

Afyon Yöresi Mermerlerinin Kayma Emniyetinin Analizi

Gültekin COŞKUN¹, Ali SARIİŞİK²

¹Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas Meslek Yüksekokulu, Sivas, coskungc@gmail.com

²Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Bölümü, Afyonkarahisar.

Geliş Tarihi:28.07.2015; Kabul Tarihi:18.03.2016

Özet

Bu çalışma, hastane, otopark, metro, alışveriş merkezleri, okullar, endüstriyel mutfaklar gibi insan yoğunluğunun fazla olduğu alanlarda zemin kaplama malzemesi olarak kullanılan farklı yüzey işleminde ve plaka boyutundaki Afyon mermerlerinin, kayma potansiyellerinin belirlenmesi ile kullanım alanlarına göre sınıflamasının tespit edilmesi için yapılan bir araştırmayı kapsamaktadır. Çalışmada, yüzeyleri işlenmiş mermerlerin zemin kaplama malzemesi olarak kullanılmasında önemli birer parametre olan kayma açıları, DIN 51130 "Kuru Bölgelerin Yağlanmasıyla Kaymayı Önleme Özelliğinin Belirlenmesi" ile kayma dirençleri ise TS EN 14231 "Pandül Deney Donanımıyla Kayma Direncinin Tayini" standartları kullanılarak saptanmıştır. Kayma potansiyeline etkisinin var olduğu düşüncesiyle, mermer örneklerinin yüzey pürüzlülük parametreleri DIN EN ISO 4287 standardına göre çalışan Mitutoyo SJ – 400 yüzey pürüzlülük test cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Mermer örneklerinin kayma potansiyelini etkileyen parametrelerin yüzey işleme teknikleri, plaka boyutları ve yüzey pürüzlülüğü olduğu tespit edilmiş ve bu parametreler arasındaki ilişkiyi belirlemek için istatistiksel analiz yapılmıştır. Kuru ortamda elde edilen kayma açısı ve kayma direnci değerlerinin yağlı-ıslak ortamlara göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Mermer örneklerinin, elde edilen kayma açısı, kayma direnci ve yüzey pürüzlülük parametresi Rz (μm) değerleri dikkate alınarak, kayma potansiyellerine göre sınıflaması yapılmış ve kullanım alanları belirlenmiştir. Elde edilen veriler ışığında ayakkabı ile yürünen kuru ve yağlı zemin kaplamalarında P1 (30.5x30.5x2x0 cm) plaka boyutunda ve Y3 (Eskitme) yüzey işlemleri mermer örneklerinin kullanılması önerilmiştir.

Anahtar kelimeler

Mermer, Yüzey işleme teknikleri, Kayma açısı, Kayma Direnci, Pendulum yöntemi, Eğik düzlem yöntemi, Kayma emniyeti

Slip Safety Analysis of Local Afyon Marble

Abstract

This study includes a research in order to determine the slipping potential of the Afyon marble in different surface treatment and in plate size which is used as a floor covering material in areas where human is more such as hospital, bus station, subway, shopping centers, schools, industrial kitchen. In this study, the slip angles of surface-processed marbles which are used as floor coating have been determined by DIN51130 "Determination of the slip prevention attribute with lubrication of dry zone" and the slip resistance have been determined by TS EN 14231 "Determination of the slip resistance by means of the pendulum tester". With the idea that there is an effect of the slipping potential, surface roughness parameters of the marble examples have been measured by surface roughness tester Mitutoyo SJ-400 which is working according to DIN EN ISO 4287 standards. It was determined that slipping potential of the marble examples influencing parameters are the surface treatment techniques, the plate sizes and the surface roughness and statistical analyzes were performed to determine the relationship between these parameters. According to the oil-wet conditions the slip angle which is obtained in dry environment and the values of sliding resistance has been found higher. Slip angel, slip resistance and surface roughness parameters of the marble examples usage areas have been determined by considering Rz (μm) values. As a result, walking with shoes in dry and oily floor plates has recommended to use Y3 (Ageing) surface-treated and P1 (30.5x30.5x2x0 cm) plate size marble samples.

Keywords

Marble, Surface processing, Slip angle, Slip resistance, Pendulum method, Ramp Test, Slip safety

1. Giriş

Günümüzde otogar, metro, alışveriş merkezleri, okullar, endüstriyel mutfaklar ve hastane gibi yayaların yoğun olduğu dış mekanlarda merdiven basamakları ve kaldırım döşemesi gibi zemin kaplamalarında, iç mekanlarda ise banyo ve mutfak gibi alanlarda mermer kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Zemin kaplama malzemesi olarak, doğal taşların kullanılmasından dolayı yayaların düşme ve kayma sonucu oluşabilecek kazalardan korunması ve daha emniyetli hareket edebilmeleri için, doğal taşların kayma potansiyellerinin belirlenmesi gerekmektedir (Coşkun, 2013).

Özellikle son dönemlerde çıkan yönetmelikler çerçevesinde zemin kaplamalarının kayma potansiyellerinin belirlenmesi ve kullanılacak yere göre uygun yüzey işleminin tespit edilmesi artık yasal bir zorunluluk olmuştur. Bu nedenle hem iş güvenliği hem de yayaların emniyeti açısından doğal taşların zemin kaplama malzemesi olarak tasarımında ve kullanılmasında kayma direnci önem verilmesi gereken bir konu olarak ön plana çıkmaktadır (Grönqvist, 1995; Rowlan *et. al* 1996; Kim, 1996; Chang, 1999; Mannig *et. al* 1998).

Kayma vakaları, deneyi yapan kişi, deney ortamı (su, yağ, donma, toz) kirleticiler gibi çevresel faktörler, yetersiz zaman, ısı ve aydınlatma, ayakkabı ve yürünülen zeminin özellikleri dâhil bir ya da birden fazla sebepten kaynaklanır (Kim 2001). Tüm bu unsurlar, sürtünme kuvvetinin (ya da yüzey kayma direncinin) kaymayı önlemeye yeterli olup olmadığına karar vermek için birleştirilebilir. Doğal taş plakalarında kayganlık, yüzey ve yüzeyle etkileşen nesnenin çekme ya da sürtünmesinden oluşan etki olarak tanımlanabilir. Adams'a göre (1997) yayaların yürürken, kayma kazalarının artmasıyla kaymayı önleme çalışmalarının önemi belirgin olarak artmıştır. Kayma direnci, çıplak ayak ve ayakkabı tabanı ile zemin kaplama malzemesi yüzeyinin etkileşimden kaynaklanmaktadır. Bunun için insanların ayakkabı ile emniyetli hareket edebilmesi için, zemin kaplama malzemesi olarak kullanılacak doğal taş

örneklerinin ıslak ve kuru zeminlerde de kayma emniyetinin belirlenmesi gerekmektedir. Doğal taş örneklerinin kayma emniyetinin belirlenmesi için yüzeyleri işlenmiş doğal taş örneklerinin kayma açısının laboratuvar ortamında test edilmesi zorunlu olmuştur. Literatürde kayma direncinin belirlenmesinde birçok farklı test cihazı kullanılmaktadır (Sarıışık, 2009; Sarıışık and Sarıışık 2010, Sarıışık *et. al* 2011, Sarıışık *et. al* 2012, Chang and Matz 2001; Chang Sarıışık *et. al* 2001; Grönqvist *et. al* 1999; Leclercq 1999; Powers *et. al* 1999)

Ayakkabı ile kayma güvenliliğinin analiz edildiği ortamlar özellikle, nem ile sıklıkla etkileşen iç mekânlar (alışveriş merkezleri, yemek alanları, otel giriş salonları, ortak soyunma odaları, iç mekân basamakları, banyo, depo, çamaşırhane) ve dış mekânlar (yürüyüş yolları, yüzme havuzu çevresi, dış mekân basamakları ve eğimli alanlar) kayma ihtimali yüksek ortamlardır. Bu mekânlarda sabun artıkları, mutfak yağları ve gıda maddesi gibi diğer kirleticilerle temas halinde olduğu ve kullanıldığı için kayma riski yüksektir (Coşkun, 2013).

Bu çalışmada, inşaat sektöründe özellikle ıslak ve yağlı ortamlarda kullanılan 4 farklı yüzey işlemi görmüş, 3 farklı plaka boyutunda, 3 adet Afyon mermeri seçilmiştir. Mermer örneklerinin ayakkabı ile gezilen ortamlarda kayma potansiyelinin belirlenmesi için DIN 51130 "Kuru Bölgelerin Yağlanmasıyla Kaymayı Önleme Özelliğinin Belirlenmesi" ve TS EN 14231 "Pandül Deney Donanımıyla Kayma Direncinin Tayini" standartları kullanılmıştır. Ayrıca mermer örneklerinin yüzey pürüzlülük parametrelerinin tespitinde ise DIN EN ISO 4287 standardına göre çalışan Mitutoyo SJ – 400 test cihazı kullanılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Mermerler, son yıllarda zemin kaplama malzemesi olarak birçok alanda kullanılmaktadır. Kullanıldığı alanlarda kayma sonucu oluşan kazaları, en aza indirmek ve daha güvenli zeminler oluşturmak amacıyla, mermerlerin kayma potansiyellerinin

belirlenmesi gerekmektedir. Deneyleerde kullanılan mermer örneklerinin ticari ismi, kodu, plaka boyutu ve yüzey işleme metotları Çizelge 1’de verilmektedir.

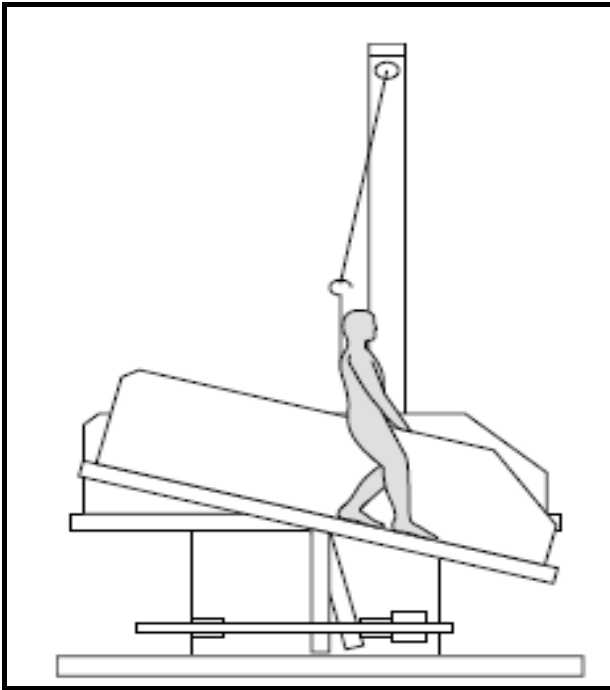
Çizelge 1. Deneyleerde kullanılan mermerlerin kodlanması

Numune Kodu	Ticari İsmi	Yüzey İşl. Metodu	Plaka Boyutu (cm)
M 1	Afyon Menekşe	Y1-Cilalı	P1-30.5x30.5x2.0
M 2	Afyon Şeker	Y2-Honlu Y3Eskitme	P2-45.7x45x7x2.0
M 3	Blue King	Y4Patinato	P3-61.0x61.0x2.0

2.2 Metot

2.2.1 Eğik Düzlem test cihazı

Mermer örneklerinin kayma açılarının belirlenmesi için DIN 51130 ve ISO 10545-17 standartlarına göre tasarlanan ve kaygan yüzeylerin dinamik sürtünme katsayılarının ölçümünde kullanılan GABRIELLI Marka, C-03463 Model, eğik düzlem test cihazı kullanılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Eğik düzlem test cihazı

Test aşamasında, deneyi yapan kişi 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. Deneyleerde başlanmadan önce, eğik düzlem test cihazında test yürüyüşünde bulunacak test personelinin kalibrasyon işlemi Anadolu Üniversitesi Seramik Araştırma Merkezinde (SAM) yapılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Eğik düzlem kalibrasyon işlemi (SAM)

Kalibrasyon işlemi için E, P, R olmak üzere üç adet standart kalibrasyon plakası kullanılmış olup, bunların kabul edilen açıları α çok tekrarlı testlerle belirlenmiş ve standart kabul edilen açıları $\alpha_{S,E}$, $\alpha_{S,P}$, $\alpha_{S,R}$ olarak tanımlanmıştır (Çizelge 2).

Çizelge 2. Standart kabul edilen açı ve kritik fark değerleri (DIN 51130, 2004)

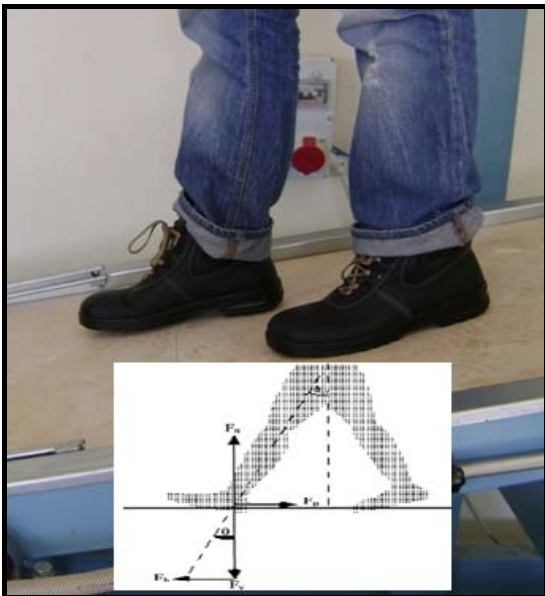
Standart taban yüzeyi	Standart kabul edilen açılar	CrD _{95 ±}
E	10.7°	3.7°
P	18.2°	2.7°
R	26.8°	2.3°

Bu açılara bağlı olarak “D” düzeltme değeri hesaplanmakta ve elde edilen ortalama açı α_{01} ’in büyüklüğüne bağlı olarak Çizelge 3’de ki dört olasılıktan birine göre düzeltme işlemi yapılmaktadır. DIN 51511’e göre viskozite sınıfı 10W-30 olan SAE makine yağı kalibrasyon işlemine

geçmeden önce kalibrasyon plakalarının üzerine 200 ml makine yağı (sürülerek) ile yağlanmış ve deneye hazır hale getirilmiştir. Aynı şekilde test ayakkabıları da yağlanmıştır. Test ayakkabılarını giyen test personeli, kalibrasyon plakası üzerinde dik pozisyonda ileri-geri yürür ve yüzey yatay düzlemde test personelinin güvenliksiz olacağı Çizelge 3. Ortalama test açısının büyüklüğüne bağlı olarak düzeltme değeri (DIN 51130, 2004)

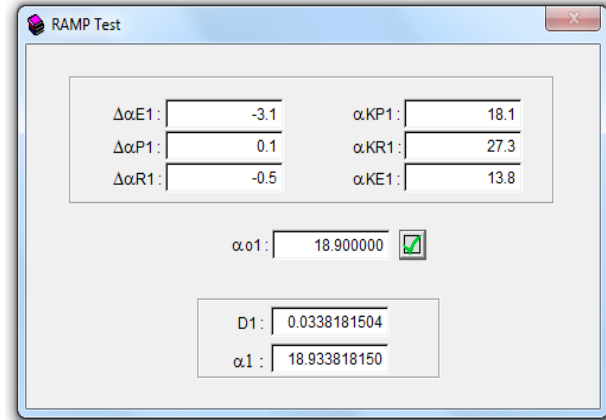
Olasılık	D ₁ düzeltme değeri
$\alpha_{0,1} < \alpha_{K,E,1}$	$D_1 = \Delta\alpha_{E,1} \times \frac{1}{\sqrt{2}}$
$\alpha_{K,E,1} \leq \alpha_{0,1} < \alpha_{K,P,1}$	$D_1 = \left[\Delta\alpha_{E,1} + (\Delta\alpha_{P,1} - \Delta\alpha_{E,1}) \frac{\alpha_{0,1} - \alpha_{K,E,1}}{\alpha_{K,P,1} - \alpha_{K,E,1}} \right] \frac{1}{\sqrt{2}}$
$\alpha_{K,P,1} \leq \alpha_{0,1} < \alpha_{K,R,1}$	$D_1 = \left[\Delta\alpha_{P,1} + (\Delta\alpha_{R,1} - \Delta\alpha_{P,1}) \frac{\alpha_{0,1} - \alpha_{K,P,1}}{\alpha_{K,R,1} - \alpha_{K,P,1}} \right] \frac{1}{\sqrt{2}}$
$\alpha_{K,R,1} \leq \alpha_{0,1}$	$D_1 = \Delta\alpha_{R,1} \times \frac{1}{\sqrt{2}}$

açıya ulaşana kadar derece derece hareket eder. Kritik açı motor yağı sürülmüş yüzey üzerinde belirlenmektedir. Kritik açının belirlenmesindeki kişisel etkiler, kalibrasyon metodu ile sınırlanır. Test personeli test prosedürüne göre her üç standart E,P,R kalibrasyon plakaları üzerinde üçer defa yürüyerek $\alpha_{K,E,J}$, $\alpha_{K,P,J}$, $\alpha_{K,R,J}$ ortalama değerleri hesaplanmıştır. Kalibrasyon işleminden sonra, yüzey işlemlerinin ve plaka boyutlarının kayma açısına etkisini görmek amacıyla testler yapılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Eğik düzlemde kayma açısı ölçümü

Burada yapılan hesaplamaların daha kısa sürede ve güvenli bir şekilde yapılması amacıyla RAMP test isimli bir bilgisayar programı hazırlanmıştır (Şekil 4). Bu program yardımı ile elde edilen ham veriler programa girilerek düzeltme değerleri D1 ile α_1 sonuçları bulunmuş ve α_1 değeri analizlerde kullanılmak amacıyla kaydedilmiştir.



Şekil 4. RAMP test bilgisayar programı

DIN 51130 ve ISO 10545-17 standardına göre kayma açıları R9, R10, R11, R12 ve R13 olarak sınıflanmakta olup, her bir kodun açısal aralıkları ve karşılık gelen kayma potansiyelleri Çizelge 4’de verilmektedir. Kayma açısı değeri 3°’den küçük değerler için herhangi bir sınıflama tanımlanmamıştır. Bu değer altında olan örnekler için bu çalışmada RX sınıflaması tanımlaması yapılmıştır.

Çizelge 4. DIN 51130 standardına göre kayma potansiyeli sınıflaması (DIN 51130, 2004)

Sınıflama	Kritik Açı	Cof (μ)	Kayma Potansiyeli
R 09	3°-10,0°	0,11-0,18	Yüksek
R 10	10,1°-19,0°	0,18-0,34	Orta ve Yüksek
R 11	19,1°-27,0°	0,34-0,51	Orta ve Düşük
R 12	27,1°-35,0°	0,51-0,70	Düşük
R 13	>35,0°	>0,70	Düşük

2.2.2 Pandül test cihazı

Mermer örneklerinin sürtünme kuvvetinin belirlenmesi için TS EN 14231 standardına göre

çalışan WESSEX marka S885 Model pandül test cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz, kaydırıcı ile deney yüzeyi arasındaki sürtünmeyi ölçmek ve kayma direncine ait standart bir değer tayin etmek üzere tasarlanmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Pandül test cihazı (WESSEX, 2013)

Pandül cihazı ile yapılan testlerde ayakkabı altlığını temsilen 4S kauçuk papuç kullanılmıştır. Pandül test cihazı ile yapılan ölçümlerden elde edilen kayma direnci değeri (PTV) aşağıdaki formül kullanılarak sürtünme katsayısına (Cof) çevrilebilmektedir.

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

Ayrıca elde edilen sürtünme katsayısı değerlerinden yola çıkılarak, tekrar pandül kayma direnci değeri aşağıdaki formül ile bulunabilmektedir.

$$PTV = (330 \cdot \mu) / (3 + \mu)$$

Pandül test işleminden elde edilen kayma direnci değerlerinin kayma potansiyeline göre sınıflamasında Çizelge 5 dikkate alınmaktadır.

2.2.2. Yüzey pürüzlülüğü

Çalışmada cilalı, honlu, eskitme ve patinato yüzey işlemleri mermer örneklerinin yüzey pürüzlülük parametreleri Ra, Rmax, Rz, Rq ve Rt (μm) değerleri DIN EN ISO 4287 standardına göre çalışan Mitutoyo SJ – 400 yüzey pürüzlülük cihazı kullanılarak ölçülmüştür (Şekil 6).

Çizelge 5. Kayma potansiyelinin sınıflandırılması (TS EN 14321, 2004; Bowman, 2004).

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

* 4S lastik papuç'a göre

Yüzey pürüzlülük ölçümlerinden Rz (μm) parametresine göre yüzeylerin kayma potansiyeline göre sınıflandırılmasında Çizelge 6 dikkate alınmıştır.



Şekil 6. Yüzey pürüzlülük test cihazı (Mitutoyo SJ-400)

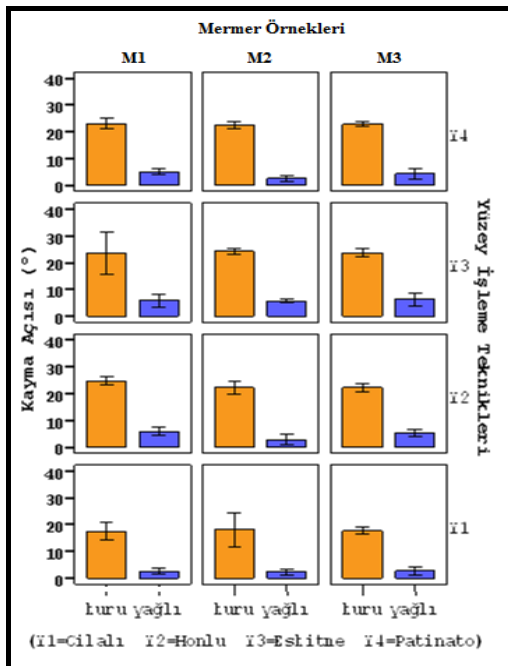
Çizelge 6. Islak ortamlarda yüzey pürüzlülük test sonuçlarının yorumlanması (Bowman, 2003; Carpenter vd, 2006)

Yüzey Pürüzlülüğü, Rz (μm)	Kayma Potansiyeli
≤ 10	Yüksek
10 – 30	Orta
20 – 30	Düşük
> 30	Çok düşük

3. Bulgular

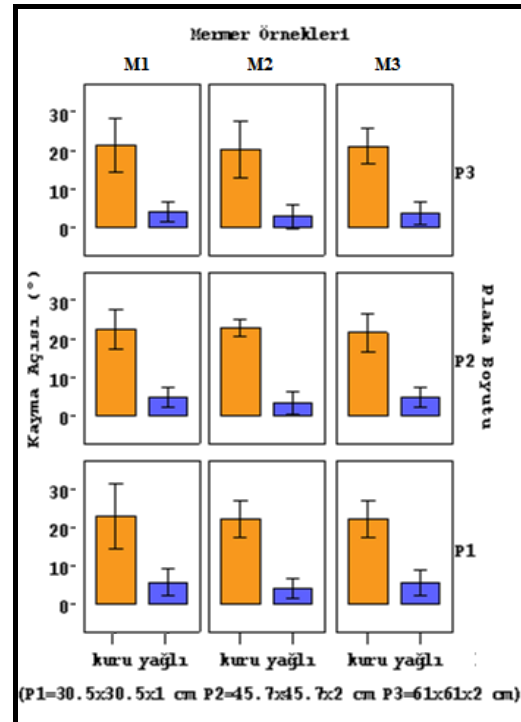
3.1 Mermer örneklerinin DIN 51130 standardına göre kayma açısı analizleri ve sınıflandırılması

Ayakkabı ile yürünen kuru ve yağlı zemin kaplamalarında kullanılan mermer örneklerinin yüzey işlemleri ile plaka boyutlarının kayma açısına etkisini görmek amacıyla dört farklı yüzeyde ve üç farklı plaka boyutunda kayma açıları ölçülmüştür. Tespit edilen kayma açıları dikkate alınarak, mermer örneklerinin kayma potansiyeline göre sınıflaması yapılmış ve kaplama tasarımında dikkat edilecek hususlar belirlenmiştir. Mermer örneklerinin yüzey işlemlerine ve plaka boyutlarına göre elde edilen kayma açısı değerleri grafiksel olarak Şekil 7 ve Şekil 8’de gösterilmiştir.



Şekil 7. Mermer Yüzey işlemlerine göre kayma açısı ikili karşılaştırmaları

Yüzey işlemlerine ve plaka boyutlarına göre kuru ortamda elde edilen kayma açısı değerlerinin, yağlı ortamda elde edilen kayma açısı değerlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Genel olarak bakıldığında mermer örneklerinde yüzey işlemlerine göre kuru ortamda 17.51° - 24.76° arasında, yağlı ortamda ise 2.36° - 6.33° arasında kayma açısı değeri alınırken, plaka boyutlarına göre kuru ortamda 20.24° - 22.97° arasında, yağlı ortamda ise 2.80° - 5.65° arasında kayma açısı değeri almışlardır. Yüzey işlemlerine göre elde edilen kayma açısı değerlerinin kayma potansiyeline göre sıralaması yapıldığında kuru ve yağlı ortamda $Y1(\text{cilalı}) < Y4(\text{patinato}) < Y2(\text{honlu}) < Y3(\text{eskitme})$ sıralaması elde edilmektedir. Yapılan testlerde, kuru ve yağlı ortamda eskitme yüzey işlemleri mermer örneklerinin kayma açıları diğer yüzey işlemlerine göre daha yüksek çıkarken, beklenildiği gibi her iki ortamda da cilalı yüzey işlemleri mermer örneklerinin kayma açısı değerlerinin en düşük çıktığı görülmektedir. Bu nedenle kuru ve yağlı zeminlerde eskitme yüzey işlemleri mermer örneklerinin kullanılmasının ve tercih edilmesinin daha emniyetli olacağından dolayı önerilmektedir.



Şekil 8. Mermer Plaka boyutlarına göre kayma açısı ikili karşılaştırmaları

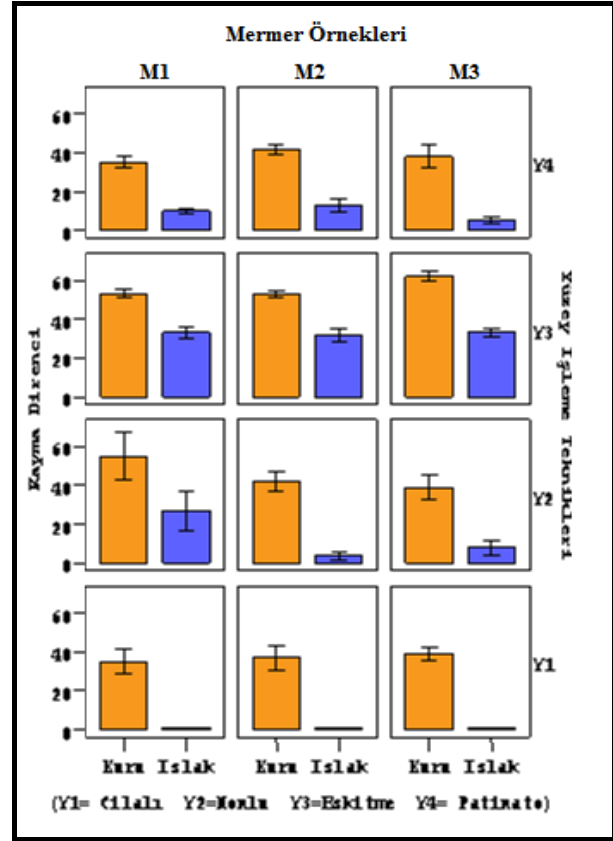
Plaka boyutlarına göre ise yüzey işlemlerinde olduğu gibi kuru ortamda elde edilen kayma açısı değerlerinin yağlı ortama göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Beklenildiği gibi hem kuru hem de yağlı ortamda P1 plaka boyutundaki örnekler üzerinde elde edilen kayma açısı değerlerinin diğer plaka boyutlarına göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Plaka boyutlarına göre elde edilen kayma açısı verilerinin kayma potansiyeline göre sıralaması yapıldığında kuru ve yağlı ortamda $P3(65.0 \times 65.0 \times 2.0) < P2(45.7 \times 45.7 \times 2.0) < P1(30.5 \times 30.0 \times 2.0)$ sıralaması elde edilmektedir.

Bu nedenle zemin kaplamalarında P1 plaka boyutlu mermer örneklerinin kullanılmasının kayma potansiyelini düşüreceği ve daha emniyetli olacağından dolayı önerilmektedir. Mermer örneklerinin, yüzey işlemleri ve plaka boyutlarına göre hesaplanan kayma açıları dikkate alınarak, DIN 51130 standardında belirtilen (Çizelge 4) sınıflandırmaya uygun olarak kuru ve yağlı ortamda kayma potansiyeline göre sınıflaması yapılarak Çizelge 7’de verilmiştir. Genel olarak bakıldığında mermer örneklerinin kuru ortamda çoğunlukla R11 sınıflamasında olduğu görülürken, yağlı ortamda ise tamamına yakın bir kısmının R9 sınıflamasında yer alırken, sadece her üç örnekte de cilalı yüzeyde kayma açısı değerleri 3’den küçük olduğu için RX sınıflamasında yer almaktadır. R9 sınıflamasında yer alan mermer örneklerinin oturmaya ayrılmış olanlar, okullar ve muayenehanelerde kullanılabilirken, RX sınıfında yer alan mermer örneklerinin ise hiçbir alanda kullanılmaması gerektiği ortaya çıkmaktadır.

3.2 Mermer örneklerinin TS EN 14231 standardına göre kayma direnci analizleri ve sınıflandırılması

Mermer örneklerinin, dört farklı yüzey, altı farklı pozisyon, iki farklı ortam ve iki adet örnek üzerinde elde edilen kayma direnci değerlerinin istatistiksel olarak analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları incelendiğinde, kuru ve ıslak ortamda tüm yüzeyler üzerinde elde edilen kayma direnci değerleri arasında anlamlı düzeyde bir farklılık olduğu görülmektedir. Mermer örneklerinin yüzey

işlemlerine göre kuru ve ıslak ortamda elde edilen kayma direnci verilerinin toplu sonuçları ve ikili karşılaştırmaları ise Şekil 6’da gösterilmektedir



Şekil 9. Yüzey işlemlerine göre pandül yöntemi ile kuru ve ıslak ortamda elde edilen kayma direnci ikili karşılaştırmaları

Genel olarak bakıldığında mermer örneklerinde, yüzey işlemlerine göre kayma direnci kuru ortamda 35 - 62 arasında, ıslak ortamda ise 1 - 33 arasında değerleri almaktadır. Yüzey işlemlerine göre kuru ve ıslak ortamda elde edilen kayma direnci verilerinin kayma potansiyellerine göre sıralaması yapıldığında kuru ve ıslak ortamda $Y1(\text{cilalı}) < Y4(\text{patinato}) < Y2(\text{honlu}) < Y3(\text{eskitme})$ sıralaması elde edilmektedir. Kuru ve ıslak ortamda cilalı, honlu ve patinato yüzeyli mermer örneklerinin kayma riski yüksek olduğu için zemin kaplama ve kullanım yeri seçiminde dikkat edilmelidir. Kuru ve ıslak ortamda eskitilmiş yüzeye sahip mermer örneklerinin kullanılmasının daha emniyetli olacağından tercih edilmelidir. Mermer örneklerinin yüzey işlemlerine göre hesaplanan kayma direnci değerleri TS EN 14231 standardındaki (Çizelge 6) sınıflandırmaya uygun olarak kuru ve ıslak ortamda nerelerde kullanılacağı

saptanmış ve hangi sınıflar içinde yer aldıkları Çizelge 8’de gösterilmiştir.

Çizelge 7. Mermer örneklerinin kuru ve yağlı ortamda DIN 51130 standardına göre sınıflandırılması

	Ortam ve Yüzey İşlemleri	M 1	Sınıflama	M 2	Sınıflama	M 3	Sınıflama
		θ (°)		θ (°)		θ (°)	
Kuru Ortam	Y 1	17.51°	R 10	18.17°	R 10	17.70°	R 10
	Y 2	24.76°	R 11	22.24°	R 11	22.30°	R 11
	Y 3	23.56°	R 11	24.24°	R 11	23.65°	R 11
	Y 4	23.11°	R 11	22.60°	R 11	22.85°	R 11
	P 1	22.86°	R 11	22.23°	R 11	22.13°	R 11
	P 2	22.47°	R 11	22.97°	R 11	21.63°	R 11
Yağlı Ortam	P 3	21.37°	R 11	20.24°	R 11	21.12°	R 11
	Y 1	2.64°	R X	2.36°	R X	2.66°	R X
	Y 2	5.94°	R 9	2.89°	R X	5.30°	R 9
	Y 3	5.88°	R 9	5.74°	R 9	6.33°	R 9
	Y 4	5.10°	R 9	2.54°	R X	4.30°	R 9
	P 1	5.65°	R 9	3.97°	R 9	5.52°	R 9
	P 2	4.96°	R 9	3.38°	R 9	4.77°	R 9
P 3	4.05°	R 9	2.80°	R X	3.65°	R 9	

DIN 51130 standardında, Kayma açısı değeri 3°, den küçük değerler için herhangi bir sınıflama tanımlanmamıştır. Bu değer altında olan örnekler için RX sınıflaması bu tez kapsamında adlandırılmıştır.

Çizelge 8. Mermer örneklerinin kuru ve ıslak ortamda TS EN 14231 standardına göre sınıflandırılması

	Ortam ve Yüzey İşlemleri	M 1		M 2		M 3	
		K d	Sınıf	K d	Sınıf	K d	Sınıf
Kuru Ortam	Y 1	35	X	37	X	39	X
	Y 2	55	V	42	X	39	X
	Y 3	53	W	53	W	62	V
	Y 4	35	X	42	X	38	X
Islak Ortam	Y 1	01	Z	01	Z	01	Z
	Y 2	27	Y	04	Z	08	Z
	Y 3	33	Y	32	Y	33	Y
	Y 4	10	Z	13	Z	05	Z

Kd: Kayma direnci

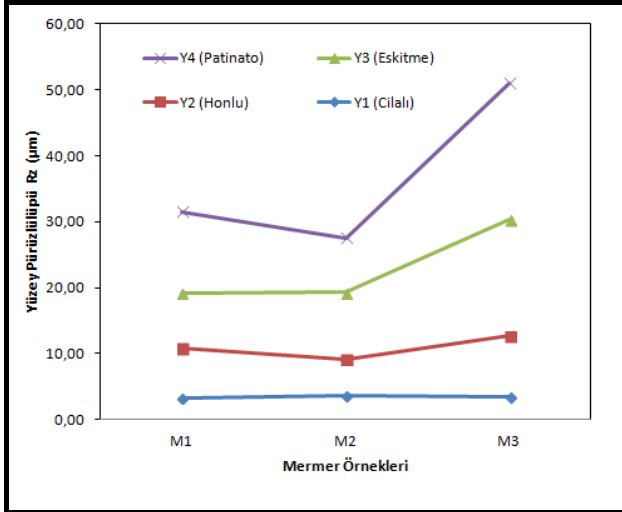
Kuru ortamda X sınıflandırmasında yer alan mermer örnekleri alışveriş merkezlerinde, yemekhane alanları, ortak soyunma odaları, iç mekânlarda basamaklar ve otel girişlerinde, V sınıflamasında yer alan mermer örnekleri dış mekânda eğimli alanlarda kullanılabilirler. Y sınıflamasında yer alan mermer örnekleri banyo,

depo ve çamaşırhanelerde, W sınıflamasında yer alan mermer örnekleri dış mekânda, yürüyüş alanları, yüzme havuzu alanları ve dış mekân basamaklarında ve Z sınıflamasında yer alan mermer örnekleri ise alışveriş merkezlerinde tercih edilebilir.

3.3. Mermer örneklerinin DIN EN ISO 4287 standardına göre yüzey pürüzlülük analizleri ve sınıflandırılması

Mermer örneklerinin dört farklı yüzey işlemi üzerinde yüzey pürüzlülük parametresi $R_z(\mu\text{m})$ değerleri ölçülmüş ve tüm yüzeyler üzerinde elde edilen $R_z(\mu\text{m})$ değerleri arasında anlamlı düzeyde farklılıklar bulunurken cilalı ve honlu yüzey ile eskitme ve patinato yüzeyleri arasında birbirlerine yakın yüzey pürüzlülük $R_z(\mu\text{m})$ değerleri olduğu tespit edilmiştir. Mermer örneklerinin yüzey işlemlerine göre kuru ve ıslak ortamda elde edilen yüzey pürüzlülük $R_z(\mu\text{m})$ verilerinin toplu sonuçları ise Şekil 7’de gösterilmektedir.

Mermer örneklerinde de yüzey işlemlerine bağlı olarak cilalı yüzeyden honlu, eskitme ve patinato yüzeye doğru Rz (μm) değerinin arttığı görülmektedir. Mermer örneklerinde en yüksek Rz (μm) değeri patinato yüzeyde elde edilirken, yüzey işlemlerine göre hesaplanan yüzey pürüzlülük Rz (μm) değerleri DIN EN ISO 4287 standardındaki (Çizelge 6) sınıflandırmaya uygun olarak kuru ve ıslak ortamlardaki kayma potansiyeli saptanmış ve Çizelge 9'da gösterilmiştir.



Şekil 7. Cilalı, honlu, eskitme ve patinatolu yüzeylerde mermer örneklerinin yüzey pürüzlülüğü Rz (μm) değerleri

Mermer örneklerinde cilalı ve honlu yüzeylerinde Rz (μm) değeri $10 \mu\text{m}$ 'dan küçük olduğu için kayma potansiyeli yüksek seviyededir. Patinato yüzeyde M1 ve M2 örneklerinde, eskitme yüzeyde ise M2, M3 örneklerinde Rz (μm) değeri $10-20 \mu\text{m}$ arasında olduğu için kayma potansiyeli orta seviyededir. Sadece M3 örneğinde patinato yüzeyde Rz (μm) değeri $20 \mu\text{m}$ 'dan büyük olduğundan dolayı düşük seviyededir. Mermer örneklerinin yüzey pürüzlülük parametreleri Rz (μm) parametreleri dikkate alınarak kayma potansiyeline göre sıralaması yapıldığında $Y1 < Y2 < Y3 < Y4$ sıralaması elde edilmektedir. Buna göre mermer örneklerinde yüzey pürüzlülüğü arttıkça kayma direnci artarken buna karşın kayma potansiyeli düşmekte ve zemin kaplama amaçlı kullanımlarda, yüzey işlemlerinin oldukça etkili olduğu görülmektedir.

4. Sonuçlar ve Öneriler

Yapılan bu çalışma sonucunda, ıslak ve yağlı ortamlarda zemin kaplama malzemesi olarak kullanılan Afyon mermerlerinin DIN 51130, TSE EN 14231 ve DIN EN ISO 4287 standartları esas alınarak dört farklı yüzeyde ve 3 farklı plaka boyutlarında kayma potansiyelleri belirlenerek kayma açısı, kayma direnci ve yüzey pürüzlülüğü arasındaki uyumluluk araştırılmıştır. Aynı zamanda Afyon mermerlerinin emniyetli kullanım alanlarına göre sınıflandırılması yapılmıştır.

DIN 51130 standardına göre, yağlı ortamda elde edilen kayma açısı değerlerini kuru ortama göre çok düşük olduğu görülmektedir. Yüzey işlemlerine göre kuru ve yağlı ortamda $Y1 < Y4 < Y2 < Y3$ sıralaması elde edilirken, plaka boyutlarına göre $P3 < P2 < P1$ sıralaması elde edilmiştir. Bu sonuca göre P1 plaka boyutunda ve eskitme (Y3) yüzeyli örneklerin hem kuru hem de yağlı ortamlarda kullanılması önerilmektedir. TS EN 142321 standardına göre, kuru ve ıslak ortamda yüzey işlemlerine göre kayma potansiyeli sıralaması yapıldığında $Y1 < Y4 < Y2 < Y3$ sıralaması elde edilirken burada da eskitme (Y3) yüzeyli mermer örneklerinin kullanılmasının daha emniyetli olacağı görülmektedir. DIN EN ISO 4287 standardına göre ise yüzey işlemleri dikkate alınarak yapılan kayma potansiyeli sıralamasında ise $Y1 < Y2 < Y3 < Y4$ sıralaması elde edilmiştir.

Islak ve yağlı ortamda elde edilen kayma açısı, kayma direnci ve yüzey pürüzlülüğü Rz (μm) değerlerinin aralarındaki uyumlulukları ise Çizelge 10'da gösterilmiştir. Genel olarak elde edilen kayma potansiyeli belirleme yöntemlerinde çoğunluklar bir uyum söz konusu olduğu görülmektedir. Buna göre Afyon mermerlerinin

Çizelge 10. Islak ve yağlı ortamda kayma potansiyeli uyumluluk tespiti

Ortam ve Yüze İşlemleri	Ka θ (°)	Kd	Rz (µm)	Uyumluluk
M1	Y1	Y	Y	Evet
	Y2	Y	Y	Evet
	Y3	Y	Y	Evet
	Y4	Y	Y	O
M2	Y1	Y	Y	Evet
	Y2	Y	Y	Evet
	Y3	Y	Y	O
	Y4	Y	Y	Y
M3	Y1	Y	Y	Evet
	Y2	Y	Y	Evet
	Y3	Y	Y	O
	Y4	Y	Y	D

Y: Yüksek O:Orta D:Düşük

Çizelge 9. Mermer örneklerinin DIN EN ISO 4287 standardına göre sınıflandırılması

Yüze İşlemi	M1	Sınıflama	M2	Sınıflama	M3	Sınıflama
	Rz (µm)		Rz (µm)		Rz (µm)	
Y1 (Cilalı)	3.33	Y	3.60	Y	3.52	Y
Y2 (Honlu)	7.58	Y	5.60	Y	9.12	Y
Y3 (Eskitme)	8.30	Y	10.09	O	17.65	O
Y4 (Patinato)	12.27	O	8.26	Y	20.70	D

Y: Yüksek (≤10 µm) O:Orta (10 -20 µm) D:Düşük (20 -30 µm) ÇD: Çok Düşük (>30 µm)

Kayma potansiyellerinin belirlenmesinde kayma açısı, kayma direnci ve yüze pürüzlülük Rz parametrelerinin birlikte değerlendirilmesinin doğru bir yaklaşım olduğu tespit edilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK-1002 Projesi (Proje No: 108M624) ve ayrıca AKÜ BAP 08.MUH.11 nolu, AKÜ BAP 12.MUH.03 nolu projeler tarafından desteklenmiştir. Katkıları için teşekkür ederiz.

Kaynaklar

Coşkun, G., 2013. Karbonat Kökenli Bazı Doğal Taşlarda Yüze İşleme Tekniklerinin ve Pürüzlülüğün Kayma Direncine Etkileri”, Doktora Tezi., Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 293,2013.

Grönqvist, R., 1995; “Mechanisms of friction and assessment of slip resistance of new and used footwear sales on contaminated metals”, Ergonomics, 38, 224–41.

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>.

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.

Chang, W.R., 1999; “The effect of surface roughness on the measurement of slip resistance”, International Journal of Industrial Ergonomics, 24, 299–313.

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.
- 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.
- 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.
- Sarıışık A (2009) Safety analysis of slipping barefoot on marble covered wet areas. *Safety Science* 47(10): 417–1428.
- Sarıışık A, Sarıışık G (2010b) Analysis of the parameters affecting the slip angle of surface-processed natural stones. *Mining Journal* 49(1): 17–30 (in Turkish).
- Sarıışık A, Akdaş H, Sarıışık G, Coşkun G (2011) Slip Safety Analysis of Differently Surface Processed Dimension Marbles. *Journal of Testing and Evaluation*, Vol. 39, No. 5.
- Sarıışık A, Sarıışık G, Akdaş H (2012) Slip Analysis of Surface Processed Limestones, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Construction Materials*, Volume: 165, Issue: 5, 279 –296.
- Chang WR, Matz S (2001) The slip resistance of common footwear materials measured with two slipmeters. *Applied Ergonomics* 32(6): 540–558.
- Chang WR, Kim IJ, Manning DP, Bunternghit Y (2001) The role of surface roughness in the measurement of slipperiness. *Ergonomics* 44(13): 1200–1216.
- Grönqvist R, Hirvonen M, Tohv A (1999) Evaluation of three portable floor slipperiness testers. *International Journal of Industrial Ergonomics* 25, 85–95.
- 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. [http://dx.doi.org/10.1016/S0925-7535\(98\)00064-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0925-7535(98)00064-2)
- 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.
- TS EN 14231 (2004) “Natural Stone Test Methods- Determination of the Slip Resistance by Means of the Pendulum Tester,” Turkish Standards Institute, p.13.
- Bowman R (2004) Practical Aspects of Slip Resistance of Stone, see <http://www.discoveringstone.com> (accessed 29/05/2011).