



Yerel faz niceleme ile ayak görüntülerinin kişi, yaş ve cinsiyete göre sınıflandırılması

Classification of foot images according to person, age, and gender with the local phase quantization

Emrah Aydemir^{1,*} , Mustafa Shwaish Al-Azzawi² 

¹ Sakarya Üniversitesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, 54050, Sakarya, Türkiye

² Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, İleri Teknolojiler ABD, 40100, Kırşehir, Türkiye

Öz

Ayak görüntüleri insan vücudunun önemli bir biyolojik özelliği olup insanların çeşitli özelliklerini taşır. Ayak izindeki doku, şekil, uzunluk vb. farklı niteliklere bakılarak kişi tanımlamak mümkün olabilir. El yapısı kendine özgü şekil ve cilt dokusuna sahip olsa da bunların ayak biyometrisi ile karşılaştırılması karmaşık bir durum ortaya çıkarmaktadır. Bunun temel nedenleri arasında yakın ayak parmakları, ayak izlerindeki tipik çizgilerin yokluğu ve dönmüş ayak izlerinin yüksek gürültü içermesi yer almaktadır. Fakat bu ayrıntılar el ile benzerlik göstermese de her kişi için ayak görüntülerinde farklılık oluşmasına neden olmaktadır. Bunların yanı sıra ayak görüntüleri yaş, cinsiyet, ırk, ayakkabılar ve ayakkabı giymeye başlama yaşına göre de farklılık göstermektedir. Buradaki çalışma da 100 kişiye ait sağ ve sol ayak görüntüleri olan 6944 veri toplanmıştır. Toplanan bu dosyaların yerel faz niceleme ile öznelikleri çıkarılmıştır. Her bir görüntü dosyası için 1x256 boyutlarında vektör üretilmiştir. Tüm dosyalar için bu işlemler yapılmış ve birçok farklı sınıflandırma algoritmaları ile görüntüler kişi, yaş ve cinsiyet için sınıflandırılmıştır. Kişi tanıma için % 99.42 oranında doğruluk oranı elde edilirken, cinsiyet için % 99.87 oranında başarı elde edilmiştir. Son olarak yaş için ise % 98.14 oranında sınıflandırma başarısına ulaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: Ayak görüntüsü, Yerel faz niceleme, Sınıflandırma

1 Giriş

Günümüz teknolojinin geldiği noktada birçok yer kamera ve çeşitli algılayıcılar ile donatılmıştır. Bu tür teknolojiler yardımıyla bir bireyin tanınması önemli bir görev haline gelmiştir. Özellikle ticari amaçlı geliştirilmiş birçok farklı sistemde kişisel kimlik doğrulama vardır. Bu tür sistemleri mümkün olduğunca gerçek zamanlı çalıştırmak amaçlanmaktadır. Bu sistemlerin birçok farklı çeşidi vardır. Parmak izi tanıma, avuç içi tanıma, yüz tanıma, retina taraması bunlardan yalnızca birkaçıdır. Bu sistemler sürekli bir gelişim ve dönüşüm içerisindedir. Kişi tanıma konusunda farklı özelliklerin biyometrik nitelik taşıyıp taşımadığı hep merak konusu olmuştur. Ayak görüntüleri de insan

Abstract

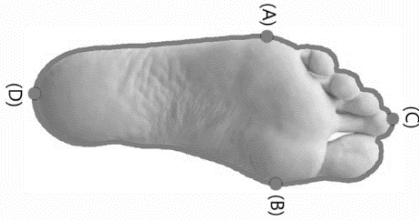
Foot images are an important biological feature of the human body and carry various characteristics of people. The texture in the footprint, shape, length, etc. It may be possible to identify a person by looking at different qualities. Although the hand structure has its own unique shape and skin texture, comparison of these with foot biometrics reveals a complex situation. The main reasons for this include close toes, the absence of typical lines in footprints, and the high noise content of turned footprints. However, although these details are not similar to the hand, they cause differences in foot images for each person. In addition to these, foot images also differ according to age, gender, race, shoes and age of starting to wear shoes. In this study, 6944 data, which are right and left foot images of 100 people, were collected. The features of these collected files were extracted by local phase quantization. For each image file, 1x256 vectors were produced. These processes were performed for all files and images were classified for person, age and gender with many different classification algorithms. While 99.42% accuracy rate was obtained for person recognition, 99.87% success was achieved for gender. Finally, 98.14% classification success was achieved for age. All these results show that recognition from foot images is possible with high success with the method here.

Keywords: Foot image, Local phase quantization, Classification

vücudunun önemli bir biyolojik özelliği olup insanların özelliklerini taşır. Ayak izindeki doku, şekil, uzunluk vb. farklı niteliklere bakılarak kişi tanımlamak mümkün olabilir. Bu konuda birçok farklı çalışma vardır [1, 2]. Ayakların görüntülerinin tekil özellik taşımasının yanı sıra ayakların izleri de her kişi için farklılık göstermektedir [3, 4]. Ayak görüntülerinden çeşitli hastalıkların tespiti dahi yapılabilmektedir [5, 6].

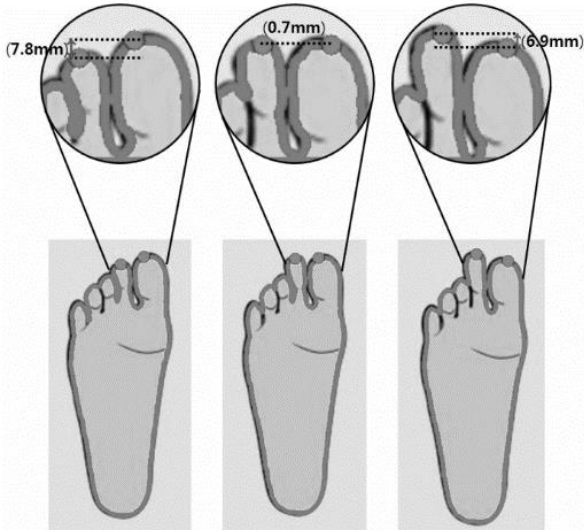
El yapısı kendine özgü şekil ve cilt dokusuna sahip olsa da bunların ayak biyometrisi ile karşılaştırılması karmaşık bir durum ortaya çıkarmaktadır. Bunun temel nedenleri arasında yakın ayak parmakları, ayak izlerindeki tipik çizgilerin yokluğu ve dönmüş ayak izlerinin yüksek gürültü

içermesi yer almaktadır [7]. Fakat bu ayrıntılar el ile benzerlik göstermese de her kişi için ayak görüntülerinde farklılık oluşmasına neden olmaktadır. Bunların yanı sıra ayak görüntüleri yaş [8], cinsiyet [9], ırk [10], ayakkabılar [11] ve ayakkabı giymeye başlama yaşına [11] göre de farklılık göstermektedir. Ayaklar geniş, standart ve dar olarak ayak uzunluğu ve genişliği ile hesaplanan ayak indeksi ile sınıflandırılabilir. Bir başka sınıflandırmada ise ayaklar; başparmağın ikinci parmakdan 2mm daha uzun olması sonucu mısır tipi, bu farkın 2mm'den daha az olması durumunda kare tipi ve bunların dışındaki durum için yunan tipi olarak sınıflandırılabilir. Bir başka sınıflandırmada ise yüksek kemer, normal kemer ve düz kemer olarak sınıflandırılabilir [12]. Aşağıdaki Şekil 1'de ayak genişliği ve uzunluğu hesaplanırken kullanılan noktalar işaretlenmiştir.



Şekil 1. Ayak genişliği ve uzunluğu hesaplanırken kullanılan noktalar

Başparmak ve yanındaki parmağın uzunluk durumlarına göre yapılan ayak sınıflandırmalarını gösteren görsel aşağıdaki Şekil 2'de verilmiştir. Şeklin daha iyi anlaşılması açısından daha yakın hali de gösterilmiştir.



Şekil 2. Ayak başparmak ve yanındaki uzunluğuna göre ayak şekilleri

Farklı ayak şekli sınıflandırmaları da mevcuttur. Seong ve ark. [13] tarafından Kore ayak şekli araştırılmış ve

ardından mevcut ayak şekillendirme standardına göre sınıflandırılmıştır. Kore ayak şekilleri için ayak şeklini etkileyen ana faktörler çıkarılmış ve ardından çok değişkenli istatistiksel analizle kategorik olarak gruplandırılmıştır. Yaşları 14 ile 70 arasında değişen erkeklerde ayak şeklini etkileyen başlıca faktörler; ayak genişliği, ayak bileği kalınlığı, birinci parmak şekli, malleol yüksekliği, topuk-ayak uzunluğu, ayak-yan ve ayak uzunluğu arasındaki orantı, topuk tarafı ve beşinci parmak şekli olarak belirlenmiştir. Kadın için ise, yukarıdaki faktörlere ek olarak topuk yüksekliği de eklenmiştir. Çıkarılan faktörlerden Kore ayak şekli erkekler için üç grup ve kadınlar için dört grup olarak kategorize edilmiştir. Bunlar merdiven tipi, ters üçgen tipi ve kare tipidir. Kadınlar için ise bunlara üçgen tipi de eklenmiştir. Bu tür bilgilerin ayakkabı üreticilerine yönelik faydalı bilgiler sağlayacağı düşünülmektedir. Choi ve ark. [14] tarafından 20'li yaşlarda 203 Koreli kadın ayak şekilleri incelenmiş ve ayak şekilleri küme analizi ile beş ayak tipine göre sınıflandırılmıştır: kısa ve ince şekil, düz şekil, hafif çarpık parmaklı kısa ve ince şekil, uzun ve büyük şekil ve kısa ve geniş şekildir. Ayak ölçümleri ayrıca ayak genişliği ve uzunluğu oranı ile analiz edilmiş ve küme analizi ile sınıflandırılan beş ayak tipi ile ayak indeksine göre sınıflandırılan üç ayak tipi karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma, küme analizinin tam olarak ayak şekillerini tanımladığını göstermiştir.

Ola [15] ayak parmağına göre ayak şekillerini aşağıdaki gibi açıklamıştır. Açıklanan bu ayakların görselleri Şekil 3'te verilmiştir.

- **Mısır Ayak Şekli:** Mısır ayak şekli uzun bir başparmak ile ayırt edilir, ardından diğeri gelir 45 derecelik bir açıyla sivrilen ayak parmakları vardır. Tüm ayak eğimlidir ve genellikle diğer şekillerden daha uzun ve daha dardır. Bu tip ayaklara sahip kişiler, ekstra şımartılmayı severler ve genellikle çok arkadaş canlısı insanlardır.
- **Yunan Ayak Şekli:** Yunan parmak deseni genellikle alev ayağı veya ateş ayağı olarak da adlandırılır. Bu ayak parmağı tipi, başparmağından daha uzun bir ikinci ayak parmağı ile karakterize edilir. Bu tip parmaklara sahip kişiler lanse edilir ve son derece sportif ve yaratıcıdır, yeni fikirler konusunda heveslidir. Enerjiktirler ve doğal lider özelliklerine sahiptirler, ancak dürtüsel ve biraz stresli olabilirler. Sadece diğer insanların gözleri üzerlerinde olması için kaos yaratmayı severler [16].
- **Roma Ayak Şekli:** Bu ayak şekli, ilk üç parmağın aynı yükseklikte olması, diğer ikisinin azalan sırada olması ile karakterize edilir. Bu parmak tipine sahip kişilerin, dengeli bir vücut şekline sahip olduğu kadar, doğası gereği dışa dönük, enerjik ve aşk maceralarına sahip bir kişiliğe sahip oldukları bilinmektedir.
- **Kelt Ayağı:** Kelt ayağının, ayak başparmağı biraz daha kısa olan Yunan ayağının bir varyasyonu olduğuna inanılıyor. Kesin bir azalan sırayı takip etmeyen farklı parmak uzunluklarına sahiptir. Bir Kelt ayağının üçüncü veya dördüncü parmakları, ayak başparmağıyla yaklaşık olarak aynı uzunlukta olabilir veya üçüncü, dördüncü ve beşinci parmakları aynı büyüklükte bir

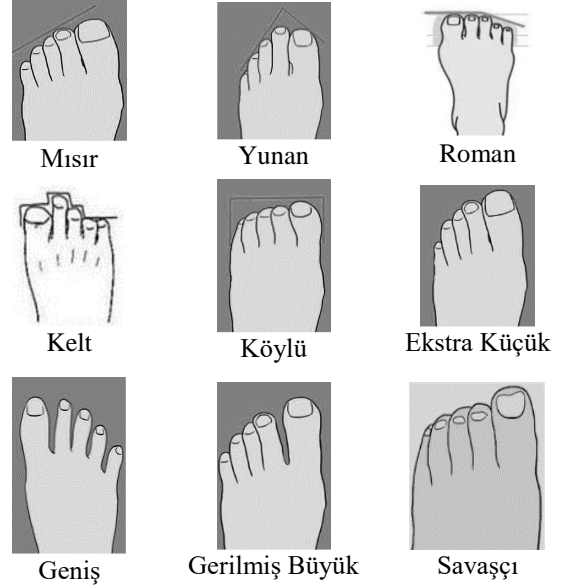
gruplandırmaya sahip olabilir. Bu kategoriye giren insanlar dinamiktir ve aynı anda birçok şeyi yapabilir. Dürtüseldirler ve evlilikte kargaşa yaşayabilirler.

- **Köylü Ayak Şekli:** Köylü Ayağı, tüm ayak parmaklarının neredeyse aynı uzunlukta olmasını sağlar; ayak başparmağı biraz daha uzun olsa da kare şeklinde görünür. Bu tip ayaklara sahip kişiler sabırlı, dürüst ve düşünceli kişilerdir. Karar vermeden önce seçenekleri tartmayı, kararları üzerinde uzun uzun düşünmeyi severler. Kararlarını dikkatlice analiz ederler. Çatışmaları çözmede mükemmel olan barış yapıcıdır.
- **Ekstra Küçük Ayak Şekli:** Ekstra küçük ayak kalıbının şekli Mısır parmağına oldukça benzer. Bu ayak tipinin ayırt edici bir özelliği olarak ekstra küçük pembemsi bir parmağı vardır. Ayak parmaklarının geri kalanı, Mısır ayak parmağı gibi azalan sırada inceler. Bu kategoriye giren insanlar çok ketumdurlar ve eğer bir seçenekleri varsa başkalarıyla tartışmaktan kaçınırlar. Minik parmak yana bakıyorsa, bu kişi oldukça özgür ruhlu ve asi olabilir.
- **Geniş Ayak Şekli:** Gezgin ayağı olarak da adlandırılan geniş ayak deseni, ayak parmakları arasında çok fazla boşluğa sahiptir. Ayak parmakları oldukça uzağa gerilir. Bu parmak şekline sahip kişiler, doğal olarak, beklemekten nefret eden çalışkan kişilerdir. Sürekli hareket halindedirler, seyahat etmeyi ve heyecan verici maceraları severler. Çevrelerinden çıktıklarında daha mutlu olurlar.
- **Gerilmiş Büyük Ayak Şekli:** Bu tür ayak şekli, birbirine sıkıca sarılmış diğer dört ayak parmağından çok uzakta olan ayak başparmağına sahiptir. Bu tip ayak şekline sahip kişiler ketum olma eğilimindedir ve kişisel alanlarını korumayı severler. Doğaları ve aşk argümanları ile şiddetle bağımsızdırlar. Bazı durumlarda şeytanın avukatlığını yapma eğiliminde olabilirler.
- **Savaşçı Ayak Şekli:** Savaşçı ayak şekline sahip insanların uzun bir başparmağı ve nispeten benzer uzunlukta dört parmak daha vardır. Bu kategoriye giren insanlar sosyal olarak kelebek olabilir ve parti yapmayı sever. Yüzleşmeyi severler ve tutkulu oldukları konularda hararetli tartışmalara girme eğilimindedirler.

İnsanların ayaklarının özelliklerini bilmesi onların ayağına iyi oturan, işlevsel ve rahat ayakkabılar temin etmesini sağlayacaktır. Bu şekilde alınan ayakkabılar ile aktif bir hareketli yaşam elde edilebilir ve sürdürülebilir. Özellikle ortopedik yaralanmaları olan, sinir-kas-iskelet sisteminde bir kısım bozukluk sahibi olanlar ile artrit ve diyabetes mellitus gibi ayakları ve bilekleri doğrudan etkileyen hastalıklar için bu durum daha fazla hayati bir bileşen haline gelmektedir [17]. Bununla birlikte yine yüksek performans gerektiren, atletik, ortopedik, terapötik ayakkabıların cinsiyetler için de farklılık göstermesi beklenir. Her iki cinsiyete de hitap eden ayakkabılar genellikle pedal dokularında ağrı ve travmaya neden olan stres ve zorlanmalara neden olur [18, 19].

Vücudun sağ ve sol taraflarında yer alan yapıların

boyutu ve şekli her ne kadar gözle bakıldığında eş görünse de farklılıklar taşımaktadır. İlk bakışta gözle fark edilmeyen her bir ayağın şekli ve boyutu nedeniyle ele alınması gereken başka sorunlar da ortaya çıkabilir. Oliveira ve ark. [20] ayak görüntülerinden sağ ya da sol ayak olup olmadığını sınıflandırmaya çalışmışlardır.



Şekil 3. Şekillerine göre ayaklar

Piksel yoğunluklarına dayalı olarak çalışan algoritma giriş görüntüsündeki ayak bölgesini arayarak başlar. Daha sonra, ayak önceden ölçeklendirilir ve şablon görüntülerine benzer boyutlar vermek için kare bir matriste ortalanır. Bu boyut normalizasyonu, farklı boyutlarda ve farklı basınç sensörü dizileri kullanılarak tanımlanan ayakların çalışmasını sağlar. Bu adımda, önceden ölçeklendirilmiş ve ortalanmış görüntü, sol ayak için şablon görüntü ve ayrıca sağ ayak için şablon görüntü ile hizalanır. Bu iki hizalama, çapraz korelasyonun maksimumuna dayanmaktadır [21]. Daha sonra, hizalanmış iki görüntünün her birinin plantar basınç değerleri, karşılık gelen şablon görüntü ile aynı ortalama basınca sahip olacak şekilde normalleştirilir. Bu normalleştirme adımı, öznenin ağırlığının bir sonraki adımda hesaplanan görüntü farklılığı ölçüsü üzerindeki etkisini ortadan kaldırır. İki hizalanmış ve normalleştirilmiş görüntünün her biri ile karşılık gelen şablon görüntülerinin arasındaki mutlak farkların (SAD) toplamı hesaplanır. Son olarak, giriş görüntüsü bulunan minimum SAD değerine göre sol veya sağ ayak olarak sınıflandırılır.

Ayak morfolojisini belirlemek için ayak mekanizmasının anlaşılması gerekir. Liang ve ark. [22] tarafından yapılan bir çalışmada ise 3D tarama teknolojisi ile yalınayak ve ayakkabılı durum arasındaki ayak morfolojisi belirlenmeye çalışılmıştır. Ayak tarama testine, hem 30'u alışımlı olarak yalınayak hem de 30'u alışımlı olarak ayakkabılı olan 60 denek katılmıştır. Ayak taraması yapmak için 3 boyutlu lazer cihaz kullanılmıştır. Sonuç olarak yalınayak grubun, ayakkabılı gruba göre büyük top çevrelerinin, halluks ile diğer ayak parmakları arasındaki geniş minimum mesafenin

ve daha küçük halluks açısının ayak özelliklerini sergilediği görülmüştür. Yani yalınayak ve ayakkabılı arasındaki ayak morfolojisinin önemli farklılıkları esas olarak ön ayak bölgesinde ortaya çıkmaktadır. Bu morfolojik özellikler yalınayak hareketin araştırılması için bazı bilgiler verebilir.

1.1 Amaç ve önem

Ayaklar kemik, kas ve bağlar ile birlikte zeminle temas sağlar ve bağlantılı hareketler yapar. Bu nedenle ayak şeklindeki bir problem varsa bu durum yürümeyi doğrudan etkileyecektir. Bu durum ayağın kalıcı olarak zarar görmesine neden olmasının yanı sıra diz ve sırt ile ilgili de problemlerin başlamasına neden olur [23]. Ayak ile ilgili bozuklukların tespiti için gereken ölçümler ya yüksek maliyetli donanımlar ile ya da kullanımı zor olan yöntemler ile yapılabilir. Bunun için basit bir fotoğraf üzerinden makine sistemlerinin yapay zekâ algoritmaları ile analizler yapması kuşkusuz önemli olacaktır. Özellikle uzmanlar arasındaki deformasyonların yorumlanmasındaki öznel farklılıklar oluşabilmektedir. Bu sorun ancak yapay zekâ sistemlerindeki yaşanan gelişmelerden yararlanarak son derece karmaşık verilerin makineler tarafından daha iyi yorumlanması ile mümkün olabilir. Bunun için de öncelikle basit ayak sınıflandırmalarından başlamak gerekir.

İnsan organlarının normal varyasyonları hakkında bilgi sağlamak için şekil özellikleri boyuttan ayrı olarak analiz edilmelidir. Bu şekil farklılıkları bireyler arasında çok büyük oranda aynı iken birey için ise büyük oranda simetrik özellikler taşısa da ufak farklılıklar görülebilmektedir. Bu nedenle yapılan bazı çalışmalarda kişilerin ayak görüntülerinin cinsiyet ve kişi farklılıkları taşıdığı söylenebilir [24, 25]. Buradaki çalışmada da ayak görüntülerinin kişi, yaş ve cinsiyet açısından sınıflandırılması amaçlanmıştır.

2 Materyal ve metod

2.1 Verilerin toplanması

Çalışma içerisinde Irak ülkesinde yaşayan 100 farklı kişiden veri toplanmıştır. Öncelikle çalışma hakkında kişilere bilgi verilmiş ve çalışmaya katılımın gönüllü olduğu anlatılmıştır. Çalışmaya katılmayı kabul eden kişilerden ayakkabılarını ve çoraplarını çıkartmaları istenmiştir. Araştırmacı tarafından tüm deneklerde kullanılacak siyah bir bez parçası belirlenmiştir. Hem deneklerin ayaklarını yere koyarak kirlenmelerini engellemek hem de her denek için farklı bir arka plan oluşmasını engellemek amaçlanmıştır. Her bir deneye ait toplamda en az 40 ve en fazla 100 olacak şekilde farklı açılardan fotoğraf çekimi yapılmıştır. Bu fotoğrafların yarısı sağ ayak için diğer yarısı da sol ayak için çekilmiştir. Böylece deneklerden toplamda 6944 görüntü elde edilmiştir. Kişileri niteleyecek veya tanımlayacak hiçbir bilgi istenmemiştir. Her kişi bir ID numarası ile kodlanmıştır ve yalnızca yaşları ile cinsiyetleri kayıt altına alınmıştır. Çekilen her bir fotoğraf için bir isimlendirme kuralı geliştirilmiştir. Her bölüm alt çizgi “_” karakteri ile ayrılmıştır. Bölümler sırasıyla aşağıdakileri ifade etmektedir.

1. **Kişi ID:** Fotoğraf çekimi yapılan her bir kişi için tekil olan bir kod değeridir
 2. **Cinsiyet ID:** Fotoğrafi çekilen kişi erkek ise 1 değeri ile kadın ise 2 değeri ifade edilmiştir.
 3. **Yaş:** Kişinin kaç yaşında olduğunu ifade etmek için doğrudan yaşı sayı olarak yazılmıştır.
 4. **Fotoğraf ID:** Her kişiye ait birden fazla fotoğraf çekimi yapılmış olması nedeniyle her fotoğraf 1'den başlayarak sıralı bir şekilde numaralandırılmıştır.
- Kişilerden 40 ID numarasına sahip olanın sağ ve sol ayak görüntüleri aşağıdaki Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Örnek bir kişinin sağ ve sol ayak görüntüsü

Dosyaların isimlendirme kuralına göre isim verilmesi hem karışıklıkları önlemektedir hem de analizlerin yapılması sırasında hangi sınıfa ait olduğunu belirlemeyi kolaylaştırmaktadır. Aşağıdaki Şekil 5'te görüntü dosyalarının bir kısmı klasör içerisinde gösterilmiştir.



Şekil 5. Çekilen fotoğraf dosyalarının klasör görüntüsü

Çalışma içerisinde toplanan verilerin başka araştırmacılar tarafından da kullanılabilmesi için tüm görüntü dosyaları KAGGLE veri seti deposuna yüklenmiştir. www.kaggle.com/dataset/e19fadfab4e33748e93f9dc9962d68d67ad58c60da219eb85a33134224d875a5 web adresinden bu veri seti indirilebilir.

2.2 Verilerin analizi

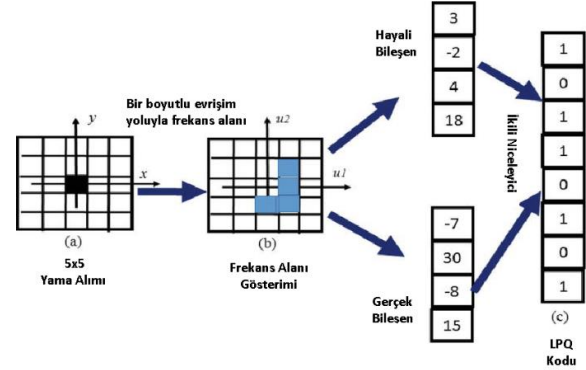
Çalışmada toplanmış olan verilerden basit istatistiksel analizler yapabilmek için öncelikle dosya adları bir excel dosyası içerisine aktarılmıştır. Böylece dosya adlarındaki her bir bölüm parçalanarak sütunlara dönüştürülmüştür. Bu işlemler için Python programı kullanılmıştır. Verilerin analizinde ise bilgisayar olarak Windows işletim sistemine sahip 8GB RAM ve Intel(R) Core(TM) i7-8565U CPU, 1.80GHz 1.99 GHz işlemcili bir bilgisayar kullanılmıştır. Dosya adları üzerinden öncelikle kişi, cinsiyet ve yaş kategorilerine ait basit istatistiksel bulgular elde edilmiştir. Böylece verilerin dağılımı incelenmiştir. Ardından görüntü dosyaları üzerinden öznitelik çıkarımı yapmak için yerel faz

niceleme (LPQ) yöntemi kullanılmıştır. Böylece her bir görüntü dosyası için 1x256 boyutlarında vektör üretilmiştir. Bu işlem tüm dosyalar için yapılmıştır. İlk olarak ayak görüntülerinden kişileri tanımlamak için bu dosyalarda sınıflandırma etiketi olarak kişi ID değerleri yazılmıştır. Ardından bir başka öznelik dosyası daha oluşturulup sınıf etiketi olarak cinsiyet ve bir başka dosya daha oluşturularak sınıf etiketi olarak yaş yazılmıştır. Böylece üç farklı öznelik dosyası elde edilmiştir. Veriler 10 katlı çapraz doğrulama yöntemi kullanılarak eğitim ve test olarak ayrıştırılmıştır. Ardından bu öznelik dosyaları Python programı içerisindeki 30 farklı sınıflandırma algoritması ile test edilmiştir. En yüksek sınıflandırma başarısı elde edilmeye çalışılmıştır. Sınıflandırma işlemleri için yalnızca bir kere öğrenme ve test işlemi yapılmıştır. Daha yüksek başarı oranı elde etmek için tekrar tekrar denemeler yapılmamıştır. Bulgular başlığında her bir sınıflandırma algoritması ve elde edilen başarı oranı verilmiştir. Kullanılan sınıflandırma algoritmaları aşağıda listelenmiştir.

- discriminant_analysis
 - ◆ LinearDiscriminantAnalysis
 - ◆ QuadraticDiscriminantAnalysis
- ensemble
 - ◆ AdaBoost
 - ◆ Bagging
 - ◆ extraTrees
 - ◆ GradientBoosting
 - ◆ HistGradientBoostingClassifier
 - ◆ randomForest
 - ◆ Voting
- linear_model
 - ◆ LogisticRegression
 - ◆ LogisticRegressionCV
 - ◆ PassiveAggressiveClassifier
 - ◆ Perceptron
 - ◆ RidgeClassifier
 - ◆ RidgeClassifierCV
 - ◆ SGDClassifier
- naiveBayes
 - ◆ bernoulliNB
 - ◆ CategoricalNB
 - ◆ complementNB
 - ◆ gaussianNB
 - ◆ multinomialNB
- neighbors
 - ◆ KNN
 - ◆ NearestCentroid
 - ◆ RadiusNeighborsClassifier
- neural_network
 - ◆ MultiLayerPerceptron
- svm
 - ◆ LinearSVC
 - ◆ NuSVC
 - ◆ SVM
 - ◆ DecisionTree
 - ◆ ExtraTreeClassifier

2.3 Yerel faz niceleme (Local Phase Quantization-LPQ) ile öznelik çıkarımı

İlk kez 2008 yılında önerilen yerel faz niceleme tanımlayıcısı doku bulanıklığının sınıflandırılmasında kullanılmaktadır [26]. Özellikle bulanık yüzlerin tanınmasında başarılı sonuçlar üretir [27]. Bu yöntem Fourier faz spektrumunun bulanık değişmezlik özelliğine dayanır. Görüntünün her piksel için dikdörtgen bir komşuluk üzerinde hesaplanan 2 boyutlu Kısa Vadeli Fourier Dönüşümü (Short-Term Fourier transform-STFT) kullanılır. LPQ'da 2 boyutlu frekanslara karşılık gelen sadece dört karmaşık katsayı dikkate alınır. Gri renkli bir resimdeki her pikselde dört frekans noktası hesaplanır. Ardından hayali ve gerçek bileşenler beyazlatılır ve ilgili piksel için LPQ kodu oluşturulmaya çalışılır. Faz bilgisinin hesaplanması daha sonra ikili bir skaler niceleyici aracılığıyla her katsayının gerçek ve sanal kısmının işaretlerini nicemleyerek gerçekleştirilir. Ardından bu değerler için ikili kodlama gerçekleştirilir ve bu ikilik tabandaki sekiz basamaklı sayı onluk tabana dönüştürülür. Son olarak tüm resim için üretilen bu kodların histogramı alınır ve öznelik vektörü oluşturulur. LPQ operatörü, bulanıklık, dönüş değişkenliği ve türbülans bulanıklığına karşı güçlü bir tanımlayıcıdır. Öznelik çıkarma yaklaşımlarının birleştirilmesi, sınıflandırıcı performansının artırılmasına ve ayırt edici özelliklerin ortaya çıkarılmasına katkı sağlayan bir süreçtir [28]. Bir görüntüden LPQ ile öznelik çıkarımı aşağıdaki Şekil 6'da görsel olarak anlatılmıştır [29].

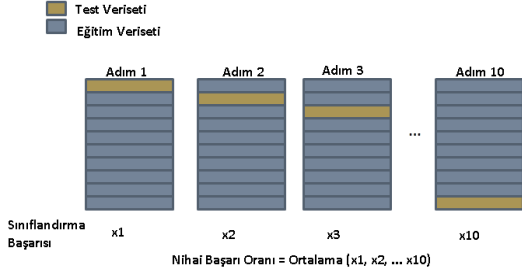


Şekil 6. LPQ kodlaması

2.4 Eğitim ve test verilerinin ayrıştırılması

Toplanan veriler sınıflandırma algoritmalarına sunulurken bir kısmı test için bir kısmı da eğitim için ayrıştırılmalıdır. Makine öğrenmesi algoritmalarının tümünde amaç eğitim veri seti üzerinde doğru tahminler yapacak bir model üretmektir. Fakat bu modelin doğruluğu ancak yeni veriler üzerinde kontrol edilebilir. Bu yeni veriler ayrı tutulan test veri setidir. Eğitim ve test verilerinin ayrıştırılmasında yaygın olarak kullanılan çağraz doğrulama yöntemi sistemin gerçek bir değerlendirmesini sağlar. Eğitim ve test verilerinin ayrıştırılmasında kullanılan en basit yöntem yüzdesel olarak verilerin bir kısmının test (örneğin %30) ve kalan kısmının eğitim (örneğin %70) için ayrılmasıdır. Burada her iki grup için de veriler rastgele seçilerek ayrılır. Fakat bu durumda şans faktörü devreye girer ve eğitim grubuna kolay veriler düşerken test grubuna

zor veriler düşebilir. Bu durumu ortadan kaldırmak için çapraz doğrulama yöntemi önerilmiştir. Bu yöntemde veriler örneğin 10 parçaya ayrılır ve ilk adımda bu parçalardan biri test için diğerleri eğitim için kullanılır. Bu işlem her seferinde test verisi diğer parçalardan oluşacak şekilde 10 kez tekrarlanır. Son olarak ise her adımdaki sınıflandırma başarılarının ortalaması alınarak nihai başarı hesaplanır. Aşağıdaki Şekil 7’de bu durum görsel olarak anlatılmıştır.



Şekil 7. 10 katlı çapraz doğrulama yöntemi

2.5 Başarı ölçütleri

Makine öğrenmesi algoritmalarının başarısını değerlendirmek için farklı ölçütler kullanılabilir. Fakat yaygın olarak kullanılanlar doğru sınıflandırma oranı ve karışıklık matrisidir. Doğru tahmin sayısının toplam örneklem sayısına bölünmesi algoritmanın doğru sınıflandırma oranını verecektir. Bu ölçüt her sınıfa ait örneklerin eşit olduğu durumda doğru bir yorum getirecektir. Aşağıdaki Denklem 1 ile hesaplanır.

$$\text{Doğru sınıflandırma oranı} = \frac{\text{Doğru sınıflandırılan örnek sayısı}}{\text{Toplam örnek sayısı}} \quad (1)$$

Sınıflandırma başarısının daha detaylı incelenebilmesi için karışıklık matrisi kullanılır. Bu ölçüt modelin tam performansını gösterir. Hata matrisi olarak da andırılabilir. İkili bir sınıflandırma için karışıklık matrisi aşağıdaki Tablo 1’deki gibi olacaktır.

Tablo 1. Karışıklık matrisi

Gerçek Değerler	Tahmin Değerleri	
	TN	FP
	FN	TP

Bu matris içindeki kısaltmalar aşağıdaki şekilde olacaktır.

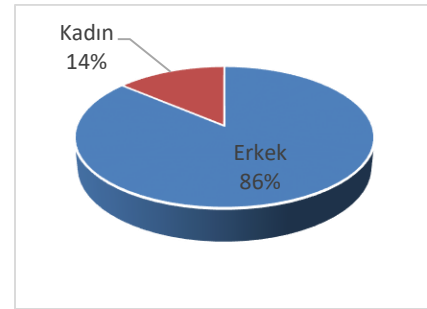
- Gerçek Pozitifler (TP): Bunlar gerçek değeri 1 iken tahmin edilen değer de 1 olduğu örneklerdir. Yani doğru tahmin edilmiştir.
- Gerçek Negatifler (TN): Bunlar gerçek değeri 0 iken tahmin edilen değer de 0 olduğu örneklerdir. Yani doğru tahmin edilmiştir.
- Yanlış Pozitifler (FP): Bunlar gerçek değeri 0 iken tahmin edilen değer 1 olduğu örneklerdir. Yani yanlış tahmin edilmiştir.
- Yanlış Negatifler (FN): Bunlar gerçek değeri 1 iken tahmin edilen değer 0 olduğu örneklerdir. Yani yanlış tahmin edilmiştir.

Bu matris üzerindeki değerlerden birçok farklı başarı ölçütü hesaplanabilir. Burada amaç doğru tahmin edilen çapraz sütündeki değerleri arttırmak ve onun dışındaki azaltmaktır.

3 Bulgular

3.1 İstatistiksel bulgular

Verilerin kolayca sınıflandırılabilmesi ve veri toplama sürecinin doğru yürütülebilmesi için dosya adlarında isimlendirme kuralı uygulanmıştır. Buradaki cinsiyet değerlerine göre veriler incelendiğinde büyük çoğunluğunun erkeklerden oluştuğu görülmektedir. Tüm örneklem 5983 erkek (%86 oranında) ve 961 kadın (%14 oranında) verisinden oluşmaktadır. Bu durum Şekil 8’de görsel olarak verilmiştir.

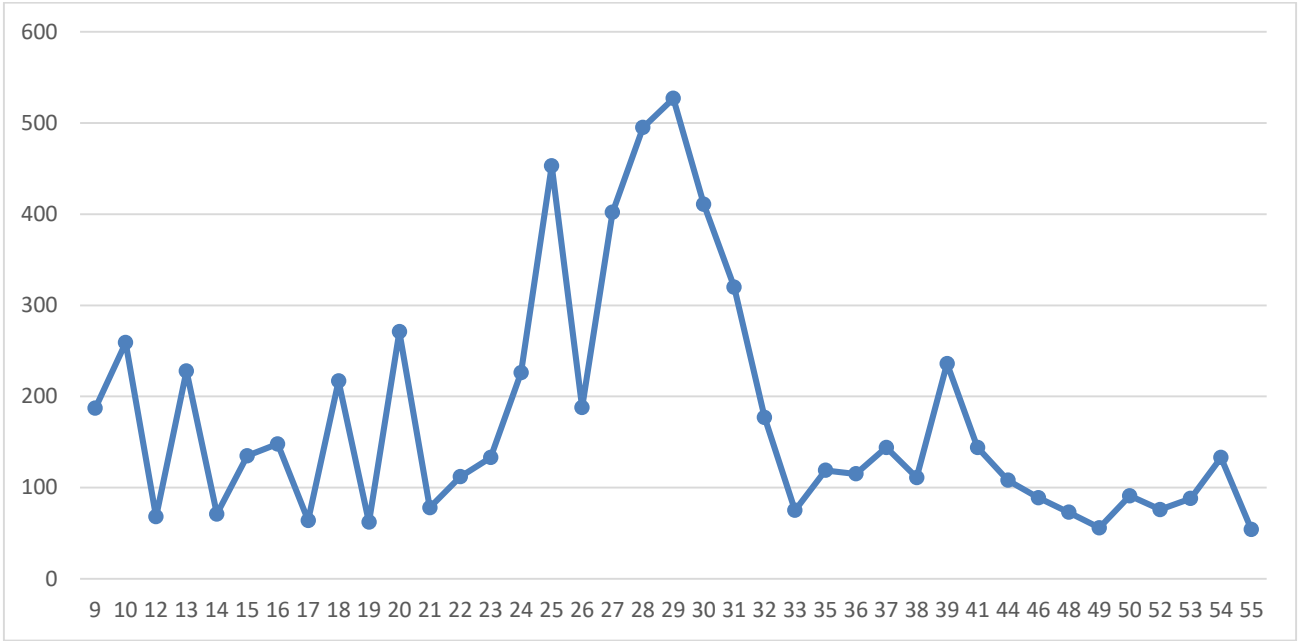


Şekil 8. Verilerin cinsiyete göre dağılımı

Verilerin yaşlara göre dağılımı incelendiğinde 9-55 aralığında farklı sayılardaki kişi bulunduğu ve ağırlıklı olarak 30 yaş civarındakilerinin daha fazla olduğu görülmektedir. Aşağıdaki Şekil 9’da her bir yaştan kaç kişi olduğunun dağılımı grafik olarak verilmiştir. Burada verilerin özellikle 20-30 yaş aralığında çok olduğu ve yine yoğunluğunun 10-30 yaş aralığında olduğu görülmektedir. Buradaki verilerin kişi sayısı olmadığı, her bir kişiden elde edilen görüntü sayısı olduğuna dikkat edilmelidir.

3.2 Kişi sınıflandırma bulguları

Toplam 100 kişiye ait farklı sayılarda görüntü verisi vardır. Tüm bu verilerin LPQ ile öznelikleri çıkarılmıştır. Her bir görüntünün kime ait olduğunu 100 kişi arasından belirlemek için sınıflandırma algoritmalarına sunulmuştur. Elde edilen doğru sınıflandırma oranları ve algoritma bilgileri aşağıdaki Tablo 2’de gösterilmiştir. En yüksek doğru sınıflandırma oranı %99.42 ile doğrusal modellerden (linear model) olan LogisticRegressionCV adlı algoritma ile elde edilmiştir. Bazı algoritmaların %90 üzerinde bazı algoritmaların ise %40 altında bir doğruluk oranı elde ettiği görülmektedir. Buradaki algoritma sayısı diğerlerinin sonuç üretmemesi nedeniyle toplam 14 olmuştur. Algoritmalar her denemede farklı sonuçlar üretmektedir. Fakat buradaki çalışmada her algoritma bir kez çalıştırılmıştır ve yalnızca varsayılan parametreler kullanılmıştır. Buradaki Logistic Regression CV algoritması için cv parametresi için 5 ve random_state parametresi için 10 değeri kullanılmıştır. Bu parametrelerin değiştirilmesi ile de farklı sonuçlar üretilebilecektir.



Şekil 9. Her bir yaştan kaç kişi olduğunu gösteren grafik

Tablo 2. Kişi sınıflandırma sonuçları

Algoritma Grubu	Algoritma Adı	Doğruluk Oranı (%)
svm	SVM	98.92005
discriminant_analysis	QuadraticDiscriminantAnalysis	4.004147
ensemble	HistGradientBoostingClassifier	17.81525
	LogisticRegressionCV	99.42388
linear_model	RidgeClassifierCV	96.15417
	PassiveAggressiveClassifier	12.01493
	LogisticRegression	3.802252
	gaussianNB	98.08434
naiveBayes	bernoulliNB	21.20113
	multinomialNB	1.814691
	NearestCentroid	72.93728
neighbors	RadiusNeighborsClassifier	1.310825
neural_network	MultiLayerPerceptron	94.13831
tree	ExtraTreeClassifier	39.07543

Toplam 100 kişi olması nedeniyle burada hata matrisi verilememiştir. Logistic Regression CV algoritması ile 6944

örneklem içinde yalnızca toplam 40 örneklem hatalı sınıflandırılmıştır. Bu durum çok yüksek bir sınıflandırma başarısı elde edildiğini göstermektedir.

3.3 Cinsiyet sınıflandırma bulguları

Ayak görüntülerinin erkek ya da kadın olarak sınıflandırmak için 28 farklı algoritma kullanılmıştır. En yüksek doğruluk oranı en yakın komşu algoritması ile %99,87 olarak elde edilmiştir. Diğer algoritmaların da sonuçları incelendiğinde hemen hemen tüm algoritmaların %80 üzerinde ve birçok algoritmanın ise %90 üzerinde doğruluk oranına sahip olduğu görülmektedir. NearestCentroid adlı algoritma ise %69.43 ile en düşük doğruluk oranına sahip algoritma olmuştur. Aşağıdaki Tablo 3'te elde edilen sonuçlar algoritma adları ile birlikte yüzdesel olarak verilmiştir. En yüksek başarı oranı elde edilen satır renkli olarak işaretlenmiştir.

Cinsiyet sınıflandırmasında KNN algoritması ile elde edilen sonuçların hata matrisi aşağıdaki Tablo 4'te verilmiştir. Burada verilerin dağılımının düzgün olmadığı ve erkek verilerde yığılma olduğu görülmektedir. Fakat buna rağmen sınıflandırma algoritması iyi bir öğrenme göstermiş ve yüksek doğruluk oranı elde etmiştir. Toplamda yalnızca dokuz kişiye ait veri yanlış sınıflandırılmıştır. Bunlardan iki tanesi kadın ve yedi tanesi erkektir.

3.4 Yaş sınıflandırma bulguları

Kişilerin yaşları farklı sayılarda değişmektedir. Bu değerlerin dağılımı daha önceki başlıklarda verilmiştir. Bu dağılım birbirine yakın sayılarda olmamasına rağmen Python programı içerisindeki algoritmalar yüksek bir öğrenme göstermişlerdir. Ensemble kategorisi altındaki Random Forest algoritması %98.14 oranında başarılı bir sınıflandırma oranı elde etmiştir. Bu değere yakın öğrenme sonucu üreten farklı algoritmalar da olmuştur. 24 farklı

algoritma ile yapılan testlerde sekiz tanesi %70 üzerinde doğruluk oranı elde etmişken 16 farklı algoritma daha düşük doğruluk oranı elde etmiştir. Elde edilen sonuçlar gruplanmış bir şekilde aşağıdaki **Tablo 5**'te verilmiştir. En yüksek başarı oranı elde edilen satır renkli olarak işaretlenmiştir. Yaş etiket sayısının çok fazla olması nedeniyle hata matrisi burada gösterilememiştir. Toplam yalnızca 129 yaş örneklemini yanlış sınıflandırılmıştır. Kalan 6815 örneklemin tümü doğru bir şekilde sınıflandırılmıştır.

Tablo 3. Cinsiyet sınıflandırma sonuçları

Algoritma Grubu	Algoritma Adı	Doğruluk Oranı (%)
discriminant_analysis	QuadraticDiscriminantAnalysis	93.8788589
	LinearDiscriminantAnalysis	92.0926544
ensemble	HistGradientBoostingClassifier	99.0349346
	Voting	98.1995729
	Bagging	96.9898617
	GradientBoosting	94.7860801
	AdaBoost	92.9567101
	randomForest	92.8850994
	RidgeClassifierCV	91.4161674
linear_model	PassiveAggressiveClassifier	86.7202952
	LogisticRegressionCV	86.1585636
	SGDClassifier	86.1585429
	LogisticRegression	86.1441337
	RidgeClassifier	86.1297867
	Perceptron	73.7510418
naiveBayes	CategoricalNB	86.1588332
	multinomialNB	86.1588124
	bernoulliNB	85.9281612
	complementNB	84.5456845
	gaussianNB	83.3932163
neighbors	KNN	99.8703999
	RadiusNeighborsClassifier	86.1587917
	NearestCentroid	69.4364854
neural_network	MultiLayerPerceptron	94.1380383
svm	SVM	97.0474779
	LinearSVC	86.1300147
tree	DecisionTree	88.0168971
	ExtraTreeClassifier	85.077872

Tablo 4. Cinsiyet sınıflandırması için KNN algoritmasını hata matrisi

Gerçek Değerler	Erkek Kadın	Tahmin Değerleri	
		Erkek	Kadın
		5975	7
		2	959

Tablo 5. Yaş sınıflandırma sonuçları

Algoritma Grubu	Algoritma Adı	Doğruluk Oranı (%)
discriminant_analysis	LinearDiscriminantAnalysis	85.63989
	QuadraticDiscriminantAnalysis	28.7199
ensemble	randomForest	98.14212
	Bagging	97.99822
	HistGradientBoostingClassifier	97.37879
	GradientBoosting	87.31118
	AdaBoost	9.621359
	RidgeClassifierCV	77.66129
	RidgeClassifier	19.3429
linear_model	SGDClassifier	18.85311
	PassiveAggressiveClassifier	12.15545
naiveBayes	LogisticRegression	10.24052
	gaussianNB	62.16346
	complementNB	26.17071
	bernoulliNB	19.66017
	multinomialNB	8.382788
neighbors	CategoricalNB	7.590363
	NearestCentroid	32.14741
	RadiusNeighborsClassifier	7.590405
neural_network	MultiLayerPerceptron	71.40982
svm	SVM	97.82518
	LinearSVC	26.67454
tree	ExtraTreeClassifier	37.92258
	DecisionTree	18.70949

Yukarıda verilerin sonuçlara göre en yüksek sınıflandırma başarısına sahip yöntemlere ait özgülük, duyarlılık ve F-ölçüsü değerleri aşağıdaki **Tablo 6**'da verilmiştir.

4 Tartışma ve sonuç

Bu çalışmada kişilerin ayak görüntülerinden kim olduğunu, kaç yaşında olduğunu ve hangi cinsiyette olduğunu belirlemek amaçlanmıştır. Bunun için 100 farklı kişiden 6944 adet görüntü toplanmıştır. Bu görüntülerin yerel faz niceleme (LPQ) yöntemi ile öznelikleri çıkarılmış ve Python programı içerisindeki birçok farklı algoritma ile.

Tablo 6. En başarılı yöntemlerin diğer başarı ölçütleri

Kategori	Yöntem	Başarı Oranı	Özgüllük	Duyarlılık	F-Ölçüsü
Yaş	ensemble - RandomForest	% 98.14	% % 98.13	% 98.13	% 98.12
Kişi	neighbors - KNN	% 99.87	% 99.86	% 99.85	% 99.86
Cinsiyet	linear_model - LogisticRegressionCV	% 99.42	% 99.42	% 99.43	% 99.41

sınıflandırma işlemi yapılmıştır. Kişi tanıma için % 99.42 oranında doğruluk oranı elde edilirken, cinsiyet için % 99.87 oranında başarı elde edilmiştir. Son olarak yaş için ise % 98.14 oranında sınıflandırma başarısına ulaşılmıştır. Tüm bu sonuçlar buradaki yöntem ile ayak görüntülerinden tanıma yapmanın yüksek başarı ile mümkün olduğunu göstermektedir.

Tablo 7. Farklı çalışmalar ile karşılaştırma tablosu

Reference	Number of subject	Method	Accuracy
Tanapon Keatsaman ve diğ. [30]	13	Evrişimli sinir ağı	%92.69
Wenxia Bao ve diğ. [31]	134	DTCWT, HOG	%88.13
Eryun Liu ve diğ. [4]	60	Derin evrişimli sinir ağı	%83
Wang ve diğ. [32]	320	SVM	%92.80
Yap ve ark. [33]	60	JSI	%94
Chae, Kang ve Noh [34]	96	VGG16, KNN	%92.55

Literatürde yapılan incelemelerde doğrudan buradaki çalışma ile benzerlik gösteren bir kaynağa rastlanmamıştır. Benzer sayılabilecek birkaç çalışma ile karşılaştırmaları Tablo 7’de verilmiştir. Buradaki çalışmanın yüksek başarı oranı yöntemin kaliteli bir görüntü tanıma yaptığını göstermektedir. Bu konuda yapılacak farklı çalışmalar ile ayak görüntülerinden birçok farklı hastalık ya da kişiye özgü durumların tespit edileceği düşünülmektedir. Ayrıca ileride yapılacak çalışmalarda ayak şekillerine göre de sınıflandırma çalışmaları yapılabilir.

Teşekkür

Bu çalışma Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne bağlı İleri Teknolojiler ABD’deki yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): %5

Kaynaklar

[1] D. Ashlock and J. Davidson, Lexicodes in the space of foot patterns for image classification. in 1998 IEEE Southwest Symposium on Image Analysis and Interpretation (Cat. No. 98EX165), IEEE, pp. 97-102, 1998.

- [2] K. M. Hashem and F. Ghali, Human identification using foot features. *Int J Eng Manuf*, 6, (4), 22-31, 2016. <https://doi.org/10.5815/ijem.2016.04.03>.
- [3] W. Jia, H.-Y. Cai, J. Gui, R.-X. Hu, Y.-K. Lei, and X.-F. Wang, Newborn footprint recognition using orientation feature. *Neural Computing and Applications*, 21, (8), 1855-1863, 2012. <https://doi.org/10.1007/s00521-011-0530-9>.
- [4] E. Liu, Infant footprint recognition. in *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision*, pp. 1653-1660, 2017.
- [5] J. Jaruenpunyasak and R. Duangsoithong, Empirical analysis of feature reduction in deep learning and conventional methods for foot image classification. *IEEE Access*, 9, 53133-53145, 2021. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3069625>.
- [6] R. Ghotaslou, M. Y. Memar, and N. Alizadeh, Classification, microbiology and treatment of diabetic foot infections. *Journal of wound care*, 27, (7), 434-441, 2018. <https://doi.org/10.12968/jowc.2018.27.7.434>.
- [7] R. Khokher, R. C. Singh, and R. Kumar, Footprint recognition with principal component analysis and independent component analysis. in *Macromolecular symposia*, 347, (1), pp. 16-26, 2015. <https://doi.org/10.1002/masy.201400045>.
- [8] S. F. Stewart, Human gait and the human foot: an ethnological study of flatfoot: Part I. *Clinical Orthopaedics and Related Research (1976-2007)*, 70, 111-123, 1970.
- [9] J. B. Volpon, Footprint analysis during the growth period. *Journal of pediatric orthopedics*, 14, (1), 83-85, 1994. <https://doi.org/10.1097/01241398-199401000-00017>.
- [10] S. Braun, L. Basquin, and C. Mery, The contour of the normal foot. A statistical study. *Revue du Rhumatisme et des Maladies Ostéo-articulaires*, 47, (2), 127-133, 1980.
- [11] U. B. Rao and B. Joseph, The influence of footwear on the prevalence of flat foot. A survey of 2300 children. *The Journal of bone and joint surgery. British volume*, 74, (4), 525-527, 1992. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.74b4.1624509>.
- [12] Y. Park, J. Lee, and K. Park, Foot shape classification methods based on image processing for shoe manufacturing. in *2019 International Conference on Information and Communication Technology*

- Convergence (ICTC), IEEE, 1265-1268, 2019; <https://doi.org/10.1109/ICTC46691.2019.8939978>.
- [13] D.-H. Seong, U.-S. Jeong, and Y.-J. Jo, A study on the categorization of korean foot shapes. *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 25, (2), 107-118, 2006. <https://doi.org/10.5143/JESK.2006.25.2.107>.
- [14] S.-H. Choi and J.-S. Chun, The comparison of foot shape classification methods. *The Research Journal of the Costume Culture*, 15, (2), 252-264, 2007.
- [15] A. F. Ola, Personality Identification System based on Human Foot Anatomy. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 9, (2), 490-497, 2018. <https://doi.org/10.21275/ART20201838>.
- [16] R. Robinson. Foot Reading. *Pedi Reviews Foot care expert*. <https://www.pedireviews.co.uk/foot-reading/> (accessed 20.09.2021).
- [17] G. Luo, V. L. Houston, M. Mussman, M. Garbarini, A. C. Beattie, and C. Thongpop, Comparison of male and female foot shape. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 99, (5), 383-390, 2009. <https://doi.org/10.7547%2F0990383>.
- [18] K. A. Reinker and S. Ozburne, A comparison of male and female orthopaedic pathology in basic training. *Military medicine*, 144, (8), 532-536, 1979. <https://doi.org/10.1093/milmed/144.8.532>.
- [19] L. Rosendal, H. Langberg, A. Skov-Jensen, and M. Kjær, Incidence of injury and physical performance adaptations during military training. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 13, (3), 157-163, 2003.
- [20] F. P. Oliveira, A. Sousa, R. Santos, and J. M. R. Tavares, Towards an efficient and robust foot classification from pedobarographic images. *Computer methods in biomechanics and biomedical engineering*, 15, (11), 1181-1188, 2012. <https://doi.org/10.1080/10255842.2011.581239>.
- [21] F. P. Oliveira, T. C. Pataky, and J. M. R. Tavares, Registration of pedobarographic image data in the frequency domain. *Computer methods in biomechanics and biomedical engineering*, 13, (6), 731-740, 2010. <https://doi.org/10.1080/10255840903573020>.
- [22] Z. Q. Liang, Y. Meng, S. Popik, and F. F. Chen, Analysis of foot morphology in habitually barefoot group. *Journal of Biomimetics, Biomaterials and Biomedical Engineering*, 41, 1-9, 2019. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/JBBBE.41.1>.
- [23] T. C. Michaud, Human locomotion: the conservative management of gait-related disorders. *Newton Biomechanics*, 2011.
- [24] Y. Hong, L. Wang, D. Q. Xu, and J. X. Li, Gender differences in foot shape: a study of Chinese young adults. *Sports biomechanics*, 10, (02), 85-97, 2011. <https://doi.org/10.1080/14763141.2011.569567>.
- [25] M. Saghadzadeh, N. Kitano, and T. Okura, Gender differences of foot characteristics in older Japanese adults using a 3D foot scanner. *Journal of foot and ankle research*, 8, (1), 1-7, 2015. <https://doi.org/10.1186/s13047-015-0087-4>.
- [26] V. Ojansivu and J. Heikkilä, Blur insensitive texture classification using local phase quantization. in *International conference on image and signal processing*: Springer, pp. 236-243, 2008.
- [27] T. Ahonen, E. Rahtu, V. Ojansivu, and J. Heikkilä, Recognition of blurred faces using local phase quantization. in *2008 19th international conference on pattern recognition*: IEEE, pp. 1-4, 2008.
- [28] A. Durmuşoğlu and Y. Kahraman, Face Expression Recognition Using a Combination of Local Binary Patterns and Local Phase Quantization. in *2021 International Conference on Communication, Control and Information Sciences (ICCISc)*, 1: IEEE, pp. 1-5, 2021.
- [29] H.-T. Nguyen, Contributions to facial feature extraction for face recognition. *Université de Grenoble*, 2014.
- [30] T. Keatsamarn and C. Pintavirooj, Footprint Identification using Deep Learning. in *2018 11th Biomedical Engineering International Conference (BMEiCON)*: IEEE, pp. 1-4, 2018.
- [31] W. Bao, Y. Wang, N. Wang, and J. Tang, Optical Footprint Image Recognition Algorithm Based on Metric Learning and SVM. in *2020 International Conference on Computer Engineering and Application (ICCEA)*: IEEE, pp. 864-868, 2020.
- [32] R. Wang, W. Hong, and N. Yang, The research on footprint recognition method based on wavelet and fuzzy neural network. in *2009 Ninth International Conference on Hybrid Intelligent Systems*, 3, 428-432, 2009. <https://doi.org/10.1109/HIS.2009.300>.
- [33] M. H. Yap et al., A new mobile application for standardizing diabetic foot images. *Journal of diabetes science and technology*, 12, (1), 169-173, 2018. <https://doi.org/10.1177/1932296817713761>.
- [34] J. Chae, Y.-J. Kang, and Y. Noh, A deep-learning approach for foot-type classification using heterogeneous pressure data. *Sensors*, 20, (16), 4481, 2020. <https://doi.org/10.3390/s20164481>.

