



T.C.
KIRŞEHİR AHİ EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İLERİ TEKNOLOJİLER ANABİLİM DALI

**YEREL FAZ NİCELEME İLE AYAK
GÖRÜNTÜLERİNİN KİŞİ, YAŞ VE CİNSİYETE GÖRE
SINIFLANDIRILMASI**

Mustafa Shwaish AL-AZZAWI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KIRŞEHİR / 2021



T.C.
KIRŞEHİR AHİ EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İLERİ TEKNOLOJİLER ANABİLİM DALI

**YEREL FAZ NİCELEME İLE AYAK
GÖRÜNTÜLERİNİN KİŞİ, YAŞ VE CİNSİYETE GÖRE
SINIFLANDIRILMASI**

Mustafa Shwaish AL-AZZAWI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DANIŞMAN
Doç. Dr. Emrah AYDEMİR**

KIRŞEHİR / 2021

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Mustafa Shwaish AL-AZZAWI



20.04.2016 tarihli Resmî Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü Teze, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi’nin aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.



ÖNSÖZ

Yüksek lisansa başlamamda ve yüksek lisans ders ve tez yazım sürecinde kendisini tanıdığım günden bu yana gösterdiği sakin ve sabırlı hali ile her zaman bana örnek olmasının yanı sıra bir bilim adamının nasıl çalışması gerektiğini kendisinden öğrendiğim değerli danışmanım Doç. Dr. Emrah AYDEMİR'e teşekkür ederim. Çalışmalarım boyunca maddi manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan, beni bugünlere getiren aileme de sonsuz teşekkürler ederim.

Ekim, 2021

Mustafa Shwaish AL-AZZAWI

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ BİLDİRİMİ	ii
ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
TABLO LİSTESİ.....	vii
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ.....	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç ve Önem.....	7
1.2. Yapılan Çalışmalar	7
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	10
2.1. Verilerin Toplanması	10
2.2. Verilerin Analizi	12
2.3. Yerel Faz Niceleme (Local Phase Quantization-LPQ) ile Öznitelik Çıkarımı	14
2.4. Eğitim ve Test Verilerinin Ayrıştırılması	15
2.5. Başarı Ölçütleri	16
3. BULGULAR	18
3.1. İstatistiksel Bulgular	18
3.2. Kişi Sınıflandırma Bulguları.....	19
3.3. Cinsiyet Sınıflandırma Bulguları.....	20
3.4. Yaş Sınıflandırma Bulguları	22
4. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	24
KAYNAKLAR.....	25

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1. Ayak genişliği ve uzunluğu hesaplanırken kullanılan noktalar	2
Şekil 2. Ayak baş parmak ve yanındakinin uzunluğuna göre ayak şekilleri	2
Şekil 3. Şekillerine göre ayaklar.....	5
Şekil 2. Örnek bir kişinin sağ ve sol ayak görüntüsü	11
Şekil 2. Çekilen fotoğraf dosyalarının klasör görüntüsü	12
Şekil 2. LPQ kodlaması.....	15
Şekil 2. 10 katlı çapraz doğrulama yöntemi	16
Şekil 3.1. Verilerin cinsiyete göre dağılımı.....	18
Şekil 3.2. Her bir yaştan kaç kişi olduğunu gösteren grafik.....	19



TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 3.1. Kişi sınıflandırma sonuçları	20
Tablo 3.2. Cinsiyet sınıflandırma sonuçları	21
Tablo 3.2. Cinsiyet sınıflandırması için KNN algoritmasını hata matrisi	22
Tablo 3.2. Yaş sınıflandırma sonuçları	23



SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
g_p	: p indisli ses verisi
g_c	: 3x3 matrisin merkez verisi
x	: iki hücre arasındaki fark

Kısaltmalar	Açıklama
YSA	: Yapay Sinir Ağları
DVM	: Destek Vektör Makineleri
k-NN	: K Nearest Neighborhood
LBP	: Local Binary Pattern



ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YEREL FAZ NİCELEME İLE AYAK GÖRÜNTÜLERİNİN KİŞİ, YAŞ VE CİNSİYETE GÖRE SINIFLANDIRILMASI

Mustafa Shwaish AL-AZZAWI

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İleri Teknolojiler Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Emrah AYDEMİR

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.

Ekim 2021, 40 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Ayak görüntüsü, yerel faz niceleme, sınıflandırma

ABSTRACT

MASTER THESIS

CLASSIFICATION OF FOOT IMAGES ACCORDING TO PERSON, AGE AND GENDER WITH THE LOCAL PHASE QUANTIZATION

Mustafa Shwaish AL-AZZAWI

**Kirsehir Ahi Evran University
Science and Engineering Institute
Advanced Technologies Department**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Emrah AYDEMİR

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.

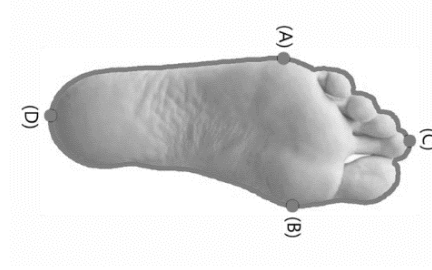
October 2021, 40 Pages

Keywords: Foot image, local phase quantization, classification.

1. GİRİŞ

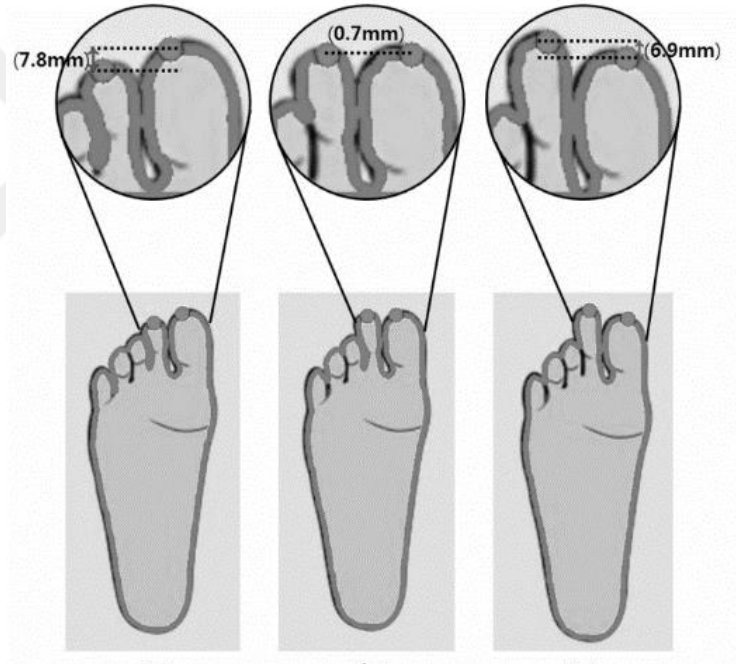
Günümüz teknolojisinin geldiği noktada birçok yer kamera ve çeşitli algılayıcılar ile donatılmıştır. Bu tür teknolojiler yardımıyla bir bireyin tanınması önemli bir görev haline gelmiştir. Özellikle ticari amaçlı geliştirilmiş birçok farklı sistemde kişisel kimlik doğrulama vardır. Bu tür sistemleri 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 içerisinde. Kişi tanıma konusunda farklı özelliklerin biyometrik nitelik taşıyıp taşımadığı hep merak konusu olmuştur. Ayak görüntüleri de insan 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; baş parmağın ikinci parmaktan 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 şekilde 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 şekilde verilmiştir. Şeklin daha iyi anlaşılması açısından daha yakın hali de gösterilmiştir.



Şekil 2. Ayak baş parmak ve yanındakinin uzunluğuna göre ayak şekilleri

Farklı ayak şekli sınıflandırmaları 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 ise 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.

- **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 parmaklar 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 yapıcıdırlar.
- **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.

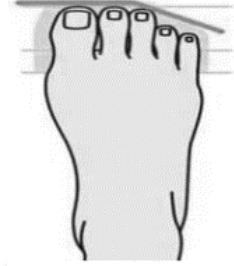
- **Savaşçı Ayak Şekli:** Savaşçı ayak şekline sahip insanların uzun bir başparmağı ve nispeten benzer uzunlukta dört parmak daha vardır. Bu kategoriye giren insanlar sosyal olarak kelebek olabilir ve parti yapmayı sever. Yüzleşmeyi severler ve tutkulu oldukları konularda hararetle tartışmalara girme eğilimindedirler.



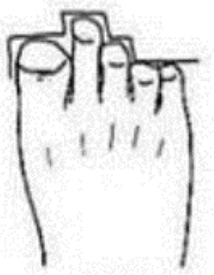
Mısır



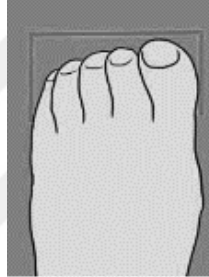
Yunan



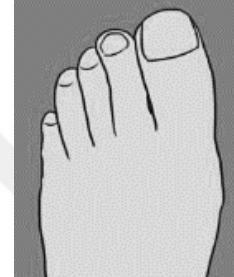
Roman



Kelt



Köylü



Ekstra Küçük



Geniş



Gerilmiş Büyük



Savaşçı

Şekil 3. Şekillerine göre ayaklar

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. 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 maksimizasyonuna 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 görüntülerin arasındaki mutlak farkların (SAD) toplamı hesaplanır. Son olarak, giriş görüntüsü bulunan minimum SAD değerine göre sol veya sağ ayak olarak sınıflandırılır.

Wu ve ark. [22] tarafından yapılan bir çalışmada ise farklı sporlara özgü ayak tiplerinin özellikleri incelenmiştir. Böylece sporda ayak yaralanmalarının önlenmesi, sporcu seçimi ve ayakkabı tasarımı için veri sağlamak amaçlanmıştır. 16 yüzücü, 12 trampolin sporcusu ve 30 üniversite öğrencisinin ayak tipleri üç boyutlu kinematik analiz sistemi ile test edildi. 23 gösterge analiz edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Sporcuların boy faktörü, ayak uzunluğu, ayak genişliği, rampa genişliği ve kemer çevresi dikkate alınmadığı zaman, sporda anlamlı korelasyon ortaya çıkmıştır. Yüzme ve trampolin antrenmanlarının ayak tipine etkileri diğer sporlara göre farklı derecelerde yaralanmalara neden olduğu araştırmada ortaya çıkmıştır. Sporcuların ayak uzunluğu, genişliği ve kemer çevresi, spor ayakkabı tasarımı ve malzeme seçimi için referans sağlayabilecek spora özgü özelliklere sahip olduğu ifade edilmiştir. Ayak morfolojisini belirlemek için ayak mekanizmasının anlaşılması gerekir. Liang ve ark. [23] tarafından yapılan bir çalışmada ise 3D tarama teknolojisi ile yalınayak ve ayakkabılı durum arasındaki ayak morfolojisi belirlenmeye çalışılmıştır. Ayak tarama testine,

hem 30'u alışılmış olarak yalınayak hem de 30'u alışılmış 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 [24]. 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 [25, 26]. Buradaki çalışmada da ayak görüntülerinin kişi, yaş ve cinsiyet açısından sınıflandırılması amaçlanmıştır.

1.2. Yapılan Çalışmalar

İnsanların hem ayak hem de ayak bileği vücutlarındaki en karmaşık kas-iskelet yapısına sahip noktalardan biridir. Vücudun yer ile temasını sağlayan birincil yapıdır. Biyomekanik anormallikler ve uzun süre ayakta kalma kaynaklı oluşan yanlış ayak pozisyonları çeşitli riskler oluşturmaktadır. Lin, Yeh ve Qiu [27] tarafından yapılan bir

çalışmada bu durumu belirleyebilmek için kişilerin ayak görüntüleri arka tarafından çekilmiş ve görüntü işleme yöntemleri ile analiz edilerek ayağın eğitim açıları incelenmiştir. Böylece bu eğitim açılarının analizinden çeşitli hastalıkların tespiti yapılmıştır. Yine aynı amaçla yapılan bir başka çalışmada ayak ortezlerini değerlendirmek için arka ayağın yüksek kontrastlı görüntüsü için çeşitli ekran ve ışık konumlarında gölge etkisi ortadan kaldırılarak görüntüler elde edilmiştir. Yine görüntü işleme teknikleri ile bacak ve ayak açıları belirlenmiştir [28]. Jaruenpunyasak ve Duangsoithong [5] ise diz rehabilitasyonunu için ayak görüntülerinin sınıflandırılmasında öznitelikler, destek vektör makinesi, k-en yakın komşu ve çok katmanlı algılayıcı yöntemleri kullanılarak sınıflandırılmış ve karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu tür birçok farklı çalışmada ayağın özel yapısının görüntüsü hedeflenmiştir ve ayağın morfolojik parametreleri çıkarılmıştır [29]. Bu tür yöntemlerle kırık ayak görüntülerinin de analizi mümkündür [30].

Ayak görüntülerinin analizi ile ayak hastalıkları dışında farklı hastalıklar da incelenebilir. Dijital termal görüntüleme (DTI), cilt yüzey sıcaklığındaki değişiklikleri görselleştirmeyi ve ölçmeyi sağlayan pasif, invaziv olmayan, iyonlaştırıcı olmayan, ücretsiz bir teşhis ve gerçek zamanlı izleme tekniğidir. Termal kamera vücuttaki sıcaklık değişimlerini 0,1 °C'lik bir aralıkta olduğu gibi dakikalar içinde algılayabilir. Görüntü, kırmızıdan maviye renk değişimi göstererek sıcaklık ölçeğini vurgular. Uygun ışık ayarı olsun veya olmasın, görüntüyü tanımlayan hâkim sıcaklığa bağlı olarak oluşturulan renk desenlerini bilgisayar analiz eder ve yüzey sıcaklığını hesaplar. X-ray, MRI, PET gibi çeşitli görüntü elde etme yöntemleri, anormallik teşhisi ve tedavi sonrası için bilgi çıkarmak için kullanılır. Bu amaçla yola çıkan Kumar ve ark. [31] termal diyabetik ayak görüntülerinin iyileştirilmesinde anahtar adımlar olan kontrast germe ve morfolojik fonksiyon gibi uygun yöntemleri tanımlamaya çalışmışlardır. Yap ve ark. [32] tarafından geliştirilen bir iPad uygulaması ile 30 diyabetik ve 30 da diyabetik olmayan ayak görüntüsü analiz edilmiş ve %90 üzeri bir sınıflandırma başarısı elde edilmiştir.

Üç boyutlu tarama teknolojisi kullanarak özelleştirilmiş ürünler, her kişinin ayak ve el boyutlarının farklı olması ve insanların kendilerine uygun daha rahat ürünler arama eğiliminde olması nedeniyle daha yaygın hale geliyor. Bu amaçla yola çıkılan bir çalışmada [33] pahalı bir ayak tarayıcı kullanmak veya özel bir kit kullanmak yerine, elde tutulan bir kamera tarafından çekilen ayak görüntülerinden, son ayakkabıya karşılık gelen tasarım için şekil parametrelerinin türetilmesine çalışılmıştır. Çok yönlü ayak görüntüleri yakalandıktan

sonra, üç boyutlu model elde etmek için boşluk oyma algoritması kullanılarak ayak modeli oluşturulmuştur. Elde edilen bu üç boyutlu model ile ayakkabı üretiminde yaygın olarak kullanılan beş ayak ölçüsü çıkarılmıştır. Beş ayak ölçüsü ayak uzunluğu, ayak genişliği, top çevresi, ayak yüksekliği ve ayak çevresi çevresidir. Bu ölçümler, kullanılabilirliği kanıtlamak için geleneksel yöntem ve üç boyutlu ayak tarayıcı kullanılan yöntemle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda ortalama tolerans farkı $\pm 2,55$ mm bulunmuş ve bu ayakkabı üretiminde izin verilen toleranstır. Ayak ölçüsünü belirlemek geniş bir uygulama alanına sahiptir. Sadece tıbbi ayak sağlığında kullanılamaz, ayağın sağlık indeksini değerlendirebilir, insan ayağının sağlığını iyileştirebilir, aynı zamanda kinematik çalışması için büyük miktarda ayak verisi sağlayabilir. Ölçüm ekipmanı ve ilgili algoritmaların sınırlamaları nedeniyle, üç boyutlu ayak ölçümü yaygın olarak kullanılamamaktadır. Bunun yerine görüntü bölütleme yöntemleri ile bu işlem yapılmaya çalışılmıştır [34]. Ayak ölçüleri dikkate alınarak ayakların görüntülerine göre sınıflandırılması kuşkusuz ayakkabı üretimi için faydalı bilgiler sağlayacaktır [12].

İnsan ayağı, ayağın doğuştan gelen formu veya yanlış yürüme duruşu nedeniyle kolayca deforme olabilir. Ayak deformasyonları sadece ayak sağlığını tehdit etmekle kalmaz, aynı zamanda yürürken yorgunluk ve ağrıya da neden olur; bu nedenle ayak deformasyonlarının doğru teşhisi önemlidir. Bununla birlikte, ayak deformasyonlarının ölçümü uzman personel gerektirir ve profesyonel sağlık personelinin ayak deformasyonlarını değerlendirmesi için teşhisin nesnelliği yetersiz olabilir. Bu nedenle objektif bir ayak deformasyon sınıflandırma modelinin geliştirilmesi ihtiyaçtır. Chae, Kang ve Noh [35] tarafından yapılan bir çalışmada, görüntü ve sayısal ayak basıncı verileri kullanılarak ayak tiplerinin sınıflandırılması için bir model geliştirilmiştir. Bu tür heterojen veriler, sırasıyla ince ayarlanmış bir görsel geometri grubu-16 (VGG16) ve K-en yakın komşu (k-NN) modelleri oluşturmak için kullanılır ve en sonunda, ikisi birleştirilerek doğruluğu ve sağlamlığı artırmak için bir yığınlama topluluğu modeli oluşturulur. Bu şekilde %92,55 oranında bir başarı elde edilir. Ayak ile ilgili teşhislerde nesnelliğin sağlanabilmesi için bu tür bilgisayar tabanlı sistemlere kuşkusuz ihtiyaç vardır.

Ayak üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde özellikle ayak izi üzerine odaklanan çok fazla çalışma olduğu görülmektedir. Bu çalışmalardan Bao ve ark. [36] tarafından yapılan çalışmada optik ayak izi görüntülerine dayalı olarak bir ayak izi tanıma algoritması geliştirilmiştir. Bu algoritma 134 kişinin ayak izlerinin çift ağıçlı karmaşık dalgacık

dönüşümü (DTCWT) ile öznitelik çıkarımı yapılması ve SVM ile sınıflandırılması sonucunda %88,13 başarı oranı elde etmiştir. Liu [4] tarafından ise yaşları 1-9 ay arasında değişen 60 denekten oluşan üç seans ile bir bebek ayak izi veri seti toplanmıştır. Bu veriseti çeşitli yöntemlerle sınıflandırılmış ve en yüksek %83 başarı elde edilmiştir. Ayak izi görüntülerinden öznitelik çıkarımı ve sınıflandırma üzerine birçok farklı çalışma vardır [37, 38].

2. MATERYAL VE YÖNTEM

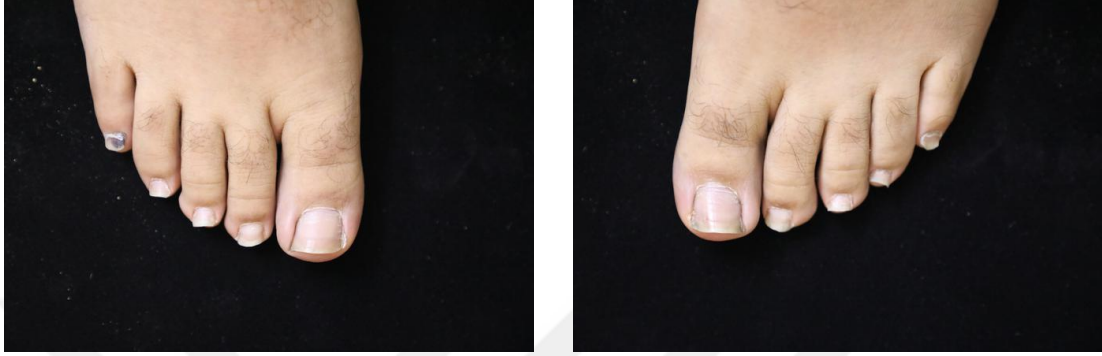
2.1. Verilerin Toplanması

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. Bu değer 1-100 arasında değişmektedir.
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 şekilde gösterilmiştir.



Şekil 2. 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 şekilde görüntü dosyalarının bir kısmı klasör içerisinde gösterilmiştir.



Şekil 2. Çekilen fotoğraf dosyalarının klasör görüntüsü

Çalışma içerisinde toplanan verilerin başka araştırmacılar tarafından da kullanılabilmesi için tüm görüntü dosyaları KAGGLE veriseti deposuna yüklenmiştir. www.kaggle.com/dataset/e19fadfab4e33748e93f9dc9962d68d67ad58c60da219eb85a33134224d875a5 web adresinden bu veriseti 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 öznitelik dosyası daha oluşturulup sınıf etiketi olarak cinsiyet ve bir başka dosya daha oluşturularak sınıf etiketi olarak yaş yazılmıştır. Böylece üç farklı öznitelik dosyası elde edilmiştir. Veriler 10 katlı çapraz doğrulama yöntemi kullanılarak eğitim ve test olarak ayrıştırılmıştır. Ardından bu öznitelik 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

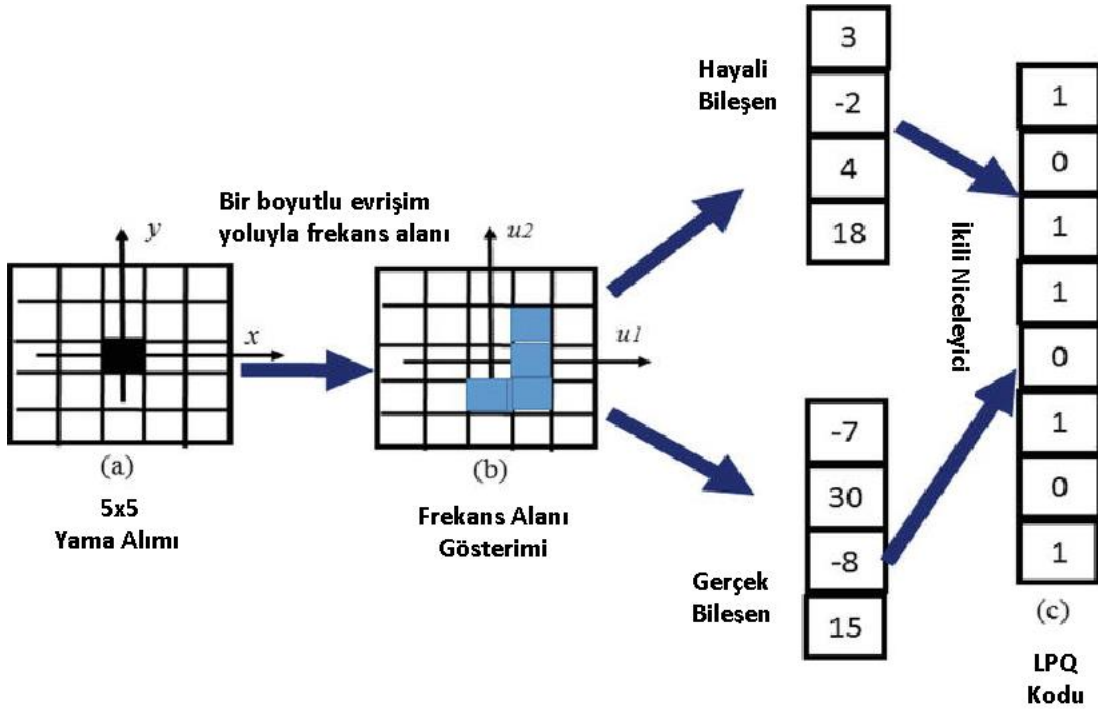
- ensemble
 - ◆ AdaBoost
 - ◆ Bagging
 - ◆ extraTrees
 - ◆ GradientBoosting
 - ◆ HistGradientBoostingClassifier
 - ◆ randomForest
 - ◆ Voting
- linear_model
 - ◆ LogisticRegression
 - ◆ LogisticRegressionCV
 - ◆ PassiveAggressiveClassifier
 - ◆ Perceptron
 - ◆ RidgeClassifier
 - ◆ RidgeClassifierCV
 - ◆ 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 Öznitelik Çıkarımı

İlk kez 2008 yılında önerilen yerel faz niceleme tanımlayıcısı doku bulanıklığının sınıflandırılmasında kullanılmaktadır [39]. Özellikle bulanık yüzlerin tanınmasında başarılı sonuçlar üretir [40]. 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. LPQ operatörü, bulanıklık, dönüş değişkenliği ve türbülans bulanıklığına karşı güçlü bir tanımlayıcıdır. Öznitelik çıkarma yaklaşımlarının birleştirilmesi, sınıflandırıcı performansının

artırılmasına ve ayırt edici özelliklerin ortaya çıkarılmasına katkı sağlayan bir süreçtir [41]. Bir görüntüden LPQ ile öznelik çıkarımı aşağıdaki şekilde görsel olarak anlatılmıştır [42].

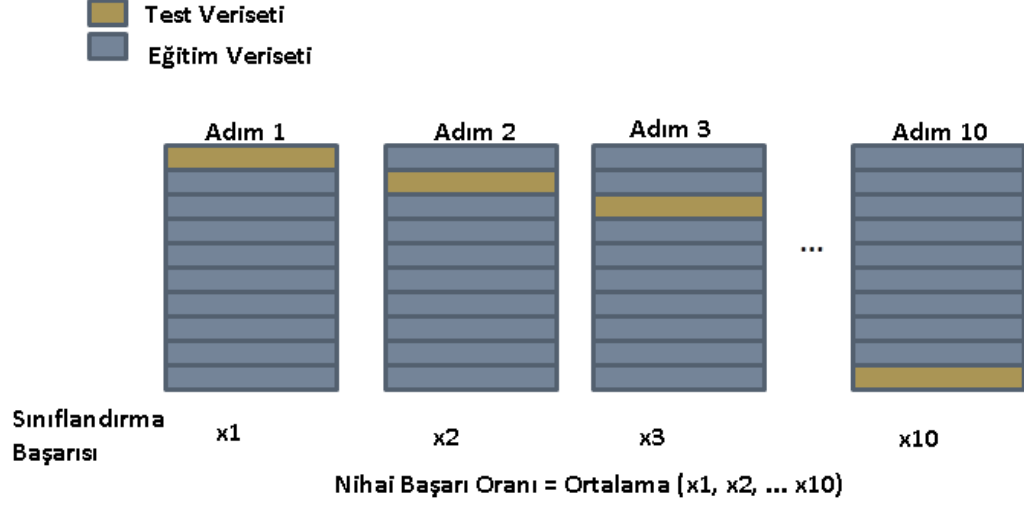


Şekil 2. LPQ kodlaması

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 veriseti üzerinde doğru tahminler yapacak bir model üretmektir. Fakat bu modelin doğruluğu ancak yeni veriler üzerinde kontrol edilebilir. Bu yeni veriler ayrı tutulan test verisetidir. Eğitim ve test verilerinin ayrıştırılmasında yaygın olarak kullanılan çapraz 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 şekilde bu durum görsel olarak anlatılmıştır.



Şekil 2. 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 formül ile hesaplanır.

$$\text{Doğru sınıflandırma oranı} = \frac{\text{Doğru sınıflandırılan örnek sayısı}}{\text{Toplam örnek sayısı}}$$

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 gibi olacaktır.

Tablo 1. Karışıklık matrisi

	Tahmin Değerleri	
Gerçek Değerler	TN	FP

	FN	TP
--	----	----

Bu matris içindeki kısaltmalar aşağıdaki şekilde olacaktır.

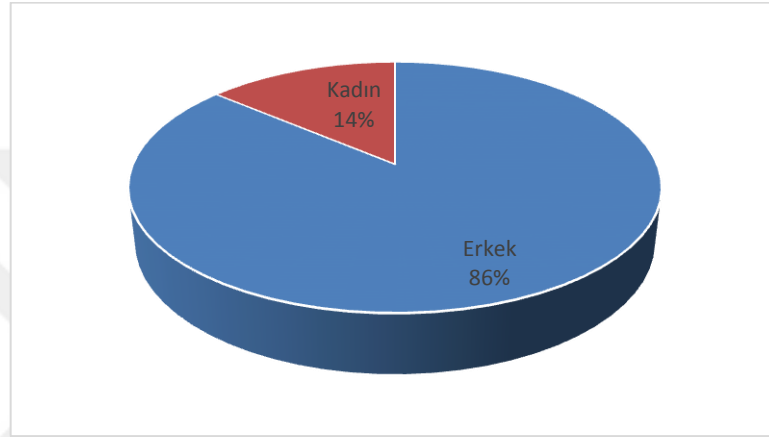
- Gerçek Pozitifler (TP): Bunlar gerçek değeri 1 iken tahmin edilen değerin de 1 olduğu örneklerdir. Yani doğru tahmin edilmiştir.
- Gerçek Negatifler (TN): Bunlar gerçek değeri 0 iken tahmin edilen değerin de 0 olduğu örneklerdir. Yani doğru tahmin edilmiştir.
- Yanlış Pozitifler (FP): Bunlar gerçek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

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

3. BULGULAR

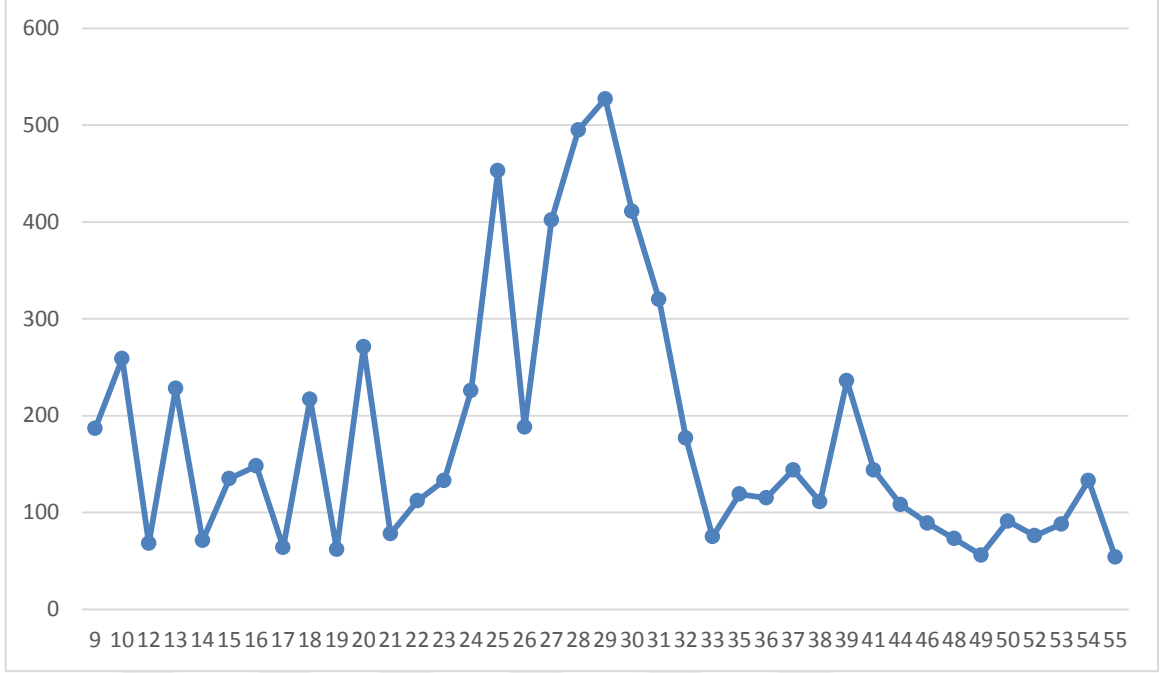
3.1. İstatistiksel Bulgular

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.



Şekil 3.1. 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 şekilde her bir yaştan kaç kişi olduğunun dağılımı grafik olarak verilmiştir. Burada verilerin özellikle 20-30 yaş aralığında çok olduğu ve yine yoğunluğun 10-30 yaş aralığında olduğu görülmektedir. Buradaki verilerin kişi sayısı olmadığı, her bir kişiden elde edilen görüntü sayısı olduğuna dikkat edilmelidir.



Şekil 3.2. Her bir yaştan kaç kişi olduğunu gösteren grafik

3.2. Kişi Sınıflandırma Bulguları

Toplam 100 kişiye ait farklı sayılarda görüntü verisi vardır. Tüm bu verilerin LPQ ile öznitelikleri çıkarılmıştır. Her bir görüntünün kime ait olduğunu 100 kişi arasından belirlemek için sınıflandırma algoritmalarına sunulmuştur. Elde edilen doğru sınıflandırma oranları ve algoritma bilgileri aşağıdaki tabloda 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 belirlenen bir tür parametreler kullanılmıştır. Buradaki LogisticRegressionCV algoritması için cv parametresi için 5 ve random_state parametresi için 10 değeri kullanılmıştır. Bu parametrelerin değiştirilmesi ile de farklı sonuçlar üretilebilecektir.

Tablo 3.1. Kişi sınıflandırma sonuçları

Algoritma Grubu	Algoritma Adı	Doğruluk Oranı (%)
svm	SVM	98,92005
discriminant_analysis	QuadraticDiscriminantAnalysis	4,004147
ensemble	HistGradientBoostingClassifier	17,81525
linear_model	LogisticRegressionCV	99,42388
	RidgeClassifierCV	96,15417
	PassiveAggressiveClassifier	12,01493
	LogisticRegression	3,802252
naiveBayes	gaussianNB	98,08434
	bernoulliNB	21,20113
	multinomialNB	1,814691
neighbors	NearestCentroid	72,93728
	RadiusNeighborsClassifier	1,310825
neural_network	MultiLayerPerceptron	94,13831
tree	ExtraTreeClassifier	39,07543

Toplam 100 kişi olması nedeniyle burada hata matrisi verilememiştir. Fakat 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 tabloda elde edilen sonuçlar algoritma adları ile birlikte yüzdesel olarak verilmiştir. En yüksek başarı oranı elde edilen satır renkli olarak işaretlenmiştir.

Tablo 3.2. 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
linear_model	RidgeClassifierCV	91,4161674
	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

Cinsiyet sınıflandırmasında KNN algoritması ile elde edilen sonuçların hata matrisi aşağıdaki tabloda 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.

Tablo 3.2. Cinsiyet sınıflandırması için KNN algoritmasını hata matrisi

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

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 tabloda 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 örnekleme yanlış sınıflandırılmıştır. Kalan 6815 örneklemin tümü doğru bir şekilde sınıflandırılmıştır.

Tablo 3.2. 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
linear_model	RidgeClassifierCV	77,66129
	RidgeClassifier	19,3429
	SGDClassifier	18,85311
	PassiveAggressiveClassifier	12,15545
	LogisticRegression	10,24052
naiveBayes	gaussianNB	62,16346
	complementNB	26,17071
	bernoulliNB	19,66017
	multinomialNB	8,382788
	CategoricalNB	7,590363
neighbors	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

4. TARTIŞMA 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 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. Literatürde yapılan incelemelerde doğrudan buradaki çalışma ile benzerlik gösteren bir kaynağa rastlanmamıştır. Fakat ayak izi ile ilgili görüntülerden Wenxia Bao ve ark. [36] tarafından yapılan çalışmada yönlendirilmiş gradyan (HOG) ile öznelik çıkarımı yapılmış ve % 88,13 oranında bir doğruluk oranı elde edilmiştir. Aynı amaçla yapılan bir başka çalışmada ise destek vektör makineleri (SM) ile % 92,80 doğruluk oranı elde edilmiştir [43]. Buradaki çalışmada elde edilen oranlar bu her iki çalışmadan da daha yüksektir. Yap ve ark. [32] tarafından geliştirilen bir iPad uygulaması ile 30 diyabetik ve 30 da diyabetik olmayan ayak görüntüsü analiz edilmiş ve %90 üzeri bir sınıflandırma başarısı elde edilmiş fakat buradaki çalışmadan daha düşük bir sınıflandırma başarısına sahiptir. 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.

KAYNAKLAR

1. Ashlock, D. 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)*. 1998. IEEE.
2. Hashem, K.M. and F. Ghali, *Human identification using foot features*. *Int J Eng Manuf*, 2016. **6**(4): p. 22-31.
3. Jia, W., et al., *Newborn footprint recognition using orientation feature*. *Neural Computing and Applications*, 2012. **21**(8): p. 1855-1863.
4. Liu, E. *Infant footprint recognition*. in *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision*. 2017.
5. Jaruenpunyasak, J. and R. Duangsoithong, *Empirical Analysis of Feature Reduction in Deep Learning and Conventional Methods for Foot Image Classification*. *IEEE Access*, 2021. **9**: p. 53133-53145.
6. Ghotaslou, R., M.Y. Memar, and N. Alizadeh, *Classification, microbiology and treatment of diabetic foot infections*. *Journal of wound care*, 2018. **27**(7): p. 434-441.
7. Khokher, R., R.C. Singh, and R. Kumar. *Footprint recognition with principal component analysis and independent component analysis*. in *Macromolecular symposia*. 2015. Wiley Online Library.
8. Stewart, S.F., *Human Gait and the Human Foot: An Ethnological Study of Flatfoot: Part I*. *Clinical Orthopaedics and Related Research (1976-2007)*, 1970. **70**: p. 111-123.
9. Volpon, J.B., *Footprint analysis during the growth period*. *Journal of pediatric orthopedics*, 1994. **14**(1): p. 83-85.
10. Braun, S., L. Basquin, and C. Mery, *The contour of the normal foot. A statistical study*. *Revue du Rhumatisme et des Maladies Ostéo-articulaires*, 1980. **47**(2): p. 127-133.
11. Rao, U.B. 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*, 1992. **74**(4): p. 525-527.
12. Park, Y., 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)*. 2019. IEEE.
13. Seong, D.-H., U.-S. Jeong, and Y.-J. Jo, *A study on the categorization of korean foot shapes*. *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 2006. **25**(2): p. 107-118.
14. Choi, S.-H. and J.-S. Chun, *The comparison of foot shape classification methods*. *The Research Journal of the Costume Culture*, 2007. **15**(2): p. 252-264.
15. Ola, A.F., *Personality Identification System based on Human Foot Anatomy*. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 2018. **9**(2): p. 490-497.
16. Robinson, R. *Foot Reading*. *Pedi Reviews Foot care expert*. 2019 20.09.2021]; Available from: <https://www.pedireviews.co.uk/foot-reading/>.
17. Luo, G., et al., *Comparison of male and female foot shape*. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 2009. **99**(5): p. 383-390.
18. Reinker, K.A. and S. Ozburne, *A comparison of male and female orthopaedic pathology in basic training*. *Military medicine*, 1979. **144**(8): p. 532-536.
19. Rosendal, L., et al., *Incidence of injury and physical performance adaptations during military training*. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 2003. **13**(3): p. 157-163.

20. Oliveira, F.P., et al., *Towards an efficient and robust foot classification from pedobarographic images*. Computer methods in biomechanics and biomedical engineering, 2012. **15**(11): p. 1181-1188.
21. Oliveira, F.P., T.C. Pataky, and J.M.R. Tavares, *Registration of pedobarographic image data in the frequency domain*. Computer methods in biomechanics and biomedical engineering, 2010. **13**(6): p. 731-740.
22. WU, J., et al., *Foot types comparison of swimming, trampoline athletes and college students*. China Leather. **2015**: p. 15.
23. Liang, Z.Q., et al. *Analysis of foot morphology in habitually barefoot group*. in *Journal of Biomimetics, Biomaterials and Biomedical Engineering*. 2019. Trans Tech Publ.
24. Michaud, T.C., *Human locomotion: the conservative management of gait-related disorders*. 2011: Newton Biomechanics.
25. Hong, Y., et al., *Gender differences in foot shape: a study of Chinese young adults*. Sports biomechanics, 2011. **10**(02): p. 85-97.
26. Saghazadeh, M., 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, 2015. **8**(1): p. 1-7.
27. Lin, C., C. Yeh, and Z. Qiu. *Assessment of Subtalar Joint Neutral Position: Study of Image Processing for Rear Foot Image*. in *Proceedings of the World Congress on Engineering*. 2017.
28. Lin, C.-H., Z.-H. Qiu, and C.-C. Yeh, *Image processing for rear foot image evaluating leg and foot angles*. Measurement, 2018. **126**: p. 168-183.
29. Li, R., et al. *An Adaptive Foot-image Segmentation Algorithm Based on Morphological Partition*. in *2018 IEEE International Conference on Progress in Informatics and Computing (PIC)*. 2018. IEEE.
30. Li, Y., et al., *Exploring Digital Image Dithering Techniques on a Broken Foot Image*. Journal of Medical Imaging and Health Informatics, 2020. **10**(9): p. 2247-2251.
31. Kumar, U.S., et al. *Image Processing Techniques in Thermal and Non-thermal Images*. in *International Conference on Image Processing and Capsule Networks*. 2021. Springer.
32. Yap, M.H., et al., *A new mobile application for standardizing diabetic foot images*. Journal of diabetes science and technology, 2018. **12**(1): p. 169-173.
33. 함용희, *Derivation of shape parameters of a foot for design corresponding shoe-last from foot image captured by a hand-held camera*. 2017, 서울대학교 대학원.
34. Wang, H., F. Liu, and R. Fan. *A research on foot size measurement algorithm based on image*. in *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. IOP Publishing.
35. Chae, J., Y.-J. Kang, and Y. Noh, *A deep-learning approach for foot-type classification using heterogeneous pressure data*. Sensors, 2020. **20**(16): p. 4481.
36. Bao, W., et al. *Optical Footprint Image Recognition Algorithm Based on Metric Learning and SVM*. in *2020 International Conference on Computer Engineering and Application (ICCEA)*. 2020. IEEE.
37. Chi, Z., *Enabling Seamless Communication and RF Sensing Among IoT Devices*. 2020, University of Maryland, Baltimore County.
38. Liu, B., et al. *Loss and double-edge-triggered detector for robust small-footprint keyword spotting*. in *ICASSP 2019-2019 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*. 2019. IEEE.

39. Ojansivu, V. and J. Heikkilä. *Blur insensitive texture classification using local phase quantization*. in *International conference on image and signal processing*. 2008. Springer.
40. Ahonen, T., et al. *Recognition of blurred faces using local phase quantization*. in *2008 19th international conference on pattern recognition*. 2008. IEEE.
41. Durmuşoğlu, A. 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)*. 2021. IEEE.
42. Nguyen, H.-T., *Contributions to facial feature extraction for face recognition*. 2014, Université de Grenoble.
43. Wang, R., 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*. 2009. IEEE.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Mustafa Alazzawi
Doğum Yeri	Salah AL Deen
Doğum Tarihi	
Uyruğu	
Telefon	
E-Posta Adresi	
Web Adresi	

Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Tikrit Üniversitesi
Fakülte	Bilgisayar ve Matematik Bilimleri Fakültesi
Bölümü	Bilgisayar Bilimleri
Mezuniyet Yılı	2015

Yüksek Lisans	
Üniversite	Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	İleri Teknolojiler Ana Bilim Dalı
Programı	İleri Teknolojiler Tezli Yüksek Lisans
Mezuniyet Tarihi	2021