlanması ve yapı malzemesi yüzeyindeki yoğunlaşmanın önlenmesi için inşa edilen yapılardaki duvarlarda birden fazla yapı elemanı kullanılmasını ortaya çıkarmıştır [1]. Ayrıca donma çözünme olayları beton içerisindeki boşlukların su ile dolmasına sebep olur. Bu sebeple betonda fiziksel bozukluklar oluşur ve basınç dayanımında azalmalar meydana gelir [2]. Ayrıca kayalarda da donma çözünme olayının fiziksel bozunmada etkili olduğu tespit edilmiştir [3]. Betonun boşluk yapısı, boşlukların boyutu, doyunluk derecesi, hacim içerisinde donabilecek su miktarı donma hızı, su/çimento oranı gibi etkenler betonun çekme dayanımı için önemlidir [4]. Donma çözünme dayanıklılığını etkileyen en önemli parametrelerden biri de agreganın boşluk yapısıdır [5]. Beton agregasının donmaya karşı dayanıklılığı betonun ne kadar dayanıklı olduğunu gösterir.

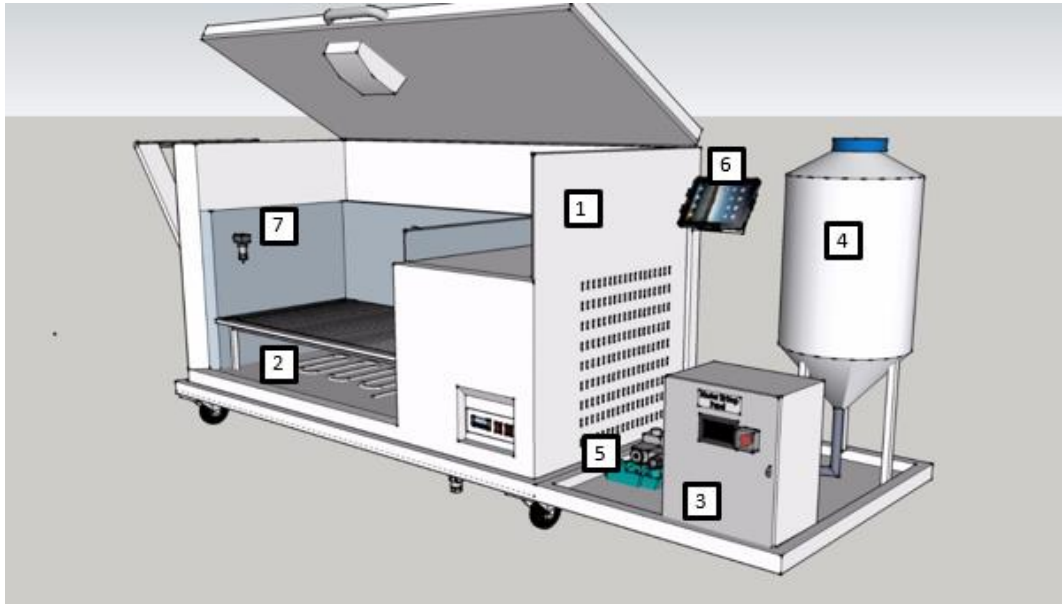
Ekonomi ve konfor gereği olarak yapı elemanlarında kullanılan ısı yalıtım malzemeleri bünyelerinde su veya nem bulundurmadıkları müddetçe hesaplama esnasında kabul edilen ön şart özelliklerini koruyabilirler. Ancak su veya nem, bilindiği gibi oldukça iyi ısı geçirgenliği olan bir madde olup, yalıtım malzemeleri içindeki kılcal hava kanallarını veya gözeneklerini doldurduğu takdirde yalıtım malzemesinin ısı geçirgenlik direncini düşürmektedir. Ayrıca su veya nemin ısı yalıtım malzemesi içinde kışın donması veya yazın buharlaşması bu malzemenin deformasyonuna sebep olmaktadır. Sıcaklık derecesinin değişmesi sonucu nem miktarı değişmekte, ayrıca su sıvı halden katı hale dönüşerek çığlenme ve donma olaylarına yol açabilmektedir. Suyun malzeme üzerindeki etkisi söz konusu olduğu zaman ya su malzemenin içindedir ya da su malzemeye yüzeysel olarak etkimektedir. Ayrıca buhar basıncından ortaya çıkan kondansasyon (yoğuşma) ise malzeme iç yapısını veya yüzeysel olarak malzemeyi etkilemektedir. Malzeme boşlukları içine girmiş bulunan suyun sıcaklık derecesinin sıfırın altına düşmesi ile ortaya çıkaracağı olay ise donmadır. Donmada katı hale geçerek hacim genişlemesine uğrayan su malzeme iç yapısında gerilmelere neden olacaktır. Suyun buz hale geçmesiyle hacminde %9'luk bir artış olur. Bu da malzemeyi genişlemeye uğratarak çatlamasına neden olmaktadır [6]. Don etkisi ile donma çözülme etkisinin ikisi de su ile ilgilidir [7]. Su ile mineraller birleştiğinde mineral katkılar bir miktar basınç dayanımını artırmakla birlikte donma-çözülme çevrimler sonrasında mineral katkılı malzemelerin daha fazla dayanım özelliklerini kaybettiği gözlenmiştir [8]. Ayrıca soğuk bölgelerdeki zeminler, sürekli donmuş, kısmen donmuş ve mevsimsel olarak donma gösteren yerlerde bulunabilirler. Soğuk bölgelerdeki mevsimsel koşullara bağlı tekrarlı donma-çözülme döngüleri yılda bir iki defa tekrar edebilmekte ve sıkı bir şekilde kompakte edilmiş zeminlerin geoteknik özelliklerini olumsuz yönde önemli bir biçimde değiştirmektedir [9].

Tekrarlı donma-çözülme döngülerine maruz kalan kireç ile stabilize edilmiş kil zeminlerin mukavemet özelliklerini incelendiğinde sadece katı malzemelerin donma çözülmeden etkilenmediği kireçlerinde donma-çözülme döngülerinin artmasıyla mukavemet değerlerindeki düşüş doğrusal olarak gerçekleşmektedir. Kireç ile stabilize edilmiş kaolinit kilinin mukavemetinin arttığı, fakat dayanımdaki artış miktarlarının stabilize edilmiş bentonite göre daha az olması kaolinit kilinin daha az reaktif olduğu sonucunu göstermektedir [10]. Yukarıdaki çalışmalardan görüldüğü gibi bir yapı malzemesi özellikle sıvılara maruz kalan maddeler donma çözülmeden daha fazla etkilenmiştir.

Bu çalışmada, yapı malzemelerinde donma çözülme sonucu oluşan bozulmaları inceleyebilmek için bilgisayar kontrollü (BS EN 772-18 standardına uygun) donma çözülme cihazı geliştirilmiştir. Geliştirilen bu cihaz ile ısıtma ve soğutma, su alma, su boşaltma, numuneleri sabit sıcaklıkta tutma işlemleri yapabilmektedir. Suda çözülme adımı su alma anı, suda bekleme süresi, havada bekleme süresi parametre olarak tanımlanabilmektedir.

II. GELİŞTİRİLEN SİSTEM

Bu deney cihazı tasarlanırken, deneylerin öncelikle BS-EN 772 standardında belirtilen koşulların sağlanması ve daha sonra gözlemlenmek istenen aşırı koşulların ürünler üzerine olan etkisini gözlemlenmek ihtiyacından yola çıkılmıştır. Deney cihazı önceki versiyonlarından farklı olarak kontrol ünitesinin tamamen son teknolojik alt yapı kullanılarak geliştirilmiş ve otomasyon üzerinden kontrolü sağlanmıştır. Deney cihazını genel olarak tanımlamak gerekirse, sıcaklık ve nemi istenilen düzeyde sabit tutarak deneyin yapılması istenilen ideal ortamı oluşturan, yani test edilmek istenilen koşulların bir simülasyonunu gerçekleştiren bir deney hücresidir. Şekil 1’ de deney cihazı tasarımı görüntülenmektedir. -30°C ile +30°C sıcaklık kapasitesine sahiptir. Geliştirilen sistem piyasada olan benzer modellerine göre hazır derin dondurucu kullandığından oldukça düşük maliyette kurulmuştur.

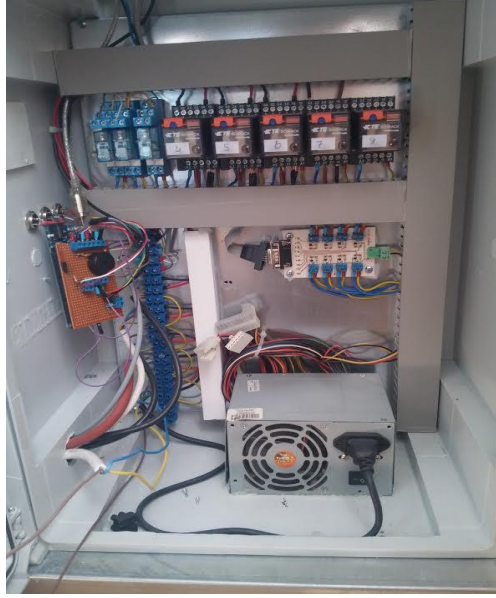


Şekil 1. Deney cihazı tasarımı.

Deney cihazı tasarımında numaralandırılmış bölümler aşağıda sıralandığı şekildedir.

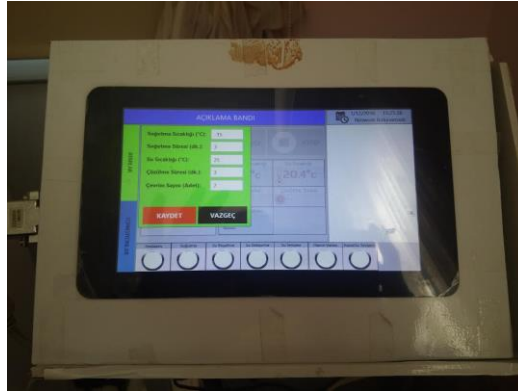
1. Soğutma sistemi
2. Isıtma sistemi
3. Elektrik panosu
4. Su depo haznesi
5. Su dolaşım kontrol sistemi
6. Gösterge ve kontrol paneli
7. Sensörler

Cihaza bağlı bir ısıtma sistemi, bir soğutma sistemi, su dolaşım sistemi, bunları kontrol eden birer tane sensör ve kontrol birimini içermektedir ve enerjilerini sağlayan bir elektrik dağıtım panosu bulunmaktadır. Şekil 2’de elektrik dağıtım panosu gösterilmiştir.



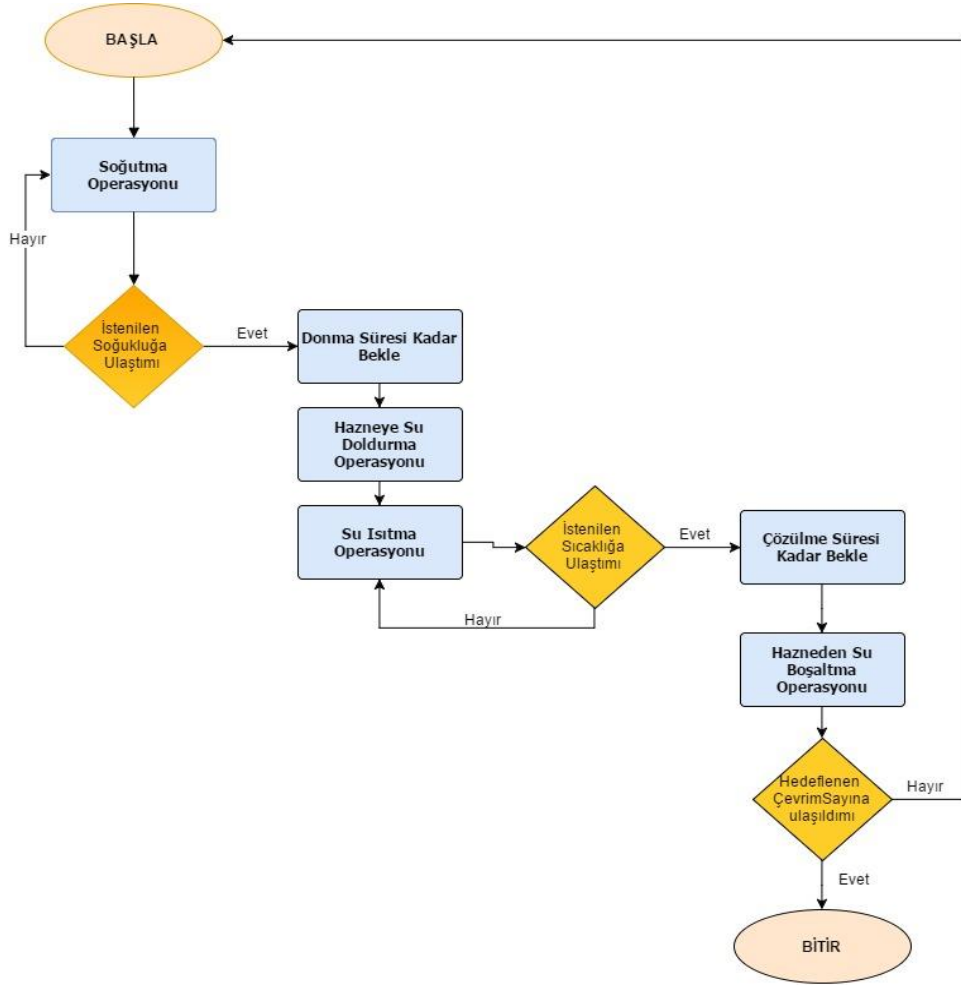
Şekil 2. Elektrik dağıtım panosu.

Cihazın yazılımı üzerinden yönetilen soğutma, su dolaşım ve ısıtma sistemleri minimum çalışma süresi ile istenen ortam koşullarına mümkün olan en hızlı şekilde adapte olması için tasarlanmıştır. Yazılımın ikinci kısıtı istenen ortam koşullarında sistemi sabit tutmaktır. Sabit tutulmak istenen değerin belli bir miktar altına ısıtma, belli bir miktar üstüne de soğutma sistemini kontrol eden sensörlerin ayarlanması düşünülmüştür. Örneğin -25 °C ile 25 °C da sabit tutulmak istenen sıcaklık için ısıtma tertibatını kontrol eden modül 24,5 °C sıcaklığa, soğutma tertibatını kontrol eden modül de -24,5°C sıcaklığa ayarlanmaktadır. Böylece sıcaklık $\pm 0,5$ °C hassasiyetinde kontrol edilmiş olacaktır. Şekil 3’de belirtilen kontrol paneli üzerindeki ayarlar menüsü bölümünden bu istenilen parametreler ayarlanabilmektedir.



Şekil 3. Sistem kontrol paneli.

Genel olarak sistemin çalışma sistemi şu şekildedir; Deney için oluşturulmak istenen şartlar belirlenir. Belirlenen şartlara göre sıcaklık miktarı ve süreler ayarlanır, deney kabindeki ızgaraların üzerine test yapılacak numuneler ve gerekli elektrikselsel bağlantılar yapıldıktan sonra gösterge ve kontrol paneli üzerinden test işlemi başlatılır. Cihaz üzerindeki monitörde istenilen koşullar sağlanıncaya kadar beklenir. Deneylerin performanslarının daha sağlıklı olabilmesi için donma çözülme deney cihazı bir otomasyon haline getirilmiştir. Test için uygun şartların sağlanabilmesi için deney kabini kapağının kapalı olması ve döngü sonlanıncaya kadar açılmaması gerekmektedir. Aksi takdirde sonuçlarda hatalı verilere rastlanabilmektedir. Bilgisayar destekli donma çözülme deney cihazının her bir çevirimi şekil 4’deki gibi planmış bir akış diyagramına bağlı olarak çalışmaktadır. Şekil 5’de Donma- çözülme test cihazına genel bakış gösterilmiştir.



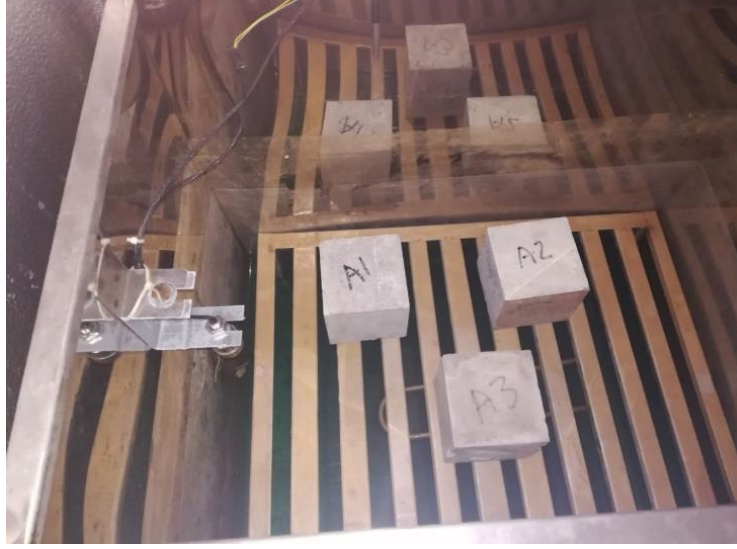
Şekil 4. Çalışma akış diyagramı.



Şekil 5. Donma- çözülme test cihazına genel bakış.

III. DENEYSEL PROSÜDÜR

Rastgele seçilmiş olan A1, A2, A3 Beton numuneleri düzenek içine 10 cm ara ile yerleştirilir. Şekil 6' da A1, A2, A3 Beton numunelerinin deney düzeneğine yerleştirilerek deneye hazır hale getirmesi sağlanmıştır.



Şekil 6. A1, A2, A3 Beton numunelerinin deney düzeneğine yerleştirilmesi deneye hazır hale getirme.

Donmanın hangi sıcaklıkta gerçekleştirileceği ve ne kadar süreceği kontrol panelini üzerindeki şekil 7 'de gösterilen ayarlar bölümüne girilerek start tuşuna basılarak deney işlemi başlatılır.

Soğutma Sıcaklığı (°C):	-25
Soğutma Süresi (dk.):	180
Su Sıcaklığı (°C):	25
Çözülme Süresi (dk.):	180
Çevrim Sayısı (Adet):	7
KAYDET VAZGEÇ	

Şekil 7. Donma çözülme parametrelerinin girilmesi.

Sistem ayarlanan negatif dereceli sıcaklıklara ulaşıncaya kadar bekler. Süre dolunca otomatik olarak su tankından deney kabinine su basmaya başlar. Su sıvı seviye sensörünün seviyesine ulaştığında deney alanına su basma işlemi otomatik olarak durur. Donma olayı içerisinde bulunan numuneler suyun deney alanına ulaşmasıyla birlikte çözülmeye başlar. Bu durumda sistemin ısıtıcıları ayarlanan pozitif sıcaklıklara erişinceye kadar deney alanını ısıtır. Çözülme süresi parametresinde belirlenen süre kadar bekletildikten sonra deney alanındaki suyu su tankına geri basarak birinci çevrim tamamlanır. Bu döngü çevrim sayısı kadar tekrar edilerek deney süreci tamamlanmış olur.

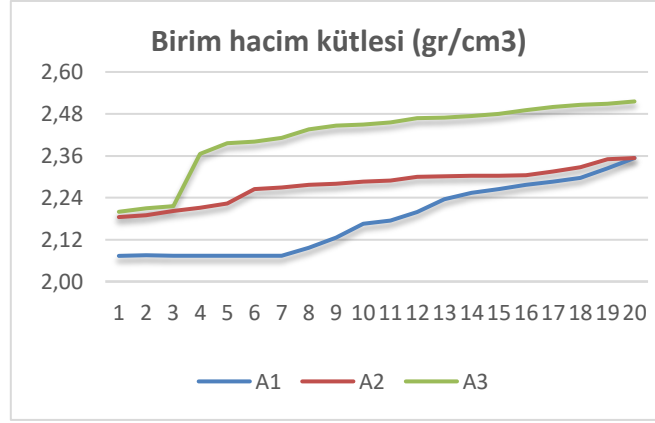
IV. BULGULAR

Bu çalışmada A1, A2 ve A3 numunelerini deney amaçlı olarak tam 20 çevrime tabi tutarak sistemin çalışması test edilmiştir. Deney sonucunda numunelerdeki birim hacim kütlesi, su emme oranı ve görünür porozitede değişiklikleri incelenmiş ve sırasıyla tablo 1, 2, ve 3' de gösterilmiştir.

Tablo 1. A1, A2 ve A3 numunelerinin deney sonucu birim hacim kütlesi verileri.

	A1	A2	A3
Çevrim	Hacim Kütlesi (gr/cm³)	Hacim Kütlesi (gr/cm³)	Hacim Kütlesi (gr/cm³)
Başlangıç	2,07350	2,183498	2,19965
1	2,07350	2,18460	2,19967
2	2,07465	2,18965	2,20964
3	2,07355	2,20215	2,21654
4	2,07361	2,21066	2,36541
5	2,07362	2,22365	2,39612
6	2,07365	2,26541	2,40036
7	2,07366	2,26954	2,41074
8	2,09645	2,27654	2,43541
9	2,12541	2,27964	2,44632
10	2,16547	2,28644	2,44965
11	2,17454	2,28912	2,45610
12	2,19857	2,29964	2,46784
13	2,23541	2,30124	2,46954
14	2,25441	2,30254	2,47321
15	2,26541	2,30354	2,47941
16	2,27654	2,30399	2,49127
17	2,28644	2,31541	2,49912
18	2,29655	2,32654	2,50641
19	2,32411	2,35014	2,50912
20	2,35364	2,35364	2,51569

Tablo 1'de donma çözülme deneyi sonucu A1, A2 ve A3 numunelerinin birim hacim kütlesi sonuç verileri gösterilmiştir. Bu verilere bağlı olarak şekil 8' de 20 çevrime tabi olan A1, A2 ve A3 numunelerinin hacim kütlesi ölçülerek donma çözülme deneyleri sonucundaki birim hacim kütleli değişimi grafiği verilmiştir.



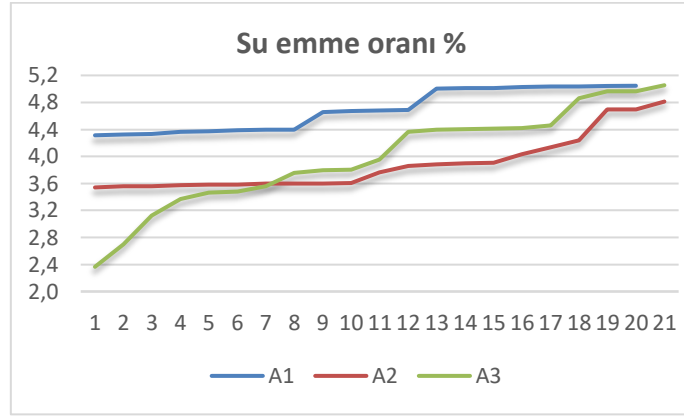
Şekil 8. A1, A2 ve A3 numunelerinin hacim kütlesi ile çevrim sayısı grafiği.

Donma çözülme deneyi sonunda numunelerin cm³ başına düşen ağırlığı arttığı gözlenmiştir. Bu değişim donma sonucu buzul genişlemenin yol açtığı hacim artışıyla da ilişkilidir, buzun genişmesi nedeniyle de hacim artar.

Tablo 2’de donma çözülme deneyi sonucu 20 çevrime tabi olan A1, A2 ve A3 numunelerinin su emme sonuç verileri gösterilmiştir. Bu verilere bağlı olarak şekil 9’da A1, A2 ve A3 numunelerinin ağırlıkça su emme miktarı artış grafiği gösterilmiştir.

Tablo 2. A1, A2 ve A3 numunelerinin deney sonucu su emme verileri.

	A1	A2	A3
Çevrim	Su emme %	Su emme %	Su emme %
Başlangıç	4,319400	3,54120	2,36540
1	4,313294	3,55641	2,69874
2	4,326545	3,56125	3,12546
3	4,336540	3,57236	3,36541
4	4,365541	3,57965	3,46512
5	4,374546	3,58436	3,47651
6	4,386545	3,59964	3,56214
7	4,398441	3,60054	3,75322
8	4,399945	3,60125	3,79654
9	4,658741	3,60965	3,80413
10	4,668599	3,76354	3,95413
11	4,678969	3,86126	4,36540
12	4,690101	3,88654	4,39654
13	5,002010	3,89654	4,40654
14	5,010230	3,90364	4,41202
15	5,015410	4,03654	4,41965
16	5,026514	4,13640	4,45655
17	5,036541	4,23655	4,86541
18	5,037630	4,69870	4,96541
19	5,040260	4,69841	4,96650
20	5,046500	4,81256	5,05441

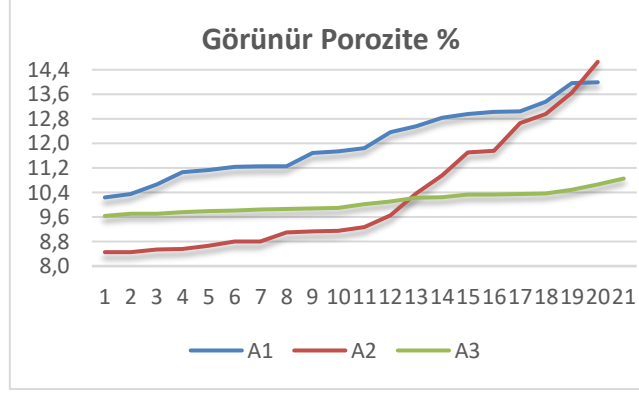


Şekil 9. A1, A2 ve A3 numunelerinin ağırlıkça su emme ile çevrim sayısı grafiği.

Tablo 3'de donma çözülme deneyi sonucu 20 çevrime tabi olan A1, A2 ve A3 numunelerinin görünür porozite verileri gösterilmiştir. Bu verilere bağlı olarak şekil 10'da A1, A2 ve A3 numunelerinin görünür porozite yüzdesi artış grafiği gösterilmiştir.

Tablo 3. A1, A2 ve A3 numunelerinin deney sonucu görünür porozite verileri.

Çevrim	A1	A2	A3
	Görünür Porozite %	Görünür Porozite %	Görünür Porozite %
Başlangıç	10,2392	8,45410	9,63541
1	10,2390	8,45410	9,69745
2	10,3450	8,46210	9,70542
3	10,6570	8,54121	9,76354
4	11,0541	8,56101	9,79542
5	11,1298	8,66541	9,80415
6	11,2364	8,79850	9,83654
7	11,2454	8,80415	9,86541
8	11,2565	9,10564	9,87654
9	11,6951	9,12654	9,89541
10	11,7424	9,15264	10,0124
11	11,8436	9,26547	10,1125
12	12,3612	9,65841	10,2354
13	12,5641	10,36540	10,2396
14	12,8365	10,96451	10,3254
15	12,9631	11,69980	10,3369
16	13,0264	11,76541	10,3561
17	13,03641	12,65874	10,3601
18	13,36410	12,96541	10,4965
19	13,96125	13,65870	10,6541
20	13,99130	14,65887	10,8543



Şekil 10. A1, A2 ve A3 numunelerinin porozite yüzdesi ile çevrim sayısı grafiği.

Suyu doymun hale getirerek donma çözülme çevrimine maruz bırakılan yapı malzemeleri numunelerinin, donma çözülme sonrasında yapısında oluşan çatlaklar ve boşluklar nedeniyle porozite değerlerinde artış meydana gelmiştir.

V. SONUÇ

Bu çalışmada, çeşitli sebeplerle yapı malzemeleri uygulamalarında ortaya çıkan donma-çözülme sorununu incelemede kullanılan bir cihaz geliştirilmiştir. Yapı malzemesi ve yapı elemanı hasarlarına neden olabilecek faktörlerin ortadan kaldırılması için üstün nitelikli yapı malzemelerinin geliştirilmesine yardımcı olmaktadır.

Yapının uzun yıllar boyunca dış etkilerden korunması ve kalitesini koruyarak kullanıcılara hizmet verebilmesi, ancak yapı malzemelerinin nitelikli malzemeden üretilmesi ve iyi tasarlanması ile gerçekleşebilir. Isparta ili meteoroloji verilere göre yılda ortalama 85 gün donma-çözülme olayı olmaktadır. Isparta, Kütahya ve Afyon gibi iller bölgemizde en fazla donma- çözülme olayına maruz kalmaktadır. Bu durum donma çözülme olayına bağlı deformasyon meteorolojik dış etkilere karşı açık olmakta ve yapı malzemelerinin kalitesini etkilemektedir.

Bilgisayar destekli donma- çözülme test cihazı ile yapı malzemelerinin dayanıklı malzemelerle oluşturulması için bir sistem geliştirilmiştir. Böylece yapılarda enerji kayıplarını önleme ve yapıların ömrünü uzatmak için bir deneme ortamı oluşturulmuştur.

Sistemle yapılan 20 çevrimli örnek uygulama ile A1, A2 ve A3 numunelerinin cm^3 başına düşen ağırlığı arttığı gözlenmiştir. Ayrıca yapılan ölçümlerde numunelerin ağırlıkça su emme miktarlarının arttığı belirlenmiştir. Numunelere donma-çözülme sonrasında yapısında oluşan çatlaklar ve boşluklar nedeniyle porozite değerlerinde artış meydana gelmiştir. Enerji mühendisliği açısından deney sonrası değerlendirme yapılırsa deneyde kullanılan yapı malzemeleri numunelerini su içinde tutulunca içlerine su emmektedir. Emilen su hava şartlarına bağlı donunca genişleyerek mekanik bir hareketle genişleme yapmaktadır. Bu genişleme sonucu oluşan geniş gözenekler yapılarda ısı kaybına ve mekanik direncin zayıflamasına yol açmaktadır.

Donma çözülme test düzeneği ile yapı malzemelerinde doğru karışımlar ve doğru malzemeler belirlenerek yapılarda en az ısı kaybına yol açan ürünlerin bulunmasına ve kullanımlarının yaygınlaştırılması sağlanacaktır.

VI. KAYNAKLAR

[1] R. E. Alan, "Su buharı difüzyonu ve ısı yalıtım malzemelerinin buhar geçirgenlikleri üzerine

deneysel bir çalışma,” Yüksek lisans tezi, Mimarlık Bölümü, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2010.

[2] C. E. Ekinci, “Antalya etibank elektrometalurji işletmesi silis dumanlarının çimento ve betonda katkı maddesi olarak değerlendirilmesi,” Doktora tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Fırat Üniversitesi, Elâzığ, Türkiye, 1995.

[3] C. Gökçeoğlu, B. Adil ve K. E. Kasapoğlu, “Eskişehir-Yazılıkaya çevresinde yüzeylenen volkanosedimanter kayaların donma-çözülme etkisi altında bazı fiziksel ve mekanik parametrelerinin değişimi,” *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni*, c. 19, s.1, ss. 17-40, 1998.

[4] Ö. Şengül, “Agrega türünün betonun donma- çözülme dayanıklılığına etkisi,” *3.Ulusal Kıрма Taş Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye, 2003, pp. 50-60.

[5] C. Girodet, J. L. Bosch, M. Chabannet, J.Pera, “Influence of sand on the freezethaw resistance of the mortar phase of concrete,” in *Frost Resistance of Concrete, 1st ed., Ruhr*, Germany, 1997, pp. 58-60.

[6] M. Eriç, “Yapı fiziği ve malzemesi,” 1.baskı, İstanbul: Literatür Yayınları, 1994.

[7] A. Neville, “Su ve beton: bir sevgi nefret ilişkisi,” *Çimento ve Beton Dünyası Dergisi*, c. 1, s. 113, ss. 45-47, 2003.

[8] T. Gönen ve S. Yazıcıoğlu, “Pomza agregalı kendiliğinden yerleşen hafif betonların donma çözülme direncine mineral katkıların etkisi”, *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, c. 8 s. 1, ss. 94-101 2021.

[9] K. Çiftlikçioğlu, E. Aslan ve A. Şenol, "Donma-çözülme çevrimlerinin uçucu kül katkılı bentonitin serbest basınç mukavemetine etkisi," 8. *Geoteknik Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye, 2019, ss. 20-27.

[10] A. Hotineanu, M. Bouasker, A. Aldaood and M. Al-Mukhtar, “Effect of freeze– thaw cycling on the mechanical properties of lime-stabilized ekspansiye clays,” *Cold Regions Science and Technology*, vol. 119, no. 1, pp.151-157, 2015.