



Elmaslı Tel ile Mermer Üretiminde Basamak Geometrisinin Kesme Performansı Üzerine Etkileri

Mehmet Kürşat Dilmaç^{1*}, Kazım Görgülü²

¹ Atatürk Üniversitesi, Oltu Yer Bilimleri Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-1212-6527)

² Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-3246-3838)

(İlk Geliş Tarihi 10 Ekim 2019 ve Kabul Tarihi 6 Kasım 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.631778)

ATIF/REFERENCE: Dilmaç, M.K., & Görgülü, K. (2019). Elmaslı Tel ile Mermer Üretiminde Basamak Geometrisinin Kesme Performansı Üzerine Etkileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 663-675.

Öz

Elmaslı tel kesme metodu blok mermer üretiminde yaygın olarak kullanılan bir yöntem olup, yöntemin başarısı kesme kapasitesi ve elmaslı boncuklarda oluşan aşınmalara bağlıdır. Kesme kapasitesi ve elmaslı boncuk aşınmasını en çok etkileyen faktörlerden biri de ocak basamak geometrisidir. Bu çalışma elmaslı tel ile mermer üretiminde basamak geometrisinin kesme performansı üzerine etkilerinin ayrıntılı olarak incelenmesi amacıyla iki farklı mermer işletmesinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonuçları mermer işletmelerinde kesme yüksekliği/kesme genişliği oranı (h/l) arttıkça saatlik kesme kapasitesinin azaldığını, kesilen alan ile saatlik kesme kapasitesi arasında üssel (polinom) ilişkiler olduğunu, uygun basamak geometrisinin seçiminde elmaslı boncuklarda meydana gelen aşınmaların etkili olduğunu ortaya koymuştur. Ölçülen kesme kapasitesi ve elmaslı boncuk aşınma oranlarının tahmini için Yapay Sinir Ağları (YSA) modelleri kullanılmıştır. Yapay Sinir Ağları (YSA) ile yapılan modellerde tahmin edilen ve ölçülen kesme kapasitesi ve elmaslı boncuk aşınma değerleri arasında oldukça yüksek korelasyon katsayıları elde edilmiştir ($R^2 = 0,92-0,94$).

Anahtar Kelimeler: Mermer, Elmaslı Tel Kesme, Kesme Kapasitesi, Basamak Geometrisi, Aşınma Oranı.

Effects of Bench Geometry on Cutting Performance of Marble Production With Diamond Wire

Abstract

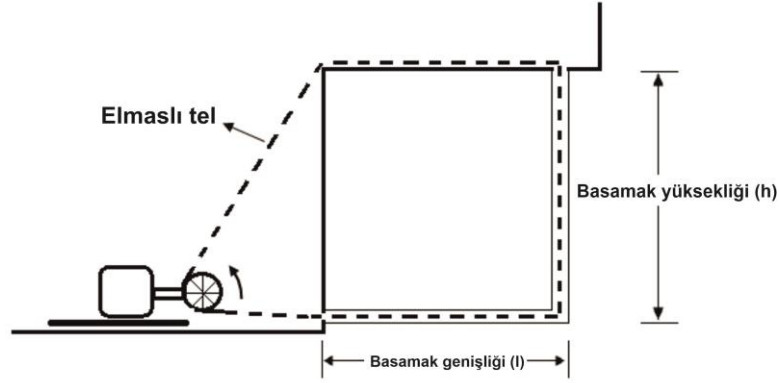
Diamond wire cutting method is a commonly used method in block marble production. The success of this method depends on the cutting capacity and level of wear present in the diamond beads. Bench geometry is one of the most influential factors in cutting capacity and diamond bead wear. For this purpose, necessary measurements were made in Emmioğlu Inc. Amasya beige quarry and Özmersan Inc. Sivas yellow travertine quarry and the results of these measurements were evaluated to determine the effects of bench geometry on diamond wire cutting performance. The results indicated that as bench height/panel width (h/l) ratio increased, cutting capacity decreased; there were exponential relationships between the cutting area, hourly cutting capacity and the level of wear in the diamond beads-which were all affected by the bench geometry selection. Artificial Neural Network (ANN) models were used to predict cutting capacity and diamond bead wear. The estimation with ANN analysis gives high correlation coefficients ($R^2=0,92-0,94$) between the predicted and measured cutting capacity and the diamond bead wear values.

Keywords: Marble, Diamond Wire Cutting, Cutting Capacity, Bench Geometry, Wear Rate.

* Sorumlu Yazar: Atatürk Üniversitesi, Oltu Yer Bilimleri Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye, ORCID: 0000-0003-1212-6527, mkdilmac@gmail.com

1. Giriş

Blok mermer üretimi; mermerin ana kayadan koparılarak piyasada istenilen boyutlara indirilmesi şeklinde gerçekleşmektedir. Bu amaçla çok eski devirlerden bu yana farklı araçlar ve yöntemler kullanılmıştır. Bu kapsamda en fazla uygulama alanı bulmuş yöntemlerden biri de elmaslı tel ile blok mermer üretimidir (Şekil 1). Elmaslı tel ile mermer üretim yöntemi, üzerinde elmaslı boncuklar dizili olan ve kesim yapılacak yüzey etrafında sonsuz bir halka oluşturan telin bir tahrik ünitesi yardımıyla belirli bir devirde döndürülmesi ve uygulanan gerilme ile taşa sürtürülmesi sonucu kesmesi esasına dayanmaktadır. Elmaslı tel ile kesme yöntemi ilk kez 70'li yıllarda mermer fabrikalarında blokların boyutlandırılmasında kullanılmıştır (Mannoni ve Mannoni, 1984). Bunun devamında yöntem, mermer ocaklarında üretim için denenmiş ve kullanımı giderek yaygınlaşmıştır. Günümüzde, blok mermer sektörü dışında tren yolu köprüleri, eski binalar, baraj bentleri ve eski beton bacaların imhasında yöntem başarı ile uygulanmaktadır. (Werland, 1990; Hayes 1990; Beckman ve Hulick, 1991; Özçelik, 1999; Demirdağ, 2001, Tönshoff ve Hillmann-Apmann, 2002).



Şekil 1. Elmaslı tel kesme makinesi

Elmaslı tel kesme makinesinin blok mermer üretiminde ilk uygulaması Carrara bölgesinde düşey kesim uygulamalarında olmuştur (Conti, 1986). Elmaslı boncukların kayaç özelliklerine bağlı olarak düzenlenmesiyle yöntem yumuşaktan serte farklı tür kayaçların üretiminde başarı ile kullanılmıştır.

Blok mermer üretim teknolojilerindeki gelişmelere bağlı olarak farklı ocak işletmelerinde değişik basamak geometrileri ortaya çıkmıştır. Ocak planlamasının yapılması ve maliyetlerin tahmini için mermer işletmelerinde kullanılan üretim yöntemlerinde kesme performansının ve verimliliğinin incelenmesi oldukça önem kazanmıştır. Elmaslı tel ile mermer üretiminde kesme performansını etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bunlar; makine gücü, makinenin elmaslı tele uyguladığı çekme kuvveti, elmaslı telin çevresel hızı, elmaslı tel ve elmaslı boncuk yapısı, kesim tipi, basamak geometrisi gibi çalışma parametreleri ile mineraloji, doku, sertlik, mukavemet vb. gibi fiziksel ve mekanik kayaç parametreleridir. Kesme performansını etkileyen diğer faktörlerin yanında en önemli faktörlerden biri ocak basamak geometrisidir (Berry vd., 1989; Bortolussi vd., 1990-1994; Görgülü, 1994; Tönshoff ve Asche, 1997; Özçelik, 1999, Özçelik vd. 2002; Jain ve Rathore, 2009). Genel olarak basamak geometrilerini bazen saha koşulları, bazen de kullanılan üretim makinelerinin kapasitesi belirlemektedir.

Berry vd. (1989), traverten ve Carrara mermeri üzerinde yaptıkları çalışmada, kesme kapasitesi (m^2/sa) ile basamak yüksekliğinin (h) basamak genişliğine (l) oranı (h/l) arasında bir ilişki olduğunu, bu oranın artmasına bağlı olarak kesme hızının azalan bir davranış gösterdiğini ifade etmişlerdir. Cai ve Mancini (1989), Capuzzi (1989) ve Bortolussi vd. (1990, 1994), blok üretiminde boncuk aşınmasının toplam maliyetin yaklaşık % 50'sini oluşturduğunu belirtmişlerdir. Gerek elmaslı tane tarafından kayaçtan parça kopararak kesilmesi, gerekse kayaç ve kesim sonucu oluşan talaş tarafından elmaslı tane ve matriksinde oluşan aşınma kesim boyunca oluşan mekanik ve termal yüklere bağlıdır. Bu yükler ise makine tarafından elmaslı tel halata uygulanan gerilme ve basamak geometrisine göre şekillenmektedir (Tönshoff ve Asche, 1997).

Tönshoff ve Asche (1997), kayacın kesiminde elmaslı boncuk ve kayaç arasındaki mekanik ilişkinin kesim sırasında kayaçta oluşan elastik ve plastik deformasyon, kayaç ile elmas taneleri arasındaki sürtünme, kayaç ile matriks arasındaki sürtünme ve kesilmiş malzeme ile matriks arasındaki sürtünme gibi faktörlerden meydana geldiğini ifade etmektedirler. Ayrıca elmaslı boncuğun aşınma şartlarının, boncuğun kesme kabiliyeti ve sağlamlığı üzerinde önemli bir etkisi vardır. Elmasın uç keskinliğinin korumak, düzenli kesim performansı elde etmek için değişmez bir faktördür (Tönshoff ve Asche, 1997).

Özçelik (1999), Çubuk andezit sahasında elmaslı tel kesme kapasiteleri ve elmaslı boncuk aşınma oranlarını belirlemek amacıyla yaptığı çalışmada en yüksek saatlik kesme kapasitesine ve en düşük aşınma değerlerine kesilen alanın 60-65 m^2 aralığında olduğu durumlarda ulaşıldığını ifade etmiştir. Söz konusu çalışmanın verilerine göre kesilen alan artışına bağlı olarak boncuk aşınma oranı başlangıçta hızla azalan, alan değerinin 70 m^2 'nin üzerine çıkması ile tekrar artan bir davranış sergilemiştir.

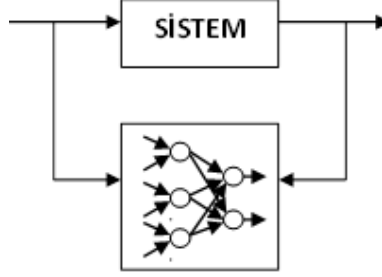
Jain ve Rathore (2009) yumuşak, orta sert ve sert olarak sınıflandırılmış üç farklı mermer birimi üzerinde yaptıkları çalışmada kesilen alan artışı ile kesme kapasitesinin başlangıçta artan, belli değerlerden sonra ise azalan üssel bir davranış gösterdiğini ortaya koymuşlardır. Yazarlar yumuşak mermerler için 142-150 m^2 , orta sert mermerler için 135-145 m^2 ve sert mermerler için 125-135 m^2 arasında kesme kapasitesinin daha yüksek olduğunu, daha büyük alanlarda ise kesme kapasitesinin düşmeye başladığını ifade etmişlerdir. Jain ve Rathore (2009)'a göre üç mermer türü için de kesilen alan arttıkça elmaslı boncuk aşınma oranları (mm/m^2) yaklaşık lineer olarak artmaktadır.

Bu çalışmada, elmaslı tel ile mermer üretiminde basamak geometrisinin kesme performansı üzerine etkilerinin ayrıntılı olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda iki farklı blok mermer ocağında ölçümler alınmış ve sonuçları değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Yapay Sinir Ağları ve Geri Yayılım Algoritması

Yapay Sinir Ağları (YSA), insan beynindeki sinir sistemine benzer bir yapıya ve işleyişe sahiptir. YSA öğrenme yeteneği ile karmaşık sistemlerin modellenmesinde etkili olarak kullanılabilir. Sistem dinamiğinin bir kısmının bilindiği ya da sistemin matematiksel modelinin çıkarılmasının oldukça zor veya imkânsız olduğu durumlarda, YSA sistem verileri ile eğitilerek sistemin modellenmesini sağlamaktadır (Lin ve Lee, 1996). Şekil 2’de bir sistemin YSA ile modellenmesi temsil edilmiştir.



Şekil 2. YSA'nın sistem verileri ile eğitilerek sistemin modellenmesi

2.1.1. Geri Yayılım Algoritması

YSA'nın istenilen giriş-çıkış karakteristiğini ne kadar sağladığının bir ölçüsü olarak, YSA'nın çıkış katmanındaki her sinire ait hata sinyallerinin karelerinin toplamından oluşan bir uygunluk fonksiyonu tanımlanmıştır (Lin ve Lee, 1996). Eğitimin k 'ncü yinelemesinde YSA'nın çıkış katmanındaki i 'inci sinirinin çıkış değeri y_i , bu sinirden verilen istenilen değer d_i ile gösterilirse, i sinirinin hata işareti:

$$e_i = d_i - y_i(k) \quad (1)$$

denklemler elde edilir. Uygunluk fonksiyonu da

$$E = \frac{1}{2} \sum_i e_i^2(k) = \frac{1}{2} \sum_i (d_i - y_i(k))^2 \quad (2)$$

denklemler ile ifade edilmektedir. Geri yayılım algoritmasının amacı uygunluk fonksiyonunu minimum yapmaktır. Uygunluk fonksiyonu YSA'nın ağırlık değerlerine bağlı olduğundan, algoritma YSA ağırlıklarının en uygun biçimde değiştirilmesi işlemlerinden oluşmaktadır. YSA'ndaki her w_{ij} ağırlık değerinin değişme miktarı; gradyan-çalma (gradient-descent) yöntemi olarak adlandırılan denklem ile bulunmaktadır (Lin ve Lee, 1996).

$$\Delta w_{ij} = -\eta \frac{\partial E(\bar{w})}{\partial w_{ij}} \quad (3)$$

Burada η öğrenme katsayısıdır. Geri yayılım algoritmasında her yineleme, ileri yayılım ve geri yayılım olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. İleri yayılım aşamasında YSA'nın o andaki durumunda YSA'na uygulanan giriş işaretlerine karşı YSA'nın çıkışlarında oluşan değerler bulunur. Geri yayılım aşamasında, çıkışlarda oluşan hatalardan yola çıkılarak, devredeki ağırlıkların yeniden düzenlenmesi yapılmaktadır. YSA'daki her ağırlık değişimi;

$$\Delta w_{ij} = \eta \delta_j y_i \quad (4)$$

denklemler ile yapılmaktadır. δ_j , çıkış katmanı sinirleri için;

$$\delta_j = e_j(k) f_j' \quad (5)$$

gizli katmanlarda bulunan sinirler için;

$$\delta_j = f_j' \sum_m \delta_m w_{mj} \quad (6)$$

f_j , j sinirinin uyarma (aktivasyon) fonksiyonudur. Bu tanımlar ile hata işaretlerinin devrenin çıkışından girişine doğru akışı, ileri yayılım aşamasında işaretlerin ileri doğru akışına benzetilmiştir.

2.1. Saha Çalışmaları ve Değerlendirme

Saha çalışmaları, Emmioğlu A.Ş.'ye ait klasik bej ocağı (Amasya) (Şekil 3) ve Özmersan A.Ş.'ye ait sarı traverten ocağında (Sivas) (Şekil 4) sürdürülmüştür. Bej ocağında üretim yapılan basamakların yükseklikleri 3,5-9,3 m. arasındadır. Üretim yöntemi olarak elmaslı tel ve kollu kesici makine kombinasyonu kullanılmaktadır. Sarı traverten ocağında üretim yapılan basamakların yükseklikleri 5,1-9,4 m. arasında değişmektedir. Üretim elmaslı tel ile yapılmaktadır. Çalışma sahalarında basamak yüksekliklerinin oldukça değişken olması değişik kesme geometrilerinde çalışma olanağı sağlamıştır.



Şekil 3. Bej ocağının genel görünümü (Amasya)



Şekil 4. Sarı traverten ocağının genel görünümü (Sivas)

Çalışma sahalarındaki ölçümler aynı teknik özelliklere sahip kesme makinelerinde (Tablo 1) ve aynı çalışma koşulları altında (kasnak çapı, devir, akım, volt) gerçekleştirildiğinden basamak geometrisi dışındaki tüm çalışma değişkenlerinin sonuçları aynı oranda etkilediği kabul edilmiştir. Bu çalışmada sadece düşey kesimler incelenmiş ve sinterize elmaslı boncuğa sahip elmaslı teller kullanılmıştır.

Tablo 1. Elmaslı tel kesme makinesinin teknik özellikleri

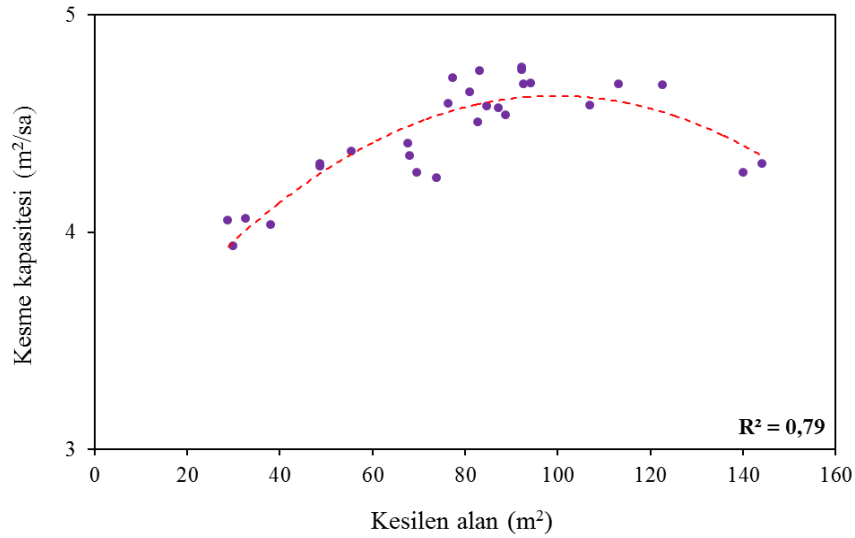
Parametre	Değer
Motor cinsi	Elektrikli
Ana motor gücü	37 kW
Dönüş	970 RPM
Gerilim	380 V
Gerdirme amperajı	55 A
Kasnak çapı	80 cm

Ölçümlere kesim yapılan basamaklarda kesme yüksekliği ve kesme derinliğinin belirlenmesi ile başlanmıştır. Kesim sırasında başlangıçtan bitişe kadar kronometraj tutulmuş, herhangi bir nedenle oluşan duraklamalar kaydedilmiş ve kesimde harcanan net süreler tespit edilmiştir. Elmaslı boncuklarda meydana gelen aşınma miktarını tespit etmek için elmaslı boncukların çapları kesim öncesi ve kesim sonrası Demirdağ (2001) tarafından önerildiği gibi ölçülmüş ve kesimler sırasında elmaslı boncuklarda meydana gelen aşınmalar belirlenmeye çalışılmıştır. Bej ve sarı traverten birimlerinin fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. Çalışılan mermer birimlerinin fiziksel ve mekanik özellikleri

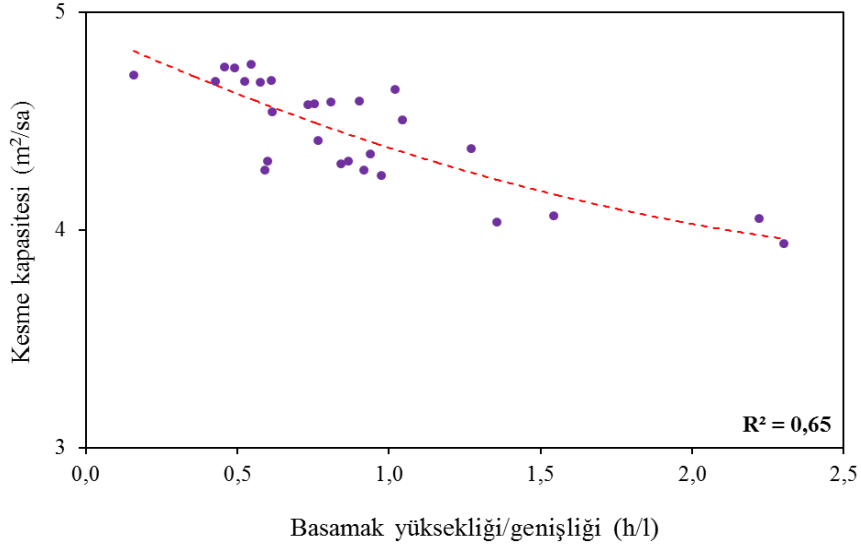
Özellikler	Bej	Sarı Traverten
Mineral tane yoğunluğu (g/cm ³)	2,695	2,62
Toplam gözeneklilik (%)	0,195	10,918
Etkili gözeneklilik (%)	0,115	4,841
Atmosfer basıncında kütlece su emme (%)	0,227	2,149
Doluluk oranı (%)	99,8	89,082
Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)	91,6	51,29
Kohezyon (MPa)	19,84	19,16
İçsel sürtünme açısı (Derece)	49,73	26,14
Elastik modülü (GPa)	35,37	22,22
Poisson oranı	0,316	0,254
Eğilme dayanımı (MPa)	13,86	6,62
Dolaylı çekme dayanımı (Brazilian) (MPa)	7,27	1,34
Darbe dayanımı (ASTM) (kgf-cm/cm ³)	3,44	7,9
Schmidt sertliği	61	55,7
Shore sertliği	69,88	51,7

Bej sahasında (Amasya) amaca uygun olarak ve aynı basamak geometrisinde en az iki ölçüm olacak şekilde 95 adet ölçüm yapılmıştır. Sonuçta 28 farklı kesme yüksekliği ve genişliğine sahip ölçüm elde edilmiştir. Bu ölçümlere göre kesme yüksekliğinin kesme genişliğine oranı (h/l) 0,16-2,31 aralığında değişmiştir. Ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde kesilen alan ile beklenmesiz saatlik kapasite değerleri arasında üssel bir ilişki olduğu görülmektedir (Şekil 5). Başlangıçta kesilen alanın büyüklüğü arttıkça kesme kapasitesi de artmıştır. Bu sahada kesilen alana göre en yüksek kesme kapasitesi değerlerine 75-125 m² alan aralığında ulaşılmıştır. Daha büyük alanların kesiminde ise kesme kapasitesi düşmeye başlamıştır.



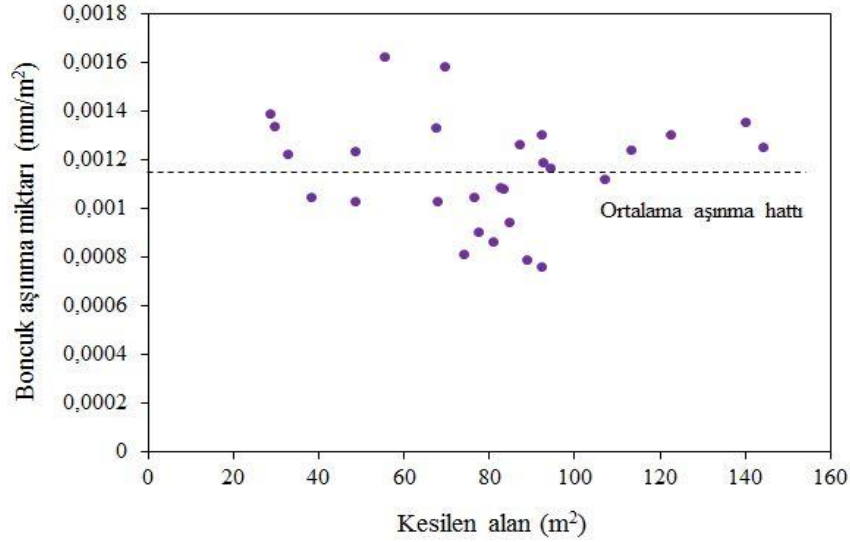
Şekil 5. Kesilen alan-kesme kapasitesi ilişkisi (Bej mermer)

Yine elde edilen verilerden hareketle kesme yüksekliğinin kesme genişliğine oranı (h/l) ile kesme kapasitesi arasındaki ilişki irdelenmiş ve bu oranın artması ile kesme kapasitesinin azaldığı belirlenmiştir. Bu ilişkide h/l oranının 0,16-0,6 değer aralığında en yüksek kesme kapasitesi değerlerine ulaşılmıştır (Şekil 6).



Şekil 6. Basamak yüksekliği/genişliği-kesme kapasitesi ilişkisi (Bej mermer)

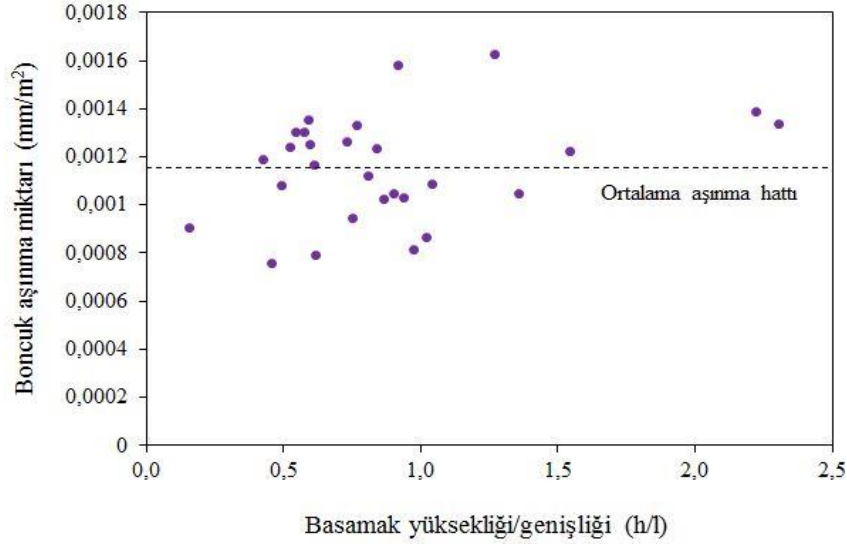
Kesme kapasitesi-kesilen alan ya da kesme kapasitesi-h/l oranı dikkate alındığında bu sahada 75-125 m² kesme alanı uygun gözükmektedir. Ancak, elmalı boncuklarda meydana gelen aşınma oranları da dikkate alındığında bu yaklaşımın uygun olmadığı söylenebilir.



Şekil 7. Kesilen alan-boncuk aşınma oranı ilişkisi (Bej mermer)

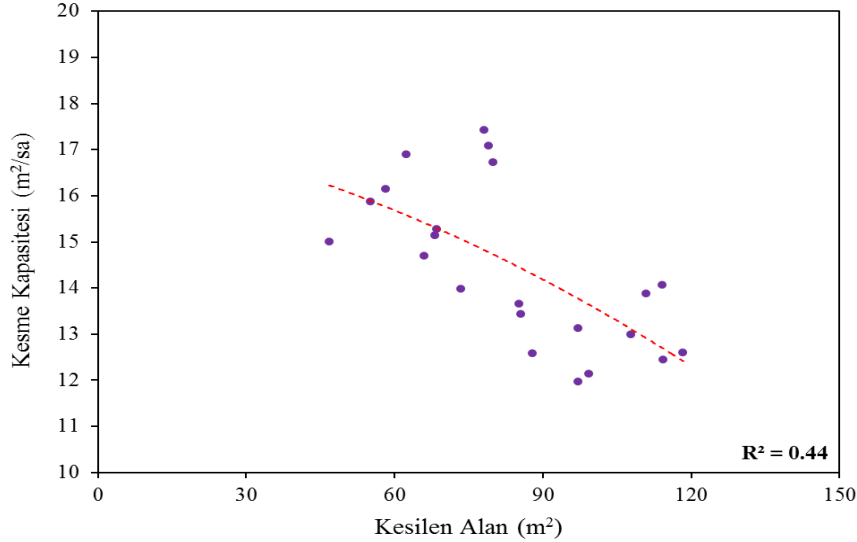
Şekil 7 ve 8'de görüldüğü gibi kesilen alan-boncuk aşınma oranı ile h/l-boncuk aşınma oranı arasında anlamlı ilişkiler yoktur. Bu sahada yapılan ölçümlerden elde edilen ortalama aşınma oranı 0,0011534 mm/m² olup ortalama aşınma hattı Şekil 7 ve 8 üzerinde gösterilmiştir. Şekil 7'ye göre 75-90 m²'lik alanlarda yapılan kesimlerde aşınma miktarlarının daha düşük olduğu açıkça görülmektedir. Şekil 8 değerlendirildiğinde ise ortalama aşınma hattının altında aşınma değeri veren alanların çoğunluğu 73-93 m² aralığına düşmekte, h/l oranı ise 0,16-1,1 aralığında yer almaktadır. Diğer yandan, h/l oranı 1'e doğru yaklaştıkça saatlik kesme kapasitesi düşmektedir.

Tüm bu değerlendirmeler ışığında bej sahası için h/l oranının 0,2-0,6 aralığında ve kesme alanının 75-90 m² civarında olması durumunda saatlik kesme kapasitesi ve boncuk aşınma değerleri açısından makul sonuçların elde edildiği söylenebilir.



Şekil 8. Basamak yüksekliği/genişliği-boncuk aşınma oranı ilişkisi (Bej mermer)

Sarı traverten sahasında (Sivas) amaca uygun olarak ve aynı basamak geometrisinde en az iki ölçüm olacak şekilde 74 adet ölçüm yapılmıştır. Sonuçta 22 farklı basamak geometrisinde ölçüm elde edilmiştir. Bu ölçümlerde kesme yüksekliğinin kesme genişliğine oranı (h/l) 0,26-0,97 aralığında değişmiştir (Şekil 10).

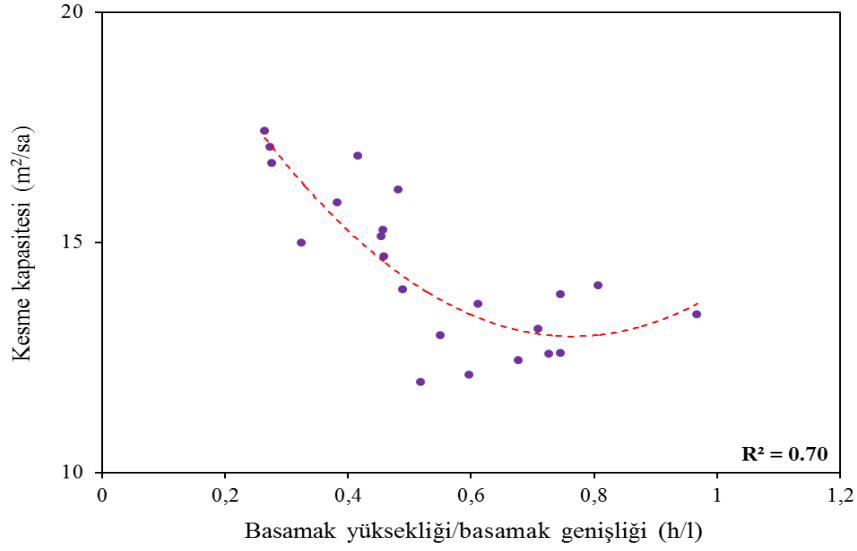


Şekil 9. Kesilen alan-kesme kapasitesi ilişkisi (Sarı traverten)

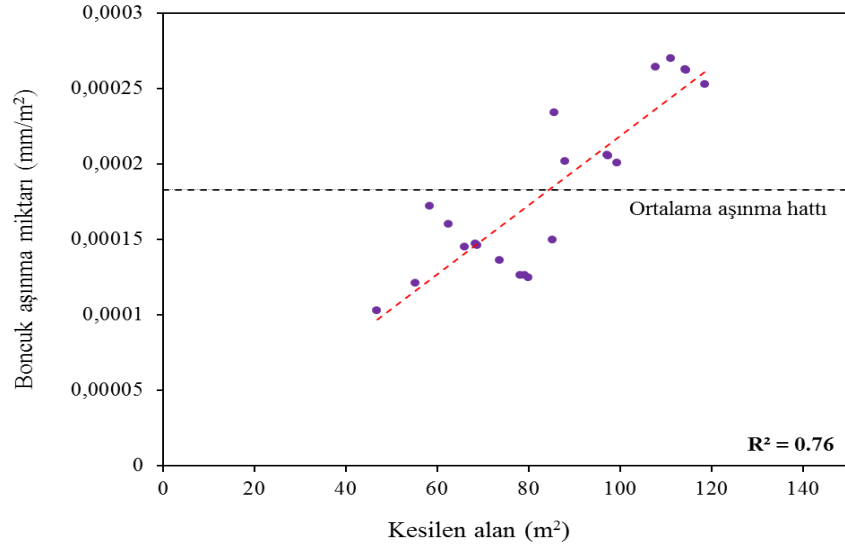
Bu sahada kesilen alana göre en yüksek kesme kapasitesi değerlerine 45-80 m² alan aralığında ulaşılmıştır. Daha büyük alanların kesiminde ise kesme kapasitesi daha düşük seviyelerde seyretmiştir (Şekil 9). Kesilen alan ile beklenmeyen saatlik kapasite değerleri arasında ikinci dereceden düşük korelasyonlu bir fonksiyonel ilişki olduğu görülmektedir (Şekil 9).

Elde edilen verilerden hareketle; kesme yüksekliğinin kesme genişliğine oranı (h/l) ile kesme kapasitesi arasındaki ilişki irdelenmiş ve bu oranın artması ile kesme kapasitesinin azaldığı belirlenmiştir. Bu ilişkide h/l oranının 0,26-0,5 olması durumunda en yüksek kesme kapasitesi değerlerine ulaşılmıştır (Şekil 10).

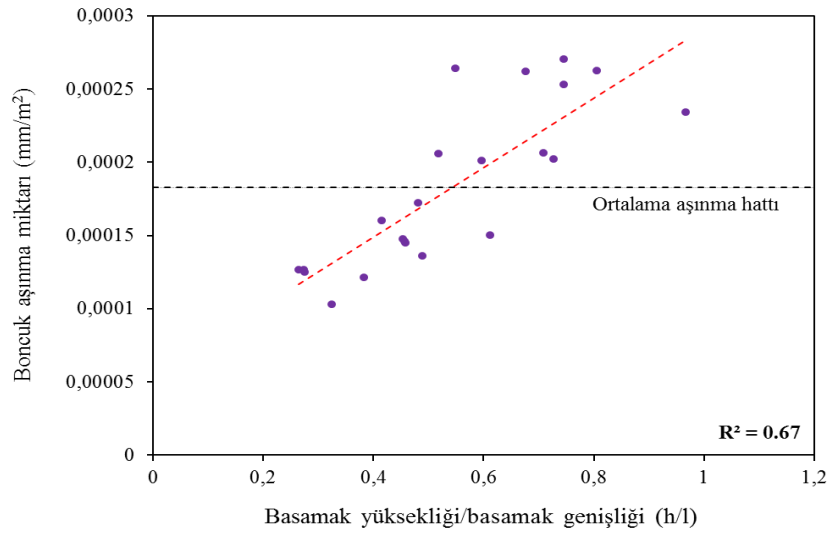
Sahada yapılan ölçümlerde Şekil 11 ve 12'de görüldüğü gibi kesilen alan-boncuk aşınma oranı ile h/l-boncuk aşınma oranı arasında lineer ilişkiler mevcuttur. Bu sahada yapılan ölçümlerden elde edilen ortalama aşınma oranı 0,000183 mm/m² olup ortalama aşınma hattı Şekil 11 ve 12 üzerinde gösterilmiştir. Saha ölçümlerinde ortalama aşınma hattının altında aşınma değeri veren alanların çoğunluğu 45-80 m² aralığına düşmekte; h/l oranı ise 0,26-0,5 aralığında yer almaktadır (Şekil 11-12).



Şekil 10. Basamak yüksekliği/genişliği-kesme kapasitesi ilişkisi (Sarı traverten)



Şekil 11. Kesilen alan-boncuk aşınma oranı ilişkisi (Sarı traverten)

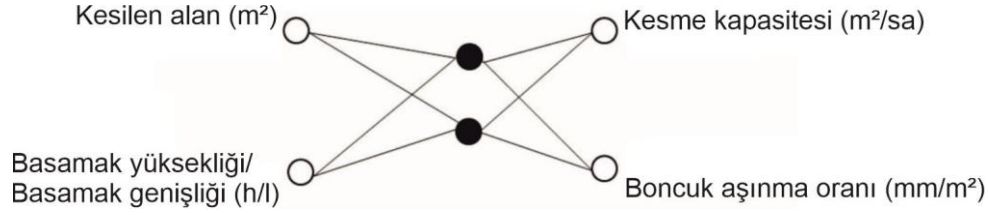


Şekil 12. Basamak yüksekliği/genişliği-boncuk aşınma oranı ilişkisi (Sarı traverten)

Söz konusu sahalarda elmaslı boncuklarda oluşacak aşınma ve kesme kapasitelerini tahmin etmeye yönelik olarak Yapay Sinir Ağları (YSA) ile modelleme çalışmaları yapılmıştır. Öncelikle Yapay Sinir Ağları için uygun olan model seçilmiş ve farklı ağ modelleri üzerinde değişik eğitim algoritmaları kullanılmış ve bunlara ait parametreler değiştirilmek suretiyle her model ve eğitim algoritması için denemeler yapılmıştır. Kurulan modeller tek ve iki gizli katmanlı yapılar olarak değişik düğüm sayılarında

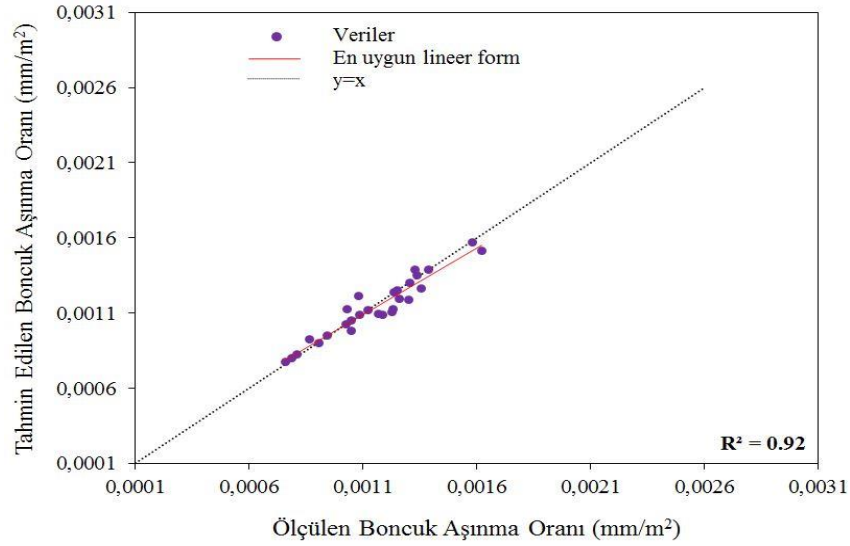
e-ISSN: 2148-2683

oluşturulmuştur. Oluşturulan model denemelerinde bir katmanlı, gizli nöron sayısı 10, giriş sayısı 2, çıkış sayısı 2 ve 0,01 toplam hata değeri olarak değerleri sabit olarak seçilmiştir (Şekil 13). Elmaslı boncuklarda meydana gelen aşınma ve elmaslı tel kesme kapasitesi değerlerinin tahmini için Yapay Sinir Ağları ile oluşturulan modele verilen giriş parametreleri kesilen alan ve basamak yüksekliği/basamak genişliği (h/l) oranı verilerine dayandırılmıştır.

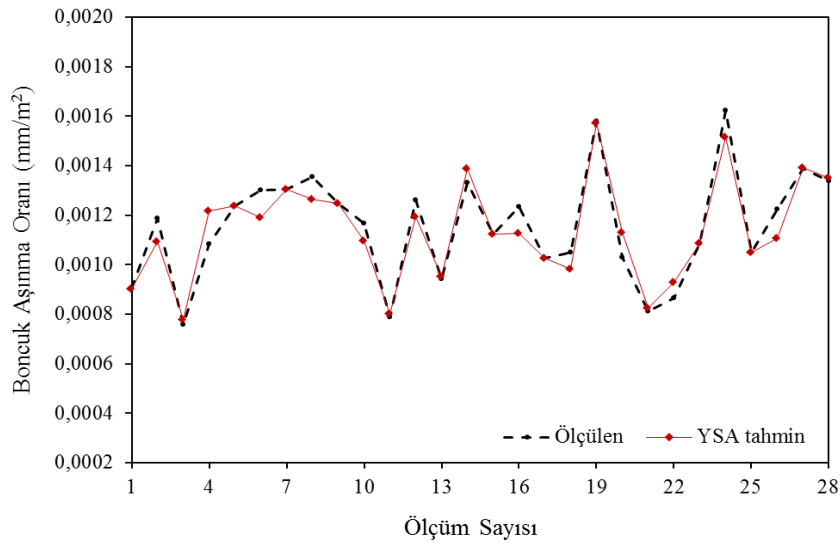


Şekil 13. Geri yayımlı sinir ağı giriş ve çıkış parametreleri

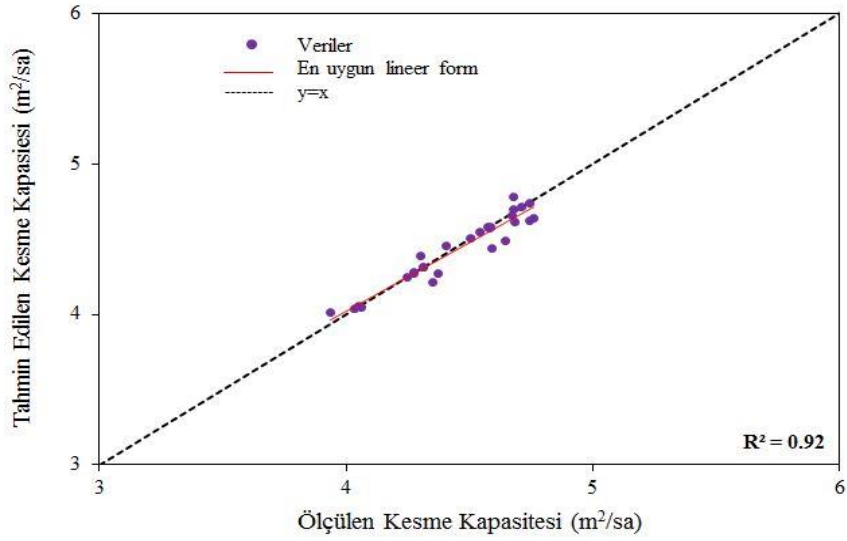
Yapay Sinir Ağları (YSA) modeli ile tahmin edilen çıkış değerleri ile sahada ölçülen değerler arasında oldukça yüksek korelasyonlu ilişkiler ($R^2=0,92-0,94$) elde edilmiştir (Şekil 14, 16, 18, 20). Ölçülen ve Yapay Sinir Ağları (YSA) modeli ile tahmin edilen değerlerin karşılaştırılması Şekil 15, 17, 19 ve 21’de verilmiştir.



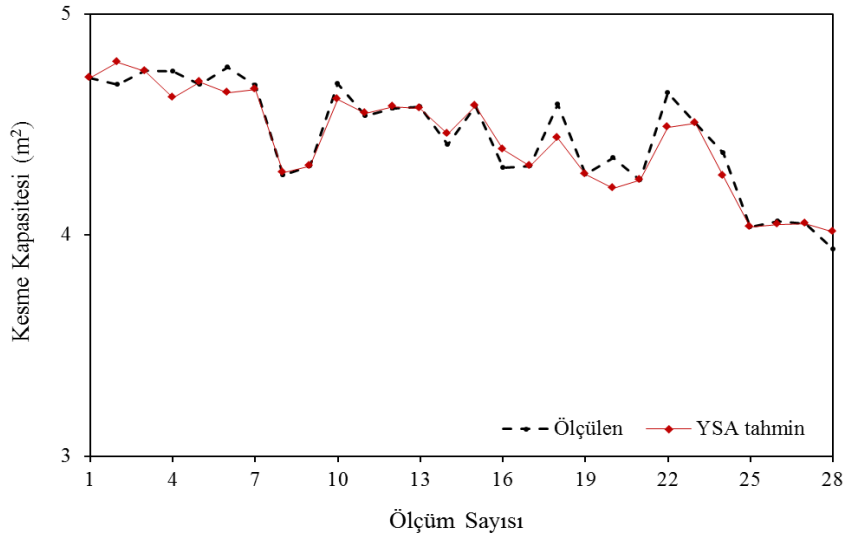
Şekil 14. Ölçülen ve YSA ile tahmin edilen boncuk aşınma oranı değerleri arasındaki ilişkiler (Bej mermer)



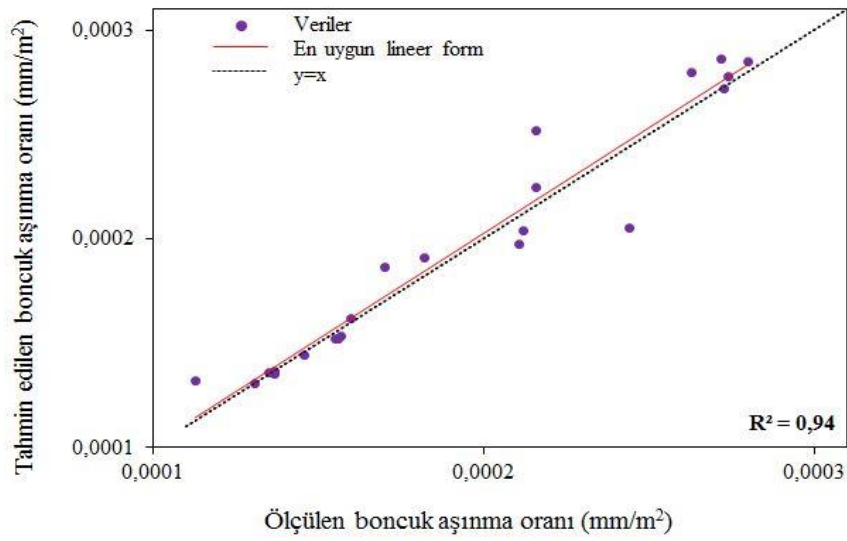
Şekil 15. Ölçülen ve YSA ile tahmin edilen boncuk aşınma oranı değerlerinin karşılaştırılması (Bej mermer)



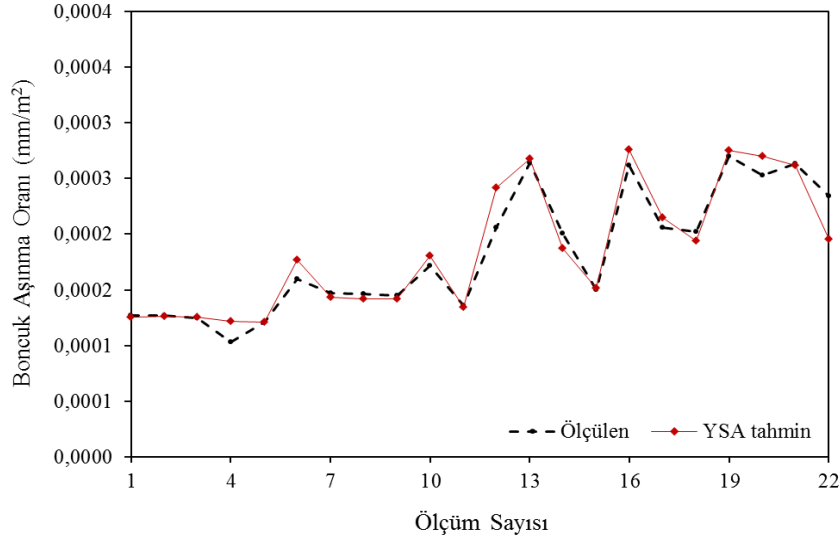
Şekil 16. Ölçülen ve YSA ile tahmin edilen kesme kapasitesi değerleri arasındaki ilişkiler (Bej mermer)



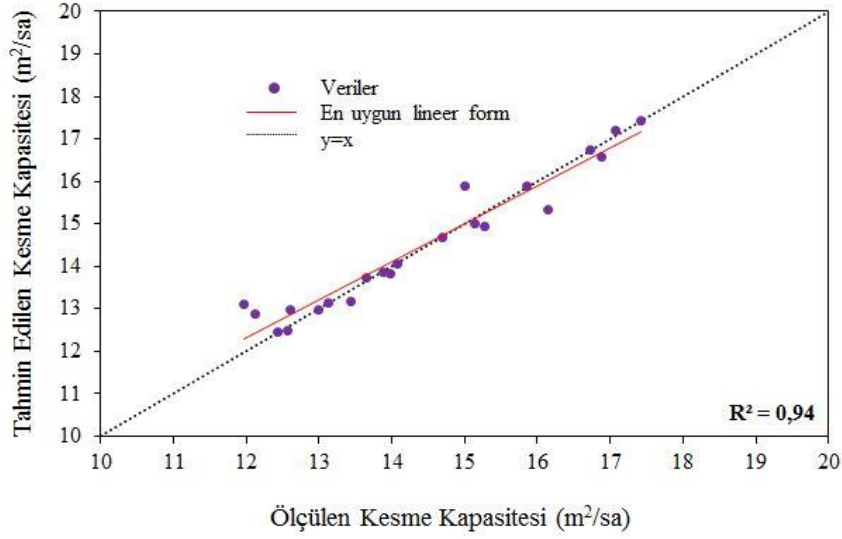
Şekil 17. Ölçülen ve YSA ile tahmin edilen kesme kapasitesi değerlerinin karşılaştırılması (Bej mermer)



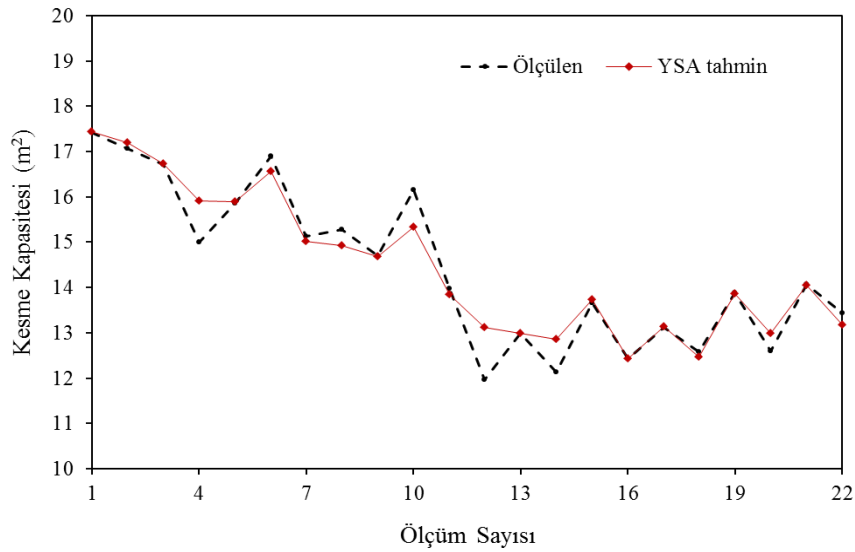
Şekil 18. Ölçülen ve YSA ile tahmin edilen boncuk aşınma oranı değerleri arasındaki ilişkiler (Sarı traverten)



Şekil 19. Ölçülen ve YSA ile tahmin edilen boncuk aşınma oranı değerlerinin karşılaştırılması (Sarı traverten)



Şekil 20. Ölçülen ve YSA ile tahmin edilen kesme kapasitesi değerleri arasındaki ilişkiler (Sarı traverten)



Şekil 21. Ölçülen ve YSA ile tahmin edilen kesme kapasitesi değerlerinin karşılaştırılması (Sarı traverten)

3. Sonuç

Elmaslı tel ile mermer üretim faaliyetlerinde kesme performansını etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bu kapsamda; makine gücü, makinenin elmaslı tele uyguladığı çekme kuvveti, elmaslı telin çevresel hızı, elmaslı tel ve elmaslı boncuk yapısı, kesim tipi, basamak geometrisi gibi çalışma parametreleri ile kayacın mineralojisi, dokusu, sertliği, mukavemeti vb fiziksel ve mekanik parametreler önemli rol oynamaktadır. Kesme performansını etkileyen diğer faktörlerin yanında en önemli faktörlerden birinin de ocak basamak geometrisi olduğu bilinmektedir.

Elmaslı tel ile mermer üretiminde basamak geometrisinin kesme performansı üzerine etkilerinin ayrıntılı olarak incelenmesi amacıyla bu araştırma, iki farklı mermer işletmesinde gerçekleştirilmiştir. Bu mermer işletmelerinde kesme yüksekliği/kesme genişliği oranının (h/l) artmasına paralel olarak saatlik kesme kapasitesinin düştüğü tespit edilmiştir.

Genel bir yaklaşımla kesilen alan ile saatlik kesme kapasitesi arasında ikinci dereceden fonksiyonel (polinom) ilişkilerin varlığı söz konusudur. Bu ilişkiler, yüksek kesme kapasitesi değerlerinin elde edildiği oldukça geniş aralıklı kesme alanlarına (m²) işaret etmektedirler. Ancak, elmaslı boncuklarda meydana gelen aşınma oranları da dikkate alındığında sadece bu ilişkilerden yola çıkarak kesme alanlarının belirlenmesinin çok gerçekçi olmadığı söylenebilir. Elmaslı boncuklarda oluşan aşınma oranları daha dar aralıklı kesme alanlarına ve h/l oranlarına işaret etmektedir.

Elmaslı boncuk aşınma oranı ile kesilen alan ve h/l arasında her zaman anlamlı ilişkiler elde edilememektedir. Buna rağmen bu ilişkiler basamak geometrisinin seçimine dönük önemli veriler sağlamaktadır.

Mermer ocaklarında basamak geometrisinin kesme kapasitesi ve aşınma üzerine oldukça belirgin bir etkisi vardır. Bu geometri her saha için farklı olup ideal durum yerinde ölçümlerle belirlenmelidir. Genel bir yaklaşımla h/l oranının 0,3-0,5 civarında olması durumunda iyi sonuçlar elde edilebileceği söylenebilir.

Yapay Sinir Ağları ile yapılan modelleme çalışmalarında giriş parametreleri olarak kesilen alan ve h/l oranı seçilmiş, sahada ölçülen ve modelden tahmin edilen aşınma oranları ve kesme kapasiteleri arasında oldukça yüksek korelasyonlu ilişkiler tespit edilmiştir. Bu durum elmaslı tel kesme ile mermer üretiminde basamak geometrisinin aşınma oranı ve saatlik kesme kapasitesi üzerinde oldukça etkili olduğunu ortaya koymaktadır.

4. Teşekkür

Yazarlar Emmioğlu Mermer A.Ş. ve Özmersan Mermer A.Ş. personeline teşekkürlerini sunarlar.

Kaynakça

- Beckman, T.R., Hulick, R.M. (1991). Diamond wire sawing speed dam project. *Industrial Diamond Review*, 272-274.
- Berry, P., Bortolussi, A., Ciccu, R., Manca, P.P., Masacci, G., Pinzari, M. (1989). Optimum use of diamond wire equipment in stone quarrying. In: *Proceedings of the 21st APCOM, Las Vegas*, 351-365.
- Bortolussi, A., Ciccu, R., Manca, P.P., Massacci, G. (1990). Simulation and optimization of rock cutting with diamond wire. XXII. *International Symposium APCOM, Berlin*, 163-176.
- Bortolussi, A., Ciccu, R., Manca, P.P., Massacci, G. (1994). Computer simulation of diamond-wire cutting of hard rock and abrasive rock. *IMM*, 103, 55-128.
- Cai, O., Mancini, R. (1989). Diamond wire for cutting hard rock. *Dimensional Stone*, 24-27.
- Capuzzi, Q. (1989). Diamond wire cutting technology in granite quarry. *ACIMM for Marble*, 24.
- Demirdağ, S. (2001). Mermer işletmeciliğinde elmas telle kesim performansının araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Fausett, L. (1994). *Fundamentals of neural networks*. NJ Prentice Hall, 328-329.
- Fine, T.L. (1999). *Feedforward neural network methodology*. Springer.
- Görgülü K. (1994). Bazı mermer ocaklarında (Isparta-Burdur-Sivas) işletme sistemlerinin incelenmesi ve öncelikli kaya madde/kütle özellikleri ile ilişkilendirilmesi araştırmaları. C.Ü. Fen Bil. Enst. Maden Müh. Anabilim Dalı, Sivas, 95.
- Gurney, K. (1997). *An introduction to neural networks*. CRC Press.
- Hayes, D. (1990). Demolition-the modern method. *Industrial Diamond Review*, 69.
- Haykin S. (1994). *Neural networks*. Macmillan Collage Publishing Company, 1994, 181-182
- Jain, S.C., Rathore, S.S. (2009). Role of cut size area on the performance of diamond wire saw machine in quarrying of marble. *International Journal of Mining Reclamation and Environment*, 23, 79-91.
- Jain, S.C., Rathore, S.S. (2011). Prediction of cutting performance of diamond wire saw machine in quarrying of marble a neural network approach. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 44, 367-371.

Lin C., Lee G. (1996). Neural fuzzy systems. Prentice Hall, 236-240, 242, 445-448.

Mannoni, L, Mannoni T. (1984). Le marbre. Sagep, Italy, 270.

Özçelik, Y. (1999). Mermercilikte kullanılan elmas tel kesme makinalarının çalışma koşullarının incelenmesi. Doktora tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.

Özçelik, Y., Kulaksız, S., Çetin, M.Ç. (2002). Assessment of the wear of diamond beads in the cutting of different rock types by the ridge regression. Journal of Materials Processing Technology, 127, 3, 392-400.

Paul, D. (1993). Levenberg-Marquart methods and nonlinear estimation. SIAM News, 26, 6.

Tönshoff, H.K., Asche, J. (1997). Wear of metal-bond diamond tools in the machining of stone. Industrial Diamond Review, 1, 7-13.

Tönshoff, H.K., Hillmann-Apmann, H. (2002). Diamond tools for wire sawing metal components. Diamond and Related Materials, 11, 742-748.

Werland, W. (1990). Railway bridge cut in two. Industrial Diamond Review, 65-66.