



Görüntü İşleme ile Doğal Taş Seleksiyonunda İşlem Süresini Azaltan Yeni Bir Yöntem Önerisi

A New Method to Reduce Computing Time on Natural Stone Classification by Image Processing

Özgür Akkoyun^{1*}, Yaser Fırat²

¹ Dicle Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, oakkoyun@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9103-8300>

² Dicle Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü Yüksek Lisans, firatyaser@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9040-4583>

MAKALE BİLGİLERİ

Makale Geçmişi:

Geliş 22 Haziran 2023
Revizyon 31 Temmuz 2023
Kabul 2 Ağustos 2023
Online 30 Eylül 2023

Anahtar Kelimeler:

Görüntü İşleme, Mermer, Yapay Zeka, Yapay sinir ağları

ÖZ

Son yıllarda birçok alanda olduğu gibi doğal taş sektöründe de artan bir hızda, görüntü işleme yöntemlerine dayalı uygulamalar görülmektedir. Bu uygulamalar mermer renklerini bilgisayar ortamına aktarma ile başlamış ve günümüzde mermer numunelerinin renk seleksiyonunun Yapay Zeka (YZ) ve Yapay Sinir Ağları (YSA) modelleri ile yapılabildiği çalışmalara kadar gelmiştir. Ancak bu çalışmaların uygulamaya dönüşebilmeleri için hala aşılması gereken bazı engeller bulunmaktadır. Bunlardan birincisi, YSA modellerinin pahalı ve karmaşık profesyonel yazılımlar ile oluşturulup çalıştırılabilmeleridir. Bir diğer sorun işlem sürelerinin fabrikaların olağan iş-akış süresine uygun olması gerekliliğidir. Bu çalışma, problemin ikinci kısmına odaklanmış, süre kısaltma ile ilgili çalışmalar ve öneriler yapılmıştır. Bunun için önce YSA destekli seleksiyon yapan bir model oluşturulmuş, ardından, işlem süresini kısaltmak için iki farklı yöntem önerilmiştir. Her bir yöntem için toplamda 29 YSA modeli tekrar oluşturulup en iyi yöntem aranmıştır. Sonuçta, önerilen yöntem ile örnek doğal taş a ait üç farklı seleksiyonun ayırma işleminin %67-90 oranlarında kısaltıldığı ortaya konulmuştur.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 22 June 2023
Received in revised form 31 July 2023
Accepted 2 August 2023
Available online 30 September 2023

Keywords:

Image processing, Marble, Artificial intelligence, Neural networks

ABSTRACT

In recent years, applications based on image processing methods are revealed at an increasing rate in the natural stone industry, as in many other fields. These applications started with digitizing marble colors and today it has reached the studies where the color selection of marble samples can be done with Artificial Intelligence (AI) and Artificial Neural Networks (ANN) models. However, there are still some obstacles to be overcome in order for these studies to be translated into practice. The first of these is that ANN models can be created and run only with expensive and complex professional software. Another problem is that the processing times must be in accordance with the usual processing time of the factories. This study focused on the second part of the problem, studies and suggestions were made about shortening the time. For this, firstly, a model with ANN-assisted selection was created, and then two different techniques were proposed to shorten the processing time. For each proposed method, a total of 29 ANN models were reconstructed and the best method was investigated. As a result, it was revealed that the classification process of three different selections of the natural stone was shortened by 67-90% with the proposed method.

Doi: 10.24012/dumf.1318407

* Sorumlu Yazar

Giriş

Görüntü işleme, son yıllarda hızlı gelişme göstermiş bir bilgisayar destekli çalışma konusu olup, birçok alanda uygulanmaya başlanmış popüler bir alan haline gelmiştir. Bu durumun doğal sonucu olarak da görüntü işleme yöntemlerinin genelde madencilik, özelde de doğal taş sektörüne uygulanması ile ilgili yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır.

Ülkemizde bu alandaki ilk çalışmalardan birisinde [1] mermerlerin renk özelliklerini çıkarabilen MRA ismini verdikleri bir yazılım geliştirilmiştir. Yine bu alandaki ilk ve en popüler çalışmalardan birisinde [2] üretim hattında mermer plakaların farklı gruplara göre sınıflandırılması için gerçek zamanlı otomatik bir sistem önerisinde bulunulmuştur. Bir başka çalışmada [3], mermer parçalarını üç gruba ayırmış bir YSA modeli ile başarılı bir şekilde sınıflandırmışlardır. Sousa ve Pinto [4], seçtikleri mermerler üzerinde hemen bütün esnek hesaplama yöntemleri ile sınıflandırma işlemini gerçekleştirmişler ve genetik algoritma yöntemi ile eğitilen bulanık sınıflayıcı ile en başarılı sonuçları elde etmişlerdir.

Dönmez ve Sarı [5], mermer yüzey parlaklıklarını ölçtüktan sonra bu değerler ile gri seviye değerleri arasında ilişkiler kurmaya çalışmışlardır. Sistemin başarılı olduğu ifade edilmiştir. Bir başka çalışmada [6], mermer bloklarının görüntü işleme ve YSA kullanılarak otomatik sınıflanması amacıyla farklı teknikleri incelenmiş ve benzetim sonuçlarına göre tekniklerin karşılaştırmaları yapılmıştır. Başka bir çalışmada, mermer karoları YSA yardımıyla sınıflandırılmıştır [7]. Spektrometre yardımı ile elde edilen 16 farklı çeşide sahip granit verileri destek vektör makineleri ile sınıflandırılmıştır [8].

Mermer bloklarını kalitelere göre otomatik olarak sınıflandırmak için yeni bir hiyerarşik sınıflandırma yöntemi önerilmiş, yöntem YSA ile karşılaştırmış ve sınıflandırma başarısının daha yüksek olduğunu ifade edilmiştir [9].

Başka bir araştırmacı [10], mermer kalite sınıflaması için görüntü işleme tekniklerinin uygulanabilirliklerini değerlendirdiği çalışmasında, mermer kalite seleksiyon işleminin sanıldığından karmaşık bir süreç olduğunu ve tam bir kalite seleksiyonu için renk ayırmadan daha fazlasına ihtiyaç olduğuna vurgu yapmıştır. Destekler nitelikte bir çalışmada [11], homojen desenli olan ve olmayan mermerlerin farklılıklarından ve görüntünün elde edilmesindeki gölge gibi sorunların görüntü işleme çalışmalarına olumsuz etkisine vurgu yapılmıştır.

Mermer küp örneklerin tek eksenli basınç dayanım değerlerini tahmin etmek için görüntü işleme teknikleri önerilmiş [12], çalışmada YSA kullanılmıştır. Başka bir çalışmada [13], traverten numuneleri üzerinde çeşitli sınıflandırma algoritmaları uygulanmıştır. Mermer yüzey pürüzlülüğünün görüntü işleme teknikleri ile tespiti için bir çalışma yapılmıştır [14].

Duvar yazıları (graffiti) ile kirletilen mermer sanat eserlerinin temizlenmesinde kullanılan su jeti teknolojisinin en uygun çalışma parametrelerini tespit etmek için görüntü işleme tekniklerinden yararlanılan bir çalışma yapılmıştır [15]. Matlab paket programı yardımı ile görüntü işleme ve

YSA mermerleri sınıflandırılmış [16], mermer ürünlerinin sınıflandırılması için damar yapılarını temel alan ayrıca kırık tespiti de yapabilen bir sınıflandırma yöntem geliştirilmiştir [17]. Bir çalışmada YSA ile sınıflamanın en iyi sonucu verdiği sonucuna varılmış [18], çok benzer bir çalışma ile YSA kullanarak 600 mermer numunesi görselini sınıflandırmayı başarmışlardır [19]. Her iki çalışmada da çalışma süresi, sınıflandırma süresi ya da mermer üretim süresindeki hız ile uyumlu çalışma gibi bir değerlendirme yapılmamıştır.

Mermer görüntülerini sınıflandırmak için farklı alt teknikler kullanılmış ve karar ağacı yönteminin daha iyi sonuç verdiği ifade edilmiştir [20]. Çalışmanın önemli bir sonucu ise geliştirilen ara yüzün sanayide uygulanabilmesi için gömülü sistem bir aracın daha verimli olacağı ifade edilmiştir. Başka bir çalışmada [21], makine ile görme yöntemi kullanılarak mermer seleksiyonu işleminde, işlem süresinden söz edilmiştir. Ancak araştırmacı, işlem süresi olarak yöntemleri kıyaslarken, PC içindeki işlemcilerin işlem sürelerini dikkate almış, işlemcileri kendi aralarında kıyaslamış, gerçek bir mermer işleme tesisindeki bant hızı ve seleksiyon işlem süresinden söz etmemiştir.

Topalova ve Tzokev [22], diğer çalışmalardan farklı olarak, gerçek zamanlı ve süreyi de ölçen bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Başka bir çalışmada [23], bir mermer türüne ait kalite sınıflamasını derin öğrenme yöntemlerini kullanarak uygulanmıştır. Benzer şekilde bir derin öğrenme modeli geliştirilerek mermer görüntülerinden sınıflandırması yapılmış ancak sınıflandırma işlem süresi ile ilgili bir değerlendirme yapılmamıştır [24].

Literatürdeki bazı çalışmalar ise farklı mermer türlerinin birbirinden ayrılması üzerine yapılan çalışmalardır. Bu çalışmaların hemen hiç birinde farklı kökene sahip doğal taşların ayrılmasına dayanan çalışmaların mermer üretim sürecindeki karşılığı ile ilgili bir değerlendirme yapılmamıştır, zira mermer üretim sürecinde seleksiyon aynı kökendeki taşın (hatta aynı bloktan kesilen taşların) seleksiyonu şeklinde uygulanmaktadır. Bu nedenle bu çalışmalara tek tek değinilmemiştir.

Yukarıda ayrıntılı verilen literatürden de anlaşılacağı gibi doğal taşların görüntü işleme ile sınıflandırılması çalışmaları tarihsel süreç içinde;

- I. Görselin sayısallaştırılması
- II. RGB-Gri seviye dönüşümü
- III. Farklı kökendeki doğal taşların sınıflandırılması
- IV. Aynı kökendeki taşların çoğunlukla YSA destekli sınıflandırılması

aşamalarından geçmiştir. Gelineen noktada, 'görüntü işleme ile mermer seleksiyonu' çalışmalarının yaygın bir şekilde uygulanabilir olması için aşılması gereken bir kaç konu kalmıştır; bunlardan birincisi YSA yazılımlarının Matlab gibi görece pahalı ve karmaşık profesyonel yazılımlar ile kullanılabilir olması nedeniyle bu yazılımların mermer fabrikasında seleksiyon masasındaki mavi yakalı çalışanlar tarafından kullanılabilirliklerinin güçlüğüdür. Bu nedenle gömülü sistemler düşünülmelidir.

Bir diğer husus ise bu alandaki başarılı çalışmalarının başarısının ayırma kısmında olması; ancak işlem hızlarının,

belirli bir ışık hızında çalışan mermer fabrikalarının akış hızını yakalamada henüz eksiklikler olmasıdır. Nitekim yukarıda anılan çalışmaların hemen tümü başarı ölçütü olarak *mermerleri ayırabilmeyi* almış ancak ayırmanın süresi ile ilgili bir değerlendirme yapmamışlardır. Çalışmaların uygulanabilir olmaları için işlem süreleri de önemli bir etkidir.

Bu çalışmada, YSA tabanlı görüntü işleme teknikleri ile mermer seleksiyonu yapan çalışmalarda işlem süresini kısaltacak ve bu yolla onları daha uygulanabilir kılacak yöntemler önerilmiş ve denenmişlerdir.

Materyal ve Metod

Bu bölümde, önerilen yöntemler, bunların denenmesi sırasında yapılan çalışmalarda kullanılan materyal ve metodlar sunulmaktadır.

Görüntü işleme çalışmaları çok genel ifadeler ile; verinin alınması, görselin bilgisayar ortamına alınarak sayısallaştırılması ve sayısal verinin bir takım matematik, istatistik ve/veya esnek hesaplama yöntemleri ile işlenerek sonuçların elde edilmesi adımlarından oluşmaktadır. Verinin elde edilmesindeki süre, görselin boyutları ile ilgilidir ve görselin tüm pikselleri için konum ve renk değerlerinin elde edilip kaydedilmesi anlamına gelmektedir.

Görsel verisinin elde edilmesi; renk değeri için üç adet ve pikselin koordinatı için iki adet olmak üzere her bir piksel için toplamda beş verinin okunup kaydedilmesi aşamalarını içerir. Sadece 10x10 cm boyutlarında ve ortalama özellikteki bir görüntü kaydedici ile kaydedilmiş bir görselin yaklaşık 90.000 piksel içerdiği düşünülürse küçük bir el örneği diyebileceğimiz bir mermer numunesinin görsel verisi yaklaşık 450.000 veriyi içermektedir. Bu adım için gerekli süre, toplam süre içinde önemli bir yer tutmaktadır.

Bu çalışmada, görsel verisi elde edilirken tüm piksellerinin taranıp veri toplanması yerine, belli sayıdaki piksellerin temsili olarak alınması önerilmiştir. Bunun için görsel yüzeyinden

- I. Rastgele piksellerden veri toplanması
- II. Belli hatlar üzerinden veri toplanması

alternatif yöntemleri ortaya atılmış ve her ikisi de denenerek sonuçlar elde edilmiştir.

Materyal

Çalışmanın uygulanacağı örnek doğal taş olarak, uzun süredir mermer pazarında en çok tercih edilen ve Diyarbakır bölgesi firmalarına ait mermer işleme tesislerinde en çok üretimi yapılan Emperador ticari ismi ile anılan mermer seçilmiştir. Seçilen mermer ait üç adet seleksiyon bulunmaktadır; koyu (dark), orta (medium) ve açık (light).

Mermer numunelerine ait veriler, fabrikadaki seleksiyon masasına gelen mermerlerin, kapalı fabrika koşulları altında, ortalama özelliklere sahip bir fotoğraf makinası ile elde edilmişlerdir. Fabrika koşullarında yüzden fazla fotoğraf çekilmiştir. Elde edilen görsel verisi RGB renk uzayında ve grayscale (0-255) ölçekte değerlendirilmiştir. Verilerin işlenmesinde makalenin birinci yazarı tarafından yazılıp derlenen Windows tabanlı yazılım kullanılmıştır.

Anılan mermer ait çok sayıda mermer görseli elde edilmiş, ancak toplanan görsellerin büyük bir bölümü aynı ışık koşullarında elde edilmediği için, değerlendirme dışı tutulmuşlardır. Ayrıca, aynı taşın seleksiyonu olmayan, farklı ocaklara ait mermerlerin görselleri de elenince; eşit koşullarda elde edilmiş, gölgesiz, parlaması olmayanlar 36 adet numune görsel elde edilmiştir. Bu numuneler 10x10cm boyutlarında el numuneleri şeklinde hazırlanmış olup, tamamı fayans hattı cilalı son ürünüdür. Görseller daha sonra söz konusu mermeri yıllardır işleyen bir fabrikanın kalite uzmanlarına gösterilerek sınıflandırmaları istenmiş ve böylece numuneler uzmanlar tarafından koyu, orta ve açık şeklinde üç sınıfa ayrılmışlardır. Bu sınıflamayı temsilen üç örnek Şekil 1'de verilmiştir.

Metod

Çalışmada şu metod izlenmiştir; İlk adım olarak literatürde sıkça karşılaşılan ve mermer yüzeylerinin tamamının taranıp YSA modeli ile seleksiyonun yapıldığı çalışmanın aynısı yapılmıştır. Ardından benzer YSA modeli, önerilen veri azaltma alternatiflerinin tümü ile ayrı ayrı yeniden uygulanarak en iyi alternatif elde edilmeye çalışılmıştır.



Şekil 1. Emperador Mermerine Ait Seleksiyonlar (soldan sağa); Dark, Medium ve Light.

Yapılan Çalışmalar

Bilinen YSA Modeli ile Mermer Seleksiyonu

Başlangıç olarak mermer numunelerine ait görseller 300x300 piksel boyutlarında elde edilerek bilgisayar ortamına aktarıldıktan sonra bir görüntü işleme yazılımı aracılığıyla işlenerek her bir görsele ait 90bin piksel verisi elde edilmiştir. Görüntü işleme yazılımına bu çalışma için eklemeler yapılarak, görüntü tarama-veri toplama **işlem süresini** de hassas olarak hesaplayıp kayıt altına alacak şekilde yeniden derlenmiştir.

Sonraki aşamada her bir görsele ait renk değerleri için; en büyük, en küçük, ortalama, standart sapma, değişim aralığı, mod, medyan, çarpıklık ve basıklık değerleri hesaplanmış ve kaydedilmiştir. Daha sonra uzmanlar tarafından yapılan sınıflamadaki açık, orta, koyu sınıflaması sayısallaştırılarak koyu için 1, orta için 2 ve açık için 3 sayısal değeri yazılarak öznitelik vektörü için korelasyon çalışması yapılmıştır.

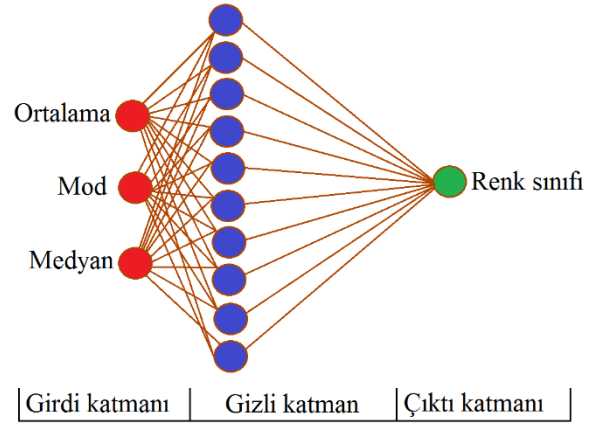
Öznitelik vektörünün amacı, yukarıda sayılan parametrelerden hangilerinin seleksiyon sınıflaması üzerinde pozitif ya da negatif etkisinin olduğunu tespit edilerek YSA çalışmasında girdi parametresi olması için seçmektir. Bunun için tüm girdi değerleri ile çıktı değerleri arasındaki korelasyonlar hesaplanmış ve Pearson korelasyon katsayısı, r değerleri elde edilmiştir. Sonuçta korelasyon katsayıları sırasıyla 0.77, 0,81 ve 0.84 olarak hesaplanan **ortalama, medyan ve mod** parametrelerinin YSA çalışmasında girdi olarak kullanılmasına karar verilmiştir (Tablo1).

Tablo1. Girdi verileri ve hedef arasındaki ilişki

Girdi değeri	Korelasyon (pearson, r)
Çarpıklık	-0.56
Basıklık	-0.39
S. Sapma	0.09
Fark	0.14
En küçük	0.16
En büyük	0.27
Ortalama	0.77
Medyan	0.81
Mod	0.84

Mermer seleksiyonu konusunda birçok çalışma YSA tabanlı olup çoğunlukla Matlab arayüzü kullanılarak gerçekleştirilmiştir [17-21], [25-28].

Bu çalışmada da YSA modeli, öznitelik vektöründen elde edilen bilgiler ile üç adet girdi parametresi (ortalama, mod, medyan) ve bir adet çıktı parametresi (renk sınıfı) ile oluşturulmuş ve çalıştırılmıştır. Girdi verileri üç sınıftan toplamda 36 adet mermer numunesine ait yüzeyin tümünün taranması ile elde edilen veriler kullanılmış olup verilerin %70'i YSA'nın eğitilmesi için (training), %15'i doğrulama (validation) ve son %15'i de sınama (testing) aşamaları için kullanılmıştır. Oluşturulan YSA modelinin basitleştirilmiş şematik görüntüsü Şekil2'de verilmiştir.



Şekil2. YSA Modeli Basitleştirilmiş Şeması

Model çıktılarının gerçek değerler ile benzerlik tespiti için regresyon değerleri hesaplanmıştır. Buna göre Training için 0.99, Validation için 0.94, Test için 0.97 ve modelin tümü için 0.99 bulunmuştur

YSA modeli test için çalıştırılmış ve 14 farklı numune için sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, modelin fabrikada çalışan insan-uzmanın yaptığı sınıflamaya çok yakın ($r=0.99$) sınıflama yapabildiğini göstermiştir (Tablo2).

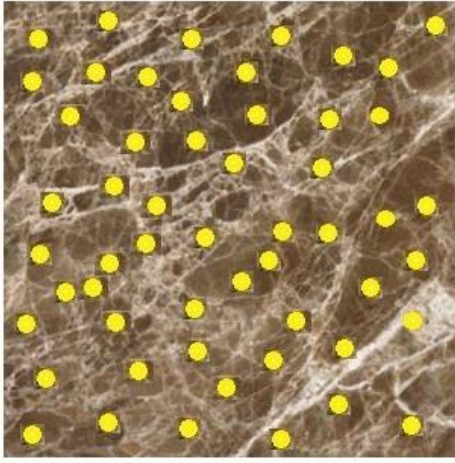
Tablo2. . YSA modelinin test sonuçları

Ort.	Mod	Medyan	Gerçek değer	YSA-model sonucu
88	77	86	1	1.0024
115	98	108	1	1.0279
120	95	114	1	1.0227
76	62	71	1	1.0032
112	99	106	1	1.0498
113	111	114	2	1.8329
116	121	117	2	2.3062
158	151	155	2	2.1232
136	135	135	2	2.0380
123	127	123	2	2.0160
161	181	163	3	2.9906
144	130	141	3	2.8705
169	161	166	3	2.9659
161	182	163	3	2.9908
161	187	165	3	2.9937

Çalışmanın buraya kadar olan kısmı literatürde bulunan YSA ile mermer seleksiyonu çalışmalarında yapılan çalışmalar ile aynı içeriktedir. Bundan sonraki bölümde önerilerden söz edilecektir.

Rastgele Toplanan Veriler ve YSA Modeli

Tüm yüzey taranması yerine, onları temsilen rastgele seçilmiş pikseller taranarak model oluşturulması önerilmiştir. Hangi oranda rastgele veri almak, tüm veriyi doğru bir şekilde temsil edebilir? Bu soruya cevap verebilmek ve tüm yüzey taraması model sonuçlarına en yakın rastgele veri oranını bulmak için, görüntü işleme yazılımımız istenilen oranlarda rastgele veri toplayacak şekilde yeniden düzenlenmiştir. Buna göre %1'den %90'a kadar toplamda 14 farklı rastgele oranda veri toplanmıştır. R1 tüm piksellerin sadece %1'ini içeren veriyi ifade ederken R30, tüm piksellerin %30'una karşılık gelen rastgele veriyi ifade etmektedir(Şekil3).



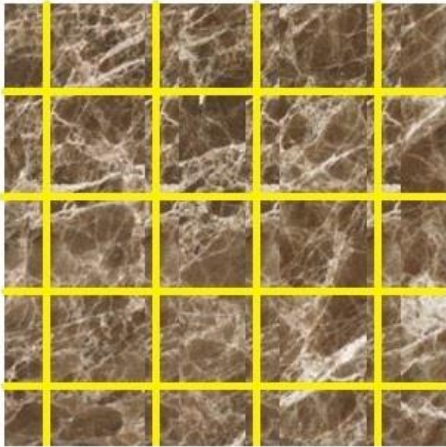
Şekil3. Rastgele piksel verisi okuma (temsili)

Tablo3. Rastgele veriler ile YSA modeli

Numune No	YSA-Gerçek korelasyonu (r)
R-01	0.736
R-02	0.768
R-03	0.802
R-04	0.793
R-05	0.833
R-10	0.813
R-20	0.855
R-30	0.855
R-40	0.862
R-50	0.921
R-60	0.927
R-70	0.959
R-80	0.975
R-90	0.987

Hatlardan Alınan Veriler ile YSA Modeli

Benzer bir yöntem olarak hedef görselin tüm pikselleri yerine, görsel üzerinde tespit edilecek belli hatlar üzerinden verilerin elde edilmesi yöntemi önerilmiştir. Bu amaçla görselin sadece iki hat ile dört kareye bölünmesinden (K-2), görselden 90 hat geçirilip yüzlerce kareye bölünmesine kadar (K-90) 15 farklı alternatif için yazılım yeniden kodlanmış ve veri toplanmıştır (Şekil4).



Şekil4. Hatlardan piksel verisi okuma (temsili)

Çalışma kapsamında iki farklı öneri için, 35 numuneden toplamda 29 farklı şekilde veri toplanmış, her bir alternatif için yeniden YSA modeli kurulmuş ve sonuçlar elde edilmiştir. Çalışmanın en önemli sonuçları işlem süreleri ile ilgili olanlardır. Yapılan her alternatif işlem için yazılım hassas bir şekilde süre tutmuş ve kayıt altına almıştır. 29 alternatif ve bir mevcut yöntem (tüm yüzeyin taranarak tam veri alınması) toplamda 30 adet model için korelasyon ve süre bilgileri bir grafik haline getirilmiş ve Şekil4'de sunulmuştur.

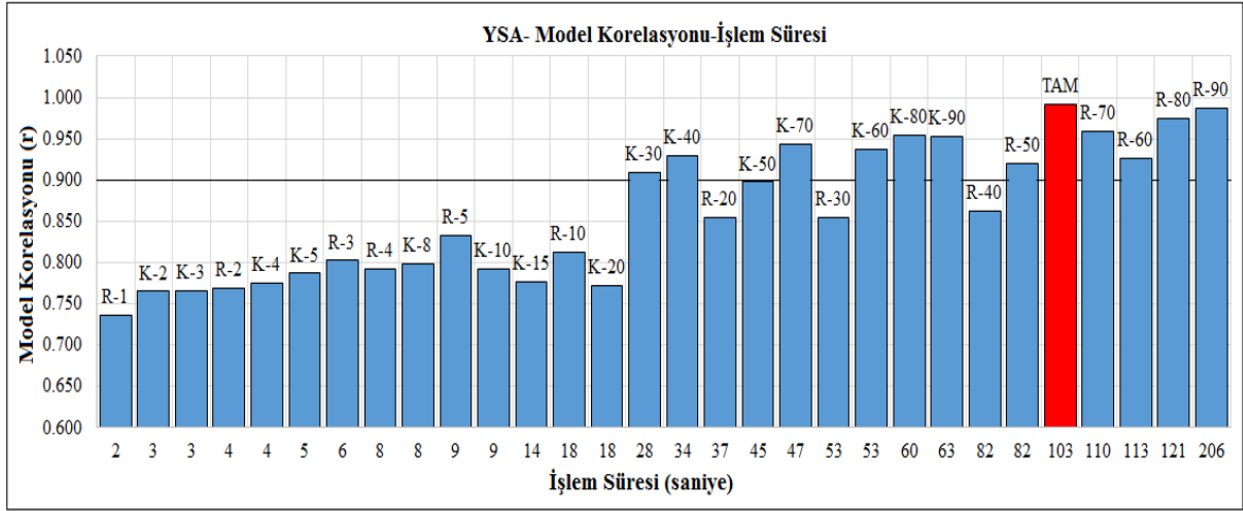
Her bir alternatif veri için yeniden YSA modeli oluşturulmuş ve mermer renk seleksiyonu yeniden yapılmış, korelasyon değerleri elde edilmiştir (Tablo4).

Tablo4. Hat verileri ile YSA modeli

Numune No	YSA-Gerçek korelasyonu (r)
K-2	0.765
K-3	0.765
K-4	0.775
K-5	0.787
K-8	0.799
K-10	0.793
K-15	0.777
K-20	0.772
K-30	0.909
K-40	0.929
K-50	0.897
K-60	0.937
K-70	0.944
K-80	0.954
K-90	0.953

Sonuçlar Ve Değerlendirmeler

Tüm çalışmanın sonuçlarının içeren grafik oluşturulurken rastgele (R kodlu olanlar) ve hatlardan alınan veriler (K kodlu olanlar) birlikte değerlendirilmiş, yatay eksen model ile gerçek seleksiyon arasındaki korelasyon olarak belirlenip, $r=0.9$ çizgisi ayrıca çizilmiş, yatay eksen ise süreler saniye cinsinden verilmiştir (Şekil4).



Şekil3. Tüm yöntemler için korelasyon ve işlem süreleri

Kırmızı (koyu renk) ile verilen sütun tüm yüzey taraması dediğimiz literatürde söz edilen halihazırda uygulanan modeldir. Çalışmanın sonuçları ve değerlendirmelerimiz aşağıdaki gibidir;

- Öncelikle çalışma için seçilen Emeperador mermeri için renk seleksiyonunda renk değerlerindeki değişimin (standart sapma), renkler arasındaki farkın büyüklüğünün, en büyük renk değerinin, en küçük renk değerinin, renk dağılımlarının çarpıklık ve basıklığının renk seleksiyonunda ciddi bir katkısının olmadığı, mod, medyan ve ortalama değerlerinin etkili olduğu görülmüştür.
- Mermer numunelerinin yüzeyinin tümünün taranması ile elde edilen veriler ile yapılan YSA destekli sınıflama çalışması sonucunda 10x10 cm numuneler için veri toplama işlemi 103 saniye sürmüştür.
- Model sonucunda 0.9921 gibi yüksek korelasyon değerleri ile sonuçlar elde edilmiş ve gerçekleştirilen YSA modelinin, bu mermer türünde renk seleksiyonu için başarı sağladığı sonucuna varılmıştır. Model test edildiğinde de gerçek sonuçlara çok yakın sonuçlar elde edilerek modelin güvenilirliği kanıtlanmıştır.
- Rastgele veri alma yöntemi ve hattan veri alma yöntemi ile toplanan veriler ile yapılan YSA modelleri birlikte değerlendirildiklerinde en iyi korelasyon değerinin R-90 (0.987), R-80 (0.975), R-70 (0.959), ardından K-80 (0.954) ve neredeyse aynı korelasyon değeri ile K-90 (0.953) işlemlerinden elde edildikleri görülmektedir. Veri oranlarının tüm yüzey taramasına yakın olduğu bu işlem adımlarında yüksek korelasyon elde edilmesi beklenen bir sonuçtur.
- Tüm yüzey taramasını gösteren kırmızı sütunun sağ tarafında da yani işlem süresi ondan daha uzun olan işlemlerin de olması başlangıçta garip gibi görünse de bunun çok basit bir sebebi vardır; Tüm yüzeyin taranmasından daha uzun süre alan işlemler, yüzeyden %70, %80 vb. oranında rastgele veri toplamaya ayarlanmış işlemlerdir. Yüzeyden rastgele piksel verisi toplanırken aynı pikselden iki kez veri alınması

durumunda verinin iptal edilip verisi alınmamış piksel bulunana kadar rastgele koordinat atanmanın devam ettirilmesi için programa bir alt-yordam yazılmış ve uygulanmıştır. Bu nedenle de rastgele oranı arttıkça aynı piksele rast gelme olasılığı da arttığı için yazılım, verisi alınmamış pikselleri ararken uzun süreler harcamak zorunda kalmıştır. Sırasız düzensiz 80 bin veriyi arayıp bulmak, sıralı ve düzenli 90bin veriyi okumaktan daha uzun sürmüştür.

- R-60, R-70, R-80 ve R-90 olarak isimlendirilen yöntemlerde ölçülen süreler, tam yüzey taramasında ölçülen süreden daha fazla olduğu için bu yöntemlerin uygun olmayacakları sonucuna varılmıştır.
- Korelasyon değerleri +0.90 bulunan K-30, K-40, K-50, K-60, K-70, K-80 ve K-90 yöntemleri ile R-50 değerleri değerlendirildiğinde işlem süresini de dikkate alınca K-40 yönteminin 0.929 korelasyon değeri ve 34 saniye süre ile öne çıktığı görülmektedir.
- **K-40** yöntemi ile 103 saniye süren (tam tarama) veri toplama işlemi 34 saniyede gerçekleştirilmiş ve 0.93 korelasyon ile neredeyse aynı sonuçları üretmiş, başka bir deyişle, %67 oranında süre tasarrufu sağlamıştır.
- Korelasyon değeri +0.9 olan **K-30** yöntemi için bu süre sadece 28 saniye, süre tasarrufu %72 civarındadır.
- Korelasyon değeri +0.8 olan **R-5** yöntemi için bu süre sadece 9 saniye, süre tasarrufu %91 dir.
- Çalışmada 10x10cm boyutlarında görsel numuneleri kullanılmıştır. Mermer işleme tesislerindeki mermer ürünlerinin gerçek boyutları, çalışmadaki numune boyutlarından çok daha büyüktür. Önerilen yöntem, gerçek çalışma koşullarında uygulandığında çok daha büyük süreleri orantısız ölçekte kısaltacaktır. Böylece bu çalışma ile görüntü işleme ile renk seleksiyonu uygulamasının mermer işleme tesislerinde süre kısıtları içinde sürekli akan bir bant ile uyumlu çalışması konusunda önemli bir ilerleme sağlandığı değerlendirilmiştir. Çalışmanın ayrıntıları için [29] kaynağı incelenebilir.

Kaynakça

- [1] Gökay, M. K., ve Gündoğdu, İ. B. (2001). Mermer Renklerinin Sayısal Analiz Yoluyla Sınıflandırılması ve Mermer İşleme Tesislerindeki Kullanılabilirliği no. 40, *Bilimsel Madencilik Dergisi*.
- [2] Martinez-Alajarın Juan, Luis-Delgado José D. And Tomás-Balibrea Luis-Manuel (2005). "Automatic system for quality-based classification of marble textures". *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)* 35 (4): 488–497.
- [3] Luis-Delgado José D., Martinez-Alajarın J., and Tomás-Balibrea Luis-Manuel (2003). "Classification of marble surfaces using wavelets". *Electronics Letters* 39 (9): 714–715.
- [4] Sousa João M. C., ve Pinto João R. Caldas (2004). "Comparison of Intelligent Classification Techniques Applied to Marble Classification". *Image Analysis and Recognition*, 802-9.
- [5] Dönmez, S., ve Sarı Dursun Y. (2005). Sayısal Görüntü Analizi Tabanlı Bir Yüzey Parlaklık Ölçüm Sistemi, Pamukkale Üniversitesi, *Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Sayı 3, Cilt 11, Sayfa 401-405.
- [6] Ardalı, E. (2008). Classification Of Marble Textures Using Neural Networks and Image Processing Methods, Yüksek Lisans Tezi, Elektrik-elektronik Müh. ABD, FBE, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- [7] Selver M. Alper and Akay, O. (2009). "Evaluating clustering methods for classification of marble slabs in an automated industrial marble in spection system". *IEEE Electrical and Electronics Engineering*, 2009. ELECO 2009. International Conference on, II–115.
- [8] Araújo Mar a, Mart nez Javier, Ordñez Celestino ve Vilán José Antonio, (2010). "Identification of granite varieties from colour spectrum data". *Sensors* 10 (9): 8572–8584.
- [9] Doğan, H. ve Akay, O. (2010). "Using Ada Boost classifiers in a hierarchical framework for classifying surface images of marble slabs". *Expert Systems with Applications*, 37 (12): 8814–8821.
- [10] Akkoyun, Ö. (2010). An Evaluation of Image Processing Methods Applied To Marble Quality Classification, 2010 2nd International Conference on Computer Technology and Development (ICCTD 2010), Cairo, Egypt.
- [11] Yaman, Ö. (2015). Mermer Fabrikalarında Ürün Kalite Kontrolünün Görüntü Analiz Yöntemi İle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Maden Müh. ABD, FBE, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- [12] Bişkin, O.T. (2011). Determination Of Qualitative And Quantitative Properties Of Natural Stones Using Signal and Image Processing Techniques, Yüksek Lisans Tezi, Elektrik-elektronik Müh. ABD, FBE, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- [13] Abadi, M., S., E., Banihashemi, N. (2015). Automatic Classification of Travertine Stones Based On Sum And Difference Histograms Algorithm. 2015 9th Iranian Conference on Machine Vision and Image Processing (MVIP).
- [14] Turhal, Ü. Ç., Aydın, S., ve Dener, G. (2015). Mermer Plakalarında Görüntü İşleme Teknikleri ile Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi, *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, Cilt: 2, Sayı: 1, 2015.
- [15] Careddu, N., and Akkoyun, Ö. (2016). An investigation on the efficiency of water-jet technology for grafitı cleaning. *Journal of Cultural Heritage*, Volume 19, May–June 2016, Pages 426-434.
- [16] Türkmen, M. (2017). Mermer Levhaların Sınıflandırılmasında Başarımın İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bilgisayar Müh. ABD, FBE, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- [17] Kemaloğlu, N. (2017). Traverten Plakaların Damar Yapılarına Göre Görüntü İşleme Teknikleri Kullanılarak Sınıflandırılması ve Kalite Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Bilgisayar Müh. ABD, FBE, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- [18] Temiz, M. (2018). Doğal Taş Karolarının Görüntü İşleme ve Makine Öğrenmesi Teknikleri İle Sınıflandırılması, Yüksek Lisans Tezi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yönetim Bilişim Sistemleri Ana Bilim Dalı, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas.
- [19] Torun, Y., Akbaş, M. R., Çelik, M. A., and Kaynar, O. (2019). Development a Machine Vision System For Marble Classification, *IEEE 27th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 24-26 April 2019.
- [20] Turan, E. (2018). Yerel İkili Örüntü Tabanlı Uç Öğrenme Yaklaşımı Kullanan Akıllı Örüntü Tanıma Sistemi İle Mermer Sınıflandırma Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Mekatronik Müh. ABD, FBE, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- [21] Önder, A.S. (2019). OpenGL İle Gerçek Zamanlı Doğal Taş Tasnifi Ve Performans Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Elektronik ve Haberleşme Müh. ABD, FBE, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- [22] Topalova, I., and Tzokev, A. (2010). Automated Texture Classification of Marble Shades with Real-time PLC Neural Network Implementation. In: *Neural Networks (IJCNN), The 2010 International Joint Conference*. 1–8.
- [23] Pençe, İ., and Çeşmeli Şişeci, M. (2019). Deep Learning in Marble Slabs Classification, *Techno-Science-Scientific Journal of Mehmet Akif Ersoy University*, 2:1, 21-26.
- [24] Karaali, İ., and Eminağaoğlu, M. (2020). A convolutional neural network model for marble quality classification, *SN Applied Sciences* 2:1733.
- [25] Ökten, M., Akosman, Ş.A., Mora, Ö.T., ve Kılıç, V. (2021). Derin Öğrenme Tabanlı Mermer Yüzeylerinin Otomatik Sınıflandırılması, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Özel Sayı 26, S. 73-77, Temmuz 2021
- [26] Karaali, İ. (2021). A Deep Learning Model for Marble Quality Classification, Yüksek Lisans Tezi, Bilgisayar Müh. ABD, FBE, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- [27] Elmas, B. (2022). Classification varieties of marble and granite by convolutional neural Networks with transfer learning method. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 37:2 (2022) 985-1001
- [28] Ershad, S.F. (2011). "Color Texture Classification Approach Based on Combination of Primitive Pattern Units and Statistical Features". *The International journal of Multimedia & Its Applications* 3 (3): 1-13.
- [29] Fırat, Yaser, (2022), Görüntü işleme yöntemleri ve mermer üretimine uygulanması, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi.