



Utilization of statistical mean control charts in slake durability index (SDI) tests

Hüseyin Ankara^{ID*}, Fatma Çiçek^{ID}

Department of Mining Engineering, Eskişehir Osmangazi University, Eskişehir, 26480, Turkey

Highlights:

- Preparation of representative sphere test samples
- Determination of estimated cycle number
- Utilization of statistical mean control charts in SDI test

Keywords:

- Slake durability index
- Mean control chart
- Massive marl
- laminated marl
- estimated number of cycles
- lower and upper index

Article Info:

Research Article
Received: 26.04.2017
Accepted: 19.10.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.416458

Acknowledgement:

This work was supported by Scientific Research Project Commission of Eskişehir Osmangazi University (Project no: 2015-747)

Correspondence:

Author: Hüseyin Ankara
e-mail: hankara@ogu.edu.tr
phone: +90 222 239 37 50

Graphical/Tabular Abstract

When the recommendations in the standards and literature have been interpreted, representative test samples using in SDI test should be prepared as equal size, equal mass and smooth surface to be reached approximately ideal SDI value. In this study, multiple cycle SDI tests have been performed on spherical samples with equal size / mass and smooth surface prepared from the massive and laminated marl rock samples, and then the variation of SDI values in the cycles has been determined.

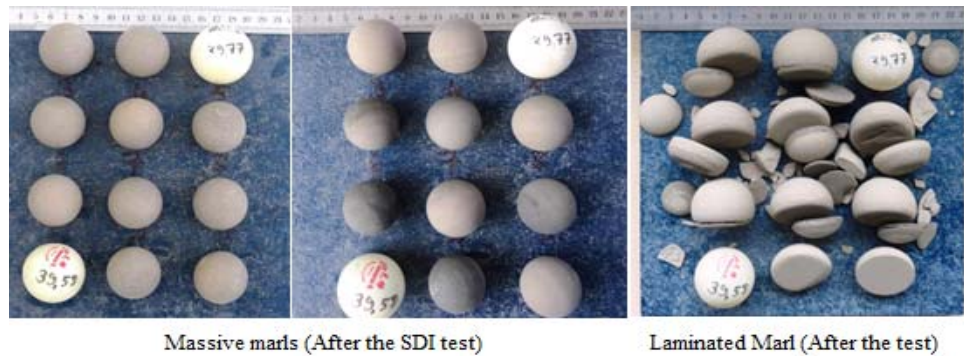


Figure A. Change of SDI values

Purpose: The aim of this article is to estimate an ideal index values on the representative sphere test samples subjected to slake durability index test by using the statistical tools.

Materials and Methods:

The massive and laminated marl sample blocks were collected from Tunçbilek and Seyitömer lignite mines at the Kütahya region in Turkey, respectively.

The standards recommend that the shape of representative test samples should be prepared as nearly spherical samples. However, it should be also stated that being nearly spherical is a subjective matter, which changes from person to person. In this study, five different test sets for each rock blocks were prepared as representative sphere test samples by using the new method. The weight of representative sphere test samples in five sets have about 40, 45, 50, 55 and 60 grams each. Then The SDI values were determined for the five different sets subjected to the SDI test for 25 cycles. The amount of mass loss in the cycles have been marked an the statistical mean control charts, and their variabilities have been interpreted. After interpretation, the mean control charts were drawn again and then the lower and upper SDI index values were estimated the range of ideal index values.

Results:

In this article, the SDI values should be determined on exactly spherical test samples subjected to SDI test to eliminate the effect of mechanical breakages of representative test samples during rotating the drum. After elimination of breakages, the weights of mass loss among the cycles were marked and interpreted on the mean control charts. In interpretation of control charts, it was suggested that the index values taken after more than two cycles can be useful to reach the ideal SDI values, as given in some literatures. In addition to this, the index values depending on the number of cycles were calculated as lower and upper indices on both massive and laminated marl samples.

Conclusion:

In this article, the mean control charts have been determined as an effective tool on interpreting of the amounts of mass loss, and determination of variabilities between the cycles. Furthermore, the limit values of indices depending the variabilities have been represented as a new approach to reach the ideal index values.



Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi (SDI) deneylerinde istatistiksel ortalama kontrol grafiklerinin kullanımı

Hüseyin Ankara*^{ORCID}, Fatma Çiçek^{ORCID}

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, 26480, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- Temsili küre deney örneklerinin hazırlanması
- Tahmini çevrim sayısının belirlenmesi
- Ortalama kontrol grafiklerinin SDI deneylerinde kullanılması

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi
Geliş: 26.04.2017
Kabul: 19.10.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.416458

Anahtar Kelimeler:

Suda dağılmaya karşı
duraylılık indeksi,
ortalama kontrol grafiği,
masif marn,
laminallı marn,
tahmini çevrim sayısı,
alt ve üst indeks

ÖZET

Standartların ve literatürün önerileri yorumlandığı zaman, ideale yakın SDI değerine ulaşabilmek için SDI deneylerinde kullanılan temsili deney örneklerinin eş boyut/kütleli ve pürüzsüz yüzeyli kürelerden meydana gelmesi istenmektedir. Bu çalışmada, masif ve laminallı marn kaya örneklerinden hazırlanan eş boyutlu/kütleli ve pürüzsüz yüzeyli temsili küre deney örnekleri üzerinde çok çevrimli SDI deneyleri yapılmış ve her bir çevrimdeki SDI değerlerindeki değişim belirlenmiştir. SDI indeks değerlerindeki değişim uyumlu görülmesine rağmen, çevrimlerdeki kütle kaybı miktarlarının düzensiz olduğu gözlenmiştir. Bunun için çevrimlerdeki kütle kaybı miktarları istatistiksel ortalama kontrol grafikleri üzerinde işaretlenmiş ve değişkenlikler yorumlanmıştır. İstatistiksel yaklaşım ve ortalama kontrol grafiklerinin yorumlanması sonucunda, kütle kaybı miktarlarındaki değişkenlik sınırları ve bu değişkenliğe bağlı olarak tahmini çevrim sayıları tekrar belirlenmiştir. SDI deneylerinde kullanılan kaya örnekleri için yeni bir yaklaşımla alt ve üst SDI indeks değerleri hesaplanmıştır.

Utilization of statistical mean control charts in slake durability index (SDI) tests

H I G H L I G H T S

- Preparation of representative sphere test samples
- Determination of estimated cycle number
- Utilization of statistical mean control charts in SDI test

Article Info

Research Article
Received: 26.04.2017
Accepted: 19.10.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.416458

Keywords:

Slake durability index,
mean control chart,
massive marl,
laminated marl,
estimated number of cycles,
lower and upper index

ABSTRACT

When the recommendations in the standards and literature have been interpreted, representative test samples using in SDI test should be prepared as equal size, equal mass and smooth surface to be reached approximately ideal SDI value. In this study, multiple cycle SDI tests have been performed on spherical samples with equal size / mass and smooth surface prepared from the massive and laminated marl rock samples, and then the variation of SDI values in the cycles has been determined. Although the variabilities in the SDI values have been seen as compatible, it has been observed that the amounts of mass loss in the cycles were irregular. Therefore, the amounts of mass loss in the cycles have been marked on the statistical mean control charts, and their variabilities have been interpreted. After the statistical approaches and interpretation of the mean control charts, limits of variability of the amounts of mass loss and estimated cycle numbers depending on these variabilities have been determined, again. Lower and upper SDI values have been calculated with a new approach to the rock samples used in SDI tests.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: hankara@ogu.edu.tr, fatma_c1990@hotmail.com / Tel: +90 222 239 3750

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi (SDI) deneyi (Chandra [1]) ile (Franklin ve Chandra [2]) tarafından önerilmiştir. Bu deney kayaçların Suda Dağılmaya Karşı Duraylılık indeksinin belirlenmesi amacıyla (ISRM [3]) ve (ASTM [4]) tarafından standartlaştırılmıştır. Bu deneyin amacı, genellikle kil içeren kayaçların kuruma ve ıslanma çevrimi ile aşınmaya ve ayrılıp suda dağılmaya karşı direncini gösteren bir indeks değeri belirlemektir [5, 6]. SDI değeri özellikle şeyl, killi ve zayıf kayaçlar için önemli bir jeo-mühendislik parametredir. SDI değeri yapı taşlarında, duraylılık problemlerinde, açık işletmelerde, yeraltı yapılarında ve kaya sınıflandırmasında kullanılmaktadır.

Kaya örneklerinde porozitesinin, geçirgenliğinin, örnek sayısının, örnek şeklinin ve örnek ağırlığının deneyler üzerindeki etkisini araştırmak için çalışmalar yapılmıştır [2]. Çalışmaların sonucunda, her biri 40-60 gram gelen, toplam 450-550 gram olan 10 adet yuvarlak temsili deney örnek parçası hazırlanmasının en uygun yöntem olduğunu belirtmişlerdir. Deney örnek parçalarının koşelleri yuvarlatılmış ve kabaca küresel [7] veya mümkün olduğunca küresele yakın [5] olması önerilmektedir. Ayrıca temsili deney örnek parçalarının yüzeyleri pürüzsüz ve kabaca eş boyutlu hazırlanması tavsiye edilmiştir [6].

Standartların koşullarına göre kayaçların SDI değerleri belirlenmesine rağmen, birçok sebeplere bağlı olarak indeks değerlerinde değişkenlik göstermesi olası bir durumdur. SDI değerindeki değişkenlikler, kaya malzemesinin özelliklerine ve deney koşullarına bağlı olarak meydana gelmektedir. Kaya malzemesinin mineralojisi, fiziko-mekanik vb. özelliklerinden kaynaklanan değişkenlikler, kaya malzemesinin doğal bir malzeme olmasından dolayı, tesadüfi/rassal veya kontrol edilemeyen sebepler olarak kabul edilmelidir. Ancak deney koşullarından kaynaklanan değişkenlikler, rassal olmayan veya kontrol edilebilir sebeplerden dolayı oluşmaktadır. Kontrol edilebilir sebepler: temsili deney örneklerinin geometrik şekli, yüzey pürüzlülüğü, köşegenliği, boyutu, ağırlığı, saklanması, sayısı, ıslanması, kuruması; deney sıvısının sıcaklığı, pH'sı, kimyası; deney aletinin çevrim sayısı, elek açıklığı, dönme hızı, tambur boyutu vb. sebeplerden meydana gelmektedir. SDI değerlerindeki değişkenliklerin azaltılması, ancak kontrol edilebilir sebepler üzerinde yapılacak araştırmalar neticesinde kabul edilebilir hata sınırları içine indirgenebilir.

Kayacın mineralojisi ile SDI değerleri arasındaki ilişkiyi ve değişkenlikleri araştıran çalışmalarda; Kil taşlarındaki kil içeriği, şeyllerde boşluk oranı ile SDI değeri arasında kuvvetli ilişki olduğunu belirlenmiştir [8]. Düşük SDI değerine sahip, kaolinit killerin baskın olarak bulunduğu, ince taneli ve karbonatlı çamur taşları üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Düşük SDI değerinin nedeni kil yüzeylerinin suyu emmesiyle kayaç içindeki artık gerilmelerin salınması sonucu olduğu gözlenmiştir [9]. Taze çamur taşı ve bozunmuş çamur taşlarının duraylılığın belirlenmesinde SDI

deneyinin güvenilir olduğunu belirlenmiştir [10]. Kumtaşlarının SDI değerinin kuvars içeriğinin artmasıyla arttığını, kil içeriğinin artmasıyla azaldığını gözlenmiştir [11]. SDI değerleri ile tek eksenli basınç dayanımı ve mineralojik özellikler arasındaki ilişki araştırılmıştır [12]. Kaya dokusu ile kayacın bozunması ve duraylılığı üzerinde önemli bir etkisinin olduğu tespit edilmiştir [13]. Klastik ve piroklastik kayaçların her ikisinin de belirgin bir biçimde farklı duraylılık davranışı gösterirken, piroklastik kayaçların daha düşük duraylılık gösterdiği belirlenmiştir [14]. Kil içeren kayaların dağılmasını belirlemek için SDI değerlendirmesi adı altında bir parametre [15] ve kil içerikli kayaçlar üzerinde yapılan SDI deneyleri için de "dağılma oranı" parametresi geliştirilmiştir [16]. Taze şeyl kaya örneklerinde, kalsit ve jips gibi mineral varlığı ile dağılma oranı arasında güçlü bir ilişkinin olduğunu görülmüştür [17]. Kil içerikli kayaçların tek eksenli basınç dayanımını tahmin etmede SDI indeksi değerleri ve kil içeriği arasındaki ilişki tanımlanmıştır [18]. Kapadokya yöresine ait ignimbiritler ve tüfler üzerinde SDI deneyleri yapılmıştır [19]. Marn kaya örnekleri üzerinde yapılan SDI deneyleri sonucunda, karbonat içeriği %54,6 olan örnek için I_{d2} değeri %76,0 bulurken; karbonat içeriği %44,4 olan örnek için indeks değeri %89,7 olarak bulunmuştur [20]. Ayrıca kayaçların kalsiyum karbonat içeriği ile duraylılığı arasındaki ilişki belirlenmiştir [21].

SDI değerleri ile fiziko-mekanik özellikler arasındaki ilişkiyi araştıran çalışmalarda; SDI indeks değerleri ile elastisite modülü [22], tek eksenli basma dayanımı [18, 23], P-dalga hızı [24], nokta yükü dayanımı [21, 25], porozite [26, 30], fraktal boyut [27], Los Angeles aşınma kaybı [28] yoğunluk [29], Donma-Çözülme [57] veya diğer fiziko-mekanik özellikler arasındaki ilişkiler araştırılmıştır [31]. SDI değerleri ile fiziko-mekanik ilişkiler arasında matematiksel modeller geliştirmişlerdir.

SDI deneylerinin, küresel yakın [7] veya yuvarlatılmış, eş boyutlu ve pürüzsüz temsili deney örnek parçaları üzerinde yapılması standartlar tarafından önerilmektedir [6, 32]. Ancak kabul gören standartlara göre bu tür temsili deney örnek parçaların hazırlanması çoğu zaman mümkün olmamaktadır. Bu durumdaki değişkenliği ortaya koyabilmek için, kil içerikli bazı kaya örneklerinden az köşeli, köşeli, az yuvarlak ve yuvarlak olmak üzere farklı şekil ve pürüzlülüğe sahip temsili deney örnek parçaları hazırlanmış ve SDI deneyine tabi tutulmuştur. Deney sonunda, masif yapılı, laminalanma ve tabakalanma göstermeyen deney örnekleri (killi kireçtaşı, tuf, bozuşmuş granit) yuvarlatılmış ve köşeli-pürüzlü yüzeye sahip örneklerin I_{d2} değerlerinde %3 ile %25 arasında farklar oluştuğunu ve bu durumun kaya sınıflamasını etkilediğini görülmüştür [33]. Bu nedenle SDI değerleri değerlendirilmesinde, deney örnek parçalarının şeklini, köşeliliğini ve pürüzlülüğünü göz önünde bulunduran yaklaşımlar önerilmiştir. Yüzey pürüzlülüğünün SDI değerleri üzerindeki etkisi fraktal boyut analiz yöntemini ile irdelenmiştir [34]. Şekil ve yüzey pürüzlülüğünün SDI

değerine etkisi, farklı tipteki kayalardan (marn, killi kireçtaşı, tüf, kumtaşı ve bozunmuş granit) hazırlanan köşeli, yarı köşeli ve yuvarlak temsili deney örnek parçaları üzerinde araştırılmıştır. Örnek parçalarının yüzey pürüzlülüğü fraktal boyut analizi ile ölçülmüş ve SDI deneyinde kullanmak için çeşitli yüzey pürüzlülüğü değerlerine bağlı bir tablo geliştirilmiştir [35]. SDI deneyinde tüflerin dağılmasını belirlemek için, önce ve sonraki fraktal boyut değişimi fraktal parametre olarak tanımlanmıştır [36]. Farklı şekil ve boyuttaki temsili deney örnek parçalarının tambur içerisindeki hareketleri incelenmiştir [37]. Bu durumda SDI değerlerindeki değişkenliklerin en aza indirgenebilmesi ve ek yaklaşımlara gerek duyulmaması için, temsili deney örnek parçaları küre, pürüzsüz ve eş boyutta hazırlanması gerekmektedir. Bunun için eş boyutlu ve kütleli kürelerden meydana gelen temsili deney örneklerinin hazırlanmasına yönelik bir yöntem geliştirilmiştir. Çalışmalarında küre ve yuvarlak deney grupları arasındaki indeks değerlerini karşılaştırmışlardır. Küre deney gruplarının Id_2 indeks değerlerinin yuvarlak deney gruplarının indeks değerlerine göre yüksek çıkma oranını masif kaya örneklerinde %100 ve tabakalı ve laminalı kaya örnekleri dâhil edildiğinde %74.19 olarak bulunmuştur [38]. Bundan sonraki çalışmalarda, 5 adet küre ve 2 adet yuvarlak deney gruplarından oluşan beyaz ve pembe tüfler üzerinde yapılan SDI deneyleri sonucunda, küre deney gruplarının Id_2 indeks değerleri yuvarlak deney gruplarının indeks değerlerine göre daha yüksek çıkmıştır. Ayrıca masif kaya örneklerinden hazırlanan küre deney grupları arasındaki Id_2 değerleri arasındaki fark pembe tüflerde %0,29, beyaz tüflerde %0,67 ve marnlarda %0,1 olarak bulunmuştur. Yuvarlatılmış deney grupların Id_2 değerleri arasındaki fark pembe tüflerde %2,30 ve beyaz tüflerde 2,80 ve marnlarda %1,03 olarak belirlenmiştir [39, 40]. Laminalı marnlardan hazırlanan küre deney grubunun Id_2 ve Id_4 değerleri yuvarlak deney gruplarına göre daha yüksek çıkmıştır [39-41].

Standartlarda çevrim sayısı 2 olarak verilmesine rağmen yapılan araştırmalarda genelde SDI deneylerinde 3 veya daha çok çevrimin daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır. ISRM tarafından 2 çevrimli SDI deneyi tavsiye edilmesine rağmen istenildiğinde çevrim sayısı artırılabilir ifade edilmektedir [42]. Düşük kararlılık indeksine sahip taneli ve karbonatlı çamur taşları üzerinde yapılan SDI deneylerinde ikinci çevrim sonrası tambur içinde kalan kayaç parçalardan dolayı çevrim sayısı 3 çıkarılmış ve deneyler tekrarlanmıştır [9]. Dayanımı yüksek kayaçlarda suda dağılmaya karşı duraylılık değişimi 2 çevrimli SDI indeksi deneyi ile belirlenemeyeceği vurgulanmış ve çevrim sayısı 4 olması tavsiye edilmiştir [12, 50, 56]. Büyük ölçekli 6 çevrimlik SDI deneyi ile standart SDI deneyini kıyaslanmıştır [43, 44]. Bazı araştırmacılar, çamur-taşları üzerinde 3 [45], laminalı, laminalı-masif ve bozunmuş marnlar üzerinde 5 [50], çamur-taşlarının duraylılığını belirlemek için 3 [10], karbonatlı kayaçlarda 4 [21], Kandıra taşı üzerinde 13 [31], kumtaşları üzerinde 10 [46] çevrimlik SDI deneyleri yapmışlardır. Ayrıca suyun kayaçlar üzerindeki etkisini belirlemek için 2 çevrim yerine 4 çevrim olarak uygulanmasının daha doğru

sonuçlar verdiğini belirlenmiştir [47]. Bu durumda standartlarda yer alabilecek şekilde, SDI deneylerinde çevrim sayısının belirlenmesi için araştırmaların yapılması da gerekmektedir. Tunçbilek ve Seyitömer linyit işletmelerine ait marn kaya örnekleri üzerinde yapılan SDI deneylerinden elde edilen sonuçlar; Tunçbilek masif marnlardan hazırlanan yuvarlak deney gruplarının Id_2 değerleri %97,9, %98,78 ve %98,93 [38] ve Id_4 değerleri %97,67 ve %98,03 bulunmuştur [48, 49]. Küre deney gruplarında üzerinde Id_2 değerleri %99,43 ve %99,33, Id_4 değerleri %98,93 ve %98,96 belirlemiştir [38, 49]. Seyitömer bitümlü laminalı marnlardan hazırlanan 2 yuvarlak ve 1 küre deney grupları üzerinde yapılan SDI deneylerinde Id_2 değerleri sırasıyla %98,58, %99,12 ve %99,51 ve Id_4 değeri sırasıyla %97,2, %98,39 ve %98,43 bulunmuştur [41]. Bu çalışmanın konusu olan kaya örnekleri ile yapılan SDI deneylerinde küre deney gruplarının indeks değerleri yuvarlak deney gruplarına göre yüksek çıkmıştır.

Bu çalışmada masif ve laminalı marn kaya bloklarından hazırlanan farklı boyutlu ve kütleli 15 küre deney grupları üzerinde 25 çevrimli SDI deneyleri yapılmıştır. SDI deneyleri sonunda, çevrim sayısına, toplam temsili örnek ağırlığına, temsili deney örneklerin boyutuna/kütlesine ve yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak SDI değerlerindeki değişimler incelenmiştir. Ayrıca, değişkenlikleri belirleyebilmek için, çevrimlerdeki kütle kaybı (dağılma) miktarlarına bağlı olarak istatistiksel kalite kontrol grafiklerinden ortalama kontrol grafiği çizilmiş ve yorumlanmıştır. Sonuç olarak, çevrimlerdeki kütle kaybı (dağılma) miktarlarının istatistiksel ortalama kontrol grafikleri üzerindeki saçılımına bağlı olarak alt-üst indeks sınır değerleri belirlenmiştir.

2. MALZEME VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

2.1. Malzeme (Material)

SDI deneylerinde kullanılan masif marn kaya blokları Tunçbilek Linyit İşletmesi Beke ocağı G (BYG) ve Beke ocağı H (BYH) panolarından ve laminalı marn kaya blokları Seyitömer Linyit İşletmesinin höyük panosundan alınmıştır. SDI deneyine tabi tutulan kaya örneklerinin mineralojik yapısını belirlemek için XRD ve elementer içeriği için XRF analizleri yaptırılmıştır (Tablo 1, Tablo 2).

Tablo 1. Kayaç örneklerin mineralojik içeriği
(Mineral contents of the rock samples)

Masif Marn	Kuvars; Mika; Dolomit; Feldspat; Kil
Laminalı Marn	Kalsit; Aragonit; Kuvars; Kil; Jips; Mika; Zeolit; Amfibol; Feldspat; Amorf malzeme

2.2. Yöntem (Method)

Yerbilimleri problemlerinde yaygın olarak kullanılan SDI deneyi, kayaçların kuruma ve ıslanma sonucu dağılma ve

Tablo 2. Kayaç örneklerin elemanter içeriği (Element contents of the rock samples)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	A.Z
Masif Marn	53,26	7,11	4,2	4,58	10,34	0,11	1,16	18,3
Laminalı Marn	25,07	6,54	6,15	6,25	17,06	0,25	0,67	36,8

parçalanmaya karşı duraylılığını belirlemek için yapılan bir indeks deneyidir. Deneyde her birinin ağırlığı 40 ile 60 g arasında değişen 10 adet pürüzsüz temsili deney örnek parçaları kullanılmaktadır. Standartlara göre örnek parçaların şekli kabaca küresel [7] veya küresele yakın [5], kabaca eş boyutlu [6] ve köşeleri yuvarlatılmış olarak hazırlanmalıdır, [32]. Deney örnek parçaları, karotlardan veya kaya bloklarından çekiçle koparılır, parçaların köşeleri birbirine çarparak mekanik parçalanmaya neden olmaması için [5], keskin köşeler kırılır ve törpülenir. Sonra küresele yakın ve pürüzsüz deney örnek parçalarının yüzeyleri fırçayla temizlenerek tartıma hazır hale getirilir [6, 7, 32]. Bu temsili deney örnek parçaları tambur içinde 105°C’de 16 saat boyunca etüvde sabit kütle ağırlığa gelecek şekilde kurutulur. Sabit kütleyle ulaşan deney örnek parçaları tambur ile birlikte tartılır ve ekseninin 20 mm altına gelecek şekilde distile su ile doldurulmuş olan 2 mm göz açıklığına sahip çelik hasır tambura yerleştirilir. Tambur, 10 dakika boyunca 20 devir/dakika sabit hızla döndürülür ve ıslanma işlemi tamamlandıktan sonra alınır, kurutulmak üzere tekrar 105°C’deki etüve konular, 16 saat boyunca kurutulur ve tartılır. Bu işleme bir çevrim denir ve en az iki kez bu çevrim tekrarlanır. Çevrim sonunda, tambur içinde kalan deney örnek parçaların toplam kuru ağırlığı ile başlangıç örnek parçalarının toplam kuru ağırlığına bağlı olarak yüzde ile ifade edilen indeks değeri hesaplanır [5, 7, 32]. Ancak suda dağılmaya karşı duraylılığı yüksek olan kayalarda ikiden fazla, tercihen 4 çevrim sonrası elde edilen I_{d4} indeks değerinin esas alınması da önerilmiştir [5, 12, 50].

Deney örnek parçalarının jeolog çekici ile koparılması, keskin köşelerinin jeolog ve mineralog çekici ile kırılması işlemlerinde kayaç türüne göre yapay mikro çatlakların oluşması mümkündür. Ayrıca törpülenerek küresele yakın bir şekil kazandırılması, bazen kayaç türüne bağlı olarak oldukça uzun ve zahmetli bir işlem olmaktadır. Bunun için köşeli deney örnek parçaları ile SDI deneyi yapılmak zorunda kalmaktadır [33]. Köşeli deney örnek parçalarının mekanik parçalanmaya maruz kalmasından dolayı ideal bir SDI değerinin belirlenmesi zorlaşmaktadır. Standartların ve literatürün önerileri yorumlandığı zaman, SDI deneylerinde kullanılan temsili deney örnekleri; Küre şekilli, pürüzsüz yüzeyli, eş boyutlu, eş kütleli, doğal nemini korumuş, yapay mikro çatlak içermeyen özelliklerde olması gerekmektedir. Bu özelliklere sahip deney örnekleri SDI deneylerinde kullanıldığında, değişkenlik göstermeyen ve ideale yakın bir indeks değeri elde etmek mümkün olacaktır. SDI değerlerindeki değişkenlikleri en aza indirmek için, eş boyutlu ve kütleli küre deney örneklerinin hazırlanmasına yönelik bir yöntem önerilmiştir. Bütün kaya türleri için, SDI deneylerinde kullanılacak, küre deney örneklerinin hazırlanmasının mümkün olduğunu da ortaya koymuşlardır. Önerilen bu yönteme göre araziden alınan taze kaya

bloklarından küre yapma işlemi; Küp kesim, ön küre kesim (paşa kesim) ve küre yapım aşamalarından meydana gelmektedir. Küpler, ortalama 50x50x30 cm boyutundaki bloklardan, çoklu küp kesme makinesi kullanılarak kuru kesme ile kesilmektedir [38]. Kuru kesim sırasında küp kesme makinesinin testere ve ilerleme hızı uygun ayarlandığında ısı oluşumu söz konusu olmamaktadır. Ön küreler, küplerin kenar ve köşe kesimleri yapılarak elde edilmektedir. Ön küre kesimleri sırasında V-kanal kullanılmaktadır. Kenar kesimde, V-kanala yerleştirilen küplerin 12 kenarı küp yüzeyleri ile 45° açı ile ve diagonal yüzeylerin küp boyutuna eşit olacak biçimde kesilmektedir. Benzer şekilde köşe kesimleri, V-kanal kullanılarak küp yüzeyleri ile 15°’lik açı ve diagonal yüzeyleri küp boyutuna eşit olacak şekilde kesim yapılmaktadır. Kesme işlemlerinde kuru kesme olarak hassas kesme makinesi kullanılmaktadır. Küreler, ön kürelerin küre yapma makinesindeki aşındırıcı çanaklar içinde serbest dönmesi sonucu elde edilmektedir [38]. Yani aşındırıcı çanaklar içinde dönen ön kürelere herhangi bir baskı uygulanması söz konusu olmamaktadır. Kısaca kesme ve aşındırma aşamasında ısı ve baskıya maruz kalmayan küre deney örneklerinde mikro çatlaklar oluşmamaktadır. Ayrıca Tunçbilek masif marn ve Seyitömer laminalı marnlardan küre yapma süreleri sırasıyla 6 dakika 28 saniye ve 10 dakika 34 saniye bulunmuştur [51]. Masif ve sert mineral içeren kayalardan küre deney örneklerinin hazırlanması yuvarlak deney örneklerine göre daha hızlı olmaktadır. Literatürde Seyitömer marnlarının doğal nem içeriği en fazla %31 verilmiştir [52]. Bu çalışmada, SDI deneyinde kullanılan küre deney örneklerinin ortalama nihai nem içeriği %26,97 hesaplanmıştır. Bu yöntemle küre deney örneklerinin hazırlanması aşamasında doğal nemde en fazla %4’lük bir kayıp olmaktadır. Kısacası bu yöntemin faydaları; küre, pürüzsüz, mikro çatlak içermeyen, düşük nem kaybı, eş boyutlu, eş kütleli temsili deney örneklerinin hazırlanmasını mümkün kılmaktadır.

SDI deneyleri, 10 adet temsili deney örneğinin toplam sabit kütle ağırlığı 450-550 gram olacak şekilde, 2 veya 4 çevrimli yapılması önerilmektedir. Deneyde kullanılacak 10 adet temsili deney örneğinin eş boyutlu [6] ve her bir 40-60 gram aralığında [5, 7, 32] olması tercih edilmektedir. Bu çalışmada, temsili küre deney örnekleri eş boyutlu ve kütleli olarak tamburlara doldurulmuş ve SDI deneyleri yapılmıştır. SDI deneylerinde SDI değerindeki değişimleri belirleyebilmek için, temsili küre deney örneklerinin her biri 40, 45, 50, 55 ve 60 gram olarak eş kütleli olarak hazırlanmıştır. Eş kütleli ve boyutlu 10 adet temsili küre deney örneğinden bir deney grubu oluşturulmuştur. Masif marn deney gruplarına MM ve Laminalı marn deney gruplarına LM sembolleri verilmiştir. Tunçbilek Beke ocağı G panosundan alınan masif marn kaya örneklerine MM1 ve H panosundan alınan masif marn kaya örneklerine MM2

olarak kodlanmıştır. Sembollerin yanındaki sayısal değerler ise deney gruplarında kullanılan her bir temsili küre deney örneğinin kütle ağırlığını temsil etmektedir. Deney gruplarının kütleleri ve boyutları Tablo 3’de verilmiştir. Her bir deney grubu, eş boyutlu veya kütleli küre deney örneklerinden meydana gelecek şekilde tamburlara doldurulmuş ve SDI deneyleri yapılmıştır. Ancak SDI deneylerinde temsili deney örneklerinin tamburlara dengeli (farklı boyutlu ve kütleli) dağılım halinde doldurulması durumu irdelenmemiştir.

Standartlarda ve literatürde çevrim sayısı 2 ile 13 arasında değişen SDI deneyleri uygulanmıştır. Bu çalışmalarda çevrim sayısı ile ilgili herhangi bir istatistiksel kestirim yapılmamıştır. Bu çalışmada her bir deney grubu 25 çevrimlik SDI deneyine tabi tutulmuştur. Çevrim sayısı kestirimi için, çevrim sonrası meydana gelen kütle kaybı (tambur elek altına geçen miktar veya dağılım) miktarları hesaplamalarda kullanılmıştır. Başka bir çalışmaya ait Tunçbilek Linyit İşletmesi 48 nolu panosundan alınmış masif marn kaya örneği üzerinde 12 çevrimlik SDI deneylerinin [49] kütle kaybı miktarları tahmini çevrim sayısı belirlenmesinde kullanılmıştır (Tablo 4). Çevrim sayısı %5 hata payı ($\alpha=0,05$) ile aşağıdaki eşitlik kullanılarak tahmin edilmiştir (Eş. 1, Eş. 2) [53]. Küre deney grubunda tahmini çevrim sayısı yaklaşık 13 ve yuvarlak deney grubunda yaklaşık 5 bulunmuştur (Tablo 4). İstatistiksel anlamı kuvvetlendirmek için, bu çalışmada 15 SDI deney grubu üzerinde 25 çevrimlik SDI deneyleri yapılmasına karar verilmiştir. Yuvarlak deney grubunda mekanik parçalanmadan dolayı SDI değerleri küre deney gruplarına göre düşük çıktığı için, yuvarlak deney grubu üzerinde 25 çevrimlik SDI deneyleri yapılmamıştır. Yuvarlak deney grubunun tahmini çevrim sayısı sadece bilgilendirmek amacıyla verilmiştir.

$$N = \frac{Z}{\alpha} \times \sqrt{\frac{n \times \sum_{i=1}^{12} X_i^2 - (\sum_{i=1}^{12} X_i)^2}{\sum_{i=1}^{12} X_i}} \quad (1)$$

$$N = 39,2 \times \sqrt{\frac{n \times \sum_{i=1}^{12} X_i^2 - (\sum_{i=1}^{12} X_i)^2}{\sum_{i=1}^{12} X_i}} \quad (2)$$

Burada;

- N : Tahmini çevrim sayısı
 Z : Yığımlı normal olasılık dağılım tablo değeri
 α : Hata payı ($\alpha=0,1$ (%10); 0,05 (%5); 0,01 (%1) için Z sırasıyla 1,645; 1,96; 2,58)
 n : Yapılan çevrim sayısı (n=12)
 X_i : Çevrimlerdeki kütle kaybı miktarı (gram)

2.3. Marn Kaya Örnekleri Üzerinde Yapılan 25 Çevrimlik SDI Deneyleri

(25-Cycles SDI Tests on Marl Rock Samples)

Seyitömer Linyit İşletmesi Höyük Pano ve GLİ Tunçbilek İşletmesi Beke Ocağı G ve H panolarından alınmış olan lamine ve masif marn kaya blokları üzerinde SDI deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada marn kaya bloklarından temsili küre deney örneklerinin boyutu ve ağırlığı eşit olacak şekilde her biri 40, 45, 50, 55 ve 60 gramlık, 15 deney grubu hazırlanmıştır. Her bir deney grubuna 25 çevrimlik SDI deneyi uygulanmıştır.

GLİ Tunçbilek Linyit İşletmesi Beke ocağı G panosundan alınan masif marn (MM1) bloğundan hazırlanan her biri eş boyutlu ve kütleli temsili küre deney örneklerinden meydana gelen 5 deney grubu üzerinde 25 çevrimlik SDI deneyleri yapılmıştır (Tablo 5). İndeks değerleri arasındaki fark en fazla 25’nci çevrim sonunda %1,02 hesaplanmıştır.

Farklı boyut ve kütleye sahip temsili küre deney örneklerinden oluşan deney gruplarının SDI değerleri uyumlu olduğu görülmüştür. Ayrıca SDI değerleri arasındaki korelasyon %99’un üzerinde bulunmuştur. Temsili küre deney örnekleri 25 çevrim sonunda geometrik şekillerini de korumuşlardır (Şekil 1).

Tablo 3. Deney gruplarının ortalama çapı ve toplam sabit kütle ağırlıkları (Average diameters and constant mass of the test groups)

Deney grubu	Deney grubundaki deney örneklerinin		Açıklama
	Ortalama çap (mm)	Toplam ağırlık (gr)	
MM1_40	33,20	403,8	Tunçbilek-G pano-Masif Marn
MM1_45	34,10	451,9	Tunçbilek-G pano-Masif Marn
MM1_50	35,52	503,0	Tunçbilek-G pano-Masif Marn
MM1_55	36,76	551,3	Tunçbilek-G pano-Masif Marn
MM1_60	37,78	600,7	Tunçbilek-G pano-Masif Marn
MM2_40	32,08	402,8	Tunçbilek-H pano-Masif Marn
MM2_45	33,50	452,8	Tunçbilek-H pano-Masif Marn
MM2_50	34,84	500,6	Tunçbilek-H pano-Masif Marn
MM2_55	35,79	548,8	Tunçbilek-H pano-Masif Marn
MM2_60	36,87	599,8	Tunçbilek-H pano-Masif Marn
LM_40	40,85	404,2	Seyitömer-Höyük pano-Lamine Marn
LM_45	41,63	438,7	Seyitömer-Höyük pano-Lamine Marn
LM_50	42,91	515,0	Seyitömer-Höyük pano-Lamine Marn
LM_55	44,24	573,5	Seyitömer-Höyük pano-Lamine Marn
LM_60	45,66	592,7	Seyitömer-Höyük pano-Lamine Marn

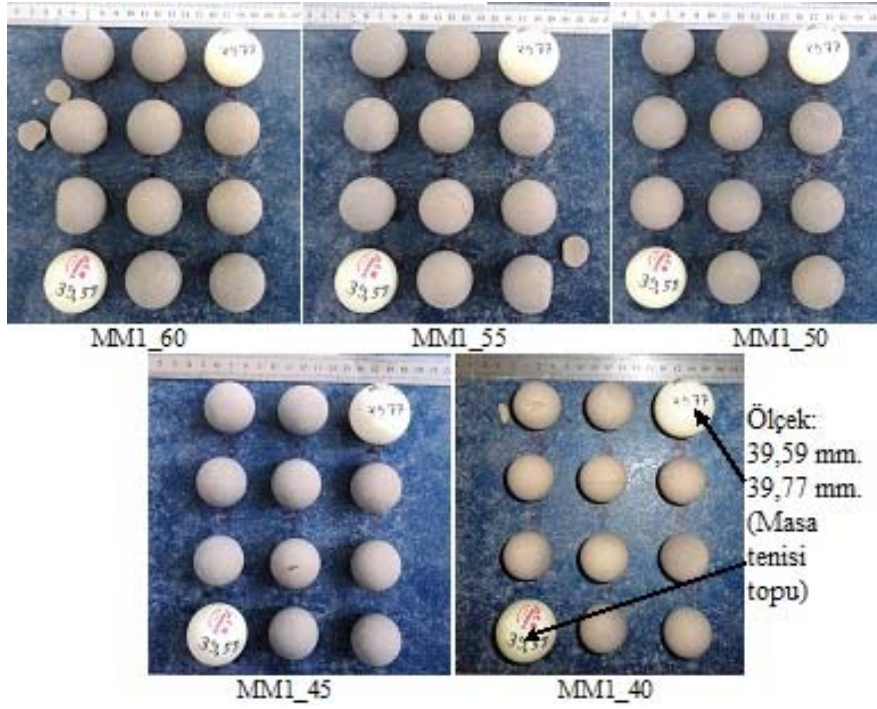
Tablo 4. Tunçbilek 48 nolu pano masif marn kaya örneği üzerinde tahmini çevrim sayısı
(Estimated number of cycle on massive marl in Tunçbilek panel-48)

Çevrim	Kütle Kaybı (gr)		SDI Değerleri (%)		SDI Farkları
	Küre	Yuvarlak	Küre	Yuvarlak	
1	2,10	2,80	99,60	99,45	0,15
2	1,40	2,70	99,33	98,93	0,40
3	1,10	2,40	99,12	98,46	0,66
4	1,00	2,20	98,93	98,03	0,90
5	0,70	2,00	98,80	97,64	1,16
6	1,20	2,50	98,57	97,15	1,42
7	0,90	2,60	98,40	96,65	1,75
8	1,20	2,50	98,17	96,16	2,01
9	0,90	2,30	98,00	95,71	2,39
10	1,00	2,10	97,81	95,30	2,51
11	0,90	2,00	97,64	94,91	2,73
12	0,90	2,10	97,47	94,50	2,97
$\sum_{i=1}^{12} X_i$	13,30	28,20			
$\sum_{i=1}^{12} X_i^2$	16,19	67,10			
$(\sum_{i=1}^{12} X_i)^2$	176,89	795,24			
N	≈13	≈5			

Tablo 5. Masif marn (MM1) kaya örneğinin SDI değerleri (SDI values of the massive marl rock samples (MM1))

İndeksler	Örnek Grupları İndeks değerleri (%)					İndeks farkları*
	MM1 60	MM1 55	MM1 50	MM1 45	MM1 40	
Id1	99,35	99,31	99,34	99,38	99,33	0,07
Id2	98,85	98,82	98,89	98,85	98,89	0,07
Id3	98,42	98,46	98,79	98,52	98,54	0,37
Id4	98,07	98,17	98,59	98,21	98,19	0,52
Id5	97,73	97,84	97,99	97,96	97,89	0,26
Id6	97,5	97,6	97,67	97,74	97,57	0,24
Id7	97,25	97,37	97,42	97,46	97,33	0,21
Id8	97,12	97,13	97,24	97,23	97,08	0,16
Id9	96,84	96,93	96,98	97,06	96,78	0,28
Id10	96,64	96,77	96,76	96,84	96,53	0,30
Id11	96,42	96,59	96,56	96,61	96,29	0,33
Id12	96,24	96,46	96,38	96,39	96,14	0,32
Id13	95,97	96,39	96,18	96,19	95,86	0,53
Id14	95,79	96,37	95,98	95,99	95,62	0,75
Id15	95,6	95,88	95,81	95,77	95,37	0,51
Id16	95,35	95,63	95,63	95,62	95,15	0,48
Id17	95,17	95,45	95,45	95,40	94,87	0,58
Id18	94,97	95,3	95,25	95,22	94,65	0,65
Id19	94,79	95,07	95,05	94,98	94,48	0,59
Id20	94,62	94,85	94,87	94,78	94,23	0,64
Id21	94,37	94,67	94,69	94,58	93,96	0,73
Id22	94,14	94,48	94,51	94,40	93,73	0,78
Id23	93,92	94,3	94,41	94,22	93,49	0,93
Id24	93,71	94,12	94,19	94,00	93,26	0,93
Id25	93,47	93,94	94,02	93,83	92,99	1,02
Korelasyon	r=0,995	r=0,994	r=0,992	r=0,996	r=0,997	

*Çevrimlerdeki en yüksek ve en düşük indeks değerleri arasındaki farklar.



Şekil 1. MM1 deney gruplarının 25'nci çevrim sonrası görünüşü (The photos after 25th cycle of MM1 test groups)

GLİ Tunçbilek Linyit İşletmesi Beke ocağı H panosundan alınan masif marn (MM2) bloğundan hazırlanan her biri eş boyutlu ve kütleli temsili küre deney örneklerinden meydana gelen 5 deney grubu üzerinde 25 çevrimlik SDI deneyleri yapılmıştır (Tablo 6). İndeks değerleri arasındaki en fazla fark 25'nci çevrim sonunda %1,25 hesaplanmıştır. Farklı boyut ve kütleyle sahip temsili küre deney örneklerinden oluşan deney gruplarının indeks değerleri, MM2_45 ve MM2_40 grupları hariç, uyumlu olduğu görülmüştür. Ayrıca SDI değerleri arasındaki korelasyon %99'un üzerinde bulunmuştur. Temsili küre deney örnekleri 25'nci çevrim sonunda geometrik şekillerini korumuşlardır (Şekil 2).

Seyitömer Linyit İşletmesi Höyük panodan alınan laminalı marn (LM) bloğundan hazırlanan her biri eş boyutlu ve kütleli temsili küre deney örneklerinden meydana gelen 5 deney grubu üzerinde 25 çevrimlik SDI deneyleri yapılmıştır (Tablo 7). İndeks değerleri arasındaki en fazla fark 25'nci çevrim sonunda %5,59 hesaplanmıştır. Farklı boyut ve kütleyle sahip temsili küre deney örneklerinden oluşan deney gruplarının indeks değerleri, LM_60 ve LM_50 grupları hariç, uyumlu olduğu görülmüştür. Ayrıca SDI değerleri arasındaki korelasyon %99'un üzerinde bulunmuştur. Temsili küre deney örnekleri 25'nci çevrim sonunda birbirinden farklı parçalanma biçimleri göstermiştir (Şekil 3). Deney gruplarında, çevrim sayısı ile SDI indeks değeri arasındaki korelasyon katsayısı %99'un ($r=0,99$) üzerinde çıkmıştır. Tunçbilek 48 nolu panodan alınan masif marn kaya örneğinden hazırlanan yuvarlak ve küre deney gruplarının Id_{12} indeks değerleri arasındaki farkı %2,97 bulunmuştur. MM1 Küre deney gruplarında Id_{12} indeks farkı %0,32 ve MM2 Id_{12} indeks farkı %0,85 hesaplanmıştır. Küre deney gruplarındaki SDI değerlerinin değişkenlik

göstermediği ve uyumlu olduğu söylenebilir. Ancak deney gruplarının çevrimlerdeki kütle kaybı miktarlarının da istatistiksel olarak değişkenlik göstermemesi gerekmektedir. Bu durum istatistiksel kalite kontrol grafiklerinden ortalama kontrol grafiği üzerinde yorumlanmıştır.

2.4. SDI deneylerindeki Kütle Kayıplarının Ortalama Kontrol (OK) Grafiklerinde Yorumlanması (Interpretation of Mass Losses in SDI Tests Using Mean Control (OK) Charts)

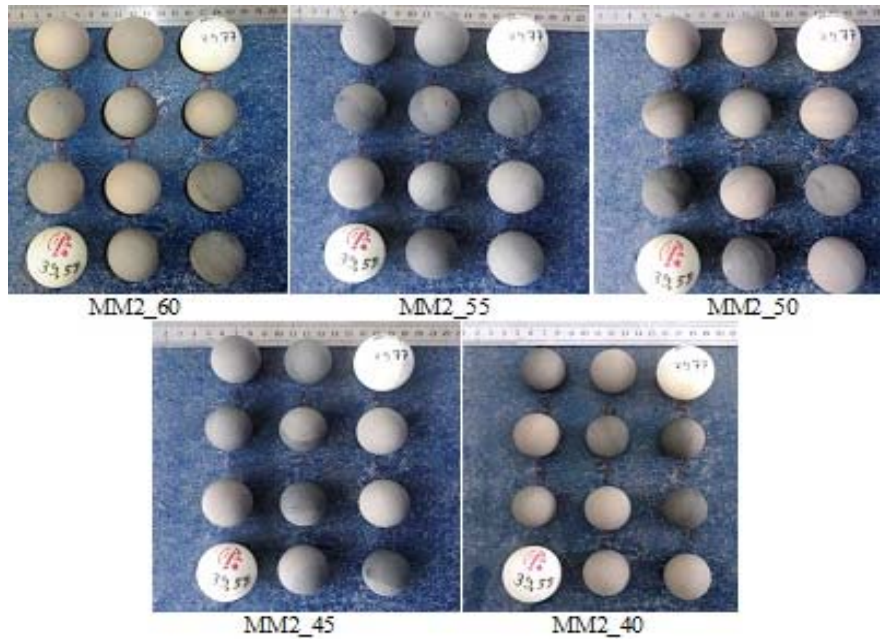
Laminalı ve tabakalanma göstermeyen masif yapılu kayalar üzerinde yapılan SDI deneylerinde köşeli, az köşeli, az yuvarlak ve yuvarlak deney örnek parçalarından oluşturulan deney gruplarının Id_2 indeks değerlerinde %3-25 aralığında farklar bulunmuştur. Tabakalanma gösteren marnlar üzerinde yapılan SDI deneyleri sonucunda, Id_2 indeks değerleri arasındaki farkın %18,42 çıkmıştır [33]. Bu çalışmada masif marn (MM1 ve MM2) kaya örnekleri üzerinde yapılan SDI deneylerinin Id_2 indeks değerleri arasındaki fark sırasıyla %0,07 ve %0,31 bulunmuştur.

Laminalı marn (LM) kaya örneğinde Id_2 değerleri arasındaki fark %4,63 belirlenmiştir. Temsili deney örnek parçalarının köşegenliği ve yüzey pürüzlülüğü SDI indeks değerleri üzerinde etkili olduğundan dolayı, deney örnek parçalarının küre şekilli olması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Masif marn ve laminalı marn kaya örnekleri üzerinde yapılan 25 çevrimlik deneyler sonunda elde edilen indeks değerleri birbirine uyumlu gözükmesine rağmen, Id_2 veya Id_4 veya çoklu çevrim sonunda elde edilen hangi indeks değerinin mühendislik hesaplamalarında kullanılması hususu tartışılmalıdır [12, 50, 56].

Tablo 6. Masif marn (MM2) kaya örneğinin SDI değerleri (SDI values of the massive marl rock samples (MM2))

İndeksler	Örnek Grupları İndeks değerleri (%)					İndeks farkları*
	MM2_60	MM2_55	MM2_50	MM2_45	MM2_40	
Id1	99,70	99,74	99,76	99,65	99,58	0,18
Id2	99,47	99,56	99,54	99,40	99,25	0,31
Id3	99,27	99,42	99,36	99,23	99,03	0,39
Id4	99,12	99,27	99,22	99,03	98,86	0,41
Id5	98,98	99,14	99,12	98,89	98,68	0,46
Id6	98,87	99,02	99,00	98,74	98,51	0,51
Id7	98,72	98,89	98,84	98,59	98,29	0,60
Id8	98,62	98,81	98,78	98,50	98,14	0,67
Id9	98,48	98,71	98,64	98,34	97,94	0,77
Id10	98,38	98,61	98,56	98,25	97,84	0,77
Id11	98,28	98,54	98,46	98,12	97,74	0,80
Id12	98,18	98,47	98,36	98,01	97,62	0,85
Id13	98,05	98,34	98,23	97,86	97,47	0,87
Id14	97,96	98,25	98,17	97,75	97,37	0,88
Id15	97,90	98,12	98,09	97,59	97,22	0,90
Id16	97,78	98,05	97,97	97,48	97,09	0,96
Id17	97,68	97,94	97,87	97,35	96,97	0,97
Id18	97,56	97,85	97,75	97,24	96,85	1,00
Id19	97,50	97,79	97,67	97,15	96,75	1,04
Id20	97,43	97,72	97,61	97,04	96,62	1,10
Id21	97,33	97,63	97,51	96,93	96,52	1,11
Id22	97,23	97,54	97,41	96,80	96,40	1,14
Id23	97,15	97,47	97,33	96,71	96,28	1,19
Id24	97,08	97,38	97,25	96,60	96,15	1,23
Id25	96,98	97,28	97,15	96,49	96,03	1,25
Korelasyon	r=0,993	r=0,996	r=0,996	r=0,997	r=0,993	

*Çevrimlerdeki en yüksek ve en düşük indeks değerleri arasındaki farklar.

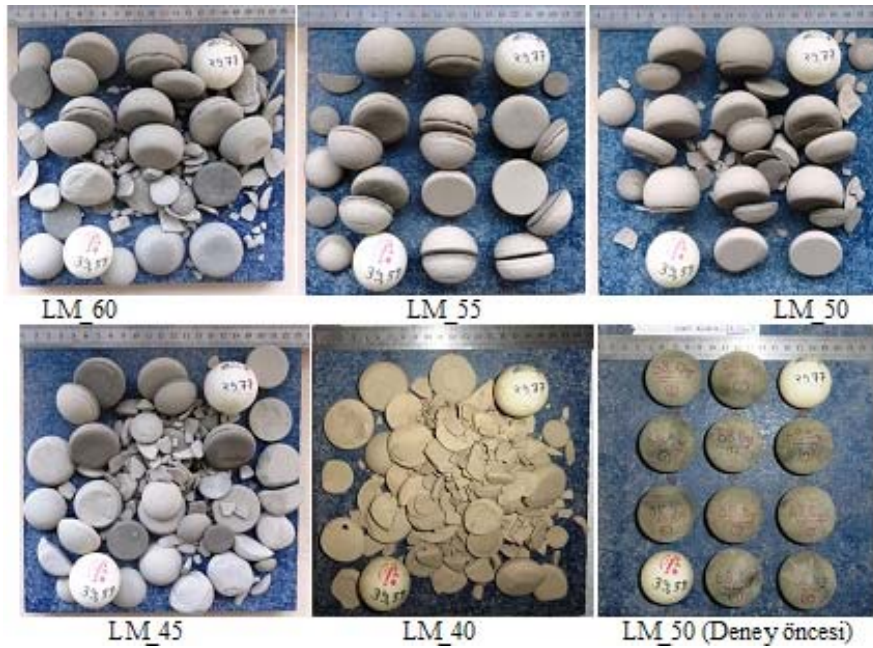


Şekil 2. MM2 deney gruplarının 25'nci çevrim sonrası görünüşü (The photos after 25th cycle of MM2 test groups)

Tablo 7. Laminalı marn (LM) kaya örneğinin SDI değerleri (SDI values of the laminated marl rock samples (LM))

İndeksler	Örnek Grupları İndeks değerleri (%)					İndeks farkları*
	LM 60	LM 55	LM 50	LM 45	LM 40	
Id1	99,83	95,2	96,08	99,54	97,55	4,63
Id2	99,16	94,49	95,36	98,61	96,58	4,67
Id3	98,56	93,74	94,81	97,72	95,79	4,82
Id4	98,08	93,13	94,41	96,94	95,08	4,95
Id5	97,59	92,57	94,04	96,12	94,31	5,02
Id6	97,13	91,89	93,51	95,44	93,76	5,24
Id7	96,74	91,21	92,91	94,80	92,97	5,53
Id8	96,2	90,67	92,47	94,07	92,38	5,53
Id9	95,7	90,13	92,02	93,37	91,76	5,57
Id10	95,22	89,71	91,67	92,66	91,29	5,51
Id11	94,7	89,28	91,30	91,93	90,70	5,42
Id12	94,23	88,82	90,95	91,20	90,18	5,41
Id13	93,84	88,4	90,60	90,65	89,36	5,44
Id14	93,37	87,93	90,21	90,01	88,72	5,44
Id15	92,88	87,51	89,84	89,33	88,25	5,37
Id16	92,39	87,1	89,46	88,74	87,55	5,29
Id17	91,9	86,69	89,14	88,12	87,06	5,21
Id18	91,46	86,29	88,83	87,51	86,39	5,17
Id19	90,9	85,89	88,48	86,85	85,90	5,01
Id20	90,4	85,44	88,12	86,12	85,15	5,25
Id21	89,94	85,04	87,79	85,48	84,64	5,3
Id22	89,44	84,62	87,42	84,79	84,02	5,42
Id23	88,91	84,24	87,11	84,16	83,50	5,41
Id24	88,39	83,8	86,70	83,52	82,85	5,54
Id25	87,9	83,4	86,37	82,88	82,31	5,59
Korelasyon	r=0,999	r=0,995	r=0,996	r=0,999	r=0,999	

*Çevrimlerdeki en yüksek ve en düşük indeks değerleri arasındaki farklar.



Şekil 3. LM deney gruplarının 25'nci çevrim sonrası görünüşü (The photos after 25th cycle of LM test groups)

Çevrimler sonrasında SDI değerleri tamburda en son kalan malzeme miktarının deneyin başlangıcındaki malzeme miktarına oranı şeklinde hesaplanmaktadır [5]. Bu durumda çevrimler arasında oluşan kütle kaybı (Tambur eleğinden geçen malzeme veya dağılma) miktarları dikkate alındığında, arta kalan malzeme miktarına göre indeks değerleri elde edilmektedir. Bunun için indeks değerleri arasındaki uyum ile birlikte, çevrimlerdeki kütle kayıplarının uyumu da grafiksel olarak yorumlanması gerekmektedir. Üç kaya örneğine ait deney gruplarının çevrimlerdeki kütle kaybı miktarları kendi aralarında kıyaslanmalı ve sonra istatistiksel olarak yorumlanmalıdır.

MM1 kaya bloğuna ait temsili küre deney örnekleri üzerinde yapılan 25 çevrimlik SDI deneyleri sonunda meydana gelen kütle kayıpları Tablo 8’de verilmiştir. İlk çevrimlerde meydana gelen kütle kaybı miktarları daha yüksek olduğu görülmüştür. MM2 kaya bloğuna ait temsili küre deney örnekleri üzerinde yapılan 25 çevrimlik SDI deneyleri sonunda meydana gelen kütle kayıpları Tablo 9’da verilmiştir. İlk 3 çevrimde meydana gelen kütle kaybı miktarları diğer çevrimlere göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

LM kaya bloğuna ait temsili küre deney örnekleri üzerinde yapılan 25 çevrimlik SDI deneyleri sonunda meydana gelen kütle kayıpları Tablo 10’da verilmiştir. İlk çevrimlerde kütle

kayı miktarları diğer çevrimlere göre daha düzensiz olduğu görülmüştür. Üç kaya örneği üzerinde yapılan 25 çevrimlik SDI deneyleri sonunda, ilk çevrimlerdeki kütle kaybı miktarlarının diğer çevrimlere göre uyumsuzluk gösterdiği belirlenmiştir. Bu durumu belirlemek için, SDI deney gruplarında gözlenen kütle kayıplarının saçılımı ve sınırları, istatistiksel ortalama kontrol (OK) grafikleri üzerinde işaretlenmiş ve yorumlanmıştır. Her bir deney grubu için, çevrimlerdeki kütle kayıplarında meydana gelen sapmaların irdelenmesinde, ortalama kontrol (OK) grafiklerinin etkin bir istatistiksel araç olduğu da görülmüştür. Öncelikle kütle kaybı miktarlarına bağlı her bir deney grubunun ortalama değer (μ) ve standart sapma (σ) parametreleri hesaplanmıştır. Kütle kaybı miktarlarına göre OK grafiklerinin parametreleri; üst kontrol sınırı (ÜKS), ortalama değer (ORT) ve alt kontrol sınırı (AKS) belirlenmiştir. Daha sonra her bir grup için kütle kayıpları OK grafikleri üzerinde işaretlenmiş ve yorumlanmıştır. Grafik parametreleri $\pm 3\sigma$ için, ortalama değere bağlı olarak aşağıdaki eşitlikler (Eş. 3-5) kullanılmıştır [53-55]. Her bir grubun OK grafik parametreleri Tablo 11’de verilmiştir. LM₆₀ ve LM₄₅ hariç diğer deney gruplarında AKS negatif olduğundan dolayı sıfır kabul edilmiştir.

$$\text{ÜKS}=\mu+3\sigma \quad (3)$$

$$\text{ORT}=\mu \quad (4)$$

Tablo 8. MM1 deney gruplarının kütle kaybı miktarları (The amounts of mass loss in MM1 test groups)

Çevrimler	Örnek Gruplarının Kütle Kaybı Miktarları (gr)						Değişim Aralığı
	MM1 60	MM1 55	MM1 50	MM1 45	MM1 40	Ortalama	
1	3,9	3,8	3,3	2,8	2,7	3,30	1,20
2	3	2,7	2,3	2,4	1,8	2,44	1,20
3	2,6	2	0,5	1,5	1,4	1,60	2,10
4	2,1	1,6	1	1,4	1,4	1,50	1,10
5	2	1,8	3	1,1	1,2	1,82	1,90
6	1,4	1,3	1,6	1	1,3	1,32	0,60
7	1,5	1,3	1,3	1,3	1	1,28	0,50
8	0,8	1,3	0,9	1	1	1,00	0,50
9	1,7	1,1	1,3	0,8	1,2	1,22	0,90
10	1,2	0,9	1,1	1	1	1,04	0,30
11	1,3	1	1	1	1	1,06	0,30
12	1,1	0,7	0,9	1	0,6	0,86	0,50
13	1,6	0,4	1	0,9	1,1	1,00	1,20
14	1,1	0,1	1	0,9	1	0,82	1,00
15	1,1	2,7	0,9	1	1	1,34	1,80
16	1,5	1,4	0,9	0,7	0,9	1,08	0,80
17	1,1	1	0,9	1	1,1	1,02	0,20
18	1,2	0,8	1	0,8	0,9	0,94	0,40
19	1,1	1,3	1	1,1	0,7	1,04	0,60
20	1	1,2	0,9	0,9	1	1,00	0,30
21	1,5	1	0,9	0,9	1,1	1,08	0,60
22	1,4	1	0,9	0,8	0,9	1,00	0,60
23	1,3	1	0,5	0,8	1	0,92	0,80
24	1,3	1	1,1	1	0,9	1,06	0,40
25	1,4	1	0,9	0,8	1,1	1,04	0,60
Toplam	39,2	33,4	30,1	27,9	28,3	$\bar{X}=1,27$	$\bar{R}=0,82$

Tablo 9. MM2 deney gruplarının kütle kaybı miktarları (The amounts of mass loss in MM2 test groups)

Çevrimler	Örnek Gruplarının Kütle Kaybı Miktarları (gr)						Değişim Aralığı
	MM2_60	MM2_55	MM2_50	MM2_45	MM2_40	Ortalama	
1	1,8	1,4	1,2	1,6	1,7	1,54	0,60
2	1,4	1	1,1	1,1	1,3	1,18	0,40
3	1,2	0,8	0,9	0,8	0,9	0,92	0,40
4	0,9	0,8	0,7	0,9	0,7	0,80	0,20
5	0,8	0,7	0,5	0,6	0,7	0,66	0,30
6	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7	0,68	0,10
7	0,9	0,7	0,8	0,7	0,9	0,80	0,20
8	0,6	0,4	0,3	0,4	0,6	0,46	0,30
9	0,8	0,6	0,7	0,7	0,8	0,72	0,20
10	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,46	0,20
11	0,6	0,4	0,5	0,6	0,4	0,50	0,20
12	0,6	0,4	0,5	0,5	0,5	0,50	0,20
13	0,8	0,7	0,7	0,7	0,6	0,70	0,20
14	0,5	0,5	0,3	0,5	0,4	0,44	0,20
15	0,4	0,7	0,4	0,7	0,6	0,56	0,30
16	0,7	0,4	0,6	0,5	0,5	0,54	0,30
17	0,6	0,6	0,5	0,6	0,5	0,56	0,10
18	0,7	0,5	0,6	0,5	0,5	0,56	0,20
19	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,38	0,10
20	0,4	0,4	0,3	0,5	0,5	0,42	0,20
21	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,50	0,20
22	0,6	0,5	0,5	0,6	0,5	0,54	0,10
23	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,44	0,10
24	0,4	0,5	0,4	0,5	0,5	0,46	0,10
25	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,52	0,10
Toplam	18,1	14,9	14,3	15,9	16	$\bar{X}=0,63$	$\bar{R}=0,22$

$$AKS=\mu-3\sigma \quad (5)$$

Burada;

μ : Ortalama değer (aritmetik ortalama)
 σ : Standart sapma

OK grafikleri incelendiğinde, MM2_50 ve LM_45 haricindeki diğer deney gruplarında 1'nci çevrimlerdeki kütle kayıpları kontrol sınırlarının dışına çıkmıştır. LM_60 ve LM_45 hariç, diğer deney gruplarının ilk çevrimlerinde kütle kaybı miktarları yüksek olduğu gözlenmiştir. MM1 deney gruplarının OK grafikleri irdelendiğinde; MM1_60'da 5'nci çevrim, MM1_55'de 5'nci çevrim (14 ve 15'nci çevrim hariç), MM1_50'de 9'ncü çevrim, MM1_45'de 7'nci çevrim, MM1_40'da 6'nci çevrim sonrası kütle kaybı miktarları ORT sınırın altında çıkmıştır (Şekil 4). MM2 deney grubunun grafiklerinde; MM2_60'da 7'nci çevrim, MM2_55'de 15'nci çevrim, MM2_50'de 13'ncü çevrim, MM2_45'de 15'nci çevrim ve MM2_40'da 9'ncü çevrim sonrası kütle kaybı miktarları ORT sınırın altında bulunmuştur (Şekil 5).

LM deney gruplarının OK grafikleri incelendiğinde; LM_60 ve LM_45 deney gruplarında sırasıyla 3'ncü ve 5'nci çevrimler sonrasında kütle kayıpları, ORT sınırın etrafında tabakalanmıştır. Diğer gruplarda 2'nci çevrim sonrası kütle kayıpları genelde ORT sınırının altına inmiştir (Şekil 6).

Masif marn deney gruplarının ÜKS sınırları ve ORT değerleri dikkate alındığında, ilk 3 veya ilk 5 çevrim ile diğer çevrimlerin kütle kayıplarının saçılımı istatistiksel olarak farklı ana kütleleri temsil etmektedir. Laminalı marnlarda ise, LM_45 ve LM_60 deney gruplarında, sırasıyla ilk 3 ve 5'nci çevrim ile sonraki çevrimlerdeki kütle kaybı saçılımı farklı ana kütleleri temsil ettiği söylenebilir. Diğer deney gruplarında ise 1'nci çevrimlerdeki kütle kayıpları ÜKS sınırının çok üzerinde çıkmasından dolayı ana kütleleri temsil etmemektedir. Bu durum 5 deney grubun kütle kaybı ortalamaları için tekrar irdelenmiştir. Bunun için MM1, MM2 ve LM kaya örneklerine ait 5 deney grubunun çevrimlerdeki ortalama (ÇÖ) kütle kaybı miktarları hesaplanmış, kontrol grafikleri tekrar çizilmiş ve yorumlanmıştır. Çevrimlerdeki ortalama kütle kaybı miktarına bağlı olarak, kontrol grafiği parametreleri aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır [53-55]. OK grafiği parametreleri Tablo 12'de verilmiştir.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{25} \bar{x}_i}{25} \quad ; \quad i=1,2,3,\dots,25 \quad (6)$$

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^{25} R_i}{25} \quad (7)$$

$$\text{ÜKS} = \bar{X} + A_2 \times \bar{R} \quad (8)$$

$$GO = \bar{X} \quad (9)$$

Tablo 10. LM deney gruplarının kütle kaybı miktarları (Mass loss amounts in LM test groups)

Çevrimler	Örnek Gruplarının Kütle Kaybı Miktarları (gr)						Değişim Aralığı
	LM 60	LM 55	LM 50	LM 45	LM 40	Ortalama	
1	1	27,5	20,2	2	9,9	12,12	26,50
2	4	4,1	3,7	4,1	3,9	3,96	0,40
3	3,5	4,3	2,8	3,9	3,2	3,54	1,50
4	2,9	3,5	2,1	3,4	2,9	2,96	1,40
5	2,9	3,2	1,9	3,6	3,1	2,94	1,70
6	2,7	3,9	2,7	3	2,2	2,90	1,70
7	2,3	3,9	3,1	2,8	3,2	3,06	1,60
8	3,2	3,1	2,3	3,2	2,4	2,84	0,90
9	3	3,1	2,3	3,1	2,5	2,80	0,80
10	2,8	2,4	1,8	3,1	1,9	2,40	1,30
11	3,1	2,5	1,9	3,2	2,4	2,62	1,30
12	2,8	2,6	1,8	3,2	2,1	2,50	1,40
13	2,3	2,4	1,8	2,4	3,3	2,44	1,50
14	2,8	2,7	2	2,8	2,6	2,58	0,80
15	2,9	2,4	1,9	3	1,9	2,42	1,10
16	2,9	2,4	2	2,6	2,8	2,54	0,90
17	2,9	2,3	1,6	2,7	2	2,30	1,30
18	2,6	2,3	1,6	2,7	2,7	2,38	1,10
19	3,3	2,3	1,8	2,9	2	2,46	1,50
20	3	2,6	1,9	3,2	3	2,74	1,30
21	2,7	2,3	1,7	2,8	2,1	2,32	1,10
22	3	2,4	1,9	3	2,5	2,56	1,10
23	3,1	2,2	1,6	2,8	2,1	2,36	1,50
24	3,1	2,5	2,1	2,8	2,6	2,62	1,00
25	2,9	2,3	1,7	2,8	2,2	2,38	1,20
Toplam	71,7	95,2	70,2	75,1	71,5	$\bar{X}=3,07$	$\bar{R}=2,24$

Tablo 11. Deney gruplarının OK grafiği parametreleri (Parameters of OK charts of test groups)

Deney Grubu	μ	σ	ÜKS	ORT	AKS
MM1_60	1,57	0,70	3,67	1,57	0
MM1_55	1,34	0,78	3,68	1,34	0
MM1_50	1,20	0,68	3,24	1,20	0
MM1_45	1,12	0,49	2,59	1,12	0
MM1_40	1,13	0,40	2,33	1,13	0
MM2_60	0,72	0,33	1,71	0,72	0
MM2_55	0,60	0,24	1,32	0,60	0
MM2_50	0,57	0,23	1,26	0,57	0
MM2_45	0,64	0,26	1,42	0,64	0
MM2_40	0,64	0,30	1,54	0,64	0
LM_60	2,87	0,52	4,43	2,87	1,31
LM_55	3,81	4,98	18,75	3,81	0
LM_50	2,81	3,66	13,79	2,81	0
LM_45	3,00	0,44	4,32	3,00	1,68
LM_40	2,86	1,55	7,51	2,86	0

$$AKS = \bar{X} - A_2 \times \bar{R} \quad (10)$$

\bar{X}_i : Çevrimlerdeki ortalama (ÇO) kütle kaybı miktarları,

\bar{X} : Genel ortalama (GO, Çevrimlerdeki ortalama kütle kayıplarının ortalaması),

R_i : Değişim aralığı (Çevrimlerdeki en fazla kütle kaybı ile en az kütle kaybı arasındaki fark),

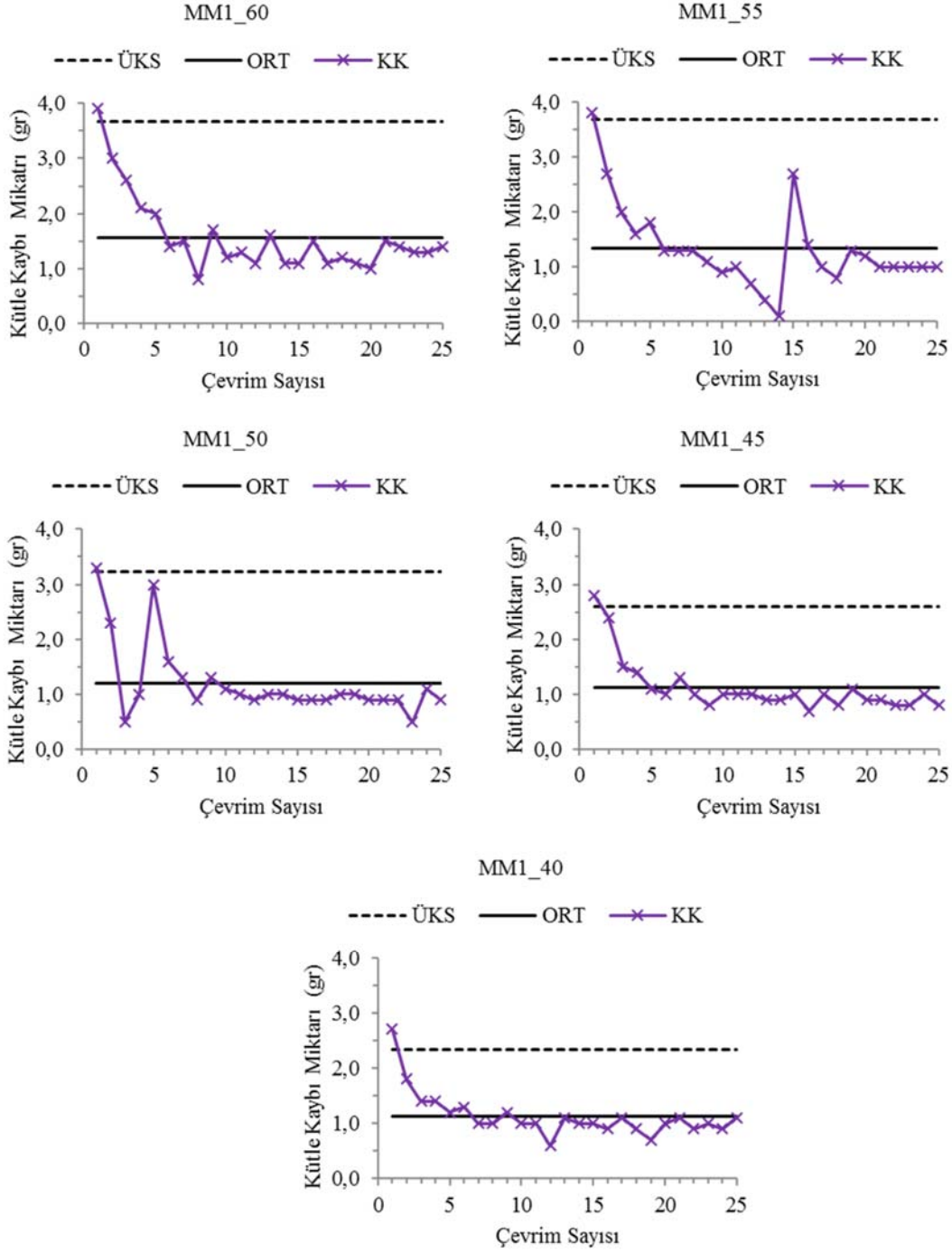
\bar{R} : Ortalama değişim aralığı değeri,

A_2 : Deney grup sayısına göre belirlenen tablo değeri (Deney grup sayısı 5 için A_2 tablo değeri).

Tablo 12. Ortalama kontrol grafiklerinin parametreleri (Parameters of mean control charts)

Deney Grubu	\bar{X}	\bar{R}	ÜKS	GO	AKS	A_2
MM1	1,27	0,82	1,74	1,27	0,80	0,577
MM2	0,63	0,22	0,76	0,63	0,50	0,577
LM	3,07	2,24	4,54	3,07	1,60	0,577

MM1 kaya örneğinden hazırlanan 5 deney grubunun çevrimlerdeki ortalama (ÇO veya \bar{X}) kütle kaybı miktarlarının ortalaması (GO veya \bar{X}) 1,27 gramdır. Çevrim 1, 2 ve 5'de deney gruplarının ÇO kütle kayıpları ÜKS çizgisinin dışındadır. Ayrıca ilk 5 çevrim GO çizgisinin üstünde çıkmıştır. Diğer çevrimlerin kütle kaybı ortalamaları GO civarında veya altındadır (Şekil 7). OK grafiği incelendiğinde, ÇO kütle kaybı miktarlarının saçılımı üç farklı değişkenliği göstermektedir. Birincisi ilk 5 çevrim, ikincisi çevrim 6-9 ve üçüncüsü 10'ncü çevrim sonrası ÇO kütle kayıpları olmak üzere değişkenlik gösteren üç gruba

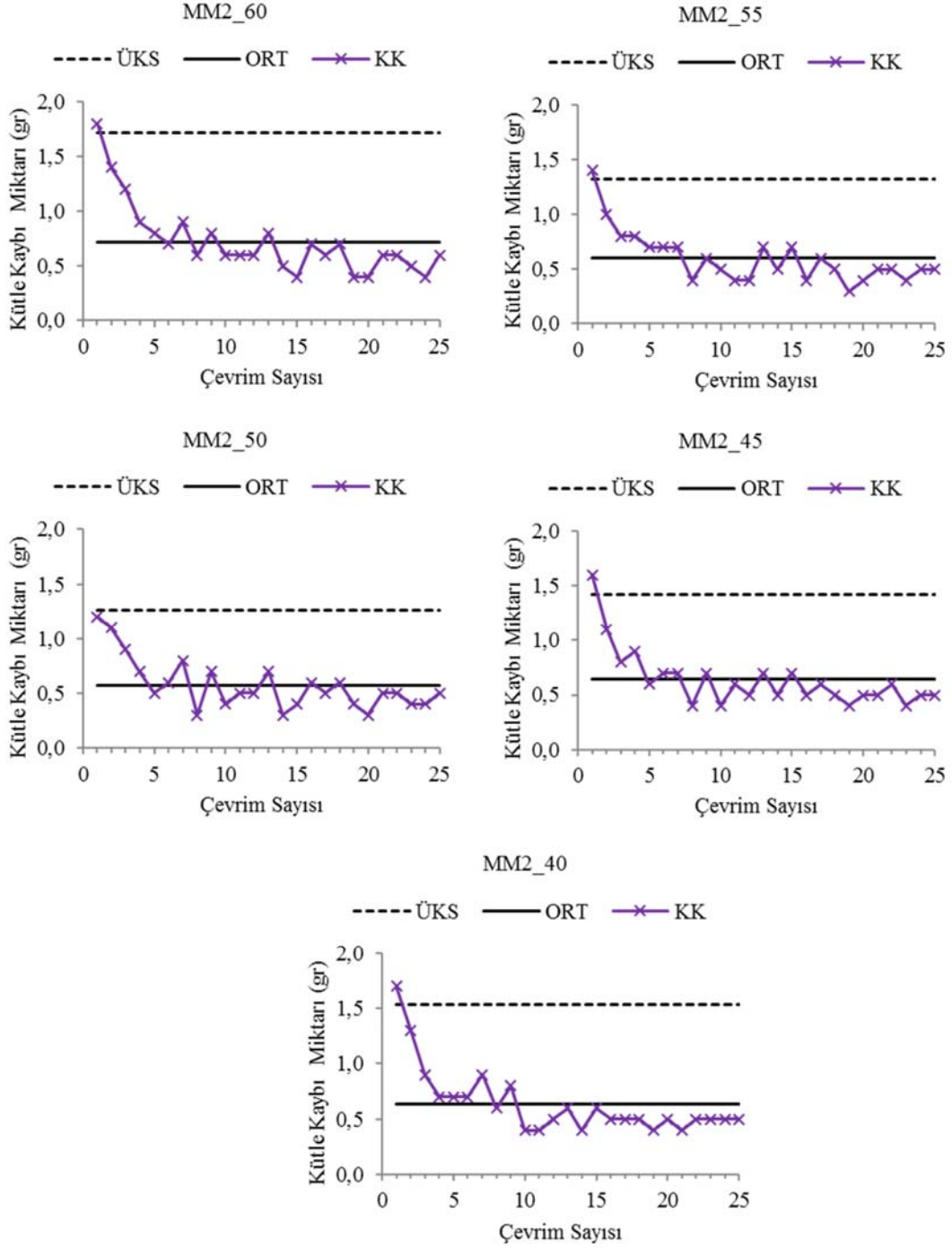


Şekil 4. MM1 deney gruplarının çevrimlerdeki kütle kaybı miktarları (The amounts of mass loss of MM1 test groups in cycles)

ayrılmıştır. Her bir grup farklı ana kütle kabul edilmiştir bu durum için, OK grafiklerine ait parametreler tekrar hesaplanmış ve çizilmiştir (Şekil 8). Birinci grup (MM1G1) OK grafiğinde çevrim 1'deki ÇO kütle kaybı üst kontrol sınırının dışında yer almıştır.

Değişkenlik gösteren ikinci grup (MM1G2) ve üçüncü grup (MM1G3) OK grafikleri incelendiğinde, ÇO kütle kayıpları

kontrol sınırlarının arasında çıkmıştır. MM2 kaya örneğinden hazırlanan 5 deney grubun ortalamalarının ortalaması olan GO kütle kaybı miktarı 0,63 gram hesaplanmıştır. İlk 4 çevrim ve 7'nci çevrim ÜKS dışındadır. Diğer çevrimlerde, 7 çevrimin ÇO kütle kaybı miktarları AKS altına inmiştir. OK grafiği incelendiğinde, deney gruplarının ÇO kütle kaybı miktarları üç farklı değişkenlik göstermiştir (Şekil 9). Birincisi ilk 7 çevrim, ikincisi çevrim

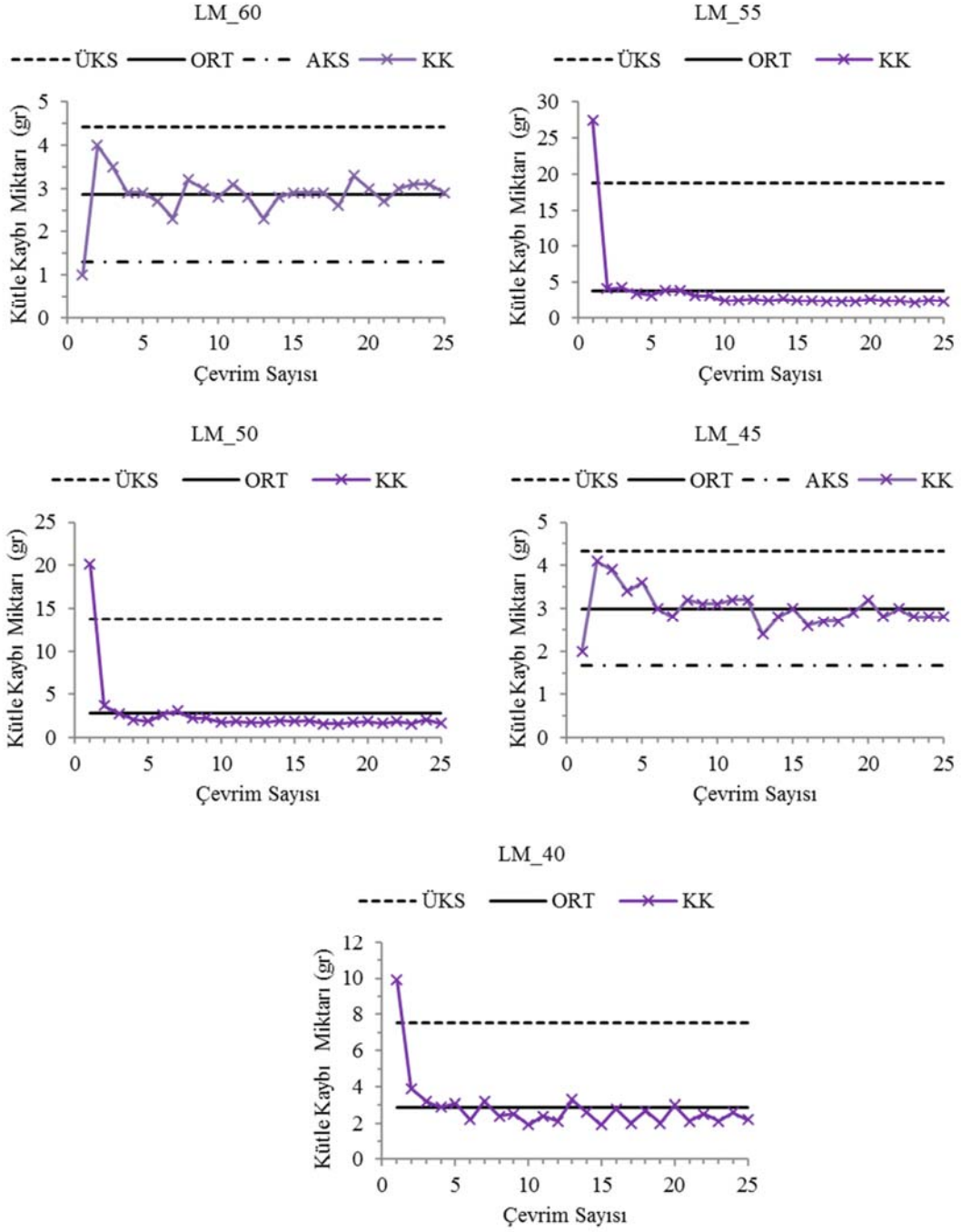


Şekil 5. MM2 deney gruplarının çevrimlerdeki kütle kaybı miktarları (The amounts of mass loss of MM2 test groups in cycles)

8-13 arası ve üçüncüsü çevrim 13 sonrası ÇO kütle kaybı olmak üzere değişkenlik gösteren üç gruba ayrılmıştır. Bu üç grup için OK grafiği parametreleri ayrı ayrı tekrar hesaplanmış ve çizilmiştir (Şekil 10). Birinci grup (MM2G1) OK grafiği incelendiğinde, 1'nci ve 2'nci ÇO kütle kaybı miktarları ÜKS dışındadır. İkinci grup (MM2G2) OK grafiğinde, 9'ncü ve 13'ncü çevrimin ÇO kütle kaybı miktarları ÜKS dışında yer almıştır. Üçüncü grupta

(MM2G3), çevrim 19 hariç tüm çevrimlerin ÇO kütle kaybı miktarları kontrol sınırları arasında çıkmıştır.

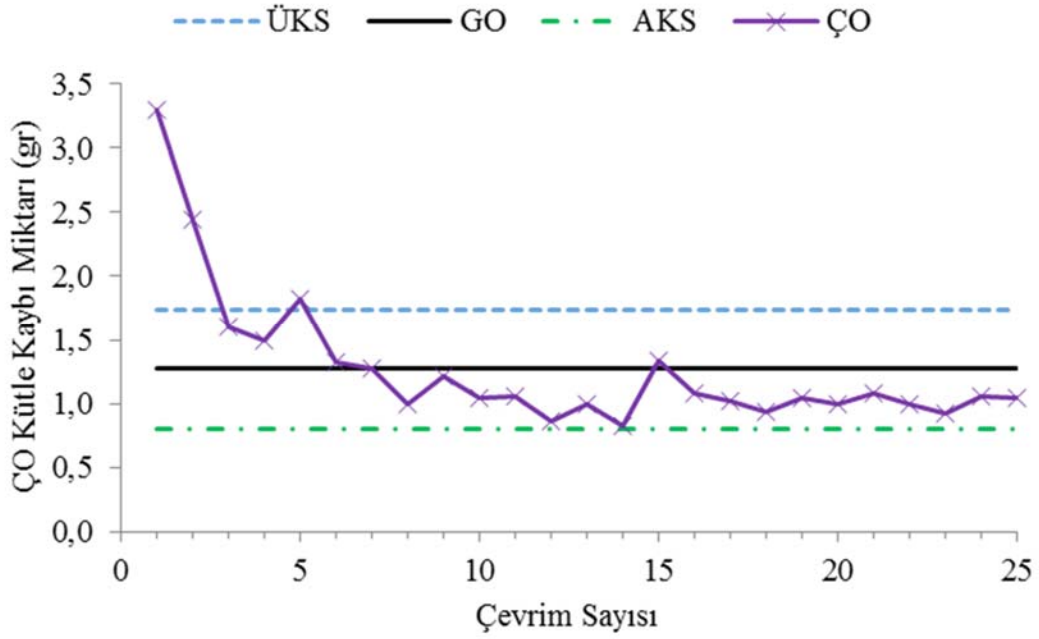
LM kaya örneğinde 5 deney grubun ortalamalarının ortalaması olan genel ortalama (GO) kütle kaybı miktarı 3,07 gram hesaplanmıştır. İlk çevrim ÜKS dışındadır. Çevrim 2 ve 3 hariç, diğer çevrimlerin ÇO kütle kayıpları GO çizgisinin altında yer almıştır (Şekil 11). OK grafiği



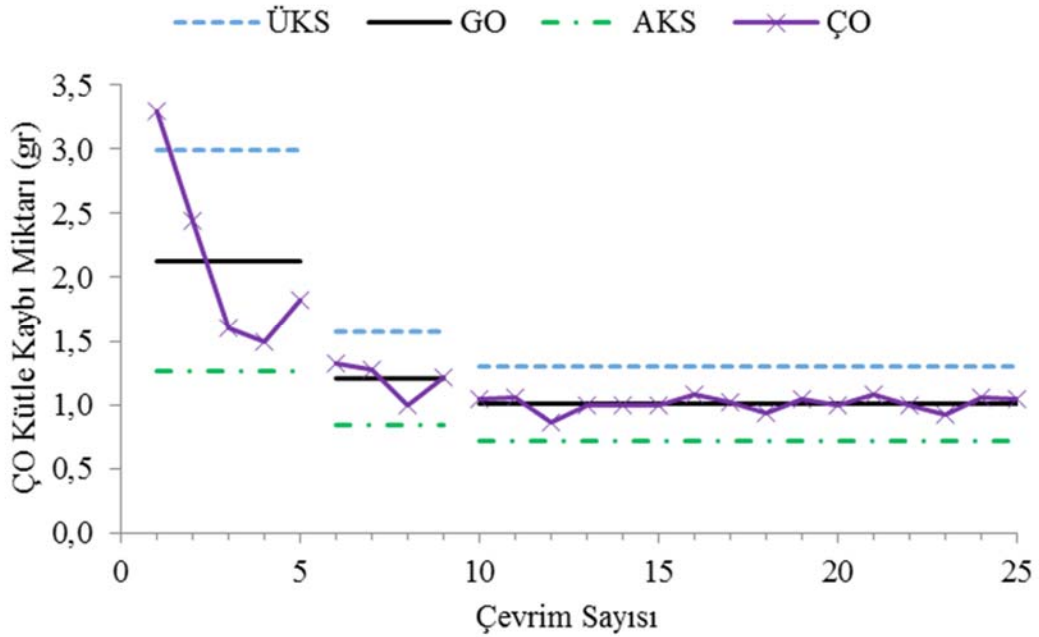
Şekil 6. LM deney gruplarının çevrimlerdeki kütle kaybı miktarları (The amounts of mass loss of LM test groups in cycles)

incelendiğinde, deney gruplarında ÇO kütle kayıpları üç farklı değişkenlik göstermiştir. Birincisi ilk 3 çevrim, ikincisi çevrim 4-9 aralığı ve üçüncüsü çevrim 9 sonrası ÇO kütle kaybı miktarları olmak üzere değişkenlik gösteren üç gruba ayrılmıştır (Şekil 12). Birinci grup (LMG1) OK grafiğinde 1'nci çevrimin ÇO kütle kaybı üst kontrol sınırının dışında bulunmuştur. İkinci grup (LMG2) ve üçüncü grup (LMG3) OK grafiklerinde, ÇO kütle kaybı miktarları kontrol sınırlarının arasında olmasına rağmen GO çizgisi etrafında tabakalanmıştır.

Masif marn kaya örneklerinin SDI deneylerinde ilk 2 ve 4 çevrimin ÇO kütle kaybı miktarları ÜKS dışında yer almıştır. Ayrıca MM1 kaya örneğinde ilk 5 ve MM2 kaya örneğinde ilk 7 çevrimdeki ÇO kütle kaybı miktarları diğer çevrimlere göre de yüksek bulunmuştur. İlk 2 veya 4 çevrim sonunda hesaplanacak SDI değerleri olması gerekenden daha küçüktür. Laminalı marn kaya örneğinin 1'nci çevrimin ÇO kütle kaybı miktarı çok yüksek bulunmuştur. Bu durum ince kil tabakaların ilk çevrimde dağılması sonucu meydana gelmiştir.



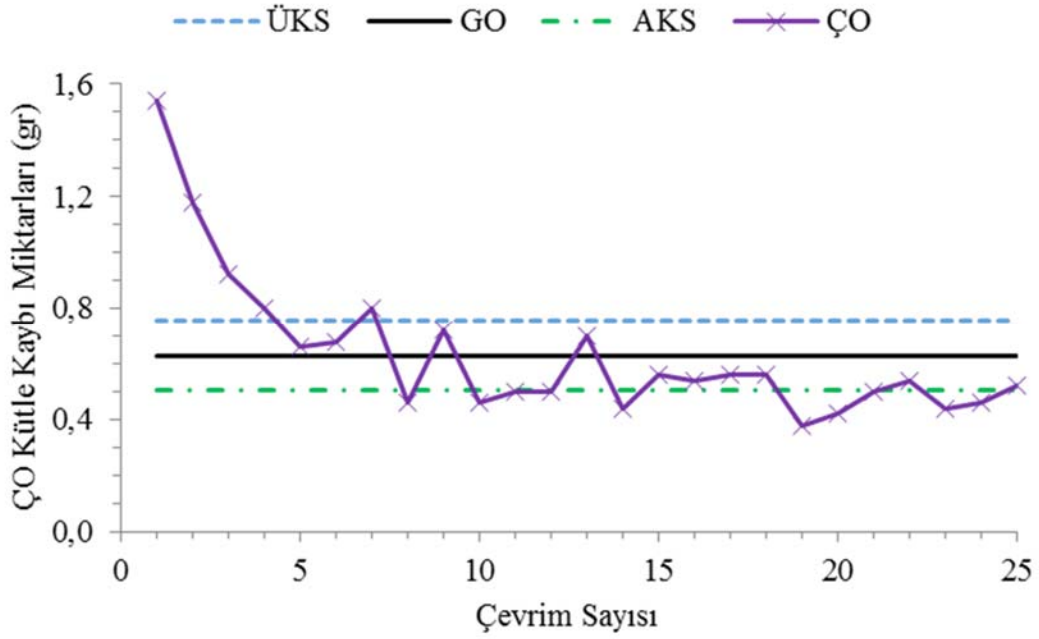
Şekil 7. MM1 kaya örneği için ÇO kütle kaybı miktarlarının OK grafiği
(Mean control chart of ÇO mass loss amounts for MM1 rock samples)



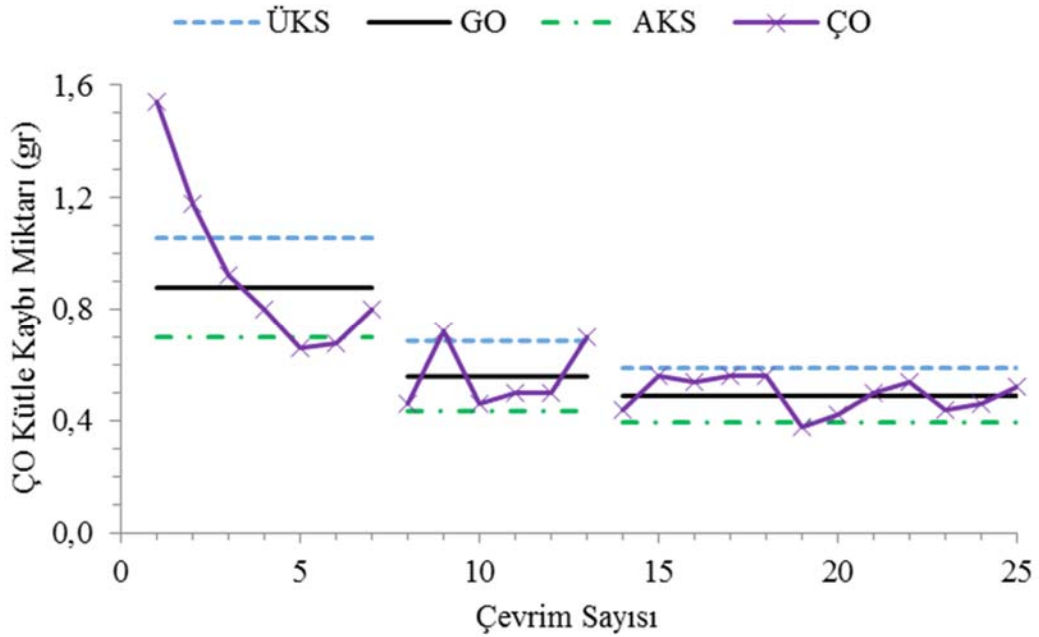
Şekil 8. MM1G1, MM1G2 ve MM1G3 ortalama kontrol grafiği (Mean control chart of MM1G1, MM1G2 and MM1G3)

Üç kaya örneğinin SDI deneylerinin kuruma-ıslanma çevrimlerinde, ÇO kütle kaybı miktarları bakımından üç farklı değişkenlik gösterdiği OK grafiklerinde belirlenmiştir. SDI deneylerinde çevrim 1-25 arasındaki ÇO kütle kaybı miktarları bakımından tahmini çevrim sayısı tekrar hesaplanmıştır. MM1 ve MM2 kaya örneği için 17 çevrim ve LM kaya örneği için 25 çevrim kestirimi yapılmıştır. OK

grafiklerince belirlenen birinci grupların ÇO kütle kaybı miktarlarına göre tahmini çevrim sayısı MM1 ve MM2 için 13 ve LM için 25 olarak hesaplanmıştır. SDI deney gruplarının çevrim sayısı istatistiksel olarak OK grafiklerinin oluşturulması için yeterli olduğu görülmüştür. Birinci değişkenlik gösteren gruplar hariç, diğer grupların ÇO kütle kaybı miktarları dikkate alındığı zaman, SDI deneylerindeki



Şekil 9. MM2 kaya örneği için ÇO kütle kaybı miktarlarının OK grafiği
(Mean control chart of ÇO mass loss amounts for MM2 rock samples)

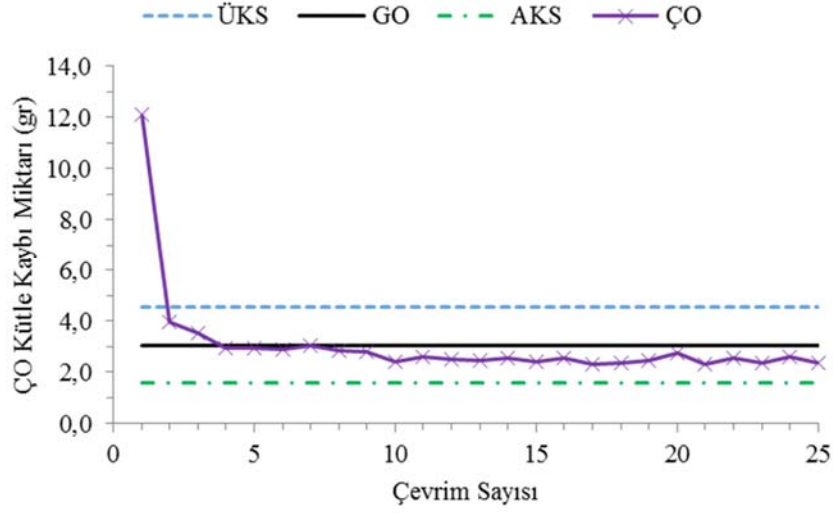


Şekil 10. MM2G1, MM2G2 ve MM2G3 ortalama kontrol grafiği (Mean control chart of MM2G1, MM2G2 and MM2G3)

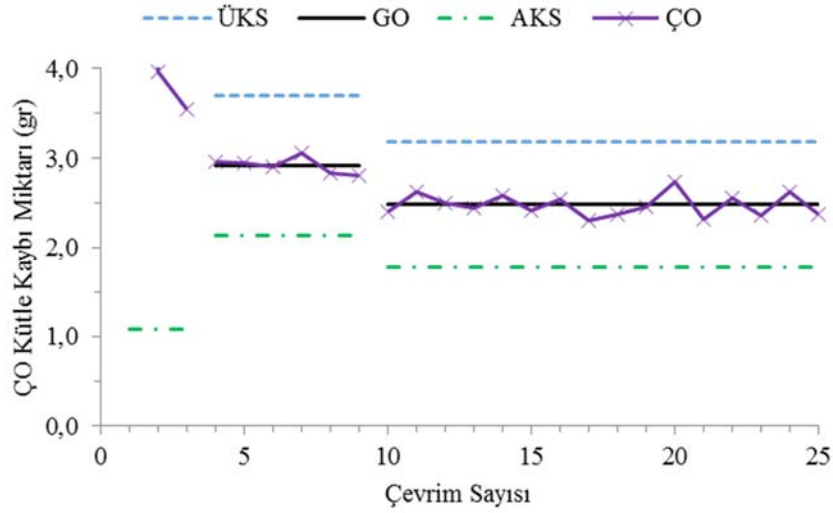
tahmini çevrim sayısı MM1 kaya örneğinde 5, MM2 kaya örneğinde 7 ve LM kaya örneğinde 4 bulunmuştur. Tahmini çevrim sayısının değişkenlik gösteren 2'nci grupların OK grafikleri için çevrim sayısının yeterli olduğu görülmüştür.

OK grafikleri incelendiğinde, Tunçbilek ve Seyitömer marn kaya örnekleri üzerinde yapılan 2 veya 4 çevrimlik SDI

denepleri neticesinde, ideal SDI değerlerine yaklaşılmamasının zor olduğu anlaşılmaktadır. Yuvarlak deney grubunun tahmini çevrim sayısı yaklaşık 5 olarak küre deney gruplarına göre daha az bulunmuştur. Ancak 2'nci, 4'ncü ve 12'nci çevrimlerde, yuvarlak deney grubunun kütle kaybı miktarları küre deney grubunun kütle kaybı miktarlarına göre sırasıyla %57,14, %80,35 ve %112,03 daha fazladır



Şekil 11. LM kaya örneğinin ÇO kütle kaybı miktarlarının OK grafiği
(Mean control chart of ÇO mass loss amounts for LM rock samples)



Şekil 12. LMG1, LMG2 ve LMG3 ortalama kontrol grafiği (Mean control chart of LMG1, LMG2 and LMG3)

(Tablo 4). Bu durum yuvarlak deney örnekleri ile yapılan SDI deneylerinde mekanik kırılmaların fazla olduğunu göstermektedir. Küre deney örneklerine göre yuvarlak deney gruplarında 5 çevrimlik SDI deneyi yapılmasının daha uygun olacağı düşünülmeye rağmen, yuvarlak deney grubunun küre deney grubuna göre kütle kaybı miktarları 5'nci çevrimde %92,06 gibi çok yüksek çıkmıştır. Bu durum SDI deneylerinde, küre deney örneklerinin mekanik parçalanmalara maruz kalmadığı göstermektedir. Bunun için küre deney gruplarının OK grafikleri yorumlanmış ve değişkenlik gösteren gruplar belirlenmiştir. Değişkenlik gösteren her bir grup ayrı SDI deneyi olarak ele alınmış ve SDI değerleri tekrar hesaplanmıştır. MM1 kaya örneğinde, değişkenlik gösteren 3 grubun indeks değerleri incelendiğinde, 2'nci ve 3'ncü grubun SDI değerleri birbirine yakın hesaplanmıştır (Tablo 13). Grup 1'in SDI

değerleri diğer gruplara göre düşük çıkmıştır. Değişkenlik gösteren diğer grupların ortalama SDI değerleri bir birine yakın bulunmuştur (Tablo 14). Grup 2 ve 3'ün ortalama SDI değerleri birbirine yakın olduğu için grup 3 ihmal edilmiştir (Şekil 13). MM2 kaya örneğinde, değişkenlik gösteren 3 grubun SDI değerleri incelendiğinde, 2'nci ve 3'ncü grubun SDI değerleri birbirine çok yakın çıkmıştır (Tablo 15). Grup 1'in SDI değerleri diğer gruplara göre düşük bulunmuştur. Değişkenlik gösteren 2'nci ve 3'ncü grubun ortalama SDI değerleri hemen hemen eşit çıkmıştır (Tablo 16). Grup 2 ve 3'ün ortalama SDI değerleri birbirine çok yakın olduğu için (Şekil 14), grup 3 dikkate alınmamıştır. LM kaya örneğinde, değişkenlik gösteren 3 grubun SDI değerleri incelendiğinde, 2'nci ve 3'ncü grubun SDI değerleri birbirine yakın hesaplanmıştır (Tablo 17). Grup 1'in SDI değerleri diğer gruplara göre çok düşük çıkmıştır. Değişkenlik gösteren

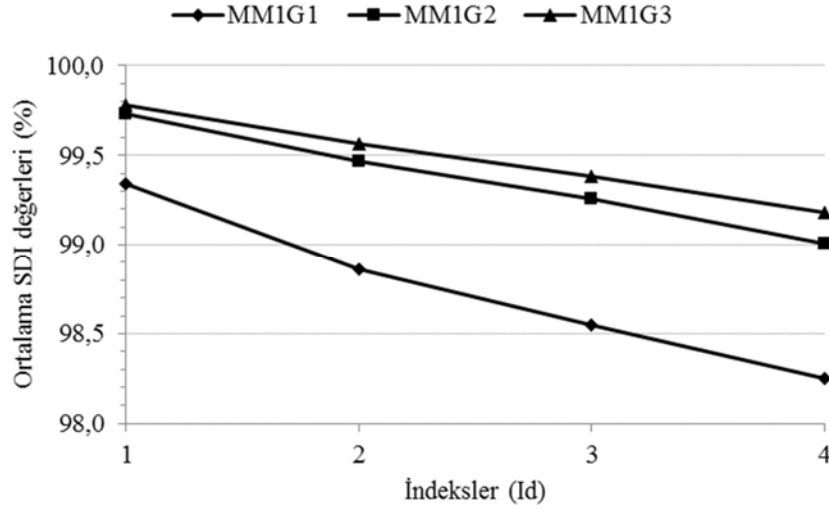
Tablo 13. MM1 kaya örneğinde değişkenlik gösteren grupların SDI değerleri
(SDI values of the group showing variability for MM1 rock samples)

İndeks	Değişkenlik gösteren grupların indeks değerleri (%)									
	Grup 1 (MM1G1) (Çevrim 1-5)					Grup 2 (MM1G2) (Çevrim 6-9)				
	60	55	50	45	40	60	55	50	45	40
Id1	99,35	99,31	99,34	99,38	99,33	99,76	99,76	99,68	99,77	99,67
Id2	98,85	98,82	98,89	98,85	98,89	99,51	99,52	99,41	99,48	99,42
Id3	98,42	98,46	98,79	98,52	98,54	99,37	99,28	99,23	99,25	99,17
Id4	98,07	98,17	98,59	98,21	98,19	99,08	99,07	98,97	99,07	98,86
Id5	97,74	97,84	97,99	97,96	97,89					

İndeks	Değişkenlik gösteren grupların indeks değerleri (%)				
	Grup 3 (MM1G3) (Çevrim 10-13)				
	60	55	50	45	40
Id1	99,79	99,83	99,77	99,77	99,74
Id2	99,57	99,64	99,57	99,54	99,49
Id3	99,38	99,51	99,38	99,32	99,33
Id4	99,11	99,44	99,18	99,11	99,05

Tablo 14. MM1 kaya örneğinde değişkenlik gösteren grupların ortalama SDI değerleri
(Mean SDI values of the group showing variability for MM1 rock samples)

İndeksler	Ortalama indeks değerleri (%)		
	MM1G1	MM1G2	MM1G3
Id ₁	99,34	99,73	99,78
Id ₂	98,86	99,47	99,56
Id ₃	98,55	99,26	99,38
Id ₄	98,25	99,01	99,18

**Şekil 13.** MM1G1, MM1G2 ve MM1G3 gruplarının ortalama SDI değerleri
(Mean SDI values of MM1G1, MM1G2 and MM1G3 groups for 4-cycles)

2'nci ve 3'ncü grupların ortalama SDI değerleri benzerlik göstermiştir (Tablo 18).

Grup 2 ve 3'ün ortalama SDI değerleri birbirine yakın olduğu için (Şekil 15), grup 3 ihmal edilmiştir. Ayrıca 1'nci grupta 4 çevrimi tamamlayabilmek için, 4'ncü çevrim LMG1 grubu içinde değerlendirilmiştir. Suda dağılma dayanım sınıflandırması [56] Id₂ indeks değerine göre, LMG1 grubu yüksek ve LMG2 ve LMG3 grupları çok

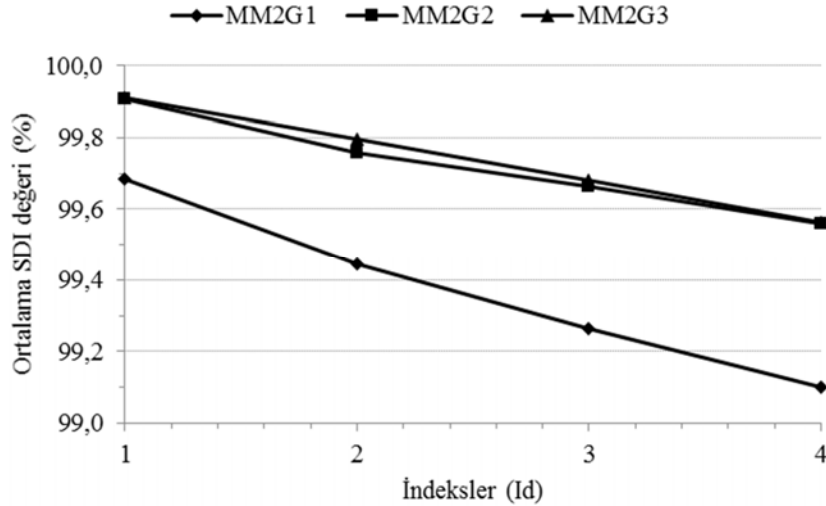
yüksek olarak sınıflandırılmıştır. Üç kaya örneği üzerinde yapılan SDI deneylerinde, grupların ÇO kütle kaybı miktarları istatistiksel OK grafikleri üzerinde benzer saçılım göstermiştir. OK grafiklerindeki saçılımlar üç farklı değişkenlik gösteren gruplar oluşturmuştur. Ancak değişkenlik gösteren 3'ncü grubun SDI değerleri grup 2'nin indeks değerlerine yakın olmasından dolayı, grup 3 ihmal edilmiştir. Tunçbilek ve Seyitömer marn kaya örneklerinde, 1'nci grupların SDI değerleri ve 2'nci grupların SDI

Tablo 15. MM2 kaya örneğinde değişkenlik gösteren grupların SDI değerleri
(SDI values of the group showing variability for MM2 rock samples)

İndeks	Değişkenlik gösteren grupların indeks değerleri (%)									
	Grup 1 (MM2G1) (Çevrim 1-7)					Grup 2 (MM2G2) (Çevrim 8-13)				
	60	55	50	45	40	60	55	50	45	40
Id1	99,70	99,74	99,76	99,65	99,58	99,90	99,93	99,94	99,91	99,85
Id2	99,47	99,56	99,54	99,40	99,26	99,76	99,82	99,80	99,75	99,65
Id3	99,27	99,42	99,36	99,23	99,03	99,66	99,72	99,72	99,66	99,55
Id4	99,12	99,27	99,22	99,03	98,86	99,56	99,65	99,62	99,53	99,44
Id5	98,98	99,14	99,12	98,90	98,68	99,46	99,58	99,52	99,42	99,32
Id6	98,87	99,02	99,00	98,74	98,51	99,32	99,45	99,38	99,26	99,17
Id7	98,72	98,89	98,84	98,59	98,29					
İndeks	Değişkenlik gösteren grupların indeks değerleri (%)									
	Grup 3 (MM2G3) (Çevrim 10-13)									
	60	55	50	45	40					
Id1	99,91	99,91	99,94	99,89	99,90					
Id2	99,85	99,78	99,86	99,73	99,75					
Id3	99,73	99,70	99,74	99,62	99,62					
Id4	99,63	99,59	99,63	99,48	99,49					

Tablo 16. MM2 kaya örneğinde değişkenlik gösteren grupların ortalama SDI değerleri
(Mean SDI values of the group showing variability for MM2 rock samples)

İndeksler	Ortalama indeks değerleri (%)		
	MM2G1	MM2G2	MM2G3
Id ₁	99,69	99,91	99,91
Id ₂	99,45	99,76	99,79
Id ₃	99,26	99,66	99,68
Id ₄	99,10	99,56	99,56

**Şekil 14.** MM2G1, MM2G2 ve MM2G3 gruplarının ortalama SDI değerleri
(Mean SDI values of MM2G1, MM2G2 and MM2G3 groups for 4-cycles)

değerlerine göre küçük çıkmıştır. Değişkenlik gösteren 1'nci gruplarda, kaya dokusu içindeki kilin dağılması neticesinde SDI değerlerinin küçük çıkmasına sebep olmuştur. Bu

durum laminalı marn kaya örneğinde, kil tabakaları ilk ıslanma çevrimlerinde dağılarak ortamdan uzaklaştığı, küre

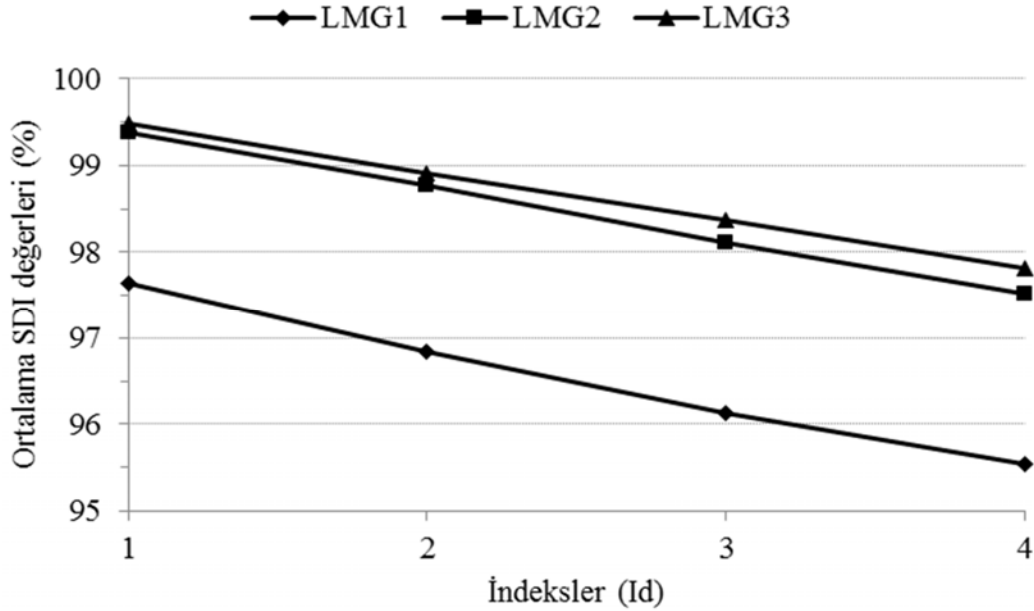
Tablo 17. LM kaya örneğinde değişkenlik gösteren grupların SDI değerleri
(SDI values of the group showing variability for LM rock samples)

İndeks	Değişkenlik gösteren grupların indeks değerleri (%)									
	Grup 1 (LMG1) (Çevrim 1-3)					Grup 2 (LMG2) (Çevrim 4-9)				
	60	55	50	45	40	60	55	50	45	40
Id1	99,83	95,20	96,08	99,54	97,55	99,50	99,35	99,57	99,21	99,25
Id2	99,16	94,49	95,36	98,61	96,59	99,01	98,75	99,18	98,37	98,45
Id3	98,57	93,74	94,82	97,72	95,79	98,55	98,03	98,63	97,67	97,88
Id4						98,15	97,30	97,99	97,01	97,06
Id5						97,60	96,73	97,52	96,27	96,44
Id6						97,09	96,15	97,05	95,54	95,79

İndeks	Değişkenlik gösteren grupların indeks değerleri (%)				
	Grup 3 (LMG3) (Çevrim 10-13)				
	60	55	50	45	40
Id1	99,51	99,54	99,62	99,24	99,49
Id2	98,96	99,05	99,22	98,46	98,84
Id3	98,47	98,55	98,84	97,68	98,27
Id4	98,06	98,08	98,46	97,09	97,38

Tablo 18. LM kaya örneğinde değişkenlik gösteren grupların ortalama SDI değerleri
(Mean SDI values of the group showing variability for LM rock samples)

İndeksler	Ortalama İndeks değerleri (%)		
	LMG1	LMG2	LMG3
Id ₁	97,64	99,37	99,48
Id ₂	96,84	98,77	98,91
Id ₃	96,13	98,12	98,36
Id ₄	95,53	97,52	97,81

**Şekil 15.** LMG1, LM2G2 ve LM2G3 gruplarının ortalama SDI değerleri
(Mean SDI values of LMG1, MM2G2 and MM2G3 groups for 4-cycles)

deney örneklerinin parçalanma şekli ve kütle kaybı miktarları bakımından bu görüşü desteklemektedir.

Bu durum OK grafiklerinde de belirgin şekilde izlenmiştir. Bu duruma göre, suda dağılmaya karşı duraylılık sınırları,

değişkenlik gösteren Grup 1 için alt indeks değeri ve Grup 2 üst indeks değeri olarak belirlenmiştir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

SDI deneylerinde her birinin ağırlığı 40 ile 60 gram arasında değişen 10 adet pürüzsüz temsili deney örnek parçaları kullanılmaktadır. Standartlara göre temsili deney örnek parçaların şekli kabaca küresel [7] veya küresele yakın [5], kabaca eş boyutlu [6] ve köşeleri yuvarlatılmış olarak hazırlanmalıdır [32]. Literatürde ve standartlarda önerilmesine rağmen diğer araştırmacılar tarafından eş boyutlu ve kütleli temsili küre deney örnekler üzerinde SDI deneyleri yapılmamıştır. Bu çalışmada, her bir kaya örneği için hazırlanan eş boyutlu/kütleli temsili küre deney örneklerinden meydana gelen 5 farklı deney grubu üzerinde 25 çevrimlik SDI deneyleri yapılmış ve indeks değerini belirleyen kütle kaybı (dağılma) miktarı OK grafiklerin üzerinde irdelenmiştir. Her bir deney grubundaki 10 adet eş boyutlu küre örnekler, standartlara uygun olarak 40-60 gram aralığında hazırlanmıştır. Temsili küre deney örneklerinin hazırlanmasında doğal nem içeriğinde kayıp en fazla %4 olmuştur. Masif marn küre örneklerinde boyut ile sabit kütle ağırlığı uyumlu olmasına rağmen, laminalı marn da doğal nem içeriği %23,6 ile %29,58 arasında değişmesinden dolayı sabit kütle ağırlığı tahmininde sapmalar meydana gelmiştir. Doğal nem içeriği yüksek kayalarda örnek parçaları hazırlama aşamasında tek bir nem içeriği tayininin yeterli olmadığı da görülmüştür. Ayrıca bu araştırmada 1 adet laminalı marn ve 2 farklı masif marn kaya örneklerinden hazırlanan 5 farklı deney grupları üzerinde 25 ve toplamda 375 çevrimlik SDI deneyleri yapılmıştır. SDI deneyleri, 10 adet temsili küre deney örnekleri, deney tamburuna eş boyutlu/kütleli dağılım halinde yerleştirilmiş deney grupları üzerinde yapılmıştır. SDI deneylerinde çevrim sayısı standartlara göre 2 olması önerilmiştir. Ancak literatürde çevrim sayısı 2 ile 13 arasında değişmektedir. Yapılan çalışmalarda çevrim sayısı kayanın fiziko-mekanik veya mineralojik veya dağılma özelliklerine bağlı olarak belirlenmiştir. Bazı çalışmalarda korelasyon veya varyasyon analizleri yapılarak çevrim sayısının yeterli olup olmadığına karar verilmiştir. Bu çalışmalarda, ideal SDI değerine ulaşabilmek için 2 çevrim yerine 3 çevrimli [9, 10, 45], 4 çevrimli [21, 47], 5 çevrimli [50], 6 çevrimli [44], 10 çevrimli [46] veya 13 çevrimli [31] SDI deneyleri uygulanmıştır. Bu çalışmada istatistiksel kontrol grafiklerine temel oluşturması için 25 çevrimlik SDI deneyleri yapılmıştır. SDI deneylerindeki her bir çevrim sonrası kütle kaybı (dağılma) miktarlarına bağlı çevrim sayısı tahmini de yapılmıştır. Çevrim sayısı tahmininde, Tunçbilek linyit işletmesi 48 nolu panodan alınan masif marn kaya örnekleri üzerinde 12 çevrimlik SDI deneyi yapılmış [49] ve %5 hata payı ile küre deney grubunda tahmini çevrim sayısının yaklaşık 13 ve yuvarlak deney grubunda yaklaşık 5 olarak belirlenmiştir. Hata payının artırılması veya azaltılması durumunda tahmini çevrim sayısında değişeceği de unutulmamalıdır. Yuvarlak deney grubunda çevrim sayısı az olmasına rağmen temsili deney örneklerinin yüzey

pürüzlülüğünden dolayı mekanik parçalanmaların etkisi neticesinde indeks değerleri küre deney gruplarına göre düşük çıkmıştır. Mekanik parçalanmanın etkisini bertaraf etmek için küre deney örnekler tercih edilmiştir. Ayrıca bu çalışmada masif marnlar üzerinde yapılan 25 çevrimlik SDI deneylerin sonunda tahmini çevrim sayısı ortalama kütle kaybı miktarına bağlı olarak masif marn kaya örnekleri için yaklaşık 17 ve laminalı marn kaya örneğinde yaklaşık 25 olarak hesaplanmıştır. Bu çalışma için, SDI deneylerinde uygulanan 25 çevrimin yeterli olduğu da görülmüştür.

Tunçbilek 48 ve H panolarına ait masif marnlar üzerinde yapılan SDI deneylerinde yuvarlatılmış deney gruplarının Id_2 değerleri %97,9, %98,78 ve %98,93 [38, 48, 49], Id_4 değerleri %97,67 ve %98,03 bulunmuştur. Tunçbilek masif marnları üzerinde yapılan SDI deneylerinde küre deney gruplarının Id_2 değerleri %99,43 ve %99,33, Id_4 değerleri %98,93 ve %98,96 belirlenmiştir [38, 49]. Bu çalışmada Tunçbilek masif marnı (MM1) üzerinde yapılan SDI deneyleri sonunda gruplar arasındaki indeks değerleri Id_2 %98,82-98,89 ve Id_4 %98,07-98,59 arasında, MM2'de Id_2 %99,25-99,56 ve Id_4 %98,86-99,27 arasında bulunmuştur. SDI deneylerinde küre deney gruplarının indeks değerleri yuvarlak deney gruplarının indeks değerlerine göre yüksek çıkmıştır. Ayrıca farklı boyutlu ve kütleli küre deney grupları üzerinde yapılan 25 çevrimli SDI deneylerinde, MM1 deney grupları arasında Id_{25} değerlerinin farkı %1,02, MM2 küre deney gruplarında %1,25 indeks değerleri arasında farklar oluşmuştur. Farklı boyutlu ve kütleli LM küre deney grupları arasındaki indeks farkları Id_2 'de %4,67, Id_4 'de %4,95 ve Id_{25} 'de %5,59 olarak bulunmuştur. Farklı tür masif yapıları kayalarda, yuvarlatılmış ve köşeli yüzeye sahip deney gruplarında Id_2 indeks farkı %3 ile %25 arasında ve laminalı marn deney gruplarında Id_2 farkları %18,2 çıkmıştır [33]. Farklı boyutlu ve kütleli küre deney gruplarının indeks değerleri arasındaki fark, 25 çevrim sonrasında bile bu değerlere ulaşmamıştır. Bunun için, SDI deneylerinde yüzey pürüzlülüğünün etkisini azaltmak için temsili deney örnekleri küre şekilli olarak hazırlanmasının daha uygun olduğu belirlenmiştir. Temsili küre deney örneklerden meydana gelen SDI deney gruplarında, 25 çevrimlik indeks değerleri ile çevrim sayısı arasındaki grafiksel saçılmasına bakıldığında doğrusal negatif yönde mükemmel korelasyon olduğu görülmektedir. Bu çalışmada yer almamasına rağmen korelasyon katsayıları negatif yönde %99'un üzerinde bulunmuştur. Ancak çevrim sayısı ile indeks değerleri arasında mükemmel korelasyon olması, çevrimlerdeki indeks değerlerinin uyumlu olduğu anlamına gelmemektedir. Bunun için çevrimlerdeki indeks değerini belirleyen kütle kaybı miktarlarının saçılımı, istatistiksel OK grafikleri üzerinde işaretlenmiş ve yorumlanmıştır. Çünkü İstatistiksel kontrol grafikleri normal saçılım dışındaki diğer saçılımlarda, anormal değişimlerin hızlı ve etkin bir şekilde tanınmasına olanak sağlamaktadır [58]. SDI deneylerinde, çevrimlerdeki ortalama kütle kayıpları OK grafikleri üzerinde incelendiğinde, MM1 örneğinde çevrim 1 ve 2, MM2 örneğinde ilk 4 çevrim ve LM örneğinde 1'nci çevrim üst kontrol sınırları dışına çıkmıştır. OK grafikler üzerinde çevrimlerin ortalama kütle kaybı miktarlarının saçılımı, üç

farklı grup oluşturacak biçimde istatistiksel olarak değişkenlik göstermiştir. Değişkenlik gösteren her bir grup ayrı bir SDI deneyi gibi yorumlandığı ve indeks değerleri tekrar hesaplandığı zaman, 2'nci ve 3'ncü grupların SDI değerlerinin birbirine yakın olduğu ve 1'nci grubun diğer gruplara göre indeks değerlerinin düşük olduğu görülmüştür. Grup-3 ihmal edilerek, suda dağılma dayanım sınıflandırmasının yapılması durumunda Grup-1 alt indeks değeri ve Grup-2 üst indeks değeri olarak değerlendirilmiştir. Değişkenlik gösteren grupların ilk 4 çevrimine göre alt ve üst indeks sınır değerleri belirlenmiştir. Grup-1 ve grup-2'ye göre masif marn kaya örneklerinde suda dağılma sınıflandırması değişmemiştir. Ancak laminalı marn kaya örneğinde, LMG1'in Id_2 değerine göre yüksek ve LMG2'nin Id_2 değerine göre çok yüksek sınırları arasında olduğu belirlenmiştir. OK grafiklerindeki Grup-1 ve Grup-2'deki çevrim sayıları toplamları dikkate alındığında, Tunçbilek masif marn kaya örneklerinde en az çevrim sayısı MM1 için 9, MM2 için 13 ve Seyitömer laminalı marn kaya örneğinde en az 9 çevrim olmalıdır. Ancak çevrim sayısı ve SDI sınırları kaya türüne bağlı olarak değişebileceğinden dolayı her bir kaya türüne göre çevrim sayısı ve indeks sınırları, istatistiksel yöntemleri ve istatistiksel kontrol grafikleri kullanılarak belirlenmelidir.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, masif ve laminalı marn kaya örnekleri ile yapılan SDI deneylerinde, çevrim sayısı, kütle kaybı (dağılma) miktarı, toplam temsili örnek kütle ağırlığı, temsili deney örneğin geometrik şekli, yüzey pürüzlülüğü ve boyutu/kütle gibi kontrol edilebilen parametrelerin SDI değerleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çevrim sayısı ve kütle kaybı miktarı istatistiksel yaklaşım ve istatistiksel ortalama kontrol grafikleri ile irdelenmiştir.

Standartlarda ve literatürde belirtilen öneriler doğrultusunda, SDI deneylerinde kullanılan temsili deney örnekleri; Küre şekilli, pürüzsüz yüzeyli, eş boyutlu/ kütleli hazırlanmıştır. Toplam temsili küre deney örnek ağırlığı 40 ile 60 gram arasında oluşan deney gruplarının çevrimlerdeki SDI indeks değerinin çok az değişim gösterdiği belirlenmiştir. Bu durumda temsili küre deney örneklerin farklı kütle ağırlıklarda ki SDI değerlerinin değişiklik göstermemesinden dolayı temsili küre deney örnekleri 40-60 gram arasında tercih edilmesinin anlamlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Yapılan ön çalışmada masif marn kaya örneğinden hazırlanan küre ve yuvarlak deney grupları üzerinde 12 çevrimlik SDI neticesinde %5 hata payı ile tahmini çevrim sayısı sırasıyla yaklaşık sırasıyla 13 ve 5 bulunmuştur. Çevrim sayısı tahmininde çevrimlerdeki kütle kaybı miktarları kullanılmıştır. Bu çalışmada İstatistiksel anlamı kuvvetlendirmek için küre deney örnek grupları üzerinde 25 çevrimlik SDI deneyleri yapılmıştır. SDI deneyleri sonunda, masif marn küre deney gruplarında tahmini çevrim sayısı yaklaşık 17 ve laminalı küre deney grubunda tahmini çevrim

sayısı yaklaşık 25 olarak tekrar hesaplanmıştır. Çevrim sayısının istatistiksel olarak yeterli olduğu görülmüştür.

Eş boyutlu ve 40-60 gram arasında eş kütle ağırlığına sahip temsili küre deney örneklerinden meydana gelen 15 deney grubunun çevrimlerdeki kütle kaybı miktarları ile OK grafikleri çizilmiş ve yorumlanmıştır. Kütle kayıplarındaki değişimlerin kontrol altında olup olmadığı OK grafikleri ile belirlenmiştir. OK grafikleri incelendiğinde, LM_45 ve LM_60 deney gruplarının 1'nci çevrimleri hariç, diğer deney gruplarında ilk 3 ile ilk 7 çevrim arasında kütle kaybı miktarları diğer çevrimlerdeki kütle kaybı miktarlarına göre daha yüksek gözlenmiştir. Ayrıca çevrimlerdeki kütle kayıplarının değişkenlik göstermesi ve kontrol sınırları içinde olmamasında dolayı çevrimlerdeki kütle kayıplarının kontrol altında olmadığı görülmüştür. Bunun için seçilen kaya örneklerinin SDI değerlerini 2 veya 4 çevrim ile belirlenemeyeceği sonucuna varılmıştır. Her bir kaya örneğinin çevrim sayısını belirleyebilmek için, deney gruplarının çevrimlerdeki ortalama kütle kaybı miktarları hesaplanmış ve değişkenlik sınırlarını belirleyebilmek için OK grafikleri tekrar çizilmiştir. Deney gruplarının çevrimlerdeki ortalama kütle kayıpları OK grafiklerinde incelendiğinde, üç farklı değişkenlik gösteren gruplar olduğu belirlenmiştir. Değişkenlik gösteren grupların her biri ayrı ana kütle temsil ettiği sonucuna varılmıştır. Her bir grup ayrı bir SDI deneyi olarak değerlendirilmiş ve tek bir OK grafiği üzerinde tekrar çizilmiştir. Bu OK grafikleri incelendiğinde, üç kaya örneğinde de 2'nci ve 3'ncü grupların indeks değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Bundan dolayı Grup-1 alt indeks değeri ve Grup-2 üst indeks değeri olarak yeni bir yaklaşım yapılmıştır. Üç kaya örneğinin Id_2 alt ve üst indeks sınır değerleri; MM1 için sırasıyla %98,86 ve %99,36, MM2 için sırasıyla %99,45 ve %99,76, LM için sırasıyla %96,84 ve %98,75 bulunmuştur. Masif marnlarda suda dağılma dayanımı sınıflandırması değişmemesine rağmen laminalı marn kaya örneğinde alt indekse göre yüksek ve üst indekse göre çok yüksek olarak belirlenmiştir.

Sonuç olarak, mekanik parçalanmaların etkisinin ortadan kaldırmak için küre deney grupları üzerinde SDI deneyleri yapılmalıdır. SDI deneyleri çok çevrimli ve çevrimlerdeki kütle kaybı miktarları dikkate alınarak kontrol grafikleri üzerinde değişkenlikler belirlenmeli ve bu değişkenliklere bağlı olarak indeks sınır değerleri; alt ve üst SDI değerleri olarak hesaplanmalıdır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Bu çalışma Eskişehir Osmangazi Üniversitesi BAP-2015-747 sayılı proje olarak desteklenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Chandra R., Slake durability test for rocks, M.Sc. Thesis, Department of Mining, Imperial Collage, England, 1970.

2. Franklin J.A., Chandra R., The slake durability test, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 9, 325-341, 1972.
3. ISRM, Suggested Methods: Rock Characterization, Testing and Monitoring, Editör: Brown E.T., Pergamon Press, London, England, 211, 1981.
4. ASTM, Standard test method for Slake Durability of Shales and Similar Weak Rocks, Annual book of ASTM standards, ASTM4644-4.8, Philadelphia ABD, 863-865, 1990.
5. Ulusay R., Gökçeoğlu C., Binal A., Kaya Mekaniği Laboratuvar Deneyleri, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları 58, Ankara, 35-40, 2011.
6. TSE, Kayaçların Şişme ve Suya Dayanıklılık Özelliklerinin Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, TSE 8543, Ankara, 7, 1990.
7. ISRM, The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring, 1974-2006, Editör: Ulusay R., Hudson J.A., Kozan Ofset, Ankara, Turkey, 96-98, 2007.
8. Dick J.C., Shakoor A., Lithological controls of mudrock durability, *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 25, 31-46, 1992.
9. Moon V.G., Beattie A.G., Textural and microstructural influences on the durability of Waikato coal measures mudrocks, *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 28, 303-312, 1995.
10. Bell F.G., Entwisle D.C., Culshaw M.G., A geotechnical survey of some British coal measures mudstones, with particular emphasis on durability, *Engineering Geology*, 46 (2), 115-129, 1997.
11. Bell F.G., Culshaw M.G., Petrographic and engineering properties of sandstones from the Sneinton formation, Nottinghamshire, England, *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 31, 5-19, 1998.
12. Gökçeoğlu C., Ulusay R., Sönmez H., Factors affecting the durability of selected weak and clay-bearing rocks from Turkey, with particular emphasis on the influence of the number of drying and wetting cycles, *Engineering Geology*, 57, 215-237, 2000.
13. Çetin H., Laman M., Ertunç A., Settlement and slaking problems in the world's fourth largest rock-fill dam, Atatürk Dam in Turkey, *Engineering Geology*, 56, 225-242, 2000.
14. Dhakal G., Yoneda T., Kato M., Kaneko K., Slake durability and mineralogical properties of some pyroclastic and sedimentary rocks, *Engineering Geology*, 65, 31-45, 2002.
15. Ergüler Z.A., Ulusay R., Assessment of physical disintegration characteristics of clay-bearing rocks: disintegration index test and a new durability classification chart, *Engineering Geology*, 105, 11-19, 2009.
16. Ergüler Z.A., Shakoor A., Quantification of fragment size distribution of clay-bearing rocks after slake durability testing, *Environmental and Engineering Geoscience*, 15, 81-89, 2009.
17. Nandi A., Whitelaw M., Effect of physico-chemical factors on the disintegration behavior of calcareous shale, *Environmental and Engineering Geoscience*, 15 (49), 273-285, 2009.
18. Çevik A., Sezer E., Çabalar A.F., Gökçeoğlu C., Modelling of the uniaxial compressive strength of some clay-bearing rocks using neural network, *Applied Soft Computing*, 11, 2587-2594, 2011.
19. Solak B., Farklı piroklastik kayaçların petrografik özelliklerinin mekanik özelliklerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Niğde, Türkiye, 2012.
20. Miscevic P., Vlastelica G., Time-dependant stability of slopes excavated in marl, *GRADEVIAR*, 64 (6), 451-461, 2012.
21. Khalily M., Iashkaripour G.R., Ghafoori M., Khanehbad M., Dehghan P., Durability characterization of Abdera marl limestone in the Koper-Dagh basin of Iran, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 3 (5), 50-56, 2013.
22. Aufmuth R.E., Site engineering indexing of rocks: field testing and instrument of rocks, American Society for Testing and Materials, Special Technical Publication, 554, 81-99, 1974.
23. Koncagül E.C., Santi P.M., Predicting the unconfined compressive strength of the Breathitt shale using slake durability share hardness and rock structural properties, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 36, 139-153, 1999.
24. Sharma P.K., Singh T.N., A correlation between p-wave velocity, impact strength index, slake durability index and uniaxial compressive strength, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 67, 17-32, 2008.
25. Ayakwah G.F., Effect of weathering and alteration on point load and slake durability indices and the characterization of the debris flow at the Questa mine, Toas country, M.Sc. thesis, New Mexico Institute of Mining and Technology, Socorro-New Mexico, 2009.
26. Yalım E., Turunçlu (Delihalil-Osmaniye) bölgesi'ndeki bazaltik oluşumlarının derinliğe bağlı değişimlerinin jeomekanik özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2009.
27. Kolay E., Kayabalı K., Taşdemir Y., Modelling the slake durability index using regression analysis artificial neural networks and adaptive neuro-fuzzy methods, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 69, 275-286, 2010.
28. Swain C., Determination of rock strength from slake durability tests, prodotyakonov impact tests and los angeles abrasion resistance tests, M.Sc. thesis, Technology in Mining Engineering, Rourkela, Hindistan, 2010.
29. Moradian Z.A., Ghazvinian A.H., Ahmadi M., Behnia M., Predicting slake durability index of soft sandstone using indirect tests, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 47, 666-671, 2010.

30. Yağız S., Correlation between slake durability and rock properties for some carbonate rocks, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 70 (3), 377-383, 2011.
31. Bozkurtoğlu E., Mert E., Kandıra taşının dayanım-suda dağılmaya karşı duraylılık ilişkisi, *Uygulamalı Yerbilimleri*, 1 (2), 30-50, 2012.
32. ASTM, Standard Test Method for Slake Durability of Shales and Similar Weak Rocks, D-4644-87, USA, 1998.
33. Kolay E., Kayabalı K., Beyaz T., Kil İçeren Bazı Kayalarda Deneysel Örneklerinin Şeklinin Islak Kararlılık Deneyine Etkisi, VII. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu KAYAMEK'2004, Sivas-Türkiye, 21-22 Ekim, 2004.
34. Vallejo L.E., Fractal analysis of the slake durability test, *Canadian Geotechnical Journal*, 31, 1003-1008, 1994.
35. Kolay E., Kayabalı K., Investigation of the effect of aggregate shape and surface roughness on the slake durability index using the fractal dimension approach, *Engineering Geology*, 86, 271-284, 2006.
36. Kincal C., Koca M.Y., Özden G., Demirbasa N., Fractal parameter approach on weathering grade determination of Çeşme-İzmir-Turkey tuffs, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 69, 617-629, 2010.
37. Agustajiwaya D.S., Modelled mechanisms in the slake-durability test for soft rocks, *Dimensi Teknik Sipil*, 5 (2), 87-92, 2003.
38. Ankara H., Aksoy M., Yerel S., Suda Dağılmaya Karşı Duraylılık Testi için Kayalardan Eş Boyutlu Küresel Örneklerin Hazırlanması, BAP Proje No: 201015013, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, 2013.
39. Ankara H., Aksoy M., Yerel S., Keser Y., A New Sample Preparation Method for Slake Durability Index Test, 4th Balkan Mining Congress, Ljubljana-Slovenia, 571-575, 18-20 Ekim, 2011.
40. Ankara H., Aksoy M., Yerel S., Keser Y., The determination of slake durability index with spherical samples. *Key Engineering Materials*, 548, 247-252, 2013.
41. Ankara H., Çiçek F., Deniz İ.T., Uçak E., Yerel Kandemir S., Determination slake durability index (SDI) values on different shape of laminated marl samples, *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 44, 1-5, 2016.
42. Tonon F., Youn H.J., Raibagkar A.P., Effect of Verification Cores on Tip Capacity of Drilled Shafts, Report No: FHWA/TX -09/0-5825-1, The University of Texas, Center for Transportation Research, ABD, 2009.
43. Rintrawilai S., Large-Scaled slake durability index tests of some weak rocks, M.Sc. Thesis, Geotechnology Suranaree University of Technology, Tayland, 2010.
44. Rintrawilai S., Walsri C., Fuenkajorn K., Large Scaled Slake Durability Index Testing, *Rock Mechanics*, Editör: Fuenkajorn & Phien-wej, Tayland, 2011.
45. Taylor R.K., Coal measures mudrocks: composition, classification and weathering processes, *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 21, 85-99, 1988.
46. Walsri C., Sriapai T., Phueakphum D., Fuenkajorn K., Simulation of sandstone degradation using large-scale slake durability index testing device, *Songklanalarin Journal of Science Technology*, 34, 587-596, 2012.
47. Gökçeoğlu C., Aksoy H., New approaches to the characterization of clay-bearing, densely jointed and weak rock masses, *Engineering Geology*, 58 (1), 1-23, 2000.
48. Beyhan S., G.L.İ. ve E.L.İ. marn kaya malzemelerinin üç eksenli basınç dayanımına bağlı özelliklerinin belirlenmesi, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2008.
49. Ankara H., Yerel Kandemir S., Çiçek F., Comparison of Slake Durability Index (SDI) Values of Sphere and Rounded Marl Samples, *World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium*, Prag-Çek Cumhuriyeti, 93-98, 11-15 Eylül, 2015.
50. Ulusay R., Arıkan F., Yoleri M.F., Çağlan D., Engineering geological characterization of coal mine waste material and an evaluation in the context of back-analysis of spoil pile instabilities in a strip mine, SW Turkey, *Engineering Geology*, 40, 77-101, 1995.
51. Ankara H., Yerel Kandemir S., Aksoy M., Islak Kararlılık İndeksi Testine Önerilen Yeni Bir Örnek Hazırlama Yöntemi için Aşındırıcı Çanak Tasarımı, TÜBİTAK Projesi 111M823, 2013.
52. Şengüler İ., Şener M., Seyitömer Bitümlü Marnlarının Jeolojisi Kullanım Olanakları ve Akışkan Yataкта Yakma Test Sonuçları, Rapor No: 9441, MTA Enerji Hammaddesi Etüt ve Arama Dairesi Başkanlığı, Ankara, 1992.
53. Aslan D., Kalite Kontrol (Proses Kontrol Ve Toplam Kalite), Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi yayınları, 284, İzmir-Türkiye, 2001.
54. Burnak N., Toplam Kalite Yönetimi (İstatistiksel Süreç Kontrolü), Osmangazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi TEKAM, TS-97-008-NB, Eskişehir, Türkiye, 1997.
55. Grant E.L., Leavenworth R.S., Statistical Quality Control, Fong&Sons printers Pte. Ltd., Singapore, 1985.
56. Gamble J.C., Durability-plasticity classification of shales and other argillaceous rocks, Ph.D. Thesis, University of Illinois, USA, 1971.
57. Binal A., Kasapoğlu K.E., Gökçeoğlu C., Eskişehir-Yazılıkaya çevresinde yüzeylenen volkanosedimantar kayaların donma-çözülme etkisi altında bazı fiziksel ve mekanik parametrelerin değişimi, *Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni*, 19, 17-40, 1997.
58. Olgun O.O., Özdemir G., Control chart pattern recognition using statistical-feature based Bayes classifier, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 27 (2), 303-311, 2012.