



Doğal Taşların Sürtünme Katsayılarını (COF) Belirleyerek Yüzey Özelliklerinin Kayma Güvenlik Risk Analizi

Gültekin ÇOŞKUN¹, Gencay SARIİŞİK²

¹Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas Meslek Yüksekokulu, Sivas, Türkiye

²Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye

Received: 14.01.2017; Accepted: 23.03.2017

Özet. Çalışmada yalınayak ve ayakkabı ile yürürken doğal taş zemin kaplamalarında yayaların kayma riskini azaltmak için en uygun yüzey işleme tekniklerini ve çevre koşullarını belirlemeye çalışılmıştır. Sürtünme katsayıları (COF) değerleri 15 farklı türde oluşmuş doğal taş, dört yüzey işleme teknikleri (cılalı, honlu, patinatolu ve eskitilmiş) ve iki farklı test (eğik düzlem ve pandül) ile belirlenmiştir. Doğal taşların COF değerlerini etkileyen parametrelerin ortam koşulları (yaş, kuru ve yağlı) ve uygulanan yüzey işleme teknikleri olduğu tespit edilmiştir. Doğal taşların istatistiksel sonuçlara göre COF değerlerine bağlı olarak güvenli kullanım alanlarına göre sınıflandırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Doğal taşlar, Eğik düzlem testi, Pandül testi, Sürtünme katsayısı, Zemin yüzeyi, Kayma güvenliği

Slip Safety Risk Analysis of Surface Properties by Determining Coefficients of Friction (COF) of Natural Stones

Abstract. The present work attempts to determine the most suitable surface processing techniques and environment conditions to reduce the slipping risk of pedestrians while walking barefoot and wearing shoes on natural stone floor coverings. Coefficients of friction (COF) values have been found by the natural stone formed in 15 different types, four surface processing techniques (polished, honed, patinated and tumbled) and two different (ramp and pendulum) tests. It was found that the parameters that affected COF values of the natural stones were environment conditions (wet, dry and lubricated) and the applied surface processing techniques. The natural stones were then grouped according to places for safe utilization depending on COF values and surface roughness, according to the statistical results.

Keywords: Natural stones, Ramp test, Pendulum test, Coefficient of friction, Floor surface, Slip safety

1. GİRİŞ

Günümüz inşaat sektöründe ve mimarisinde topluma açık ve kapalı birçok alanda doğal taşlar yaya yüzey zemin kaplaması olarak geniş bir uygulama alanına sahiptir. Doğal taşların yaya yüzey zemin kaplaması olarak kullanımında dikkat edilecek özelliklerinden ve en önemlilerinden biri de kayma risklerinin belirlenmesidir. [1-6]. Yaya yüzey zemin kaplamalarında meydana gelen kayma vakaları; ortam, kirleticiler (su, yağ, donma, toz), çevresel faktörler, yetersiz zaman, sıcaklık, aydınlatma, ayakkabı, zeminin yüzey özellikleri, kişi ve kişinin ruh hali dâhil bir ya da birden fazla sebepten kaynaklanır [7].

Diğer yazarlar birleşmiş materyallerde zemin yüzeyi ve ayakkabı türlerini incelemiştir [8-11]. Pürüzlülüğün ölçüğü mikroskopik olabilmesine rağmen, her yüzeyin bir derece pürüzlülüğü vardır [4].

* Corresponding author. Email address: coskungc@gmail.com

Doğal Taşların Sürtünme Katsayıları

İki pürüzlü yüzey arasındaki kayma direnci, iki tür etkileşime neden olur: adhezyon ve kenetlenme. Adhezyon iki yüzey arasındaki moleküler çekimden kaynaklanır ve her iki yüzey de oldukça pürüzsüz olduğundan bulunmaktadır. Kenetlenme mikroskobik olarak küçük olan girinti ve çıkıntı içeren mekanik bir etkileşimdir. Yağlı ortam hem adhezyonu hem de bir dereceye kadar kenetlenmeyi yenebilir. Yüzyıllar önce bilim adamları, iki sert yüzey arasındaki harekete direnç gösteren sürtünme kuvvetinin, yüzeylerin birbirine basma kuvveti orantılı olduğu fark edilmiştir. "Sürtünme katsayısı" COF, sürtünme kuvveti ile basma kuvveti arasındaki sabit oran için kullanılan terimdir. Çekme veya kayma direncinin şu anki kadar basit olmadığı bilinmektedir; özellikle sulu veya yağlı yüzeyleri birbirinden ayırdığında, ancak sürtünme katsayısı kavramı hala kullanılmaktadır [12].

Literatürde birçok farklı test cihazı belirlenmiştir [13-18]. Çıktı miktarı belki COF veya kuvvet, tork, enerji kaybı veya eğim açısı olabilir. Bir yöntemin kabul edilebilirliğini belirlemek için iki kriter öne sürülmüştür: (a) ölçüm koşulları değişmediğinde belirli bir yöntem kullanılarak elde edilen verilerin dağılımı açısından değerlendirilen tekrarlanabilirliği ve (b) geçerliliğidir. Strandberg (1983), yürürken gerçek kayma direnci ile ilişkili olan ilgili ölçümleri sağlayan geçerli bir yöntemi tanımlamıştır [19].

Bu çalışmada zemin kaplamalarında kullanılan on beş farklı doğal taş üzerinde, eğik düzlem ve pandül test cihazı kullanılarak doğal taşların kuru, ıslak ve yağlı ortamda kayma risklerinin belirlenmesinde etken olan kayma açıları ve kayma dirençleri belirlenmiştir. Elde edilen test sonuçları sürtünme katsayısı değerleri hesaplanarak karşılaştırılmaları yapılmıştır.

2. MATERYAL ve METOT

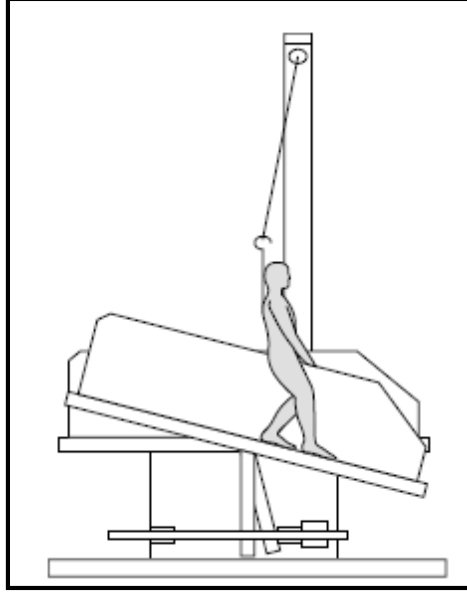
2.1 Materyal

Günümüzde doğal taşlar (kireçtaşı, traverten ve beyaz mermer) topluma açık ve kapalı alanlarda yaya yüzey zemin kaplama malzemesi olarak insan yoğunluğunun fazla olduğu bina, okul, hastahane, otogar, metro ve alışveriş merkezlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Farklı bölgelerden seçilmiş ve dört farklı (cilalı, honlu, eskitme ve patinato) yüzey işleminde 15 adet doğal taş örneği kullanılmıştır.

2.2 Metot

2.2.1 Eğik Düzlem Test Cihazı

Eğik düzlem test cihazı, DIN 51097 ve ISO 10545-17, DIN 51130 standartlarına [201-21] göre uygun olarak tasarlanan ve zemin kaplamalarının yüzeylerinin dinamik sürtünme katsayılarının belirlenmesinde kullanılan laboratuvar ölçekli bir test cihazıdır (Şekil 1). Eğik düzlem test cihazında elde edilen kayma açısının tanjantı, çıplak ayak ile kaplama malzemesi yüzeyi arasındaki sürtünme katsayısını verir [22-23].



Şekil 1. Eğik Düzlem Test Cihazı [24].

a. DIN 51097 standardına göre yapılan çalışmalar

Islak ve çıplak ayakla yürünen alanlardaki yer döşemelerinde kullanılan doğal taş örneklerinin, kaymayı önleyici özelliklerinin saptanması ve değerlendirilmesi amacıyla, DIN 51097 standardı dikkate alınmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. DIN 51097 standardına göre ölçüm.

Buna göre, çıplak ayakla yürünen ıslak alanlar olarak; havuzlar, banyolar, soyunma odaları, sağlık merkezleri ve tuvalet gibi mekânlarda kullanılacak kaplama malzemelerinin kayma özellikleri belirlenmektedir. DIN 51097 standardına göre, kayma açıları A, B ve C olarak sınıflanmakta olup, her bir kodun açıl aralıkları ve karşılık gelen kayma riski (potansiyelleri) Çizelge 1’de verilmektedir.

Doğal Taşların Sürtünme Katsayıları

Çizelge 1. Çıplak ayakla gezilen ıslak bölgelerin kaymayı önleme özelliğinin belirlenme testi sonuçlarının sınıflandırılması [20].

Sınıflama	Kritik Açı	Cof (μ)	Kayma Riski (Potansiyeli)
A	$\geq 12^\circ$	0,21-0,31	Yüksek
B	$\geq 18^\circ$	0,32-0,42	Orta
C	$\geq 24^\circ$	$\geq 0,45$	Düşük

Test cihazı, 600 mm genişliğinde ve 2000 mm uzunluğuna sahip, eğimi uzunlamasına 0° ile 45° arasında ayarlanabilen, düz ve eğilmeyen bir döşemeden oluşmaktadır. Testin uygulanması esnasında sürekli ve eşit olarak 6 ± 1 litre/dakika test sıvısı eğik düzlem test cihazı üzerinde bulunan delikli borudan örnek yüzey üzerine dökülerek ıslatılmıştır. Örnek üzerinde yürüyecek kişi, elindeki kumanda ile test cihazın hareketini başlatır. Dik durarak yarım adım boyunda adımlar atarak ileriye ve geriye doğru suyun aktığı yönde, yatay düzlemden başlayarak eğimi yaklaşık $1^\circ/s$ ile artan test edilecek doğal taş üzerinde hareket eder. Kişinin yürüyüşü sırasındaki eğim artışına bağlı olarak ve yüzey özelliğine göre kaydığı anda cihazı durdurur. Yapılan yürüme sonucunda kişinin güvenli yürüyüş sınırına ulaştığı eğim açısı, eğik düzlem test cihazı üzerinde bulunan açıölçerden kritik bölgede 10 kez tekrarlanarak ileri ve geri gidişi ile tespit edilmiştir. Elde edilen 10 verinin aritmetik ortalaması alınarak, kayma açısı değerleri kaydedilmektedir.

b. DIN 51130 standardına göre yapılan çalışmalar

Ayakkabı ile yürünen yerlerde kullanılan zemin kaplamalarının kaymayı önleyici özelliklerinin saptanması ve değerlendirilmesi amacıyla DIN 51130 ve ISO 10545-17 standardı dikkate alınarak testler yapılmıştır (Şekil 3). Bu test yöntemi ile yüksek kayma riski olan ve ayakkabıyla yürünen yerlerde kullanılan yer kaplamalarının kaymazlık özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Yüksek kayma riskli işlerin çalışma odaları ve alanları; üretim veya işlem aşamasında yağ, su, yiyecek, yiyecek atıkları, toz ve bitkisel maddeler gibi kayganlaştırıcı maddelere maruz kalan çalışma odaları veya alanları bu kategoride incelenmiştir. Test personeli deney esnasında ST şeklinde S1 tipinde, DIN 4843'e uygun nitril kauçuk esaslı olarak üretilmiş DIN 53505'e göre 73 ± 5 shore-A sertliği olan ve DIN 51130'da verilen taban şekline sahip koruyucu ayakkabıları giymektedir. Deneylere başlanmadan önce, eğik düzlem test cihazında test yürüyüşünde bulunacak test personelinin ölçümleme işlemi yapılmıştır.



Şekil 3. DIN 51130 standardına göre ölçüm.

Test işlemine başlamadan önce deney odası, ayakkabı, yağlayıcı ve taban yüzeyinin sıcaklığı $23^{\circ}\pm 5^{\circ}\text{C}$ 'de olması sağlanır ve örnek doğal taş eğik düzlem test platformuna yerleştirilir. Test platformuna yerleştirilen doğal taş örneklerinin yüzeyleri, deneye başlamadan önce temizlenir. Örnek yüzeyine sürülmek üzere 200 ml makine yağı hazırlanır. Örnek yüzeyine fırça ile düzgün bir şekilde yayılır. Aynı şekilde standartlara uygun test ayakkabısının tabanları da fırça ile yağlanmıştır. Test ayakkabılarını giyen test personeli test edilecek yüzey üzerinde dik pozisyonda ileri-geri doğru yatay düzlemde başlayarak eğimi yaklaşık $1^{\circ}/\text{s}$ ile artan eğik düzlem test cihazı üzerinde bulunan örnek üzerinde hareket eder. Kritik açı makine yağı sürülmüş yüzey üzerinde belirlenir. Kişinin, güvenli yürüyüş sınırına ulaştığı eğim açısı kritik bölgede 10 kez tekrarlanarak ileri-geri gidiş ile tespit edilmiş ve elde edilen veriler kaydedilmektedir.

Eğik düzlem test cihazı ile elde edilen kayma açılarının düzeltilmiş değerleri uygulama alanlarına göre sınıflandırılmıştır. DIN 51130 ve ISO 10545-17 standardına göre kayma açıları R9, R10, R11, R12 ve R13 olarak kodlanmakta olup her bir kodun açısal aralıkları ve karşılık gelen kullanım alanları Çizelge 2'de verilmektedir.

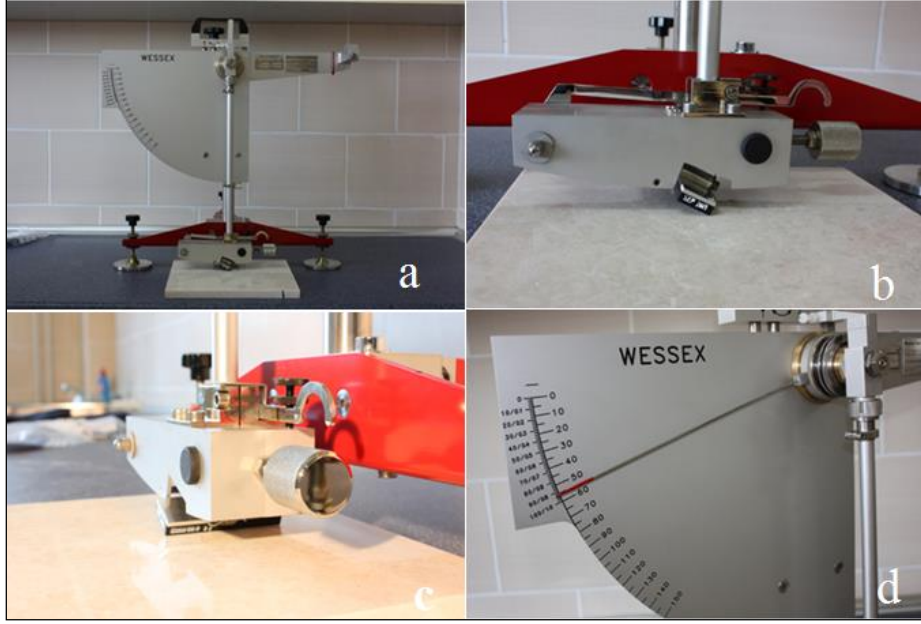
Çizelge 2. Kuru bölgelerin yağlanmasıyla kaymayı önleme özelliğinin belirlenmesi test sonuçlarının uygulama alanına göre sınıflandırılması [21].

Sınıflama	Kritik Açı	Cof (μ)	Kayma Riski
R 9	6° - $10,0^{\circ}$	0,11-0,18	Yüksek
R10	$10,1^{\circ}$ - $19,0^{\circ}$	0,18-0,34	Orta ve Yüksek
R11	$19,1^{\circ}$ - $27,0^{\circ}$	0,34-0,51	Orta ve Düşük
R12	$27,1^{\circ}$ - $35,0^{\circ}$	0,51-0,70	Düşük
R13	$>35,0^{\circ}$	$>0,70$	Düşük

2.2.2 Pandül Test Cihazı

Pandül test cihazı, zemin kaplamalarının kayma direncinin belirlenmesinde TS EN 14231 standardına [25] göre çalışan taşınabilir ölçekli bir test cihazı olup, kaydırıcı ve deney yüzeyi arasındaki sürtünmeyi ölçmek ve kayma direncine ait standart bir değer tayin etmek üzere tasarlanmıştır (Şekil 4). Bu çalışmada WESSEX, S885 model taşınabilir pandül test cihazı kullanılmış olup, ayakkabı altlığını temsilen 4S lastik kauçuk pençe ölçümlerde kullanılmıştır.

Doğal Taşların Sürtünme Katsayıları



Şekil 4. Pandül test cihazı.

Test cihazı, kaydırıcıda dâhil olmak üzere pandül kolunun kütlesi, (1.50 ± 0.03) kg olmalıdır, ağırlık merkezi askı ekseninden (410 ± 5) mm mesafede kol ekseninde olmalıdır. Kaydırıcı tertibat; pandül kolu, yaptığı salınımın en alt noktasındayken, kaydırıcının kayma yapan kenarı deney numunesiyle temas halinde olduğu halde, kaydırıcı düzlemi, yatayla $(26 \pm 3)^\circ$ açı yapacak şekilde kol ucuna monte edilmelidir. Söz konusu bu düzenekte, pandül salınım yaptıkça, numunenin yüzey pürüzlülüğünün izlenmesi için kaydırıcı kendi ekseninde etrafında engel olmadan dönebilir.

Test aşamasında; deney numuneleri, mamulün tamamı veya birimin üst yüzeyini ihtiva edecek özellikte kesilmiş bir parçası olmalıdır. Her bir numune, 136×86 mm bir deney alanı sağlamalıdır. Bu çalışmada deney numunelerinin nihai ürünü olan $30,5 \times 30,5 \times 1,0$ cm plaka boyutu kullanılmıştır. Bu alan, C skalası üzerinde okumaların yapılacağı, 126 mm^2 lik kayma uzunluğunda ve 76 mm genişliğinde bir kaydırıcının kullanımıyla deneye tâbi tutulmalıdır. Sürtünme deney donanımı, kaydırıcı ve numuneler, deneyin başlamasından en az 2 saat önce $(20 \pm 5)^\circ \text{C}$ 'lık oda sıcaklığında laboratuvar ölçümleri için muhafaza edilir. Numunenin büyüklüğüne göre uygun kaydırıcı ve deney skalası seçilmelidir. Çalışma yerlerinin zeminlerinde yapılacak ölçümlerde, deney için belirlenmiş yüzeylerde bulunan ince taneler fırça ile temizlenir ve suyla yıkanarak uzaklaştırılır. Deney yüzeyi ve kaydırıcının sıcaklığı 1°C yaklaşımla ölçülür. Yüzeyin sıcaklığı 5°C ilâ 40°C aralığının dışında ise, deney yapılmamalıdır. Sürtünme deney cihazı, sert, düz bir yüzey üzerine yerleştirilir. Destek kolunu düşey olacak şekilde seviye ayar vidalarıyla ayarlanır. Sonra, pandül kolunun serbestçe salınım yapması için pandülün askı eksenini yükseltilir.

Pandül kolu ve ibre, sağ yatay konumdan bırakıldığında deney skalasında sıfır işaretinde duracak şekilde ibre mekanizmasındaki sürtünme ayarlanır. Deney numunesi, uzun tarafı pandül hattında olacak ve lâstik kaydırıcıya ve pandül süspansiyon eksenine göre merkezde bulunacak şekilde sıkı biçimde yerleştirilerek, lâstik kaydırıcı ve pandül askı eksenine göre merkezlenir. Kaydırıcı hattının, kayma mesafesi boyunca numunenin uzun eksenine paralel olması sağlanır. Belirli kayma uzunluğunda ve lâstik kaydırıcının tüm genişliği boyunca temas ettiği numunenin üzerinden geçen pandül kolunun yüksekliği ayarlanır.

Pandül test değeri (PTV) aşağıdaki formül kullanılarak sürtünme katsayısına (Cof) çevrilebilmektedir.

$$\mu = \left[\frac{110}{PTV} - \frac{1}{3} \right]^{-1}$$

Bu formül kullanılarak doğal taşlar üzerinde kuru ve ıslak ortamda yapılan pandül deney verilerinin, sürtünme katsayısı (Cof) değerleri bulunmaktadır.

Kuru Şartlarda Deney İşlemi

Doğal taş örnekleri, laboratuvar ölçümleri için deneyin yapılmasından önce (105 ± 5) °C sıcaklıkta kurutulur. Pandül cihazında ibre başlangıç konumuna getirilir. Yüzeyle yapılan işlemler cihazın serbest bırakma düğmesine bastırılarak pandül kolunun serbest olarak hareketi sağlanır ve kaydırıcının deney yüzeyine yeniden temas etmesinden önce geri dönüş hareketinde tutulur. Skalada okunan değer kaydedilir. Hazırlanmış mekanizmayla kaydırıcı ve yüzeyin temasını sağlayacak şekilde, kol ve ibre yeniden başlangıç konumuna getirilir. Aralarında üç birimden daha fazla bir farkın olmadığı art arda beş okuma (C skalası üzerinde) alınacak şekilde aynı işlemler tekrar edilir. F skalası kullanılırsa, art arda yapılan beş okuma arasında 0,03'ten daha fazla fark olmamalıdır. Laboratuvar ölçümleri için numune, 180° döndürüldükten sonra yeniden yerleştirilir ve bütün işlemler kontrol edilerek tekrarlanır.

Yaş Şartlarda Deney İşlemi

Doğal taş örnekleri, laboratuvar ölçümleri için deneyin yapılmasından önce (20 ± 5) °C sıcaklıktaki su içerisinde en az 2 saat süreyle bekletilir. Pandülün her kaymasından önce deney yüzeyi ve kaydırıcı, (20 ± 5) °C sıcaklıktaki damıtık veya deiyonize su ile devamlı olarak ıslatılır. Yüzey üzerinde hareket eden deney cihazının başlığı yukarı kaldırılır ve sıfır hata için serbest kayma kontrol edilir. Laboratuvar ölçümleri için numune, 180° döndürüldükten sonra yeniden yerleştirilir ve bütün işlemler tekrar kontrol edilerek tekrarlanır. Her bir yüzey üzerinde kuru ve ıslak ortamda 6 farklı pozisyonda ölçülmüş beşli grup halindeki okuma değerlerinin ortalaması alınarak kayma direnci değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen pandül test verileri kayma potansiyeline göre Çizelge 3'de verilen sınıflama kullanılmaktadır.

Çizelge 3. Kayma direncinin kayma potansiyeline göre yorumlanması [26,27].

Sınıflama	Pandül Değeri	Cof (μ)	Kayma Potansiyeli
Z	< 24	< 0.25	Çok Yüksek
Y	25-34	0.25-0.34	Yüksek
X	35-44	0.36-0.46	Orta
W	45-54	0.47-0.59	Düşük
V	> 54	> 0.59	Çok Düşük

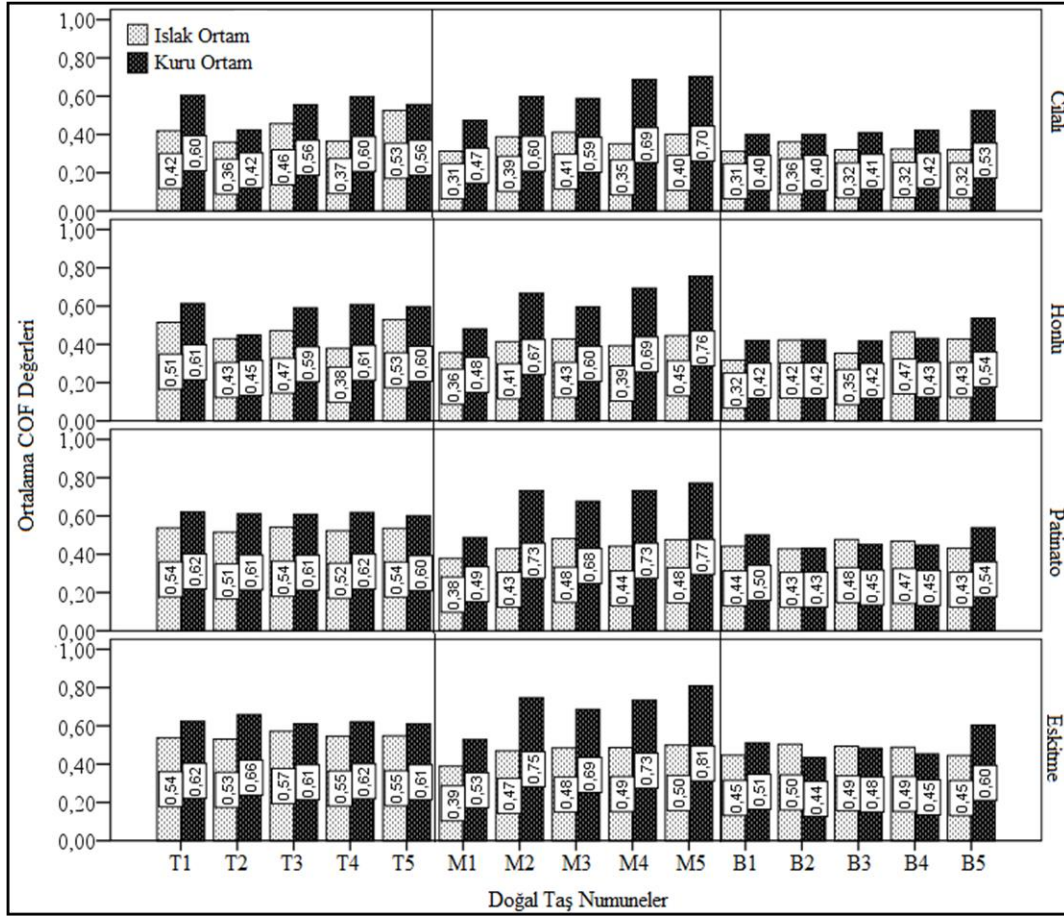
3. BULGULAR ve DEĞERLENDİRMELER

3.1. Kuru ve Islak Ortamda Doğal Taşların Eğik Düzlem Test Yöntemi (DIN 51097) ile COF Analizi

Eğik düzlem test (DIN 51097) yöntemi deneylerinde kullanılan 15 doğal taş türü için, 2 ortam ve 4 yüzey işleme tekniği ile varyans (ANOVA) yöntemi kullanarak istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Deneysel çalışmada her bir doğal taş numunesinin test yüzeyi ölçümlerinde 75 veri alınmıştır. Toplam (15 doğal

Doğal Taşların Sürtünme Katsayıları

taş türü × 2 ortam × 4 yüzey işleme × 75 tekrarlı veri) 9000 veri kullanılmıştır. Doğal taş numunelerinde COF değerleri ile kuru ve ıslak ortamın ve cilalı, honlu, patinato ve eskitilmiş yüzey işleminin $p < 0.001$ anlamlılık düzeyinde etkili olduğu görülmüştür.

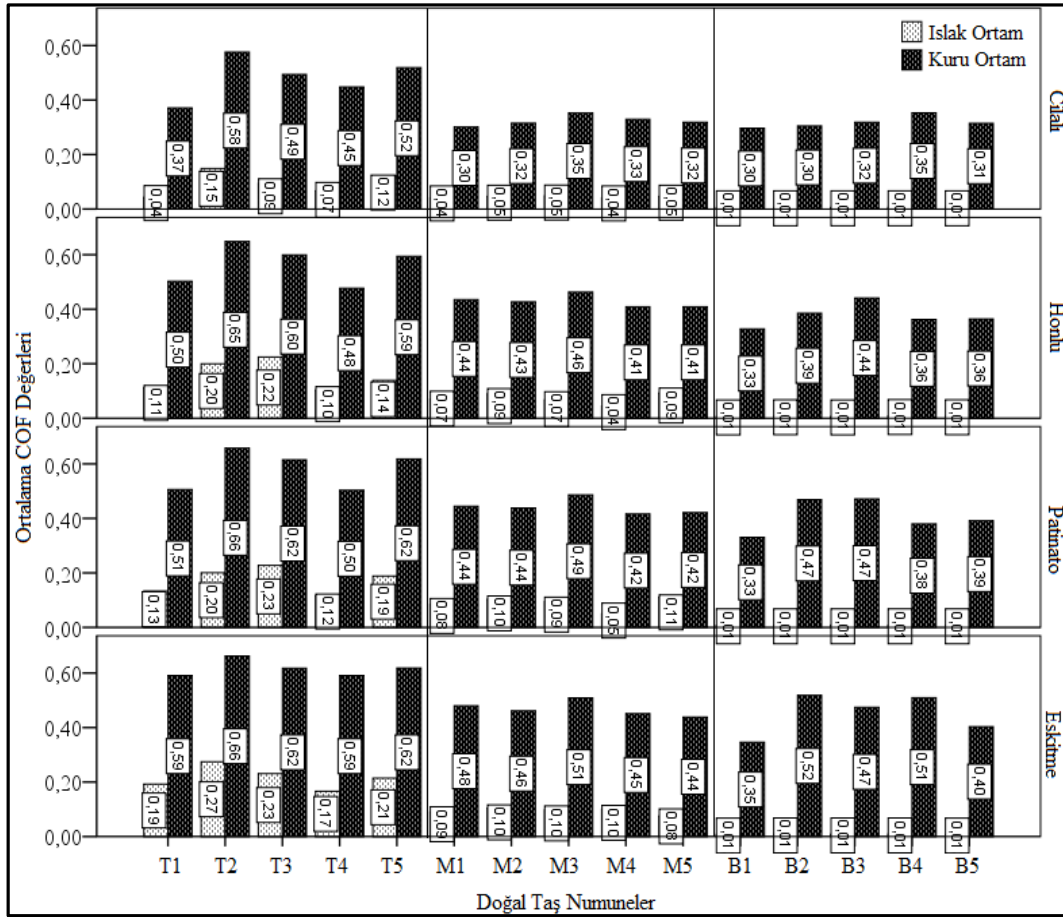


Şekil 5. Islak ve kuru ortamda doğal taşların eğik düzlem test (DIN 51097) yöntemi ile COF değerleri.

Tüm örneklerde, eğik düzlem test (DIN 51097) yönteminde ıslak ortam kuru ortamdaki COF değerinden daha düşük bir COF değeri vermiştir. Beklendiği gibi, su ve benzeri malzemeler çıplak ayak ve doğal taş yüzeyi arasındaki kayma riskini artırır. Kuru ortamda cilalı yüzeyde, B2 örneğinin aritmetik ortalaması en düşük COF değere (0.40μ) sahiptir. Eskitilmiş yüzeylerde, M5 örneğinin aritmetik ortalaması en yüksek COF değere (0.81μ) sahiptir. Islak ortamda, doğal taş örneklerinde COF değerlerinin düştüğü görülmüştür. Cilalı yüzeyler için, M1 ve B1 örneği en düşük aritmetik ortalamaya (0.31μ) sahiptir. Eskitilmiş yüzeyler için T3 örneğinin en yüksek aritmetik ortalamaya (0.57μ) sahiptir. Eskitilmiş yüzeylerde, M2, M3, M4 ve M5 örnekleri en yüksek COF değerine sahip olduklarından, bu dört doğal taş insanların çıplak ayakla yürüdüğü alanlarda tercih edilebilir. Eskitilmiş yüzeylerde çıplak ayak için hem kuru hem de ıslak ortamlarda güvenli doğal taş yüzeyleri olması tercih edilebilir. Şekil 5 incelendiğinde, çıplak ayaklı cilalı, honlu, patinato ve eskitilmiş doğal taşların COF değerlerinin ıslak ortamdaki değerlerden daha düşük olduğu anlaşılmaktadır. Bu bulguya göre, ıslak ortamlarda cilalı doğal taşlar ile kaplı zeminler için kayma riski önemli ölçüde artmaktadır.

3.2. Kuru ve Islak Ortamda Doğal Taşların Eğik Düzlem Test Yöntemi (DIN 51130) ile COF Analizi

Eğik düzlem test (DIN 51130) yöntemi deneylerinde kullanılan 15 doğal taş türü için, 2 ortam ve 4 yüzey işleme ile ilişkisi varyans (ANOVA) yöntemi kullanılarak istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Deneysel çalışmada her bir doğal taş numunesinin test yüzeyi ölçümlerinden 75 veri alınmıştır. Toplam (15doğal taş türü × 2 ortam × 4 yüzey işleme × 75 tekrarlı veri) 9000 veri kullanılmıştır. Doğal taş numunelerinde COF değerleri ile kuru ve ıslak ortamın ve cilalı, honlu, patinato ve eskitilmiş yüzey işlemenin $p<0.001$ anlamlılık düzeyinde etkili olduğu görülmüştür.



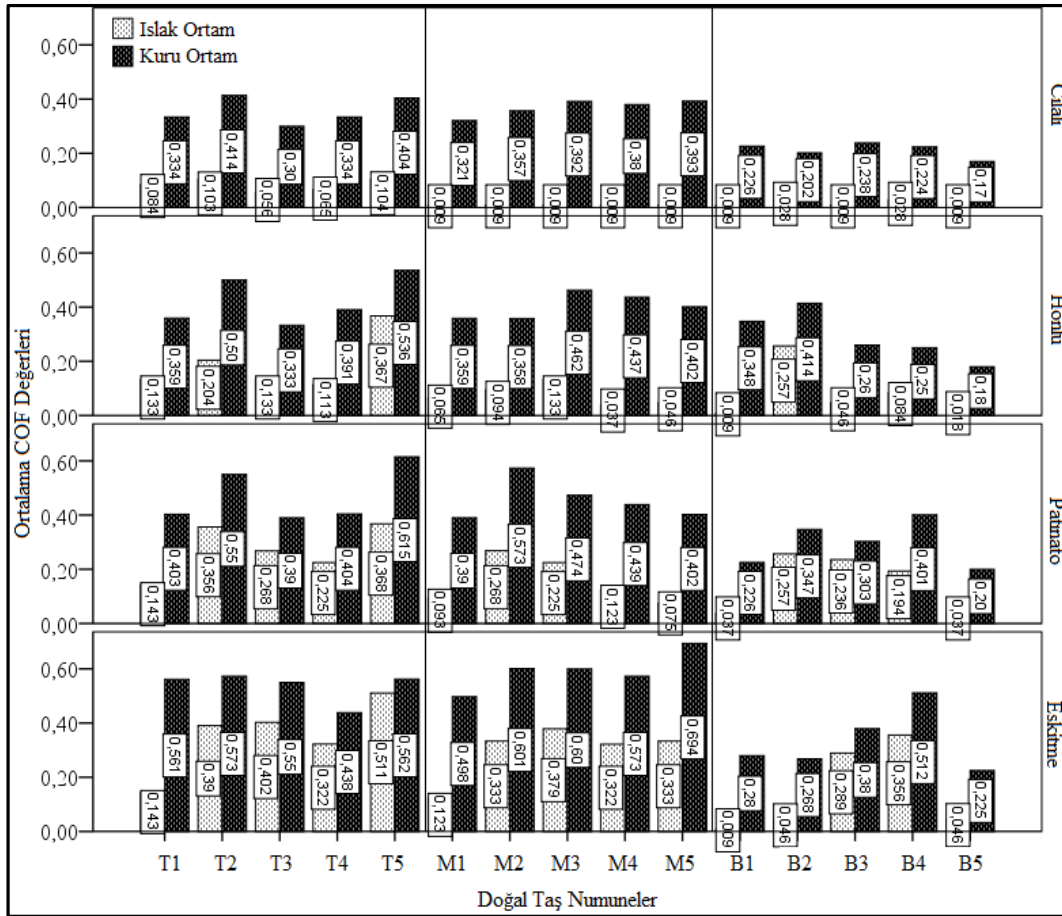
Şekil 6. Islak ve kuru ortamda doğal taşların eğik düzlem test (DIN 51130) yöntemi ile COF değerleri.

Çıplak ayağa göre kuru ortamda, cilalı yüzeyler için doğal taşörneklerinde COF değerleri azalmıştır (Şekil 6). Cilalanmış yüzeylerde, M1 örneği en düşük aritmetik ortalamaya (0.30μ), T2 örneğinin en yüksek aritmetik ortalamasına (0.58μ) sahiptir. Honlu yüzeylerde, B1 örneği en düşük aritmetik ortalamaya (0.33μ), B5 örneğinin en yüksek aritmetik ortalamasına (0.65μ) sahiptir. Eskitilmiş yüzeyler, tüm örnekler için en yüksek COF değerlerine sahip olduğu için kayma riski taşıyan zemin kaplamalarında tercih edilmelidir. Yağlı ortamlarda, cilalı, honlu, patinato ve eskitilmiş yüzeyler için tüm örneklerde COF değerleri belirgin şekilde azalmıştır. Cilalı yüzeyler için tüm örneklerin ortalama COF değerleri 0.01 ile 0.15μ arasında değişir. Eskitilmiş yüzeylerde ortalama kayma açısı 0.01 ile 0.23μ arasında değişir. Yağlı ortamda bu küçük COF değerleri kayma riski açısından değerlendirildiğinde, cilalı, honlu, patinato ve eskitilmiş doğal taşların güvensiz olduğu söylenebilir.

3.3. Kuru ve Islak Ortamda Doğal Taşların Pandül Yöntemi ile COF Analizi

Pandül yöntemi deneylerinde kullanılan 15 doğal taş türü için, 2 ortam ve 4 yüzey işleme ile ilişkisi varyans (ANOVA) yöntemi kullanılarak istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Deneysel çalışmada her bir doğal taş numunesinin test yüzeyi ölçümlerinden 25 veri alınmıştır. Toplam (15 doğal taş türü \times 2 ortam \times 4 yüzey işleme \times 25 tekrarlı veri) 3000 veri kullanılmıştır. Doğal taş numunelerinde COF değerleri ile kuru ve ıslak ortamlarda cilalı, honlu, patinato ve eskitilmiş yüzey işlemenin $p < 0.001$ anlamlılık düzeyinde etkili olduğu görülmüştür.

Kuru ortamlarda cilalı yüzeylerin COF değerleri düşük iken, eskitilmiş yüzeylerin COF değerleri artmıştır (Şekil 7). Cilalı yüzey için B5 örneği en düşük aritmetik ortalamaya (0.17μ) sahipken, eskitilmiş yüzeyler için B5 numunesi COF için en yüksek aritmetik ortalamaya (0.414μ) sahiptir. Yüzeyleri eskitilmiş olan tüm örnekler, COF değerleri daha yüksek olduğu için tüm uygulamalarda tercih edilebilir. Cilalı yüzeyler için B1-B5 örnekleri 0.009μ aritmetik ortalaması ile en düşük değere sahiptir. Eskitilmiş yüzeyler için T5 numunesi, 0.511μ aritmetik ortalama ile en yüksek değere sahiptir. Kuru ortamlarda cilalı, honlu, patinato ve eskitilmiş doğal taşların COF değerlerin pandül yönteminde ıslak ortamdaki değerlerden daha yüksek olduğu gözlenmiştir (Şekil 7). Test sonuçlarına göre, ıslak ortamda cilalı, honlu, patinato ve eskitilmiş doğal taşlarda kayma riski daha yüksek olduğu için zemin kaplamaları ve diğer kullanımlarda dikkatlice kullanılmalıdır. Cilalı, honlu, patinato ve eskitilmiş yüzeyler dedoğal taşların düşük COF değerleri nedeniyle ıslak ortamlarda kullanılması önerilmemiştir.



Şekil 7. Islak ve kuru ortamda doğal taşların pandül yöntemi ile COF değerleri.

3.6. Doğal Taşların COF Değerlerine Göre Sınıflandırılması

Doğal taşlar DIN 51097 standartlarına göre yapılan testler ile COF değerleri tespit edilmiştir. Çizelge 4'de "Çıplak ayakla gezilen ıslak bölgelerin kaymayı önleme özelliğinin belirlenmesi" standardına göre doğal taşların sınıflandırılması yapılmıştır.

Bu çalışmada kullanılan doğal taş örnekleri, patinatolu ve eskitilmiş yüzeylerde kuru ortamda kayma açısı 0.45 μ 'dan büyük olduğu için C sınıfına dahil edilmiştir. C sınıfında yer alan doğal taşlar havuzların kıyı eğimlerinde B sınıflandırılmasında yer almayan su içindeki merdivenler kullanılabilir. Doğal taşlar cilalı ve honlu yüzeylerde COF değeri ıslak ortamda 0,32-0,42 μ arasında olduğu için B sınıfına dahil edilir. B sınıfında yer alan doğal taşlar yüzme havuzu çevresindeki alanlar, platformlar, çocuk havuzları, yağmurlu alanlardaki merdivenler, yüzme havuzu dışındaki merdiven basamaklarında kullanılabilir. Sadece cilalı yüzeylerde ıslak ortamda M1 ve T1 doğal taşları COF değeri ıslak ortamda 0,21-0,31 μ arasında olduğu için A sınıfına dahil edilir. A sınıfında yer alan doğal taşlar genellikle kuru iken yalnızca kullanılan koridorlar, tek ya da grup soyunma odaları (sporcular için), tüm yüzme havuzlarında derinliği 80 cm geçmeyen sığ yüzme havuzlarında kullanılabilir.

Çizelge 4. Doğal taşların DIN 51097standartına göre sınıflandırılması.

Doğaltaş	Ortam	Yüzey İşleme	T1		T2		T3		T4		T5	
			COF	Sınıf	COF	Sınıf	COF	Sınıf	COF	Sınıf	COF	Sınıf
Traverten	Islak	Cilalı	0,42	B	0,36	B	0,46	C	0,37	B	0,53	C
		Honlu	0,51	C	0,43	C	0,47	C	0,38	B	0,53	C
		Patinato	0,54	C	0,51	C	0,54	C	0,52	C	0,54	C
		Eskitme	0,54	C	0,53	C	0,57	C	0,55	C	0,55	C
	Kuru	Cilalı	0,60	C	0,42	B	0,56	C	0,60	C	0,56	C
		Honlu	0,61	C	0,45	C	0,59	C	0,61	C	0,60	C
		Patinato	0,62	C	0,61	C	0,61	C	0,62	C	0,60	C
		Eskitme	0,62	C	0,66	C	0,61	C	0,62	C	0,61	C
			M1		M2		M3		M4		M5	
Mermer	Islak	Cilalı	0,31	A	0,39	B	0,41	B	0,35	B	0,40	B
		Honlu	0,36	B	0,41	B	0,43	C	0,39	B	0,45	C
		Patinato	0,38	B	0,43	B	0,48	C	0,44	C	0,48	C
		Eskitme	0,39	B	0,47	C	0,48	C	0,49	C	0,50	C
	Kuru	Cilalı	0,47	C	0,60	C	0,59	C	0,69	C	0,70	C
		Honlu	0,48	C	0,67	C	0,60	C	0,69	C	0,76	C
		Patinato	0,49	C	0,73	C	0,68	C	0,73	C	0,77	C
		Eskitme	0,53	C	0,75	C	0,69	C	0,73	C	0,81	C
			B 1		B 2		B 3		B 4		B 5	
Kireçtaşı	Islak	Cilalı	0,31	A	0,36	B	0,32	B	0,32	B	0,32	B
		Honlu	0,32	B	0,42	B	0,35	B	0,47	C	0,43	C
		Patinato	0,44	B	0,43	C	0,48	C	0,47	C	0,43	C
		Eskitme	0,45	C	0,50	C	0,49	C	0,49	C	0,45	C
	Kuru	Cilalı	0,40	B	0,40	B	0,41	B	0,42	C	0,53	C
		Honlu	0,42	B	0,42	B	0,42	B	0,43	C	0,54	C
		Patinato	0,50	C	0,43	C	0,45	C	0,45	C	0,54	C
		Eskitme	0,51	C	0,44	C	0,48	C	0,45	C	0,60	C

Doğal taşlar DIN 51130 standartlarına göre yapılan testler ile COF değerleri tespit edilmiştir. Çizelge 5'de "Ayakkabı ile gezilen kuru bölgelerin yağlanmasıyla kaymayı önleme özelliğinin belirlenmesi" standardına göre doğal taşların sınıflandırılması yapılmıştır.

Yağlı ve kuru ortamlarda test edilen doğal taşlar DIN 51130 standardı göre sınıflandırılmıştır. Doğal taşların COF değerleri, yağlı ortamlarda 0.11-0.18 μ arasında olduğu için R9 sınıfına dahil edilmiştir.

Doğal Taşların Sürtünme Katsayıları

R9 sınıflandırmasında yer alan doğal taşlar oturmaya ayrılmış alan, okullar, muayenehanelerde kullanılabilir. Doğal taşların COF değerleri kuru ortamlarda ve cilalı yüzeylerde 0,18-0,34 μ arasında olduğu için R10 sınıfına dahil edilmiştir. R10 sınıfındaki doğal taşlar banyo, depo ve restoran mutfaklarında kullanılabilir. Doğal taşlar ıslak ortamlarda honlu, patinatolu ve eskitilmiş yüzeylerde 0,34-0,51 μ arasında olduğu için R11 sınıfına dahil edilmiştir. R11 sınıfındaki doğal taşlar soğutma odaları, süt üretim alanları, çamaşırhanelerde kullanılabilir. Doğal taşlar ıslak ortamlarda honlu, patinatolu ve eskitilmiş yüzeylerde 0,51-0,70 μ arasında olduğu için R12 sınıfına dahil edilmiştir. R12 sınıfındaki doğal taşlar et üretim tesisleri, endüstriyel mutfaklar ve şeker üretim alanlarında kullanılabilir.

Çizelge 5. Doğal taşların DIN 51130 standardına göre sınıflandırılması.

Doğaltaş	Ortam	Yüzey İşleme	T1		T2		T3		T4		T5	
			COF	Sınıf	COF	Sınıf	COF	Sınıf	COF	Sınıf	COF	Sınıf
Traverten	Yağlı	Cilalı	0,04	R9	0,15	R9	0,09	R9	0,07	R9	0,12	R9
		Honlu	0,11	R9	0,20	R10	0,22	R10	0,10	R9	0,14	R9
		Patinato	0,13	R9	0,20	R10	0,23	R10	0,12	R9	0,19	R10
		Eskitme	0,19	R10	0,27	R10	0,23	R10	0,17	R9	0,21	R10
	Kuru	Cilalı	0,37	R11	0,58	R12	0,49	R11	0,45	R11	0,52	R12
		Honlu	0,50	R11	0,65	R12	0,60	R12	0,48	R11	0,59	R12
		Patinato	0,51	R12	0,66	R12	0,62	R12	0,50	R11	0,62	R12
		Eskitme	0,59	R12	0,66	R12	0,62	R12	0,59	R12	0,62	R12
			M1		M2		M3		M4		M5	
Mermer	Yağlı	Cilalı	0,04	R9	0,05	R9	0,05	R9	0,04	R9	0,05	R9
		Honlu	0,07	R9	0,09	R9	0,07	R9	0,04	R9	0,09	R9
		Patinato	0,08	R9	0,10	R9	0,09	R9	0,05	R9	0,11	R9
		Eskitme	0,09	R9	0,10	R9	0,10	R9	0,10	R9	0,08	R9
	Kuru	Cilalı	0,30	R10	0,32	R10	0,35	R11	0,33	R10	0,32	R10
		Honlu	0,44	R11	0,43	R11	0,46	R11	0,41	R11	0,41	R11
		Patinato	0,44	R11	0,44	R11	0,49	R11	0,42	R11	0,42	R11
		Eskitme	0,48	R11	0,46	R11	0,51	R11	0,45	R11	0,44	R11
			B 1		B 2		B 3		B 4		B 5	
Kireçtaşı	Yağlı	Cilalı	0,01	R9	0,01	R9	0,01	R9	0,01	R9	0,01	R9
		Honlu	0,01	R9	0,01	R9	0,01	R9	0,01	R9	0,01	R9
		Patinato	0,01	R9	0,01	R9	0,01	R9	0,01	R9	0,01	R9
		Eskitme	0,01	R9	0,01	R9	0,01	R9	0,01	R9	0,01	R9
	Kuru	Cilalı	0,30	R10	0,30	R10	0,32	R10	0,35	R11	0,31	R10
		Honlu	0,33	R10	0,39	R11	0,44	R11	0,36	R11	0,36	R11
		Patinato	0,33	R10	0,47	R11	0,47	R11	0,38	R11	0,39	R11
		Eskitme	0,35	R11	0,52	R12	0,47	R11	0,51	R12	0,40	R11

Doğal taşlarda TS EN 14231 standartlarına göre yapılan testler ile COF değerleri tespit edilmiştir. Çizelge 6'da "Pandül deney donanımıyla kayma direncinin tayini" standardına göre doğal taşların sınıflandırılması yapılmıştır.

Islak ve kuru ortamlarda test edilen doğal taşlar TS EN 14231 standardı göre sınıflandırılmıştır. Islak ortamda cilalı, honlu, patinatolu ve eskitilmiş yüzeyler doğal taş örnekleri 0.25 μ 'dan küçük olduğu için Z sınıfı içinde yer almaktadır. Z sınıfında yer alan doğal taşlar alışveriş merkezlerinde kullanılabilir. Kuru ortamda, COF değerleri 0.25-0.34 μ arasında olduğu için Y sınıfı içinde yer almaktadır. Y sınıfında yer alan doğal taşlar banyo, depo, çamaşırhanelerde kullanılabilir. Kuru ortamda, COF değerleri 0.36-

ÇOŞKUN, SARIİŞİK

0.46 μ arasında olduğu için X sınıfı içinde yer almaktadır. X sınıfında yer alan doğal taşlar alışveriş merkezleri yemek alanları, otel giriş salonları, ortak soyunma odaları ve iç mekân basamaklarında kullanılabilir. Kuru ortamda, COF değerleri 0.47-0.59 μ arasında olduğu için W sınıfı içinde yer almaktadır. W sınıfında yer alan doğal taşlar dış mekân yürüyüş yolları, yüzme havuzu çevresi, dış mekân basamaklarda kullanılabilir. Kuru ortamda, COF değerleri 0.59 μ 'dan büyük olduğu için V sınıfı içinde yer almaktadır. V sınıfında yer alan doğal taşlar dış mekân eğimli alanlarda kullanılabilir.

Çizelge 6. Doğal taşların TS EN 14231 standardına göre sınıflandırılması.

Doğaltaş	Ortam	Yüzey İşleme	T1		T2		T3		T4		T5	
			COF	Sınıf	COF	Sınıf	COF	Sınıf	COF	Sınıf	COF	Sınıf
Traverten	Islak	Cilalı	0,08	Z	0,10	Z,	0,06	Z	0,07	Z	0,10	Z
		Honlu	0,13	Z	0,20	Z	0,13	Z	0,11	Z	0,37	X
		Patinato	0,14	Z	0,36	X	0,27	Y	0,23	Z	0,37	X
		Eskitme	0,14	Z	0,39	X	0,40	X	0,32	Y	0,51	W
	Kuru	Cilalı	0,33	Y	0,41	X	0,30	Y	0,33	Y	0,40	X
		Honlu	0,36	X	0,50	W	0,33	Y	0,39	X	0,54	W
		Patinato	0,40	X	0,55	W	0,39	X	0,40	X	0,56	W
		Eskitme	0,56	W	0,57	W	0,55	W	0,44	W	0,61	V
			M1		M2		M3		M4		M5	
Mermer	Islak	Cilalı	0,01	Z	0,01	Z	0,01	Z	0,01	Z	0,01	Z
		Honlu	0,07	Z	0,09	Z	0,13	Z	0,04	Z	0,05	Z
		Patinato	0,09	Z	0,27	Y	0,23	Z	0,12	Z	0,07	Z
		Eskitme	0,12	Z	0,33	Y	0,38	X	0,32	Y	0,33	Y
	Kuru	Cilalı	0,32	Y	0,36	X	0,39	X	0,38	X	0,39	X
		Honlu	0,36	X	0,36	X	0,46	X	0,44	X	0,40	X
		Patinato	0,39	X	0,57	W	0,47	W	0,44	X	0,40	X
		Eskitme	0,50	W	0,60	V	0,60	V	0,57	W	0,69	V
			B 1		B 2		B 3		B 4		B 5	
Kireçtaşı	Islak	Cilalı	0,01	Z	0,03	Z	0,01	Z	0,03	Z	0,01	Z
		Honlu	0,01	Z	0,26	Y	0,05	Z	0,08	Z	0,02	Z
		Patinato	0,04	Z	0,26	Y	0,24	Z	0,19	Z	0,04	Z
		Eskitme	0,01	Z	0,05	Z	0,29	Y	0,36	X	0,05	Z
	Kuru	Cilalı	0,23	Z	0,20	Z	0,24	Z	0,22	Z	0,17	Z
		Honlu	0,23	Z	0,27	Y	0,26	Y	0,25	Z	0,18	Z
		Patinato	0,28	Y	0,35	Y	0,30	Y	0,40	X	0,20	Z
		Eskitme	0,35	Y	0,41	X	0,38	X	0,51	W	0,23	Z

4. SONUÇLAR

Doğal taş örnekleri DIN 51097, DIN 51130 ve TS EN 14231 standartlarına göre yapılan testler ile COF değerleri belirlenmiş ve sınıflandırmaları yapılmıştır.

Deneysel çalışmanın sonuçları aşağıda özetlenmiştir;

- Islak ortamda, doğal taşların COF değerleri azaldığı için özellikle cilalanmış yüzeylerde kayma riski yüksektir. Islak ortamda çıplak ayakla yürünen alanlarda eskitilmiş yüzeylerde kullanımı daha güvenli olduğu belirlenmiştir.
- Kuru ortamda, doğal taşlar tüm yüzeylerde ayakkabı ile yürünen alanlarda, COF değerleri yüksek olduğu için kayma riski düşüktür. Doğal taşlar yağlı ortamlarda ayakkabı ile yürünen alanlarda, COF değerinin düşük olmasından dolayı, kayma riski tüm yüzeyler için daha yüksektir. Buna göre, kuru ortamlarda ayakkabı ile yürünen alanlarda doğal taşların kullanımı daha güvenlidir. Bununla birlikte, bu konuda geliştirilen ve yayınlanan standartlar kuru ortamları dikkate almamaktadır. Bu çalışmada kuru ortamlarda farklı yüzey işleme yöntemleri ile doğal taşların kayma riski belirlenmiştir.

Pandül yönteminde kuru ortamlarda doğal taşların COF değeri tüm yüzeylerde yükseldiği için kayma riski düşüktür. Pandül yöntemi ile ıslak ortamlarda COF değeri düştüğünden, tüm yüzeyler için kayma riski daha düşüktür. Buna göre zemin kaplamalarında doğal taşların kullanımı kuru ortamlarda daha güvenli olabilir. Pandül yönteminden elde edilen sonuçlara göre, ıslak ortamlarda, doğal taşların zorunlu olduğu durumlarda eskitilmiş plakalar kullanmak daha uygun olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1]. Adams, N., 1997; "Slips and Falls-Some Arguments About Measuring Coefficients of Friction (COF)", Ergonomics [2] Bowman, R., 2003; "Slip Resistance Ignorance: A Recipe for Costly Falls", www.infotile.com/tiletoday/issues/pdf/40article.pdf.
- [2]. Bowman R (2004) Practical Aspects of Slip Resistance of Stone, see <http://www.discoveringstone.com> (accessed 29/05/2011).
- [3]. Bowman R (2010) Slip Resistance Testing-Zones of Uncertainty. Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidrio, Vol. 49(4), pp. 227-238.
- [4]. Chang, W.R., 1999; "The effect of surface roughness on the measurement of slip resistance", International Journal of Industrial Ergonomics, 24, 299-313.
- [5]. Chang WR, Matz S (2001) The slip resistance of common footwear materials measured with two slipmeters. Applied Ergonomics 32(6): 540-558.
- [6]. Chang WR, Kim IJ, Manning DP, Bunterngchit Y (2001) The role of surface roughness in the measurement of slipperiness. Ergonomics 44(13): 1200-1216.
- [7]. Coşkun, G., 2013. Karbonat Kökenli Bazı Doğal Taşlarda Yüzey İşleme Tekniklerinin ve Pürüzlülüğün Kayma Direncine Etkileri", Doktora Tezi., Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 293, 2013.
- [8]. Coşkun, G., Sarıışık, G., & Sarıışık, A. (2016). Classification of parameters affecting slip safety of limestones. Cogent Engineering, 3(1), 1217821.
- [9]. DIN EN 51097, 1992; "Testing of floor Coverings; Determination of The Anti-Slip Properties; Wet Loaded Barefoot Areas; Walking Method-Ramp Test", Deutsche Norm, Berlin.

- [10]. DIN EN 51130, 1992; “Testing of Floor Coverings; Determination of The Anti-Slip Properties; Workrooms and Fields of Activities with Slip Danger; Walking Method; Ramp Test”, Deutsche Norm, Berlin
- [11]. Grönqvist, R., 1995; “Mechanisms of friction and assessment of slip resistance of new and used footwear sales on contaminated metals”, *Ergonomics*, 38, 224–41.
- [12]. Grönqvist R, Hirvonen M, Tohv A (1999) Evaluation of three portable floor slipperiness testers. *International Journal of Industrial Ergonomics* 25, 85-95.
- [13]. Gabbrielli Katalog, 2011
- [14]. Kim, I.J., 1996; “Microscopic investigation to analyze the slip resistance of shoes”, Proceedings of the Fourth Pan Pacific Conference on Occupational Ergonomics, November. Taiwan, ROC, 68-73.
- [15]. Kim, I.J., 2001; “Microscopic observations of the progressive wear on shoe surfaces that affect the slip resistance characteristics”, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 28, 17-29.
- [16]. Kim, I., Smith, R., 2000. Observation of the floor surface topography changes in pedestrian slip resistance measurements. *International Journal of Industrial Ergonomics* 26, 581-601.
- [17]. Kim, I., 2004a. Development of a new analyzing model for quantifying pedestrian slip resistance characteristics: part I - basic concepts and theories. *International Journal of Industrial Ergonomics* 33, 395-401.
- [18]. Kim, I., 2004b. Development of a new analyzing model for quantifying pedestrian slip resistance characteristics: part II – experiments and validations. *International Journal of Industrial Ergonomics* 33, 403-414.
- [19]. Leclercq, S., 1999. The prevention of slipping accidents: a review and discussion of work related to the methodology of measuring slip resistance. *Safety Science* 31, 95–125.
- [20]. Manning, D.P., Jones, C., Rowland ,F.J., Roff, M., 1998; “The surface roughness of a rubber soling material determines the coefficient of friction on water-lubricated surfaces”, *Journal of Safety Research*, 29, 275–283.
- [21]. Powers CM, Kulig K, Flynn J, Brault JR (1999) Repeatability and bias of two walkway safety tribometers. *Journal of Testing and Evaluation* 27(6): 368-374.
- [22]. Ricotti R, Delucchi M, Cerisola G (2009) A comparison of results from portable and laboratory floor slipperiness testers. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 39, 353-357.
- [23]. Rowland FJ, Jones C, Manning DP (1996) Surface roughness of footwear soling materials: Relevance to slip resistance. *Journal of Testing and Evaluation*, 24 (6), 368–376. <http://dx.doi.org/10.1520/JTE11459J>.
- [24]. Sarıışık A (2009) Safety analysis of slipping barefoot on marble covered wet areas. *Safety Science* 47(10): 417-1428.
- [25]. Sarıışık A, Akdaş H, Sarıışık G, Çoşkun G (2011) Slip Safety Analysis of Differently Surface Processed Dimension Marbles. *Journal of Testing and Evaluation*, Vol. 39, No. 5.
- [26]. Strandberg, L., 1983. Ergonomics applied to slipping accidents. In: Kvalseth, T.O. (Ed.), *Ergonomics of Workstation Design*. Butterworths, London, pp. 201-228.
- [27]. TS EN 14231 (2004) “Natural Stone Test Methods-Determination of the Slip Resistance by Means of the Pendulum Tester,” Turkish Standards Institute, p.13.