

Donma-Çözülme Periyotlarının Tüfün (Isparta-Dereboğazı) Fiziko-Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi

R. Altındağ
SDÜ Müh. Mim. Fak. Maden Müh. Böl. Isparta

t.S. Alyıldız
Sinan Mah. Cebesoy Cd. Teras 40 Apt. 4/8, Antalya

ÖZET: Isparta'nın güney-doğusunda yer alan Dereboğazı bölgesinde yataklanan tüf (tras), Isparta ve çevresinde temel taşı, kaplama taşı gibi çeşitli amaçlarla çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Isparta, karasal bir iklim özelliği göstermekte olup Binal (1996)' m Türkiye donma-çözülme haritasına göre, yıllık 10-15 kez donma-çözülme periyoduna sahiptir. Bu çalışmada, donma-çözülme periyotlarının tüfün fiziko-mekanik özellikleri üzerine etkileri laboratuvar ortamında incelenmiştir. Toplam 55 periyot çevrim yapılmış ve toplam çevrim sonunda tüfün fiziksel özelliklerinden en çok ağırlıkça su emme değerleri ve mekanik özelliklerden ise en çok nokta yük dayanım indeksi özelliklerinin etkilendiği gözlenmiştir.

ABSTRACT: The tuff which is bedded in Dereboğazı region in south-east Isparta, is extensively utilised in and around the city of Isparta for various purposes such as foundation stone, covering stone, etc. Isparta in general displays terrestrial climate conditions and is quoted between 10-15 freezing-thawing period (annual) according to Binal (1996)'s freezing-thawing map of Turkey. In this study, the effects of freezing-thawing periods have been investigated on the physico-mechanical properties of tuff in laboratory conditions. At the end of a total of 55 period cycles, the results indicated that water absorption-in-weight (a physical property) and Point-Load Strength Index values have been most affected.

1. GİRİŞ

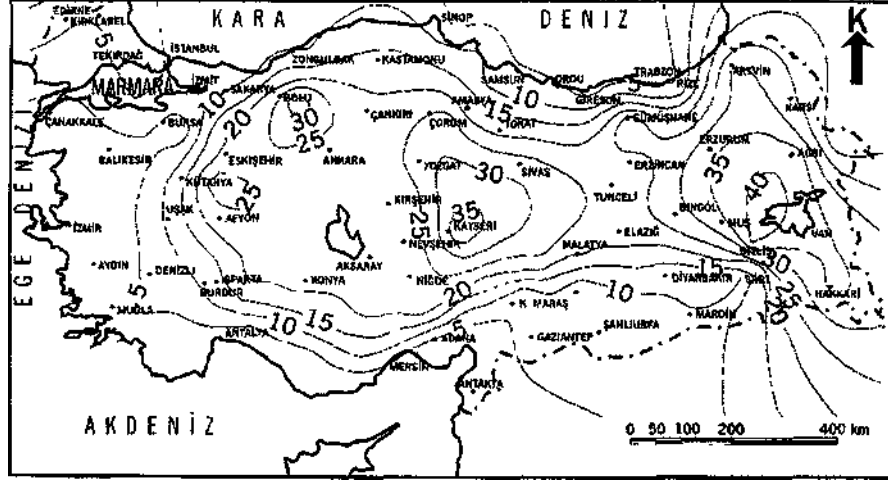
İnşaat sektöründe kullanılan yapı ve kaplama taşlarının, donma-çözülme periyotlarından etkilenme derecelerinin daha önceden belirlenmesi ve bu olaylara dirençli malzemelerin seçimi sektörel kullanımda önemli bir yer tutmaktadır.

Çeşitli araştırmacılar tarafından donma-çözülme periyotlarından yapıtaşlarının, anıtların, sanat eserlerinin, tarihi eserlerin vb. yapıların nasıl etkilendiklerini incelemişlerdir. Broms ve Yao (1964) tarafından zeminlerin, donma-çözülme periyotlarından sonraki kesme dayanımları incelenmiştir. Simonsen ve Isacson (1999) ise soğuk bölgelerde parke taşlarının çözülme zayıflığı üzerine çalışmışlardır. Binal vd. (1997; 1998) tarafından, Eskişehir - Yazılıkaya çevresinde yüzeylenen volkano-sedimanter kayaların donma-çözülme etkisi altındaki fiziksel ve mekanik özelliklerinin değişimi incelenmiştir. Binal ve

Kasapoğlu (2002) tarafından Aksaray - Ihlara vadisinde yüzeylenen Selime İgnimbiriti'nin üzerinde 30 donma-çözülme periyodu uygulanmış olup bu periyotların sonunda kayacın porozite, ağırlıkça su emme ve hacimce su emme gibi fiziksel özelliklerinde bir artış, tek eksenli basınç dayanımı ve makaslama dayanımı gibi mekanik özelliklerinde de bir azalma olduğu gözlenmiştir. Topal ve Sözmen (2002) tarafından donma-çözülme periyotlarının Midas tüflerinin mekanik bozulmaları üzerindeki etkisi incelenmiştir, Bölgenin iklimsel özelliklerinden sıcaklık, yağış miktarı ve karla kaplı gün sayısı, aylar bazında verildikten sonra donma-çözülme periyotlarının kayacın başlangıç değerini nasıl etkilediği araştırılmıştır. Periyotlar sonunda F-dalga hızının ve tek eksenli basınç dayanımının azaldığı, porozitenin ise arttığı ifade edilmiştir. Altındağ vd (2003) Isparta andezitinin fiziko-mekanik özelliklerin 50 periyotluk bir donma-çözülme programı sonunda azaldığını gözlemlemişler ve

Mutlutürk vd (2004) tarafından önerilen model çerçevesinde İsparta andezitinin mekanik özelliklerinin yanlama ömürlerini belirlemiştir. İsparta tufunun 55 periyotluk donma çözülme deneyi sonucunda, Mutlutürk vd (2004) tarafından önerilen dikey fonksiyon metodu (Decay Function Method) kullanılarak İsparta-Dereboğazi tufunun mekanik özelliklerinin donma-çözülmeyle ilgili yanlama ömürleri belirlenmiştir (Altındağ vd., 2004).

Bu çalışmada da, İsparta ve çevresinde yapı sektöründe çok yaygın olarak çeşitli amaçlarla kullanılan tufün, donma-çözülme periyotlarından nasıl etkilendiği incelenmiştir. İsparta Türkiye donma-çözülme haritasına (Şekil 1) göre yıllık 10-15 donma-çözülme konturları içinde kalmaktadır. Çalışma programı çerçevesinde toplam 55 donma-çözülme periyodu uygulanmıştır.



Şekil 1. Türkiye donma-çözülme periyot haritası (Binal, 1996).

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Tuf numuneleri, İsparta'nın güneyinde yayılım gösteren ve çalışılan ocaklardan temin edilmiştir. Alınan blok numunelerden NX (54,75mm) çaplı karotiyerlerle karotlar alınmıştır. Alınan karot numunelerinden fiziksel özellikler (yoğunluk, birim hacim kütlesi, görünür porozite, ağırlıkça su emme ve ultrasonik hız (Vp)) TS 699 (1987) ve ISRM (1981)'e göre ve mekanik özellikleri (Tek eksenli basınç dayanımı, Brazilian çekme dayanımı, nokta yük dayanım indeksi ve disk makaslama dayanımı) ise TS 699 (1987), ISRM (1981), TS 7654 (1989), ISRM (1985) ve Ulusay vd. (2001)'e göre belirlenmiştir (Alyıldız, 2003). Deneylere tabi tutulan bazı numunelerin genel görünüşü ise Şekil 2'de verilmiştir.

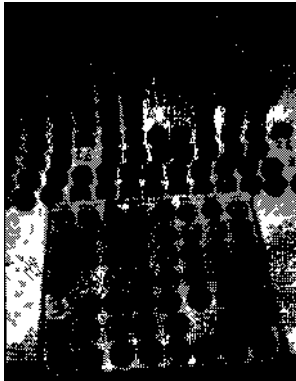
Donma-çözülme deneyleri öncesi tufün fiziko-mekanik özellikleri (Birim hacim ağırlık (BHA), Ağırlıkça su emme (ASE), Hacimce su emme (HSE), P-dalga hızı (Vp), Tek eksenli basınç dayanımı (σ_c), Nokta yük dayanım indeksi ($I_s(so)$), Brazilian çekme dayanımı (σ_t) ve Disk makaslama indeksi (BPI)) belirlenmiş ve Çizelge 1'de verilmiştir.

2.1. Disk Makaslama İndeksi (BPI)

Kayaçların disk makaslama indeksi (BPI) değerinin belirlenmesi amacıyla Ulusay ve Gökçeoğlu (1997, 1998a, 1998b, 1999) tarafından yapılan çalışmalarda örnek boyut etkisi incelenerek, düzeltme katsayıları önerilmiştir. BPI deneyi ISRM tarafından taslak BPI deney yöntemi olarak önerilmiş (Ulusay vd, 2001) ve bu çalışmada da BPI deneyleri bu önerilen taslağa göre yapılmıştır.

Çizelge 1 Tüfün deney öncesi fiziko-mekanik özellikler

BHA (kN/W)	14,5±1,5
ASE (%)	19,70±5,25
HSE (%)	27,91±5,04
Vp (m/s)	2176,53152,16
o _c (MPa)	6,24±1,16
IS(50) (MPa)	0,90±0,06
CT ₁ (MPa)	1,25±0,06
BPI (MPa)	2,70±0,73



Şekil 2. Deneylerde kullanılan numunelerin genel görünüşü

Disk makaslama indeksi deneyinde kullanılmak üzere 54,75 mm çaplı ve 10 mm kalınlığında disk şeklinde 48 adet numune hazırlanmıştır. Her 5 donma-çözülme periyodundan sonra 3-4 adet örnek alınmış, kurutulmuş ve BPI deneyleri yapılmıştır. Deneyler Şekil 3'de gösterilen deney aparatı ile yapılmıştır. Her periyoda ait BPI değerleri ise 1 nolu eşitlikle hesaplanmıştır.

$$BPI = 3499 * D^{13526} * t^{11265} * F \quad (1)$$

Burada;

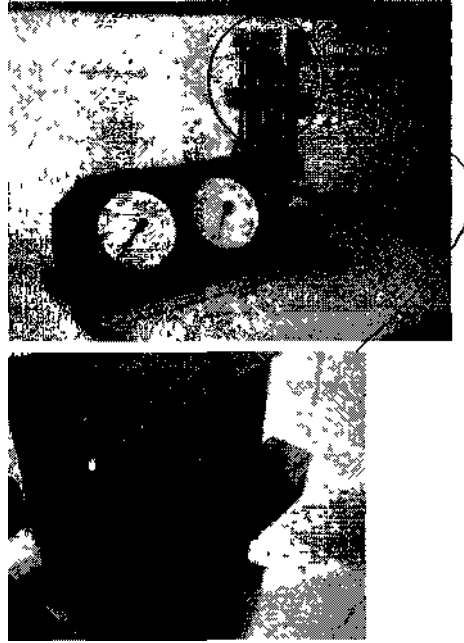
BPI : Çap ve kalınlık düzeltmesi uygulanmış disk makaslama indeksi (MPa),

D : Numunenin çapı (mm),

t : Numunenin kalınlığı (mm),

F_d : Yenilme anında t kalınlığında ve d çapındaki örneğe uygulanan yük (kN).

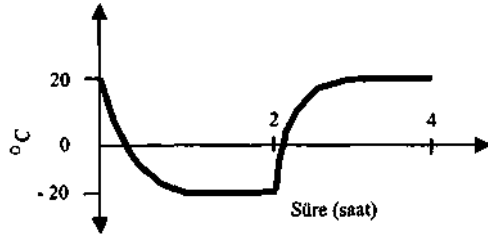
Periyotlara bazında hesaplanan BPI değerlerinin aritmetik ortalama değerleri Çizelge 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Disk makaslama indeksi deney aparatı

2.2. Donma-Çözülme Deneyleri

Donma-çözülme deneyleri TS 699 (1987)'e göre yapılmıştır. Deneyler için hazırlanan tüm numuneler 110 °C'de etüvde kurutulmuş ve kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Kurutulan numuneler su havuzunda tamamen suya doymun hale gelinceye kadar tutulmuştur. Doymun hale gelen numuneler -20 °C'deki denn dondurucuya konmuş ve 2 saat süre ile burada tutulmuş ve daha sonra derin dondurucudan alınan numuneler +20 °C'deki su havuzuna konmuş ve burada da 2 saat süreyle tutularak bir periyot gerçekleştirilmiştir. Bir donma-çözülme periyodunun genelleştirilmiş zamana bağlı sıcaklık eğrisi Şekil 4'de verilmiştir. Toplam 55 periyotluk bir çalışma programı uygulanmıştır. Tüfün fiziksel ve mekanik özelliklerdeki değişimlerini belirlemek için her 5 periyottan sonra 3-4'er adet numune seçilmiş ve fiziko-mekanik deneyler bu numuneler üzerinde yapılmıştır.



Şekil 4. Donma-çözülme periyodu için genelleştirilmiş sıcaklık eğrisi

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Deney öncesi tüflin ortalama ağırlıkça su emme oranı % 19,70 iken 55 periyotluk deney sonunda kayacın ortalama ağırlıkça su emme değeri % 30,48 olmuştur. Yani kayacın ağırlıkça su emme değeri başlangıç değerine göre % 54,72 oranında artmıştır. Periyotlar bazında ağırlıkça su emme oranlarının değişimi 2 nolu eşitlikle verilmiş ve grafiksel olarak Şekil 5'de sunulmuştur.

$$ASE = -0,0012 P_s^2 + 0,2189 P_s + 20,592 \quad (2)$$

Burada;

ASE : Ağırlıkça su emme oram (%),

P_s : Donma- çözülme periyot sayısı.

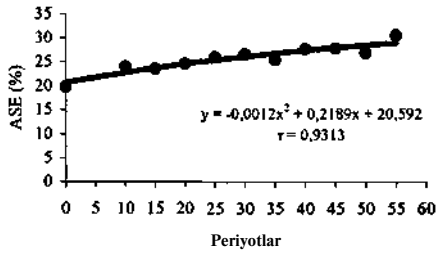
Çizelge 2. Fiziksel özelliklerin periyotlar bazındaki değerleri

Periyotlar	BHA (kN/m ³)	ASE (%)	HSE (%)	Vp (m/s)
Başlangıç	14,5±1,5	19,70±5,25	27,91 ±5,04	2176,5±53
10	14,3±1,8	23,97±6,05	33,31±5,37	2132,79±52,26
15	14,4±1,4	23,47±6,06	33,04±5,54	2103,11±102,62
20	14,3±1,2	24,46±4,56	34,58±4,45	2091,93±39,29
25	14,5±1,4	25,89±6,18	36,79±7,12	2042,76±75,68
30	13,8±1,2	26,48±7,37	35,84±7,13	2019,38±49,83
35	14,1±1,4	25,36±6,75	34,99±7,10	2003,67±142,96
40	13,8±0,8	27,66±4,67	37,97±4,42	1840,91±162,11
45	13,5±0,5	27,76±4,65	37,41±4,97	1811,59±126,44
50	13,5±0,4	26,78±3,64	36,05±3,71	1765,85±51,13
55	13,4±0,6	30,48±3,28	40,85±2,86	1671,50±30,94

Çizelge 3. NMekanik özelliklerin periyotlar bazındaki değerleri

Periyotlar	O_c (MPa)	I_{s50} (MPa)	O_t (MPa)	BPI (MPa)
Başlangıç	6,24±1,16	0,90±0,06	1,25±0,06	2,70±0,73
5	5,77±0,44	0,88±0,05	1,22±0,17	2,58±0,22
10	5,0±0,88	0,84±0,02	1,21±0,10	2,21 ±0,16
15	4,82±1,26	0,81 ±0,02	1,20±0,07	2,05±0,31
20	4,60±1,10	0,79±0,04	1,14±0,06	1,81±0,46
25	3,52±0,50	0,78±0,03	1,10±0,15	1,71 ±0,23
30	3,40±0,56	0,74±0,05	0,98±0,24	1,70±0,96
35	3,37±0,12	0,71 ±0,11	0,86±0,11	1,57±0,35
40	3,17±0,24	0,48±0,15	0,81 ±0,17	1,51±0,50
45	3,01±1,86	0,45±0,07	0,76±0,15	1,22±0,29
50	2,88±0,68	0,36±0,04	0,73±0,15	1,19±0,29
55	2,80±0,24	0,35±0,12	0,71±0,13	1,12±0,43

Bu ilişkinin korelasyon katsayısı (r) ise 0,93 olarak hesaplanmıştır.

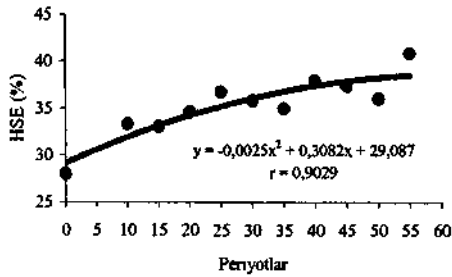


Şekil 5. Donma-çözülme periyotları ile ağırlıkça su emme oranının değişimi

Hacimce su emme oranı % 27,91 iken 55 periyot sonrasında % 40,85 değerine yükselmiştir. Hacimce su emme değeri başlangıç değerine göre % 46,36 artmıştır. Periyotlar ile hacimce su emme oranları arasında $r = 0,90$ korelasyon katsayılı bir ilişki gözlemlenmiştir (Eşitlik 3) ve ilişkinin grafiği Şekil 6'da verilmiştir.

$$HSE = -0,0025 P_s^2 + 0,3082 P_s + 29,087 \quad (3)$$

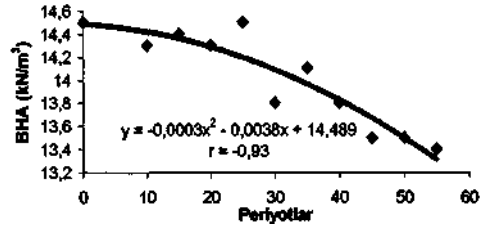
Burada;
HSE : Hacimce su emme oranı (%),
 P_s : Donma-çözülme periyot sayısı.



Şekil 6. Donma-çözülme periyotları ile hacimce su emme oranının değişimi

Tüfün başlangıçtaki birim hacim ağırlığı $14,5 \text{ kN/m}^3$ iken 55 periyot sonrasında $13,4 \text{ kN/m}^3$ değerine kadar düşmüştür (Şekil 7). Donma - çözülme periyotları birim hacim ağırlık değerinde başlangıca göre % 7,59'luk bir azalmaya neden

olmuştur. İlişkinin denklemi ise 4 nolu eşitlikle verilmiştir.



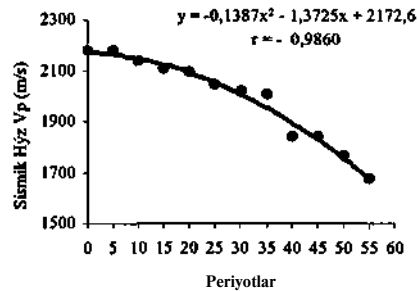
Şekil 7. Donma-çözülme periyotları ile birim hacim ağırlığının değişimi

$$BHA = -0,0003 P_s^2 - 0,0038 P_s + 14,489 \quad (4)$$

Burada;
BHA : Birim hacim ağırlık (kN/m^3),
 P_s : Donma - çözülme periyot sayısı.

İlişkinin korelasyon katsayısı ise $r = -0,93$ olarak hesaplanmıştır.

Deney öncesi tüfün ultrasonik hız (V_p) değeri başlangıçta $2176,53 \text{ m/s}$ iken 55 periyot sonunda $1671,50 \text{ m/s}$ değerine kadar azalmıştır (Şekil 8). Donma - çözülme periyotları sismik hız değerinde başlangıca göre % 23,20'lik bir azalmaya neden olmuş ve $r = -0,99$ korelasyon katsayılı ilişkinin denklemi 5 nolu eşitlikle verilmiştir.



Şekil 8. Donma-çözülme periyotları ile ultrasonik hızın değişimi

$$V_p = -0,1387 P_s^2 - 1,3725 P_s + 2172,6 \quad (5)$$

Burada;

V_p : P - dalgasının yayılma hızı (m/s),

P_s : Donma - çözülme periyot sayısı.

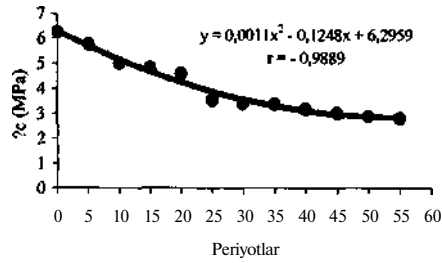
Tek eksenli basınç dayanımı (a_c) değeri 6,24 MPa iken 55 periyot sonunda 2,80 MPa değerine kadar düşmüştür (Şekil 9). Donma - çözülme periyotları sonunda kayacın tek eksenli basınç dayanımında başlangıca göre % 55,13'lük bir düşüş gerçekleşmiştir. Donma-çözülme periyot sayısının tek eksenli basınç dayanımıyla $r = -0,99$ korelasyon katsayılı bir ilişki içindedir (Eşitlik 6).

$$O_c = 0,0011 P_s^2 - 0,1248 P_s + 6,2959 \quad (6)$$

Burada;

a_c : Tek eksenli basınç dayanımı (MPa),

P_s : Donma - çözülme periyot sayısı.



Şekil 9. Donma-çözülme periyotları ile tek eksenli basınç dayanımının (a_c) değişimi

Tüftin deney öncesi nokta yükü dayanım indeksi ($Is(50)$) değeri ortalama 0,90 MPa' dan 55 periyot sonunda 0,35 MPa değerine kadar düşmüştür (Şekil 10). Donma - çözülme periyotları, nokta yükleme dayanım indeksi değerinde başlangıç değerine nazaran % 61,11'lik bir azalmaya neden olmuştur.

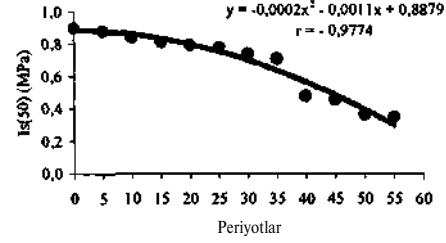
$$Is(50) = -0,0002 P_s^2 - 0,0011 P_s + 0,8879 \quad (7)$$

Burada;

$Is(50)$: Nokta yük dayanım indeksi (MPa),

P_s : Donma - çözülme periyot sayısı.

Bu ilişkinin korelasyon katsayısı (r) ise -0,98 olarak bulunmuştur.



Şekil 10. Donma-çözülme periyotları ile nokta yükü dayanım indeksinin değişimi

Kayacın ortalama Brazilian çekme dayanımı değeri 1,25 MPa iken 55 periyottan sonra 0,71 MPa değerine düşmüştür (Şekil 11). Donma-çözülme periyotları çekme dayanımı değerinde başlangıç değerine göre % 43,20'lik bir azalmaya neden olduğu gözlenmiştir.

$$O_c = -6E-05 P_s^2 - 0,008 P_s + 1,2845 \quad (8)$$

Burada;

G_c : Brazilian çekme dayanımı (MPa),

P_s : Donma - çözülme periyot sayısı.

Başlangıç disk makaslama indeksi (BPI) değeri 2,70 MPa iken 55. periyotta 1,12 MPa değerine düşmüştür (Şekil 12). Donma-çözülme periyotları disk makaslama indeksi değerinde başlangıç değerine göre % 58,52'lik bir azalmaya neden olmuştur.

$$BPI = 0,0003 P_s^2 - 0,0444 P_s + 2,6919 \quad (9)$$

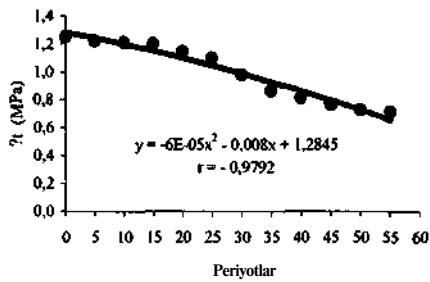
Burada;

BPI : Disk makaslama indeks değeri (MPa),

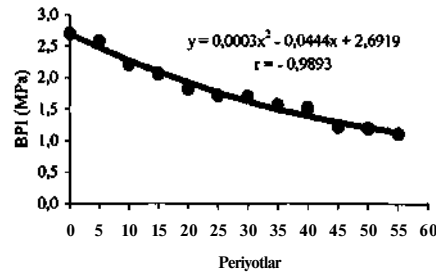
P_s : Donma - çözülme periyot sayısı.

İlişkinin korelasyon katsayısı ise $r = -0,99$ olarak hesaplanmıştır.

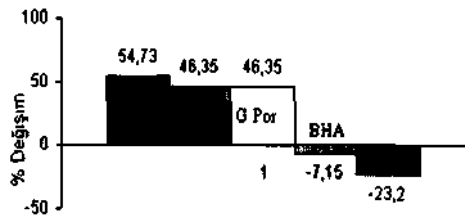
Donma-çözülme periyotlarının fiziksel özellikler üzerindeki en büyük değişimi ağırlıkça su emme değerinde, en küçük değişimi ise birim hacim ağırlık değerinde gözlenmiştir (Şekil 13). Donma-çözülme periyotları ile mekanik özelliklerdeki en büyük değişim nokta yükü dayanım indeksinde, en az değişim ise Brazilian çekme dayanım değerinde gerçekleştiği belirlenmiştir (Şekil 14).



Şekil 11. Donma-çözülme periyotları ile çekme dayanımının (σ_t) değişimi



Şekil 12. Donma - çözülme periyotları ile disk makaslama indeksinin (BPI) değişimi



Şekil 13. Donma-çözülme periyotlarıyla fiziksel özelliklerdeki değişimler

Lienhart (1988)'in de belirttiği gibi laboratuardaki donma-çözülme periyotları doğada oluşan donma-çözülme sürecinden çok daha hızlı gerçekleşmektedir. Bu nedenle ki, toplam 55 periyotluk bir program sonucunda genel olarak kayacın fiziksel ve mekanik özelliklerinde önemli oranlarda değişiklikler gerçekleşmektedir.



Şekil 14. Donma - çözülme periyotlarıyla mekanik özelliklerdeki değişimler

Sonuç olarak, tüf numunelerinin deney öncesi fiziksel ve mekanik özellikleri donma - çözülme periyotlarından olumsuz yönde önemli derecede etkilenmiştir. Kayacın fiziksel özelliklerinde ki değişim donma - çözülme deneylerinin 10. periyodundan sonra önemli derecede azalma gösterirken mekanik özelliklerdeki değişimler ise çoğunlukla 25. periyottan sonra önemli ölçülerde azalma göstermiştir. İlk periyotlarda gelişmeye başlayan mikro çatlaklar fiziksel özellikleri daha hızlı etkilemiştir. İlerleyen periyotlarda artan mikro çatlakların makro çatlaklar haline gelerek kayaç yapısını zayıflatmasıyla mekanik deneylerdeki değişimler daha sonraki periyotlarda etkin olduğu düşünülmektedir.

Dolayısıyla yapıtaşı ve kaplama taşı olarak İsparta ve çevresinde çok yaygın bir şekilde kullanılan tülün, kullanıldığı tarihi ve önemli yapılarındaki durumların incelenmesi ve atmosfer koşullarındaki yıllara bağlı olarak gerçekleşen donma - çözülme olaylarından nasıl etkilendiği daha sonra yerinde yapılacak çalışmalarla daha net ortaya konulabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Altındağ, R., Mutlutürk, M., Karagüzel, R., 2003. *The effects of freezing-thawing cycles on the useability of İsparta andésite as a building stone*, Proceeding of Int. Sympos. of industrial minerals and building stone, 289-292.
- Altındağ, R., Alyıldız, İ.S., Onargan, T., 2004. *Mechanical property degradation of ignimbrite rock subjected to recurrent freeze-thaw cycles*,

- Int. J. Rock Mech. Min. Sei. (accepted paper in press).
- Alyıldız, I. S., 2003. *Isparta-Dereboğazı tüflerinde donma-çözülme periyotlarının fiziko-mekanik davranışlarına etkisi*, SDÜ Feb Bilimleri enstitüsü, Y. Lisans Tezi, 63s, İsparta.
- Binal, A., 1996. *Aksaray - İhlara Vadisindeki Volkanosedimanter Kayaçalarda Görülen Duraysızlık Mekanizmalarının Araştırılması*, H.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.Lisans Tezi, 95s, Ankara.
- Binal, A., Kasapoğlu, K.E., Gökçeoğlu, C., 1997. *The Surficial Physical Deterioration Behaviour of Neogene Volcanosedimentary Rocks of Eskişehir - Yazihkaya, NW Turkey. Engineering Geology and the Environment*, (Marinos, P.G., Tsiambaos, G.C., Stournaras, G.C.,-Eds), 3065-3069, Greece.
- Binal, A., Kasapoğlu, K.E., Gökçeoğlu, C., 1998. *Eskişehir - Yazihkaya Çevresinde Yüzeyleyen Volkanosedimanter Kayaçların Donma - Çözülme Etkisi Altında Bazı Fiziksel ve Mekanik Parametrelerinin Değişimi*, Hacettepe Üniversitesi Yayınlan Yerbilimleri No:20, 41-54, Ankara.
- Binal, A., Kasapoğlu, K.E., 2002. *Donma - Çözülme Sürecinin Aksaray - İhlara Vadisi 'nde Yüzeyleyen Selime İğnimbiritinin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkisi*, VI. Bölgesel Kaya Mekaniği Semp. (Şensöğüt, C, Özkan, İ., -ed.), 189-196, Konya.
- 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 Characterization, Testing and Monitoring-ISRM Suggested Methods*, Pergamon Press, Oxford, Brown, E.T. (ed.), 211 p.
- ISRM, 1985. *Suggested Method for Determining Point Load Strength*, Int. J. Rock Mech. Min. Sei. and Geomech. 22(2), 51-60.
- Lienhart, D.A., 1988. *The Geographic Distribution of Intensity And Freeze-Thaw Cycles*, Bulletin of the Association of Eng. Geologists, 25 (4), 465-469.
- Mutlutürk, M., Altındağ, R., Türk, G., 2004, *A decay function model for the integrity loss of rock when subjected to recurrent cycles of freezing-thawing and heating-cooling*, Int. J. Rock Mech. Min. Sei. 41 (2), 237-244.
- Simonsen E., Isacsson U. 1999. *Thaw weakening of pavement structure in cold regions*, Cold regions science and technology, 29, 135-151.
- Topai, T., Sözmen, B., 2002. *Deterioration Mechanisms of Tuffs in Midas Monument*. Engineering Geology 68 (2003), 201-223.
- TS 699, 1987. *Tabii Yapı Taşları Muayene ve Deneysel Metotları*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 7654, 1989. *Kayaçların Çekme Mukavemetinin Dolaylı (İndirekt) Metotla Tayini*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Ulusay, R., Gökçeoğlu, C., 1997. *The Modified Block Punch Index Test*. Can. Geotech J. 34, 991-1001.
- Ulusay, R., Gökçeoğlu, C., 1998a. *Disk Makaslama İndeks Deneyinde Boyut Etkisi ve Deneyin Kaya Mühendisliğindeki Kullanım Alanları*. IV. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu Bildiriler Kitabı. (Ünlü, T., -ed.), 49-60, Zonguldak.
- Ulusay, R., Gökçeoğlu, C., 1998b. *An Experimental Study on the Size Effect in Block Punch Index Test*. Int. J. Rock Mech. Min. Sei. 35 (4-5), 628-629.
- Ulusay, R., Gökçeoğlu, C., 1999. *A New Test Procedure for the Determination of the Block Punch Index and Its Possible Uses in Rock Engineering*. ISRM News J. 6 (1), 50-54.
- Ulusay, R., Gökçeoğlu, C., Sülükçü, S., 2001. *Draft ISRM Suggested Method for Determining Block Punch Index (BPI)*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences.38 (2001), 1113-1119.