

## Kireçtaşlarında Donma-Çözünme (F-T) Çevrimlerinin Fiziksel ve Mekanik Özelliklere Etkisi

Nazmi ŞENGÜN<sup>1\*</sup>, Raşit ALTINDAĞ<sup>1</sup>, Mahmut MUTLUTÜRK<sup>2</sup>,  
Remzi KARAGÜZEL<sup>3</sup>, Rafet KISTIR<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü / ISPARTA

<sup>2</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü / ISPARTA

<sup>3</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü / İSTANBUL

<sup>4</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü / ISPARTA

Alınış tarihi:11.03.2008, Kabul tarihi:01.09.2008

**Özet:** Gerek geleneksel gerekse çağdaş mimari yapılarda doğal taşlar yapı taşı olarak ve/veya iç ve dış mekanların kaplanması kaplama taşı olarak kullanılmaktadır. Bu yapılarda kullanılan doğal taşlar, hava kirliliği, çeşitli sanayi gazları, donma-çözülme, ısınma-soğuma gibi doğal etkiler altında kalarak görüntü, fiziksel ve mekanik özelliklerinde değişime ve bütünlük kaybına uğrayabilmektedir. Bu değişimlerin etkilerini önceden veya mevcut durumlarında inceleyebilmek için çeşitli yöntemler kullanılabilir.

Bu çalışma kapsamında da, ülkemizin çeşitli yörelerine ait 6 farklı kireçtaşı seçilmiş ve deneyler bu kayalar üzerinde yapılmıştır. Geçmişte çeşitli tarihi yapılarda ve günümüzde de modern binalarda ve anıtlarda kullanılan doğal taşların, donma - çözünme (F-T) çevrimleri sonrasında fiziksel, mekanik ve indeks özelliklerindeki değişimlerini belirlemek amacıyla ele alınan her kayac türünden farklı boyutlarda 81'er adet deney örneği hazırlanmıştır. Öncelikle orijinal örnekler üzerinde fiziko-mekanik ve indeks deneyleri yapılmış ve daha sonra bütün örnekler F-T deneyine tabi tutularak, toplam 50 çevrim olmak üzere, her 10 çevrim sonrası örnekler üzerinde deneyler tekrarlanmıştır. Her deney için başlangıç değerine nazaran meydana gelen değişim miktarları yüzde olarak belirlenmiştir. Özellikle boşluk oranı yüksek kayalarda 50 donma-çözünme çevrimi sonrasında indeks ve mekanik özelliklerinde %50'lere varan bütünlük kayıpları gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Donma-Çözünme, Kireçtaşı, Fiziksel Özellikler, Mekanik Özellikler.

## The Effect of Freezing-Thawing Cycles on Physical and Mechanical Properties of Limestones

**Abstract:** Both in traditional and modern architecture structures, natural rocks are used as building stones and/or coating stones for insides and outsides of the buildings. The natural stones used in these buildings can have alteration and integrity loss in their physical and mechanical properties due to the factors such as air pollution, gases from industry, freezing and thawing, heating and cooling. To investigate the effect of these alterations prior or present, different methods can be used.

In this study, six different limestones were selected from different regions and used. In order to determine the changes in physical and mechanical properties of the natural rocks used in traditional and modern architecture structures at various freeze-thaw (F-T) cycles, 81 samples prepared in different sizes from each rock type and the experiments were conducted on these samples. Initially, on the original rocks samples physical and mechanical experiments were done. Then, F-T experiments were performed on all rocks samples. Totally 50 F-T cycles were done and after each 10<sup>th</sup> F-T cycles, physical and mechanical experiments were repeated. The results of the experiments, for each test were calculated as percent variation and presented on tables. Especially for high porosity rocks at the end of 50 F-T cycles it was seen that they had 50 percentage integrity loss of in their index and mechanical properties.

**Keywords:** Freezing-Thawing, Limestone, Physical Properties, Mechanical Properties.

### Giriş

Doğal taş, yüzyıllar boyunca insan topluluklarının yaşadığı mekanlarda, yapılarda ve sanatsal tasarımlarda kullanılarak uygarlığın simgesi olmuştur. Tarih boyunca insanlar yapı, konut ve yaşadıkları diğer yerleri doğal taşlardan yapmaya özen göstermişlerdir. Zamanla, yaşam seviyeleri yükselen toplumların, güzel görünüşlü ve dayanıklı olması nedeniyle doğal taşları tercih etmeleri, bu ürünü zenginliğin ve refahın sembolü haline getirmiştir. Günümüzde de, tüketim alanlarının çoğalması ile birlikte mermer olan talep artmış ve en cazip sektörlerden biri haline gelmiştir. Doğal taş, tarih boyunca değişik uygarlıklar tarafından dayanıklılığı ve estetik görünümü nedeniyle özellikle anıtlarda, görkemli yapı malzemesi

olarak kullanılmış olup; günümüzde genellikle zemin döşeme (%36), iç (%14) ve dış cephe kaplama (%10) malzemesi olarak inşaat sektöründe, mezarlıkta (%11) ve süs eşyası (%8) yapımında kullanılmaktadır (Yılmaz ve Safel, 2004).

Doğal taşlar tarihten günümüze birçok alanda (heykellerde, sanatsal çalışmalarda, iç ve dış yapı kapamalarda) ve çok çeşitli yapılarda kullanılmaktadır. Antik yapılarda kullanılmış doğal taşlar uzun süre yağmur, rüzgar, nem, donma-çözünme (F-T) ve gece gündüz sıcaklık farklılıkları gibi atmosfer olaylarına maruz kalmaktadır. Bu olaylar sonucu, kullanılan doğal taşların renkleri değişmekte, bütünlükleri kaybolmakta ve

dayanımları da azalmaktadır. Bu değişimin miktarları kayaca göre farklılıklar göstermektedir.

Birçok araştırmacı, yapı taşları, tarihi ve sanat eserlerinde kullanılan doğal taşların, F-T çevrimlerinin etkisi üzerine çalışmışlardır. Broms ve Yao (1964), F-T olaylarının, zeminin makaslama dayanımına etkilerini araştırmıştır.

Binal (1996) ve Binal vd. (1997; 1998), Eskişehir-Yazılıkaya bölgesindeki volkanosedimanter kayaların F-T çevrimleri sonrası fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimleri incelemişlerdir. Simonsen ve Isacsson (1999) ise, soğuk bölgelerde parke taşlarının çözölmeye yatkınlığı üzerine çalışmışlardır.

Binal ve Kasapoğlu (2002) tarafından Aksaray-Ihlara vadisinde yüzeylenen Kızılkaya ignimbiritinin üzerinde 30 donma-çözölme periyodu uygulanmış olup bu çevrimlerin sonunda kayacın gözeneklilik, ağırlıkça su emme ve hacimce su emme gibi fiziksel özelliklerinde bir artış, tek eksenli sıkışma ve makaslama dayanımı gibi mekanik

özelliklerinde de bir azalma olduğu gözlenmiştir. Topal ve Sözmen (2002) tarafından F-T çevrimlerinin Midas tüflerinin mekanik bozulması üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Alyıldız (2003) ve Altındağ vd. (2004), Isparta'nın güney-doğusunda yer alan Dereboğazı bölgesinde yataklanmış tuf (tras) örnekleri üzerinde donma-çözölme çevrimlerinin tufün fiziko-mekanik özellikleri üzerine etkileri laboratuvar ortamında incelemişlerdir. Toplam 55 çevrim sonunda tufün fiziksel özelliklerinden en çok ağırlıkça su emme değerleri ve mekanik özelliklerden ise en çok nokta yükü dayanım indeksinin etkilendiğini gözlemiştir. Mutlutürk vd. (2004), 10 farklı kayaç üzerinde donma-çözölme ve ısınma-soğuma çevrimlerinin shore sertliğine etkilerini incelemişler ve kayaçların fiziksel özelliklerinin yarılanma ömürlerini belirlemek amacıyla Bozunma Fonksiyon Modeli (*Decay Function Model*)'ini önermişlerdir.

**Çizelge 1. F-T çevrimleri öncesi kireçtaşlarının fiziksel özellikleri**

Kayaç Adı	BHA (g/cm <sup>3</sup> )	GG (%)	Vp (m/sn)	SH
Kireçtaşı-1	2,706±0,001	0,080±0,02	6452±164	58,3±3,60
Kireçtaşı-2	2,692±0,003	0,424±0,09	5701±220	51,3±3,74
Kireçtaşı-3	2,383±0,012	7,200±0,18	4830±300	32,4±5,71
Kireçtaşı-4	2,449±0,036	3,278±0,14	5085±119	30,5±1,72
Kireçtaşı-5	2,666±0,003	1,216±0,07	5761±156	54,7±4,22
Kireçtaşı-6	2,608±0,010	2,705±0,39	5636±451	50,9±5,57

**Çizelge 2. F-T çevrimleri öncesi kireçtaşlarının indeks ve mekanik özellikleri**

Kayaç Adı	Is <sub>(50)</sub> (MPa)	BTS (MPa)	BS (MPa)	BPI (MPa)
Kireçtaşı-1	4,70±0,24	7,65±0,81	11,77±1,66	12,39±2,32
Kireçtaşı-2	5,18±0,16	7,73±0,30	12,97±0,84	8,57±2,04
Kireçtaşı-3	3,35±0,17	4,96±0,37	10,33±0,88	8,76±2,11
Kireçtaşı-4	3,81±0,13	5,90±0,29	12,57±0,39	10,77±3,90
Kireçtaşı-5	5,70±0,88	9,35±0,94	15,87±0,40	11,77±3,36
Kireçtaşı-6	4,93±0,88	7,01±0,67	15,75±1,62	8,37±2,03

Literatür incelendiğinde, genellikle volkanik kökenli kayaların F-T çevrimleri sonrası bütünlük kayıpları araştırılmış, ancak kireçtaşları için fazla bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada, doğal taş olarak kullanılan farklı yörelere ait kireçtaşlarının F-T çevrimleri sonrasında fiziksel, mekanik ve indeks özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. F-T çevrimlerine bağlı bu değişim değerleri türetilen ampirik eşitliklerle çevrim sayılarına bağlı değişim değerlerinin önceden tahmin edilebilirliği araştırılmıştır.

## Malzeme ve Yöntem

Kireçtaşlarında atmosferik etkiler altında zamanla meydana gelebilecek bütünlük kayıplarını belirlemek amacıyla çeşitli bölgelerden 6 farklı kireçtaşı örneği Burdur, Antalya ve Kastamonu bölgelerinden temin edilmiştir. Deneyler, ISRM (1981), Ulusay vd. (2001), Altındağ ve Güney (2006) ve TS 699 (1987)'e göre önerilmiş yöntemler ve ilgili standartlar çerçevesinde yapılmıştır.

### Kireçtaşlarının Fiziksel Özellikleri

Çalışmada kullanılan kireçtaşlarının kuru birim hacim ağırlık (BHA), görünür gözeneklilik (GG), P dalgası hızı (V<sub>p</sub>) ve shore sertliğini (SH) belirlemek amacıyla kenar uzunluğu 5 cm olan küp örnekler hazırlanmıştır. F-T çevrimleri öncesinde, her bir kayaç türü için 5'er adet örnek üzerinde yapılan deneylerin sonuçlarının aritmetik ortalamaları Çizelge 1'de verilmiştir.

### Kireçtaşlarının İndeks ve Mekanik Özellikleri

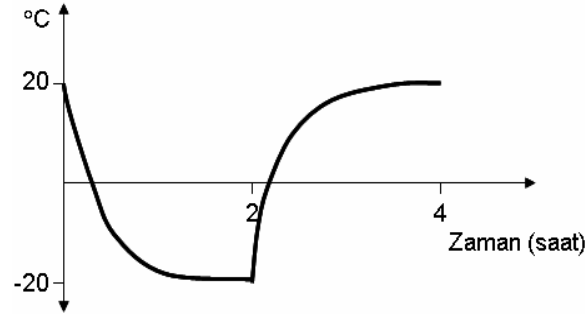
Kireçtaşlarının F-T çevrimleri öncesi indeks ve mekanik özelliklerinden nokta yükü dayanım indeksi (Is<sub>50</sub>), Brazilian yöntemi kullanılarak çekme dayanımı (BTS), eğilme dayanımı (BS), disk makaslama dayanım indeksi (BPI) değerlerini belirlemek amacıyla her kayaç türünden her deney için en az 4'er adet örnek önerilmiş yöntemler çerçevesinde hazırlanmıştır. Nokta yükü deneyi blok örnekler üzerinde, çekme dayanımı dolaylı yöntemle silindirik ve eğilme dayanımı prizmatik örnekler üzerinde ve disk makaslama dayanım indeksi deneyi ise disk örnekler üzerinde yapılmış ve deney sonuçlarının aritmetik ortalamaları Çizelge 2'de verilmiştir.

**Donma-Çözünme (F-T) Deneyleri**

Donma-çözünme deneyi TS 699 (1987) standardında belirtilen esaslara göre yapılmıştır. F-T çevrimleri sonrası fiziksel ve mekanik özellikleri belirlemek için hazırlanmış örnekler, suya doymun hale getirilerek önceden  $-20^{\circ}\text{C}$ 'ye ayarlanmış dondurucuya yerleştirilmiştir. 2 saat dondurucuda bekletilen örnekler çıkartılıp  $20^{\circ}\text{C}$ 'ye ayarlanmış suyun içine konmuştur. Bu şekilde 2 saat suyun içinde bekletilen örnekler tekrar dondurucuya yerleştirilmiş ve böylece bir çevrim tamamlanmış olmaktadır. Newton soğuma yasasına göre, F-T çevriminde sıcaklık zaman grafiği Şekil 1'de verildiği gibi olmaktadır.

**Bulgular**

Çalışmada kullanılan kireçtaşlarının F-T çevrimleri sonrası fiziksel özelliklerinin değişimini belirlemek amacıyla aynı örnekler üzerinde orijinal (başlangıç, 0), 10., 20., 30., 40. ve 50. çevrimleri sonrası fiziksel özellikler hesaplanmıştır. Her kayaç türü için en az 4'er örnekler üzerinde deneyler yapılmış ve sonuçların aritmetik ortalamaları hesaplanarak yüzde değişim miktarları belirlenmiştir. Kireçtaşlarının F-T çevrimleri sonrası fiziksel özelliklerindeki değişim miktarları (%) Çizelge 3-6'da verilmiştir.



Şekil 1. F-T çevrimlerinde sıcaklık zaman grafiği (Altındağ vd., 2004)

Çizelge 3. Kireçtaşlarında F-T çevrimleri sonrası BHA yüzde (%) değişimleri

Kayaç Adı	Çevrim Sayısı					
	0	10	20	30	40	50
Kireçtaşı-1	0	0,004	-0,034	-0,009	-0,043	-0,044
Kireçtaşı-2	0	-0,006	-0,047	-0,051	-0,071	-0,153
Kireçtaşı-3	0	-0,027	-0,193	-0,165	-0,211	-0,275
Kireçtaşı-4	0	-0,009	-0,083	-0,099	-0,135	-0,164
Kireçtaşı-5	0	-0,019	-0,155	-0,142	-0,257	-0,273
Kireçtaşı-6	0	-0,061	-0,066	-0,079	-0,159	-0,210

Çizelge 4. Kireçtaşlarında F-T çevrimleri sonrası GG yüzde (%) değişimleri

Kayaç Adı	Çevrim Sayısı					
	0	10	20	30	40	50
Kireçtaşı-1	0	4,720	5,649	6,734	8,505	10,948
Kireçtaşı-2	0	0,256	1,531	4,208	10,637	14,717
Kireçtaşı-3	0	2,280	2,297	2,927	3,646	5,114
Kireçtaşı-4	0	0,068	6,392	7,514	6,639	7,780
Kireçtaşı-5	0	4,531	3,353	5,893	14,271	15,954
Kireçtaşı-6	0	15,771	17,786	18,344	24,673	25,010

Çizelge 5. Kireçtaşlarında F-T çevrimleri sonrası  $V_p$  yüzde (%) değişimleri

Kayaç Adı	Çevrim Sayısı					
	0	10	20	30	40	50
Kireçtaşı-1	0	-2,216	-2,418	-2,945	-3,022	-3,022
Kireçtaşı-2	0	-3,491	-4,245	-7,069	-7,823	-8,893
Kireçtaşı-3	0	-4,182	-5,859	-7,288	-9,234	-10,269
Kireçtaşı-4	0	-5,211	-5,369	-5,703	-5,919	-6,490
Kireçtaşı-5	0	-7,915	-10,519	-11,769	-13,175	-14,425
Kireçtaşı-6	0	-3,903	-4,258	-6,104	-7,665	-9,280

**Çizelge 6.** Kireçtaşlarında F-T çevrimleri sonrası SH yüzde (%) değişimleri

Kayaç Adı	Çevrim Sayısı					
	0	10	20	30	40	50
Kireçtaşı-1	0	-1,425	-3,536	-1,270	-3,690	-6,677
Kireçtaşı-2	0	-2,300	-2,827	-4,327	-0,955	-3,294
Kireçtaşı-3	0	2,198	1,614	0,696	1,029	-2,309
Kireçtaşı-4	0	5,372	4,422	13,298	11,268	5,601
Kireçtaşı-5	0	-3,898	-5,984	-6,075	-0,604	-3,275
Kireçtaşı-6	0	4,776	-3,007	1,965	0,904	-1,317

Çizelge 3'den anlaşılacağı gibi, kireçtaşlarının kuru birim hacim ağırlık değerleri, donma çözünme çevrimleri sonrası ihmal edilebilecek düzeyde bir azalma göstermiştir. Ancak, Çizelge 4'te görünür gözeneklilik değerinin orijinal değerlere nazaran daha fazla arttığı saptanmıştır. Görünür gözeneklilik %5 ile %25 arasında artarken, birim hacim ağırlık değerleri çok az miktarda azalmaktadır. Bunun nedeni, birim hacim ağırlık değerinin çok küçük bir aralıkta değişmesinden kaynaklanmaktadır. Çizelge 5'de P-dalga hızı değerinde de 50. çevrim sonrası %3 ile %14 arasında azalma belirlenmiştir. Kireçtaşlarında F-T çevrimlerinin shore sertliği üzerine fazla bir etkisi olmadığı, azalma-artış şeklinde sıçramalar

gösterdiği Çizelge 6'dan anlaşılmaktadır. Bunun nedeni, shore sertliği ölçümlerinin her defasında farklı noktaya yapılması gerekliliğinden ve yüzeylerin her deney öncesi zımpara ile düzlenmesinden kaynaklanmaktadır.

Kireçtaşlarının F-T çevrimleri sonrası mekanik özelliklerindeki değişimini belirlemek amacıyla her 10 çevrimde kırılmak üzere örnekler ayrı ayrı F-T deneyine tabi tutulmuştur. Yine her kayaç türünde deneyler 4'er örnek üzerinde yapılmıştır. Kireçtaşlarının F-T çevrimleri sonrası indeks ve mekanik özelliklerinin orijinal değerlere göre yüzde değişim miktarları belirlenmiş ve Çizelge 7-10'da verilmiştir.

**Çizelge 7.** Kireçtaşlarında F-T çevrimleri sonrası  $I_{s(50)}$  yüzde (%) değişimleri

Kayaç Adı	Çevrim Sayısı					
	0	10	20	30	40	50
Kireçtaşı-1	0	-0,737	-3,641	-5,059	-6,010	-12,990
Kireçtaşı-2	0	-2,664	-12,058	-14,866	-16,769	-18,137
Kireçtaşı-3	0	-4,629	-5,059	-5,284	-5,656	-5,216
Kireçtaşı-4	0	-1,947	-2,453	-3,966	-6,106	-10,063
Kireçtaşı-5	0	-10,778	-10,210	-12,306	-15,731	-26,805
Kireçtaşı-6	0	-12,516	-3,832	-5,977	-12,020	-21,695

**Çizelge 8.** Kireçtaşlarında F-T çevrimleri sonrası BTS yüzde (%) değişimleri

Kayaç Adı	Çevrim Sayısı					
	0	10	20	30	40	50
Kireçtaşı-1	0	-10,023	-10,271	-11,075	-25,866	-29,545
Kireçtaşı-2	0	-9,542	-15,078	-17,383	-31,815	-33,649
Kireçtaşı-3	0	-3,246	-8,147	-5,036	-31,959	-45,869
Kireçtaşı-4	0	-1,817	-9,214	-26,265	-41,140	-43,720
Kireçtaşı-5	0	-7,911	-15,487	-17,364	-26,980	-27,984
Kireçtaşı-6	0	-0,858	-7,853	-21,779	-30,208	-35,523

**Çizelge 9.** Kireçtaşlarında F-T çevrimleri sonrası BS yüzde (%) değişimleri

Kayaç Adı	Çevrim Sayısı					
	0	10	20	30	40	50
Kireçtaşı-1	0	-1,079	-4,549	-17,326	-8,398	-13,349
Kireçtaşı-2	0	-2,525	-3,248	-7,047	-8,034	-13,107
Kireçtaşı-3	0	-7,131	-2,151	-9,368	-6,272	-15,903
Kireçtaşı-4	0	-1,189	-10,385	-18,405	-20,199	-22,156
Kireçtaşı-5	0	-1,766	-11,114	-16,875	-18,853	-25,644
Kireçtaşı-6	0	-10,095	-4,687	-12,480	-14,871	-28,286

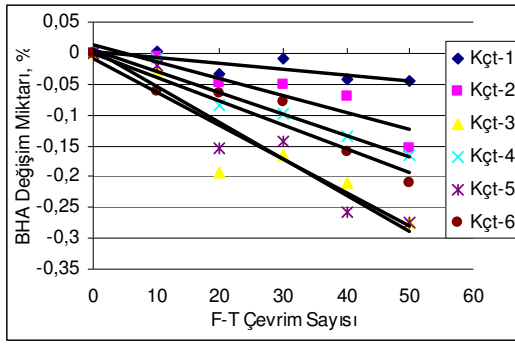
**Çizelge 10.** Kireçtaşlarında F-T çevrimleri sonrası BPI yüzde (%) değişimleri

Kayaç Adı	Çevrim Sayısı					
	0	10	20	30	40	50
Kireçtaşı-1	0	-14,552	-22,035	-20,729	-24,758	-27,239
Kireçtaşı-2	0	-2,493	-5,587	-14,552	-29,213	-29,491
Kireçtaşı-3	0	-25,682	-29,058	-37,133	-34,980	-38,702
Kireçtaşı-4	0	-13,326	-17,622	-24,926	-27,193	-42,899
Kireçtaşı-5	0	-12,503	-23,184	-17,606	-31,244	-32,952
Kireçtaşı-6	0	-3,737	-14,106	-19,094	-24,108	-27,100

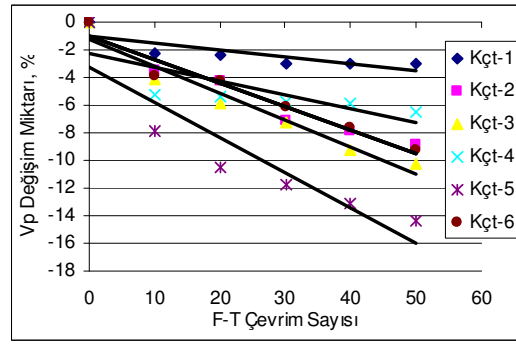
Çizelge 7-10'dan görüleceği üzere, donma-çözünme çevrimleri sonrası, kireçtaşlarının indeks ve mekanik özelliklerinin tümünde azalma olduğu görülmektedir. Çizelgelerde herhangi bir kayaç türü ve incelenen herhangi bir özellik için F-T çevrimlerine bağlı olarak yüzde değişimlerde sapmalar olabilmektedir. Bunun nedeni, incelenen özellik için farklı deney örneklerinin kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Örneğin, kireçtaşının orijinal eğilme dayanımı belirlemek için 5 adet örnek deneye tabi tutulmuştur. 10 çevrim sonrası aynı kireçtaşının eğilme dayanımını belirlemek için farklı örnekler üzerinde deneyler yapılmaktadır. Bu nedenle

eğilme dayanımının ortalama değerleri arasında sapmalar oluşabilmektedir.

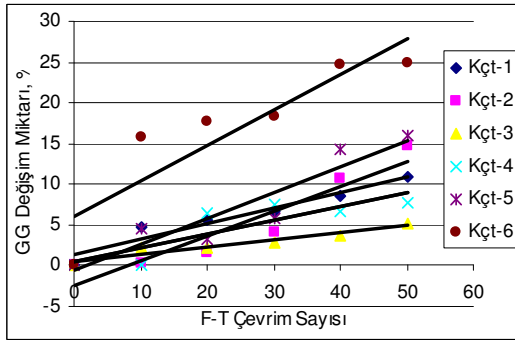
Donma-çözünme çevrimlerinden en az nokta yükü dayanım indeksi etkilenirken (Çizelge 7), en çok çekme dayanımı etkilenmiş olup, 50. çevrim sonrası % 45'lere varan bir azalma gözlenmiştir (Çizelge 8). Çizelge 3-10'da, incelenen kayaçların F-T çevrimlerine bağlı olarak fiziksel, mekanik ve indeks özelliklerindeki % değişim değerleri, Şekil 2-3'de grafiksel olarak verilmiştir.



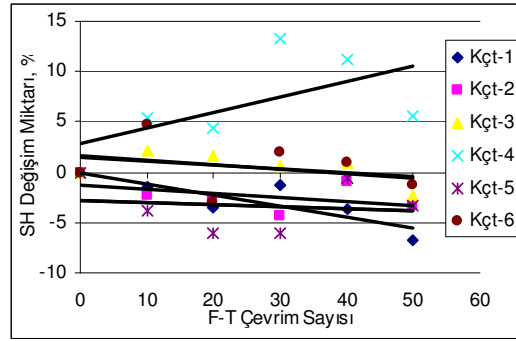
a)



c)

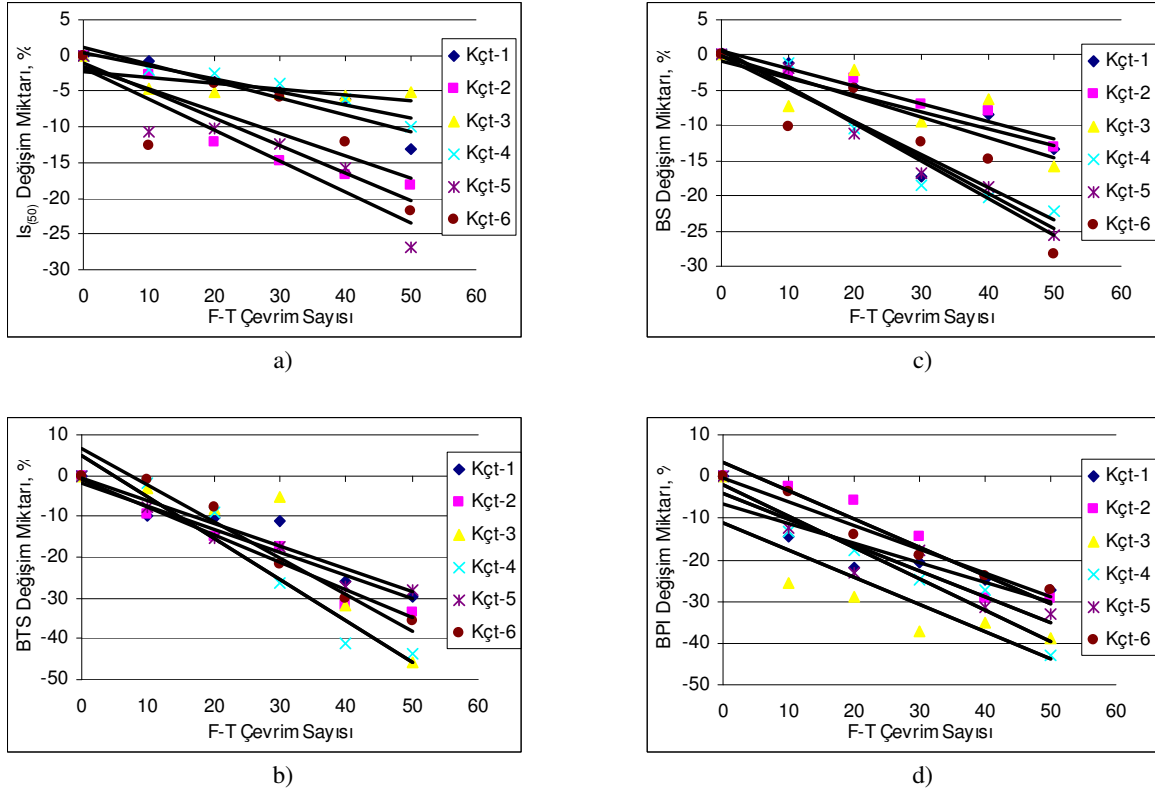


b)



d)

**Şekil 2.** Kireçtaşlarında F-T çevrimleri sonrası fiziksel özelliklerindeki yüzde değişim değerleri (a=BHA, b=GG, c=V<sub>p</sub> ve d=SH)



Şekil 3. Kireçtaşlarında F-T çevrimleri sonrası indeks ve mekanik özelliklerindeki yüzde değişim değerleri (a=  $I_{s(50)}$ , b=BTS, c=BS ve d=BPI)

## Sonuçlar ve Değerlendirme

Kireçtaşlarında F-T çevrimleri sonrası hem fiziksel, hem mekanik hem de indeks özelliklerini daha az sayıda deney yaparak kolaylıkla belirlemek amacıyla çoklu regresyon analizleri yapılmış ve F-T çevrim sayısına (N) bağlı olarak değişen fiziksel, mekanik ve indeks özelliklerinin değerlerinin ampirik eşitliklerle tahmin edilebilirliği irdelenmiştir. Bu amaçla türetilen eşitlikler Çizelge 11'de verilmiştir.

Çalışmada incelenen 6 farklı kireçtaşının F-T çevrimlerine bağlı fiziksel, mekanik ve indeks özelliklerindeki değişimlerin, türetilen eşitlikler yardımıyla belirlenebileceği öngörülmektedir. Bu eşitlikler bu çalışmada kullanılan 6 farklı kireçtaşının verileri kullanılarak önerilmiştir. Tüm kireçtaşları için geçerli olmayıp, çok sayıda kireçtaşı üzerinde çalışılarak genel ampirik eşitlikler türetilenir.

Çizelge 11. Çalışmada elde edilen sonuçlardan türetilen formüller

Parametre	Türetilen Ampirik Eşitlikler	R <sup>2</sup>
Birim Hacim Ağırlık, gr/cm <sup>3</sup>	$Y = (-0,0042 + 1,0017 * BHA) + (-0,0002 + 0,00002 * BHA) * N$	1
Görünür Gözeneklilik %	$Y = (0,0082 + 1,0077 * GP) + (-0,0032 + 0,0008 * GP) * N$	1
P dalga hızı, m/sn	$Y = (-105 + 1,0028 * Vp) + (-15,917 + 0,0013 * Vp) * N$	0,95
Nokta Yüku Dayanım İndeksi, MPa	$Y = (0,0673 + 0,9767 * I_{s50}) + (0,022 - 0,0077 * I_{s50}) * N$	0,94
Brazilian Çekme Dayanımı, MPa	$Y = (1,0088 + 0,8725 * BTS) + (-0,0484 - 0,0004 * BTS) * N$	0,87
Eğilme Dayanımı, MPa	$Y = (-0,2751 + 1,0227 * BS) + (0,0793 - 0,0099 * BS) * N$	0,90
Disk Makaslama İndeksi, MPa	$Y = (0,8354 + 0,8804 * BPI) + (-0,0246 - 0,0038 * BPI) * N$	0,87

N: Donma-çözünme çevrim sayısı, Y: N çevrim sonrası elde edilebilecek parametre değeri.

Bu sonuçlar ve ilgili literatür ışığında, restorasyonlarda ve anıtlar ile kale duvarları gibi uzun süreli yapılarda kullanılacak doğal taşların, donma-çözünme süreçleri sonucunda fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimin veya bozunmanın oldukça önemli olduğu görülmektedir. Kullanılacak kayaçların kökenine bakılmaksızın, laboratuvar ortamında hızlandırılmış yaşlanma deneyleri, Mutlutürk vd. (2004) tarafından belirtildiği gibi, donma-çözünme gibi atmosfer şartlarına dayanıklılığın saptanması gerekmektedir. Deneyler sonucunda bütünlük kaybı en az olan kayaç yapı malzemesi olarak tercih edilmelidir.

## **Kaynaklar**

- Altındağ, R., Güney, A. 2006. ISRM Suggested Method for Determining the Shore Hardness Value, *Int. J. of Rock Mech. and Min. Sci.*, 43, 19-22.
- Altındağ, R. Alyıldız, S.I., Onargan, T. 2004. Mechanical Property Degradation of İgnimbrite Subjected to Recurrent Freeze-Thaw Cycles, *Int. J. of Rock Mech. and Min. Sci.*, 41, 1023-1028.
- Alyıldız, I.S. 2003. Isparta-Dereboğazı Tüflerinde Donma-Çözülme Periyotlarının Fiziko-Mekanik Davranışlarına Etkisi, Y. Lisans Tezi, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 63s.
- Binal, A. 1996. Aksaray-İhlara Vadisindeki Volkanosedimanter Kayaçalarda Görülen Duyarsızlık Mekanizmalarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, H.Üniv. Fen Bilimleri Enst., Ankara, 95s.
- Binal, A., Kasapoğlu, K.E., Gökçeoğlu, C. 1997. The Surficial Physical Deterioration Behaviour of Neogene Volcanosedimentary Rocks of Eskişehir-Yazılıkaya NW Turkey, *Engineering Geology and The Environment*, Yunanistan, 3065-3069.
- Binal, A., Kasapoğlu, K.E., Gökçeoğlu, C. 1998. Eskişehir-Yazılıkaya Çevresinde Yüzeyleyen Volkanosedimanter Kayaçların Donma-Çözünme Etkisi Altında Bazı Fiziksel ve Mekanik Parametrelerinin Değişimi, Hacettepe Üniv. Yayınları, *Yerbilimleri*, 20, 41-54,
- Binal, A., Kasapoğlu, K.E. 2002. Donma-Çözülme Sürecinin Aksaray-İhlara Vadisi'nde Yüzeyleyen Selime İgnimbiritinin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkisi, VI. Bölgesel Kaya Mekaniği Semp., Konya, 189-196.
- Broms, B., Yao, L.Y.C. 1964. Shear Strength of A Soil After Freezing and Thawing, *J. Soil Mechanics Foundation Division, ASCE*, 1-25.
- ISRM, 1981. *Rock Characterisation. Testing and Monitoring*, Edt. Brown, E.T., Pergoman Pres, Oxford, 211pp.
- Mutlutürk, M., Altındağ, R., Türk, G. 2004. A Decay Function Model for the İtegrity Loss of Rock When Subjected to Recurrent Cycles of Freezing-Thawing and Heating-Cooling, *Int. J. of Rock Mech. and Min. Sci.*, 41, 237-244.
- Simonsen E., Isacson U. 1999. Thaw Weakening of Pavement Structure in Cold Regions, *Cold Regions Science and Technology*, 29, 135-151.
- Topal, T., Sözmén, B. 2002. Deterioration Mechanisms of Tuffs in Midas Monument, *Engineering Geology*, 68, 201-223.
- TS 699. 1987, *Tabii Yapı Taşları Muayene ve Deney Metodları*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- Ulusay, R., Gökçeoğlu, C., Sülükçü, C.S. 2001. Draft ISRM Suggested Method For Determining Block Punch Index (BPI), *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 38, 1113-1119.
- Yılmaz, H., Safel, R. 2004. *Mermer Sektörü Raporu*, Türkiye Vakıflar Bankası T.A.O., İktisadi Araştırmalar ve Mevzuat Yönetmenliği, Sektör Araştırmaları Serisi, 31