

**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FEMUR KEMİK KIRIKLARININ BİLGİSAYAR  
DESTEKLİ SINIFLANDIRILMASI**

**DOKTORA TEZİ**

**Fatih BAYRAM**

**Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRONİK-BİLGİSAYAR EĞİTİMİ**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Murat ÇAKIROĞLU**

**Şubat 2016**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ


FEMUR KEMİK KIRIKLARININ BİLGİSAYAR  
DESTEKLİ SINIFLANDIRILMASI


DOKTORA TEZİ


Fatih BAYRAM

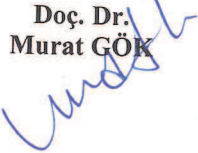
Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRONİK VE BİLGİSAYAR EĞİTİMİ

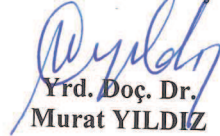
Bu tez 02 / 02 / 2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

  
Prof. Dr.  
Abdullah FERİKOĞLU  
Jüri Başkanı

  
Doç. Dr.  
Resul KARA  
Üye

  
Doç. Dr.  
Murat ÇAKIROĞLU  
Üye

  
Doç. Dr.  
Murat GÖK

  
Yrd. Doç. Dr.  
Murat YILDIZ

## **BEYAN**

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Fatih BAYRAM

02/02/2016

## TEŞEKKÜR

Doktora tez çalışmamda danışmanlığımı yapan, her zaman içtenlikle bana yol gösteren, ben ve çalışma arkadaşlarım için mükemmel bir çalışma ortamı oluşturan, danışman hocam Doç. Dr. Murat ÇAKIROĞLU' na; doktora süresince bana hep destek olan, büyük bir sabır ve anlayış gösteren, beni sürekli motive eden, her zaman maddi manevi desteğini esirgemeyen, sevgili eşim Arzu ve kızım Aymira'ya; benim bu günlere gelmemde çok fazla emeği bulunan anneme, babama ve ablalarımaya teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	vi
TABLOLAR LİSTESİ .....	vii
ÖZET.....	viii
SUMMARY .....	ix
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ .....	1
1.1. Literatürdeki Çalışmaların Özetleri.....	2
1.2. Tez Çalışmasının Amacı, İzlenen Çalışma Yöntemi ve Katkıları .....	5
1.3. Tez Organizasyonu .....	7
BÖLÜM 2.	
KEMİK KIRIKLARI VE SINIFLANDIRILMASI.....	9
2.1. Kemik.....	9
2.2. Kemiğin Yapısı .....	9
2.3. Kemiklerin İşlevleri.....	11
2.4. Kemik Çeşitleri .....	12
2.5. İskelet Sistemi .....	13
2.6. Kemik Kırıkları .....	16
2.7. Kırık Çeşitleri.....	17
2.7.1. Kırık çizgisinin yönüne göre kırıklar .....	17
2.7.2. Kemiğin özelliğine göre kırıklar .....	18

2.7.3. Kırık derecesine göre kırıklar.....	19
2.7.4. Kırık sayısına göre kırıklar.....	20
2.7.5. Kırık bulunan yumuşak dokunun durumuna göre kırıklar .....	20
2.7.6. Kırıkların eklemle bağlantısına göre kırıklar .....	21
2.8. Kemik İyileşmesi.....	21
2.8.1. Öncül kemik iyileşmesi.....	21
2.8.2. İkincil kemik iyileşmesi .....	21
2.9. Kırık Tedavi Yöntemleri .....	23
2.9.1. Dıştan sabitleme yöntemleri.....	23
2.9.1.1. Ateller .....	23
2.9.1.2. Alçı ile sabitleme .....	23
2.9.2. İçten sabitleme yöntemleri .....	24
2.9.2.1. Vidalama.....	24
2.9.2.2. Plak ile sabitleme.....	24
2.9.2.3. Civatalama (Bolzung).....	25
2.10. Kırıkların Sınıflandırılması .....	25
2.10.1. Winquist-Hansen femur kırık sınıflandırması.....	25
2.10.2. Gustilo-Anderson sınıflandırması .....	26
2.10.3. Tscherne kırık sınıflandırması .....	27
2.10.4. AO/OTA kırık sınıflandırması .....	27

### BÖLÜM 3.

FEMUR KEMİĞİ DİAFİZ BÖLGESİ KIRIKLARI İÇİN BİLGİSAYAR DESTEKLİ SINIFLANDIRICI (FEDİKS) TASARIMI.....	33
3.1. Giriş.....	33
3.2. Femur Diafiz Kırıkları Sınıflandırıcı Sistemi (FEDİKS).....	33
3.3. Görüntü Bölütleme ve İyileştirme.....	35
3.3.1. Niblack eşikleme yöntemi ile bölütleme.....	35
3.3.2. Destek Vektör Makinası-tabanlı hassas gürültü giderme .....	36
3.4. Kırıkların Sınıflandırılması için Özellik Çıkarımı .....	40
3.4.1. Kırık Parça Sayısı (KPS).....	40
3.4.2. Kemik Bütünlüğü Göstergesi (KBG).....	40

3.4.3. Kırık Ucu Eğimi (KUE) .....	43
3.4.4. Kırık Bölge Haritası (KBH) .....	44
3.5. Sınıflandırıcı .....	46
BÖLÜM 4.	
DENEYSEL SONUÇLAR.....	47
4.1. Giriş.....	47
4.2. Kırık Tespit Başarımı .....	48
4.3. Kırık Tespit Süresi.....	52
BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER.....	54
5.1. Tartışma ve Öneriler.....	56
KAYNAKLAR.....	58
ÖZGEÇMİŞ .....	65

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AO	: Osteosentez Çalışma Grubu
CAD	: Bilgisayar Destekli Teşhis
CCL	: Connected Component Labeling
CT	: Bilgisayarlı Tomografi
DDA	: Doğrusal Ayraç Analizi
DETHAG	: Destek Vektör Makinası Tabanlı Hassas Gürültü Giderme
DU	: Duyarlılık
DVM	: Destek Vektör Makinası
FEDİKS	: Femur Kemiği Diafiz Bölgesi Kırıklarının Sınıflandırıcı Sistemi
FCM	: Bulanık C Ortalama
GO	: Gabor Oryantasyon
KBG	: Kemik Bütünlüğü Göstergesi
KBH	: Kırık Bölge Haritası
K-EYK	: k- En Yakın Komşu Algoritması
KPS	: Kırık Parça Sayısı
KUA	: Kırık Ucu Alanı
KUE	: Kırık Ucu Eğimi
MDC	: Maksimum Dairesellik Çapı
MR	: Manyetik Rezonans
MRF	: Markov Rastgele Filtreler
NSA	: Boyun Şaft Açısı
OTA	: Ortopedik Travma Derneği
ÖZ	: Özgüllük
SVM	: Destek Vektör Makinesi
YSA	: Yapay Sinir Ağları



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Kemik dokuyu oluşturan yapılar.....	10
Şekil 2.2. Kemiğin yapısı .....	11
Şekil 2.3. Şekillerine göre kemikler .....	13
Şekil 2.4. Gövde (Axial) iskeleti .....	14
Şekil 2.5. Üye (Appendicular) iskeleti .....	15
Şekil 2.6. Kemik iyileşme evreleri .....	22
Şekil 2.7. Winquist–Hansen sınıflandırma sistemi .....	26
Şekil 2.8. Gustilo-Anderson sınıflandırma sistemi .....	26
Şekil 2.9. AO sınıflandırma sistemine göre femur kırıklarının sınıflandırması .....	29
Şekil 2.10. Femur diafiz kırıklarının AO sınıflandırması .....	31
Şekil 2.11. AO femur diafiz kırıkları sınıflandırması örnek kodu .....	32
Şekil 3.1. Önerilen CAD sisteminin işlem basamakları .....	34
Şekil 3.2. Bölütleme yöntemlerinin karşılaştırması .....	36
Şekil 3.3. Şekilsel öznitelikler.....	37
Şekil 3.4. DVM sınıflandırıcı ile gürültülerin temizlenme aşamaları .....	39
Şekil 3.5. Gürültü giderme yöntemlerinin karşılaştırılması .....	39
Şekil 3.6. Parçalı kırık örnekleri .....	40
Şekil 3.7. Kırık ucu alanının hesaplanması .....	42
Şekil 3.8. Kırık ucu açısının hesaplanması .....	44
Şekil 3.9. Kırık hattı çizgilerinin belirlenmesi .....	45
Şekil 4.1. Hatalı sınıflandırılan röntgen görüntüsü örnekleri.....	53
Şekil 4.2. İşlem sürelerinin karşılaştırılması .....	53

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Kırık parçası ve gürültü şekil öznelik değerlerinin karşılaştırması .....	38
Tablo 3.2. Kemik bütünlük göstergesinin hesaplanması .....	43
Tablo 3.3. Kırık röntgeninden elde edilen özellikler .....	45
Tablo 4.1. Kırık veritabanının türlere göre dağılımı .....	47
Tablo 4.2. Kırık türlerinin sınıflandırma başarısı .....	48
Tablo 4.3. Karmaşıklık matrisi .....	49
Tablo 4.4. İki uzman için karmaşıklık matrisi .....	50

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Femur Kemiği, Diafiz Kırıkları, Sınıflandırma, Görüntü İşleme, Destek Vektör Makinaları, Öznitelik Çıkarımı, Bölütleme

Kemik kırıklarının türünün belirlenmesi veya sınıflandırılması tedaviye karar verme sürecinin en önemli aşamasıdır. Günlük hayatta birçok farklı kırık vakası görülebilmekte ve her bir kırık çeşidi kendine has ayrı bir tedavi gerektirebilmektedir. En çok bilinen kırık sınıflandırma metotların başında gelen AO Müller [1] yöntemine göre insan vücudunda sadece uzun kemik kırığının 117 farklı türü görülebilmektedir. Tüm bu kırık çeşitlerini ve tedavi yöntemlerini bir doktorun ezberleyebilmesi oldukça zor ve külfetli bir prosedürdür. Bu nedenle, hekimlere gerek teşhis gerekse tedavi konusunda yardımcı olabilecek destek sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada, belirtilen ihtiyaç doğrultusunda, FEmur kemiği Dıyafiz bölgesi Kırıklarını Sınıflandırıcı sistem (FEDİKS) tasarlanmıştır.

FEDİKS, farklı işlem basamaklarından oluşan ve tam-otomatik bir bilgisayar destekli teşhis sistemidir. Önerilen sistemde, röntgen görüntülerindeki arka plan bilgilerini gidermek ve görüntüleri ikili formata çevirmek için ilk olarak Niblack yerel eşikleme metodu kullanılmıştır. Gerçekleştirilen çeşitli deney sonuçlarına göre, Niblack diğer bilinen bölütleme yöntemlerine göre daha fazla gürültü oluştursa da kırık bölgesinde daha az bilgi kaybına yol açmaktadır. Bu sebeple, FEDİKS yönteminde Niblack metodu tercih edilmiştir. Bundan sonraki işlem basamağında bölütleme işleminde oluşan gürültüleri yok etmek için yeni bir Destek Vektör Makinası-tabanlı hassas gürültü giderme (DETHAG) tekniği önerilmiştir. DETHAG ile kemik parçaları ile gürültüler birbirlerinden hassas bir şekilde ayrıştırılmıştır. Bir diğer işlem basamağında ise kırıkları sınıflandırabilmek için kırık parça sayısı (KPS), kırık ucu eğimi (KUE), kemik bütünlüğü göstergesi (KBG) ve kırık bölge haritası (KBH) adında birçok yeni özellik çıkarım yöntemi geliştirilmiştir. Son işlem basamağında da kırık türlerini sınıflandırabilmek için Çoklu Sınıflı Destek Vektör Makinası kullanılmıştır.

Önerilen FEDİKS yönteminin başarımlı değerlendirilmesini gerçekleştirmek üzere farklı sınıflardaki kırıkları içeren 196 adet röntgen görüntüsü kullanılmıştır. 5-katlı çapraz doğrulama yöntemine göre FEDİKS, AO-32 türündeki kırık vakalarını %89,87 oranında bir başarımlı ile sınıflandırabilmiştir. Bunun yanında, FEDİKS'in klinik ortamdaki kullanılabilirliği test etmek için sınıflandırma başarımlı iki hekim ile kıyaslanmış ve başarımlının hekimlerden düşük olmadığı gözlemlenmiştir. Bu sebeple, FEDİKS'in, Femur kırıklarının tespiti ve sınıflandırılmasında hekimlerin karar sürecine yardımcı olabilecek destekleyici bir araç olarak kullanılabilirliği görülmüştür.

# COMPUTER-AIDED CLASSIFICATION OF FEMUR FRACTURES

## SUMMARY

Keywords: Femoral Bone, Diaphyseal Fracture, Classification, Image Processing, Support Vector Machine, Feature Extraction, Segmentation

Classification or determining the types of fractured bones is the most important step of fracture treatment. Different fracture cases may be observed in daily life and each of them may require a specific treatment. According to the AO Müller [1] method, prominent of those most known fracture classifications, different kinds of 117 long-bone fractures in the human body may be seen. It is a difficult and burdensome procedure for any physician to know all those kinds of fracture types and treatments by heart. For this reason, decision support systems which will lessen the burden of work are needed to help the diagnosis and the treatment. Based on this need, in this thesis, we propose an auxiliary tool called a DIaphyseal Femur FRActure Classifier SysTem (DIFFRACT).

DIFFRACT is a fully-automated computer aided diagnosis system, which is composed of different design steps. In first step of the proposed system, Niblack thresholding method is used to eliminate the background information in the X-ray images. According to the various experiments performed, Niblack, compared to the other segmentation methods, leads to less informational loss in the region of fractured bones although it makes more noise. Therefore, in the DIFFRACT, Niblack is preferred as a segmentation method. In the next step, a new method, called as SVM-based sensitive noise remover (SSNR) is proposed to eliminate the noises occurred in the segmentation step. With the help of SSNR, bone fragments and noises can be sensitively differentiated. In the feature extraction step, a lot of new feature extraction methods such as number of fragments (NOF), angle of fracture (AFE), bone completeness indicator (BCI) and fracture region map (FRM) are developed in order to classify the fractures. In the last operational step, multi-class support vector machine is used to classify the types of fractures.

196 X-ray images including different types of fracture are used to evaluate the performance of DIFFRACT. According to the 5-fold cross validation method; DIFFRACT successfully classified the cases of AO-32 fracture with 89,87% accuracy. In addition, to evaluate the usability of DIFFRACT in the clinical setting, the differentiation performance was compared with two experienced physicians, and it has been observed that its success is close to the physicians. Therefore, the DIFFRACT may be used as supplementary tool for the determination of fractured femur bones by physicians. It may facilitate decision making process of the physicians.

## **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

Kemikler, vücudumuza şekil veren, mekanik olarak destekleyen ve koruyan, hareket etmemize yardım eden iskelet sistemi organlarıdır. Doğal bir birleşik madde olan kemik yaklaşık olarak %70 mineral, %22 protein ve %8 sudan oluşmaktadır [2]. Kemikler vücudumuzdaki en sert doku olmasına rağmen, yüksek bir basınçtan veya kuvvetten dolayı çatlayabilir veya kırılabilir. Kemik kırıkları birçok nedenle oluşabilir fakat genel olarak Travmalar (Kazalar), Patolojik Sebepler (Osteoporoz), Stres veya Aşırı kullanım (Overuse) gibi sebeplerden ötürü meydana gelmektedir [3,4].

Bir kemiğin kırık olup olmadığına genellikle röntgen görüntülemesi yardımıyla karar verilmektedir. Röntgen dışında Bilgisayarlı Tomografi (CT) ve Manyetik Rezonans Görüntüleme (MR) de kırık teşhisinde kullanılan görüntüleme yöntemlerindedir. Ancak, Röntgen ekonomik, kullanıcı dostu, birçok anatomik bölgeyi doğrudan görselleştirebilen ve kolay bulunabilen bir araç olmasından dolayı halen en sık kullanılan görüntüleme yöntemidir [5]. Kırığın röntgeni çekildikten sonra konumunu, özelliklerini ve derecesini belirlemek için yapılan tanımlamaya ise kırık sınıflandırma denilir ve kırık tedavisinin ilk adımıdır [6]. Literatürde, belirli bölge kırıklarını sınıflandıran sistemler (Garden, Schatzker, Neer, Lauge-Hansen) olduğu gibi genel sınıflandırma sistemleri de (AO, Gustilo-Anderson, Tscherne) vardır. Kırık sınıflandırma sistemlerinin temel amaçları, tedaviye kılavuzluk yapmak, gelişmeleri öngörebilmek ve ortak bir terminolojide konuşabilmektir [7]. Kırığın türü doğru bir şekilde belirlendikten sonra ise kırık için uygulanacak tedaviye geçilir. Kırıklar geleneksel ve cerrahi yöntemler olmak üzere iki farklı yöntemle tedavi edilir. Geleneksel yöntemler ağrıyı azaltma, kırık kemiği doğal konumuna sabitleme ve stabil hale getirme gibi cerrahi olmayan tüm yöntemlerdir. Cerrahi yöntemlerde

ise cerrahi çiviler, vidalar, levhalar ve harici sabitleyiciler gibi yardımcı araçlar kullanılır [4].

Yukarıda bahsedildiği gibi kırık için uygun olan tedavinin belirlenmesi için kırıkların hangi tür kırık olduğunun kesin bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Ancak, literatürde çok çeşitli sınıflandırma yönteminin bulunması sınıflandırmanın amaçlarından uzaklaşmasına neden olmaktadır. Ayrıca, bir radyoloğun veya doktorun tüm kırık türlerinin sınıflarını aklında tutabilmesi ve hemen kırığın sınıfına karar verebilmesi oldukça zor bir durumdur. Bu sebeple, kırıkların türünün belirlenmesinde radyologlara destek olacak bir Bilgisayar Destekli Teşhis (CAD) sistemi önemli bir ihtiyaç olmaktadır.

Bu tez çalışmasında, yukarıda bahsedilen ihtiyaçlar doğrultusunda, Femur Diafiz Kırıklarını AO Müller [6] sınıflandırma sistemine göre (AO-32) hangi tip kırık olduğuna karar veren otomatik bir bilgisayar destekli teşhis sistemi (FEDİKS) geliştirilmiştir.

Bir sonraki alt bölümde bu tez ile ilgili literatür özetlerine kısaca değinilmektedir.

### **1.1. Literatürdeki Çalışmaların Özetleri**

Medikal görüntü işleme alanındaki gelişmeler ile birlikte kemik kırıklarının bilgisayar destekli teşhisi (Computer Aided Diagnosis-CAD) üzerine yapılan çalışmalar da artmaktadır. Literatürdeki kırıklar üzerine odaklanan bilgisayar destekli teşhis yazılımları incelendiğinde genellikle 1) kemiklerin bölütlenmesi 2) yarı otomatik / tam otomatik kırık tespiti 3) Kırık kemik sınıflandırması üzerine odaklandıkları görülmektedir. Kemiklerin bölütlenmesi ile ilgili literatürde birçok çalışma önerilmiştir. Behiels ve arkadaşları [8] röntgen görüntülerinden kemik tespiti ve bölütlemesi konusunda minimum maliyetli yol (Minimal Cost Path) metodu ile aktif şekil modelleri (Active Shape Models) yöntemini kullanmışlardır. Jiang ve arkadaşları [9], genel şekil modeli (Global Shape Model) ve jeodezik aktif sınırlar (Geodesic Active Contours) yöntemlerini birleştirmek suretiyle, Ding ve arkadaşları

[10] ise röntgen görüntülerinden femur ve pelvis kemiklerinin otomatik bölütlenmesi amacıyla atlas tabanlı bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Pilgram ve arkadaşları [11] tarafından yapılan çalışmada Canny kenar bulma algoritmasının ardından Hough dönüşümü ve aktif şekil modelleri yöntemlerini kullanarak proximal femur bölütlemesini gerçekleştirmişlerdir. Korürek ve arkadaşları [12] ise parametreleri genetik algoritmalar tarafından hesaplanan geliştirdikleri homojen olmayan yoğunluğu düzeltme algoritması yardımıyla, el röntgen görüntülerinin bölütlemesini gerçekleştirmişlerdir. Riberio ve arkadaşları [13] Gabor filtreleri ve sinir ağı (Neural Network) kullanarak lumbar spinal kemiklerinin tespitini gerçekleştirmişlerdir. Liang ve arkadaşları [14] tarafından yapılan çalışmada morfolojik metodlar yardımıyla kemik kırıklarının bölütlenmesini gerçekleştirmişlerdir. Bandyopadhyay ve arkadaşları [15] kemiklerin otomatik bölütlemesini entropy tabanlı bir yöntem kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Lindner ve arkadaşları [16] ise Pelvic röntgen görüntülerinden femur kemiğinin otomatik bölütlemesini sınırlı yerel modellerde (Constrained Local Model) rastgele orman regresyon algoritması (Random Forest Regression) ile gerçekleştirmişlerdir. Chen ve arkadaşları da birleşik tahmin yöntemi (Joint Estimation Scheme) ve istatistiksel şekil modelleri (Statistical Shape Model) kullanarak femur, proximal femur ve pelvis kemiklerini [17], rastgele orman regresyon algoritması, şekil düzenleme yöntemlerini ve FL-HoG (Flexible-Level Histogram of Oriented Gradients) özneliği yardımıyla AP pelvis [18] kemiklerini otomatik olarak bölütlemesini gerçekleştirmişlerdir.

Kemik kırıklarının bilgisayar destekli teşhisi konusunda da literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Tian ve arkadaşları [19] Femurun boyun eksenini ve shaft eksenini arasındaki açığı (NSA) hesaplayarak yapmıştır. Yap ve arkadaşları [20] ise NSA ve Gabor Oryantasyonları (GO) özneliklerini kullanarak kemik kırık tespitini gerçekleştirmiştir. Lim ve arkadaşları [21] ise NSA, GO, Gradyen Yoğunluk Yönü (IGD) ve Markov Rastgele Filtreler (MRF) özneliklerini kullanarak kırık tespiti yapmışlardır. Lum ve arkadaşları [22] yine GO, IGD ve MRF özneliklerini kullanmış fakat sınıflandırıcıları birleştirmek suretiyle kırık tespit başarımını arttırmıştır. He ve arkadaşları [23] ise femur kırıklarını Gabor ve yoğunluk değişimi (intensity gradient-IG) özneliklerini kullanarak hiyerarşik destek vektör makinesi

(DVM) sınıflandırıcı ile tespit etmişlerdir. Ekşi ve arkadaşları [24] ortalama renk değerlerini kullanarak yapay sinir ağları yardımıyla çeşitli kırık türlerinin tespitini yapmışlardır. Mahendran ve arkadaşları [25] doku özelliklerini kullanarak çeşitli sınıflandırıcıları birleştirerek Tibia kırıklarının tespit etmişlerdir. Uzun kemik kırıklarının tespiti konusunda, Donnelley [26] doğrusal olmayan anizotropik dağılım (anisotropic diffusion) metodu yardımıyla kemik kenar çizgisini tespit ettikten sonra Hough dönüşümü ve Gradyan analizinden yararlanarak uzun kemik kırıklarının tespitini yapmıştır. Chai ve arkadaşları [27] tarafından yapılan bir çalışmada ise gri seviye eş oluşum matrisi (GLCM) yöntemini kullanılarak uzun kemik kırıkları tespit edilmiştir. Linda ve arkadaşları [28] bulanık index ölçüm (fuzzy index measure) yöntemini kullanarak çatlak tespitini gerçekleştirmişlerdir. Smith ve arkadaşları da [29] ayrık dalgacık dönüşümü yöntemini kullanarak pelvic kırıklarının tespiti üzerine bir çalışma yapmışlardır. Wei ve arkadaşları [30] femur diaphyseal kırıklarının (oblique ve transverse) Hough dönüşümü yardımıyla sınıflandırmışlardır.

Literatürde röntgen dışında diğer görüntüleme yöntemleri ile de bilgisayar destekli teşhis yöntemleri bulunmaktadır. Hacıhaliloğlu ve diğerleri 3D yerel faz, faz simetri ve 3D Log-Gabor özelliklerinden faydalanarak ultrason görüntüler üzerinde kırık teşhisi ve konumlandırmasını [31] bir başka çalışma da ise 3D Radon transform özelliklerini de kullanarak 3D ultrason görüntüleri yardımıyla CT görüntülerinde kemik konturlarını tespit etmişlerdir [32]. Wu ve arkadaşları [33] CT görüntüleri üzerinden Pelvic kemiği kırıklarının kayıtlı aktif şekil model (registered active shape model) yöntemini kullanarak tespit etmişlerdir. Burghardt ve arkadaşları [34] ise Trabecular kemiklerinin  $\mu$ CT görüntülerinden bölütlenmesi için yeni bir yerel uyarlanabilir eşik (Local Adaptive Threshold) yöntemi önermişlerdir. Zhang ve arkadaşları [35] da CT görüntüleri üzerinden kemikleri daha hızlı eşikleyebilen 3D uyarlanabilir eşik (Adaptive Threshold) yöntemi önermişlerdir. Roberts [36] ve arkadaşları da DXA görüntüleri üzerinden Vertebral kırıklarının çoklu aktif görünüş modelleri (Active Appearance Models) ve yarı otomatik segmentasyon kullanarak tespit etmişlerdir. Chowdhury ve arkadaşları [37] ise volumetric CT görüntülerinden ortalama yoğunluk ve boşlukların ortalama eğrilik toplamı (sum of mean curvatures for valley) ile çizge kesit (Graph Cut) yöntemlerini kullanarak pelvic kırıklarının



otomatik olarak tespitini yapmışlardır. Ababneh ve arkadaşları da MR görüntüleri üzerinden diz kemiklerinin tespitini yapmak için genel maliyet (Global Cost) yöntemini kullanan çizge kesit algoritması geliştirmişlerdir [38].

Kemik kırıklarının sınıflandırılması ile ilgili literatürde çok az sayıda çalışma bulunmaktadır. Uzun kemiklerin sınıflandırması ile ilgili yapılan ilk çalışmada Funk ve diğerleri [39] kırıkların sınıflandırılması için bir başlangıç çalışması önermişlerdir. Bir diğer çalışmada ise Wei ve arkadaşları [30] 2 tip kırığın sınıflandırılması için bir yöntem önermişlerdir.

## **1.2. Tez Çalışmasının Amacı, İzlenen Çalışma Yöntemi ve Katkıları**

Bu tez çalışmasının başlıca amacı, kemik kırıklarının sınıflandırılması ve uygun olan tedavinin önerilmesinde hekimlere destek olacak ve hekimlerin iş yüklerini bir nebze olsun hafifletecek bir karar destek sistemi tasarlamaktır. Günlük hayatta birçok farklı kırık vakasının görülebilmesi ve her kırık türünün kendine has ayrı bir tedavi gerektirebilmesi böyle bir destek sisteminin önemini arttırmaktadır. Bu sebeple, tez çalışmasında literatürde henüz hiç önerilmemiş bir tam-otomatik bilgisayar destekli kırık sınıflandırıcı sistemi geliştirilmiştir. Femur Kemiği Diafiz bölgesi kırıklar için geliştirilen bu sınıflandırıcı kısaca FEDİKS olarak adlandırılmıştır.

FEDİKS, farklı işlem basamaklarından oluşan ve tam-otomatik bir bilgisayar destekli teşhis sistemidir. Önerilen sistemde, röntgen görüntülerindeki arka plan bilgilerini gidermek ve görüntüleri ikili formata çevirmek için ilk olarak Niblack yerel eşikleme metodu kullanılmıştır. Gerçekleştirilen çeşitli deney sonuçlarına göre, Niblack diğer bilinen bölütleme yöntemlerine göre daha fazla gürültü oluştursa da kırık bölgesinde daha az bilgi kaybına yol açmaktadır. Bu sebeple, FEDİKS yönteminde Niblack metodu tercih edilmiştir. Bundan sonraki işlem basamağında bölütleme işleminde oluşan gürültüleri yok etmek için yeni bir Destek Vektör Makinası-tabanlı hassas gürültü giderme (DETHAG) tekniği önerilmiştir. DETHAG ile kemik parçaları ile gürültüler birbirlerinden hassas bir şekilde ayrıştırılmıştır. Bir diğer işlem basamağında ise kırıkları sınıflandırabilmek için kırık parça sayısı (KPS), kırık ucu

eğimi (KUE), kemik bütünlüğü göstergesi (KBG) ve kırık bölge haritası (KBH) adında birçok yeni özellik çıkarım yöntemi geliştirilmiştir. Son işlem basamağında da kırık türlerini sınıflandırabilmek için Çoklu Sınıflı Destek Vektör Makinası kullanılmıştır.

Bu tez çalışmasında önerilen yöntemler ve bu çalışmayı klasik eşleniklerinden ayıran katkılar özetle şunlardır:

- Literatürde bilgisayar destekli kırık teşhisi ve sınıflandırması ile ilgili çalışmalara ait detaylı bir literatür taraması sunulmuştur.
- Femur Diafiz bölgesi kemik kırık vakalarını AO-32 sınıflandırma tekniğine göre otomatik olarak sınıflandıran ve ilgili kırık türü için uygulanması gereken tedavi konusunda doktorlara yol gösterecek literatürdeki ilk yardımcı araç tasarlanmıştır.
- Kemik kırıklarının yüksek başarımla tespit edilebilmesi için Destek Vektör Makinası-tabanlı hassas gürültü giderme (DETHAG) olarak adlandırdığımız yeni bir ön-işleme yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntem ile bölütleme sonucunda oluşan değişik gürültüler kemik dokusuna zarar vermeden DVM sınıflandırıcı yardımı ile hassas bir şekilde temizlenebilmiştir.
- Farklı kırık türlerini sınıflandırabilmek için Kemik Bütünlüğü Göstergesi (KBG) ve Kırık Bölge Haritası (KBH) olarak adlandırdığımız 2 yeni özellik çıkarım yöntemi önerilmiştir. KBG, kemikte oluşan kırıkların kemik bütünlüğünün ne kadar bozulduğunu gösterdiği için özellikle kama ve karmaşık kırıkların birbirlerinden ayrılmasına olanak sağlamaktadır. KBH ise, kırıklardaki spirallik, karmaşıklık ve devamlılık gibi özelliklerin elde edilmesini sağladığı için farklı türdeki kırıkların ayrıştırılmasına imkân sağlamaktadır.

- Gerçekleştirilen detaylı deney sonuçlarına göre önerilen sistem yardımıyla Femur Diafiz bölgesi kırıkları %89,87 gibi yüksek bir oranındaki başarıyla sınıflandırabilmektedir. Ayrıca, önerilen sistemin başarımı iki tecrübeli hekimin başarısıyla kıyaslanmış ve hekimlerin sınıflandırma başarımına yakın bir oranda sınıflandırma yapabildiği dolayısıyla klinik ortamda kullanılabilen yardımcı bir araç olduğu gözlemlenmiştir.

### 1.3. Tez Organizasyonu

Tez organizasyonu aşağıda özetlenen beş bölümden oluşmaktadır:

Bölüm 1: Giriş: Bu bölümde tez çalışmasına konu olan probleme dair genel bilgiler, çalışmanın amacı, literatürde bu problemin çözümü üzerine yapılan çalışmaların özetleri, tez çalışmasını yapılan diğer çalışmalardan ayıran temel özellikler ile tez organizasyonu hakkında bilgi sunulmaktadır.

Bölüm 2: Kemik kırıkları ve sınıflandırılması: Bu bölümde kemiklerin genel yapısı, işlevleri ve kemik çeşitleri hakkında bilgiler verilmiştir. Kemik kırıklarının çeşitleri ve tedavi yöntemleri hakkında bilgiler sunulmuştur. Günümüzde kullanılan kırık sınıflandırma yöntemleri açıklanmıştır.

Bölüm 3: Femur kemiği diafiz bölgesi kırıklar için bilgisayar destekli sınıflandırıcı tasarımı: Bu bölümde FEDİKS sisteminin tasarımına ait bilgiler ve sistemi oluşturan bileşenlerin özellikleri detaylandırılmıştır. Öncelikle sistemin tasarım basamakları açıklanmış, daha sonra gerçekleştirilen görüntü bölütleme, görüntü iyileştirme, özellik çıkarımı ve sınıflandırma işlemleri hakkında bilgiler verilmiştir.

Bölüm 4: Deneysel sonuçlar: Bu bölümde değerlendirmelerde kullanılan FEDİKS görüntü seti hakkında bilgi verilmiştir. Daha sonra önerilen sistemin başarımlarını değerlendirmesi için gerçekleştirilen deneyler ve sonuçları verilmiştir.

Bölüm 5: Sonuçlar ve değerlendirmeler: Son bölümde, yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçların bilime sağlayabileceği katkılar tartışılmıştır. İlerleyen çalışmalar için yapılan öneriler de bu bölümde sunulmuştur.



## **BÖLÜM 2. KEMİK KIRIKLARI VE SINIFLANDIRILMASI**

### **2.1. Kemik**

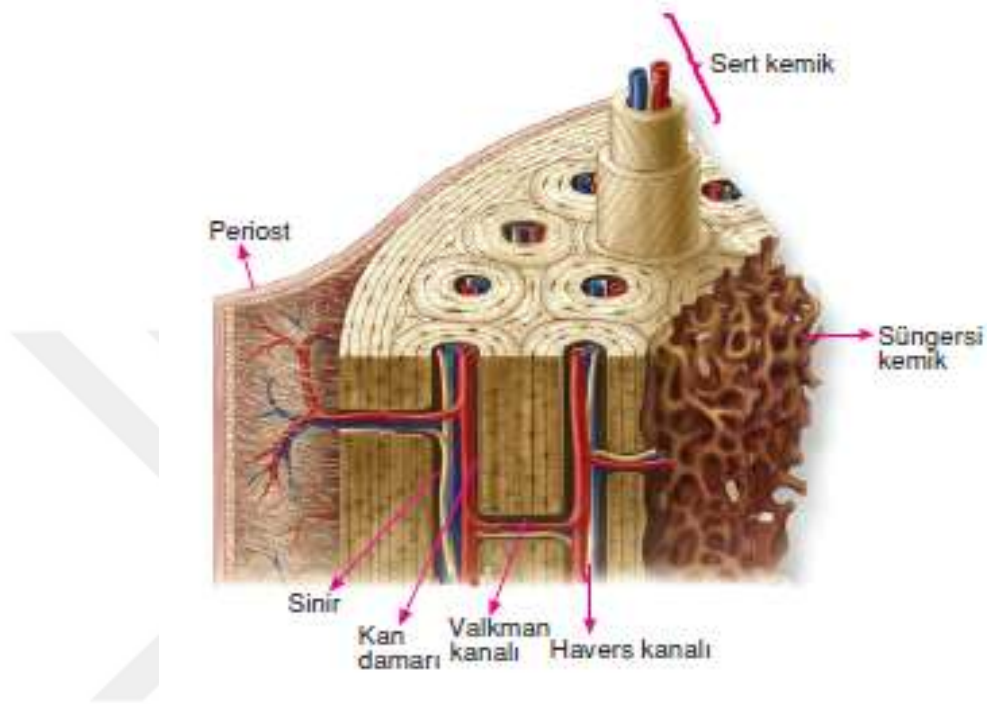
Kemik insan iskeletinin en önemli yapısını oluşturur ve esnemeyi sağlayıcı (mineralize kollajen) yapısı olan özelleşmiş, canlı ve dinamik bir bağ dokusudur [40]. Kemik, makro yapısından mikroskobik yapısına kadar tüm bölümlerinde minimum ağırlık ve maksimum ekonomik materyalle çok büyük bir dayanıklılığa sahiptir. Kemik, basınç, çekilme, eğilme ve bükülmelere karşı yüksek derecede dayanıklıdır ve aynı zamanda oldukça hafif bir materyalden oluşmuştur [41]. Bu bölümde, kemiğin yapısı, türleri, kemik kırıkları ve kırıkların sınıflandırılması hakkında bilgi verilecektir.

### **2.2. Kemiğin Yapısı**

Kemik dokusu türdeş olmayan bir yapıdadır. Kemiğin bileşenleri ve yapısı, iskelet sistemi bölgesine, fizyolojik fonksiyona, biyolojik yaşa ve cinsiyete göre değişiklik göstermektedir. Buna karşın, kemik dokusunun temel bileşenleri aynıdır [42]. Kemik, organik ve inorganik maddelerden meydana gelir ve ağırlığının %70'ini mineraller, %5–8'ini su, geri kalanlarını da organik matriks (doku ara maddesi) oluşturur [43]. Kemikte bulunan organik bileşenlerin %98'ini kollajen ve nonkollajenöz proteinler, %2'sini ise kemik hücreleri oluşturmaktadır [44,45]. Vücudumuzda bulunan kalsiyumun % 99'u, fosforun % 86'sı ve magnezyumun % 54'ü kemiklerimizde bulunmaktadır [46].

Kemik dokusu mikroskopta incelendiğinde yıldız biçiminde mineral tuzlarla dolu oseinden oluşmuş sert bir madde içinde bulunan canlı hücreler halinde görünür. Her hücre kendi kemik boşluğu içinde yer alır ve uzantılarla diğer hücrelere bağlıdır.

Hücreler kendine bağlı damarların ve sinirlerin çevresinde iç içe sıralar halinde yer alırlar. Bu biçimde sıralanarak oluşturdukları kemik kanallarına Havers kanalı adı verilir [42]. Şekil 2.1’de kemiğin oluşturan bileşenler görülmektedir.

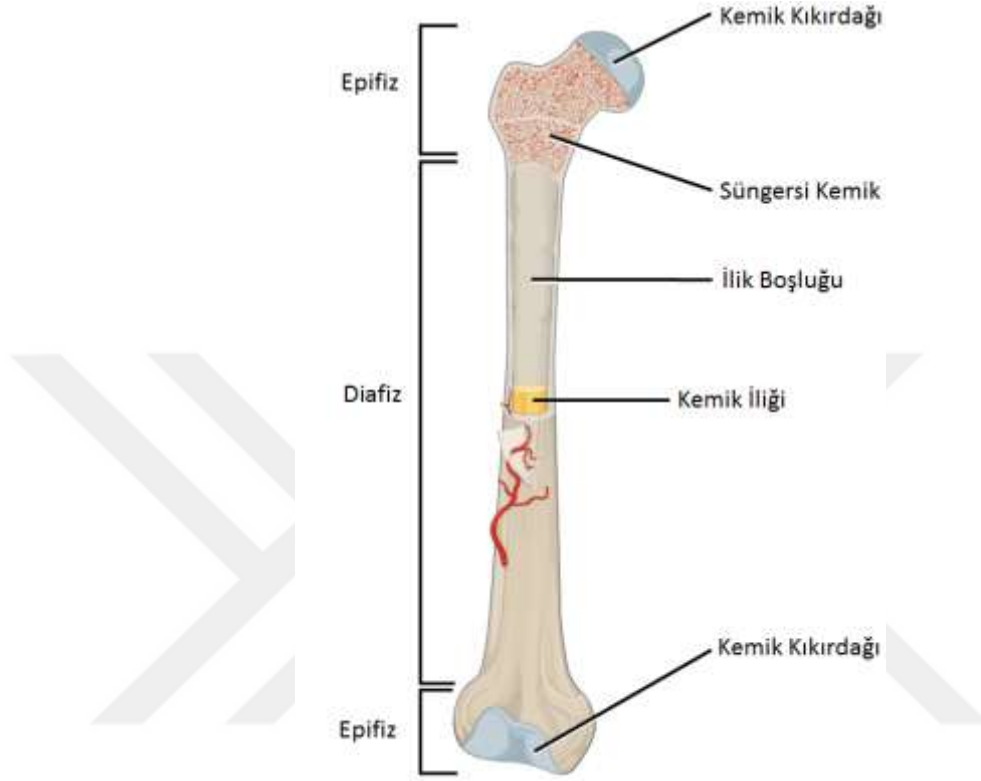


Şekil 2.1. Kemik dokuyu oluşturan yapılar [47]

Taze bir kemiğin kesitinde, kemik zarı (periost), eklem kıkırdağı ve süngersi kemik dokusu gibi farklı bölümleri ayırt edilebilir. Kemik zarı, ortalama kalınlığı 2mm kadar olan ve kemiğin bütününe, bağ ve kiriş tutunma yüzeyleri ile eklem kıkırdakları dışında, bir kılıf gibi saran lifsel yapıda bir zardır. Kemik zarı esnek lif bakımından zengin olan derin yüzüyle kemiğe yapışmıştır. Kemiği besleyen damarlar, aynı zamanda içinden geçtikleri kemik zarını da beslerler. Kemik zarının kemiğin enine büyümesinde ve yenilenme olaylarında çok önemli bir işlevi vardır. Fakat bu özellikleri verimli denilen genç kemik zarı taşır; bu özellikler yaşla birlikte azalmaktadır. Kıkırdak ise daha altta bulunan kemiğin aşınmasını önleyerek, kemik eklem bölümleri arasında yastık görevi gören esnek dirençli bir dokudur [42].

Vücudun femur gibi uzun bir kemiği ele alınacak olursa, Şekil 2.2’de görüldüğü gibi bu kemiğin iki uç tarafı veya eklemlerinin bulunduğu bölge epifiz, bunların arasında

yeralan uzun bölgeye ise diafiz adı verilir. Epifiz kısmı ince kompakt kemikle kaplıdır ve süngersi kemik dokusundan yapılmıştır. Diafiz bölümü ise kompakt kemik dokusundan yapılmıştır ve ortasında da kemik iliği bulunur [48].



Şekil 2.2. Kemğin yapısı [49]

### 2.3. Kemiklerin İşlevleri

Kemikler iskelette mekanik bir rol oynadıkları gibi, kaslar için bağlanma noktaları oluşturmak, iskelet yapısı içinde kaldıraç ve yumuşak dokular için ise destek olarak görev yapmak gibi çok sayıda işlevi bulunmaktadır. Kafatası ve omurga gibi kemikler hayati sinir merkezleri olan beyin ve omuriliği korur. Bununla birlikte kalp, büyük damarların başlangıcı ve akciğerler de göğüs kafesi içinde yer alırlar. Kemikler vücudumuzun mineral yapısının deposunu oluştururken, kemik iliği kandaki katı cisimcikler için etkin bir merkez görevi yapar [42]. Genel olarak kemiğin başlıca görevleri: 1) Kemik matriksinde mineral birikimi olduğu için, ağırlık taşıyabilir ve vücut için rijit bir iskelet olarak görev yapar. 2) Kaslar için tutunma

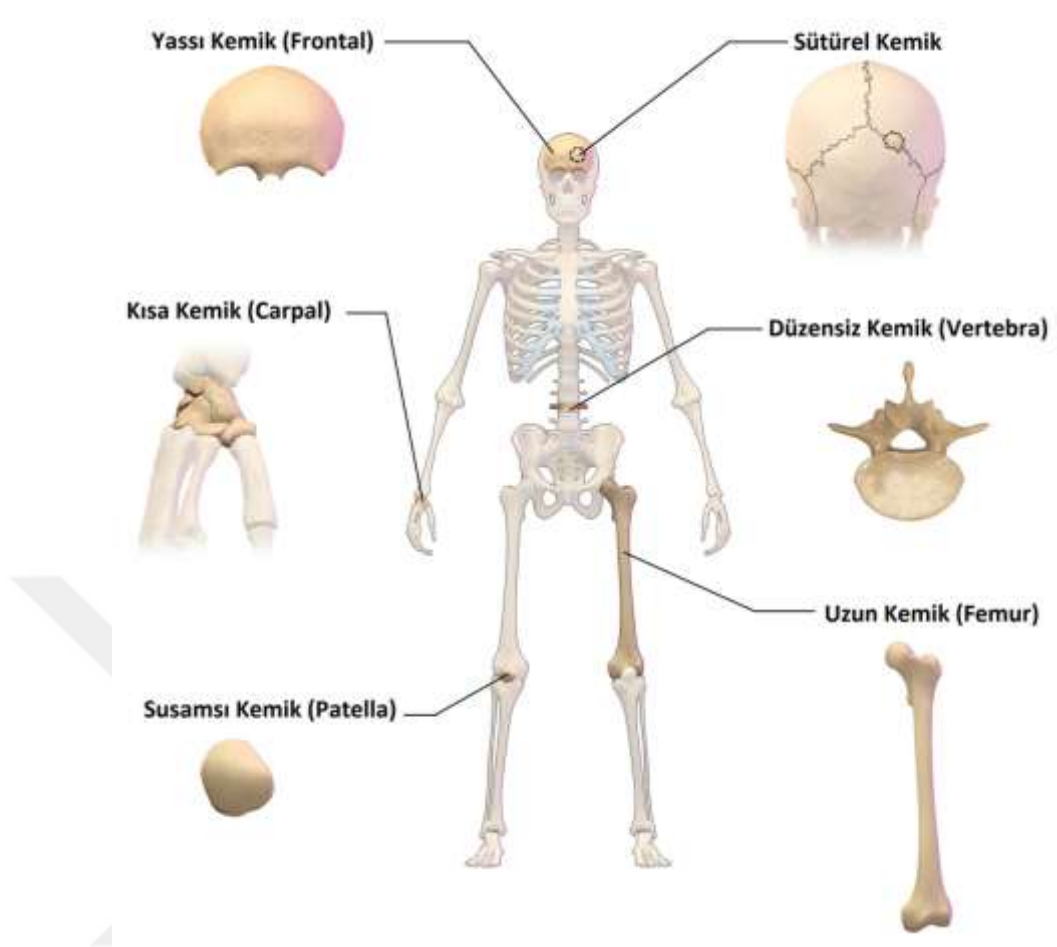
yeri oluşturarak hareketi sağlar. 3) Bazı organlar için (beyin, akciğer, kalp v.b) koruyucu olarak görev yapar. 4) Kan hücrelerinin yapımında görev yapar. 5) Büyüme için sağlar. 6) Kemik kalsiyum, fosfat ve diğer mineraller için depo görevi yapar [50,51].

#### **2.4. Kemik Çeşitleri**

Kemikler şekillerine göre, uzun, kısa, yassı, düzensiz, sütürel ve susamsı kemikler olarak sınıflandırılmaktadır.

Uzun kemikler özellikle kol ve ayaklarda bulunmaktadır. Örneğin uyluk kemiği, kol kemiği, dirsek kemiği ve kaval kemiği uzun kemiktir. Kısa kemikler ise iri yapılıdır, her üç boyutu da birbirine eşittir. Örneğin el bileği kemiği, ayak bileği kemiği kısa kemiktir. Yassı kemikler, yüzeyleri geniş ve pek kalın olmayan kemiklerdir. Bazıları hareketsizdir; örneğin kafatası kemikleri, kürek kemikleri ise göğüs kafesi üzerinde kaydıkları için hareketlidir. Sütürel kemikler ise testere dişi biçiminde kesilmiş olan kenarları komşu kemiklerin kenarlarına yapışmıştır. Susamsı kemikler, kas tendonları içinde bulunur ve tendonların aşınmasını önlerler. Bunların dışında kalan düzenli bir biçimi olmayan omurga kemikleri gibi kemiklerde düzensiz kemiktirler [42].





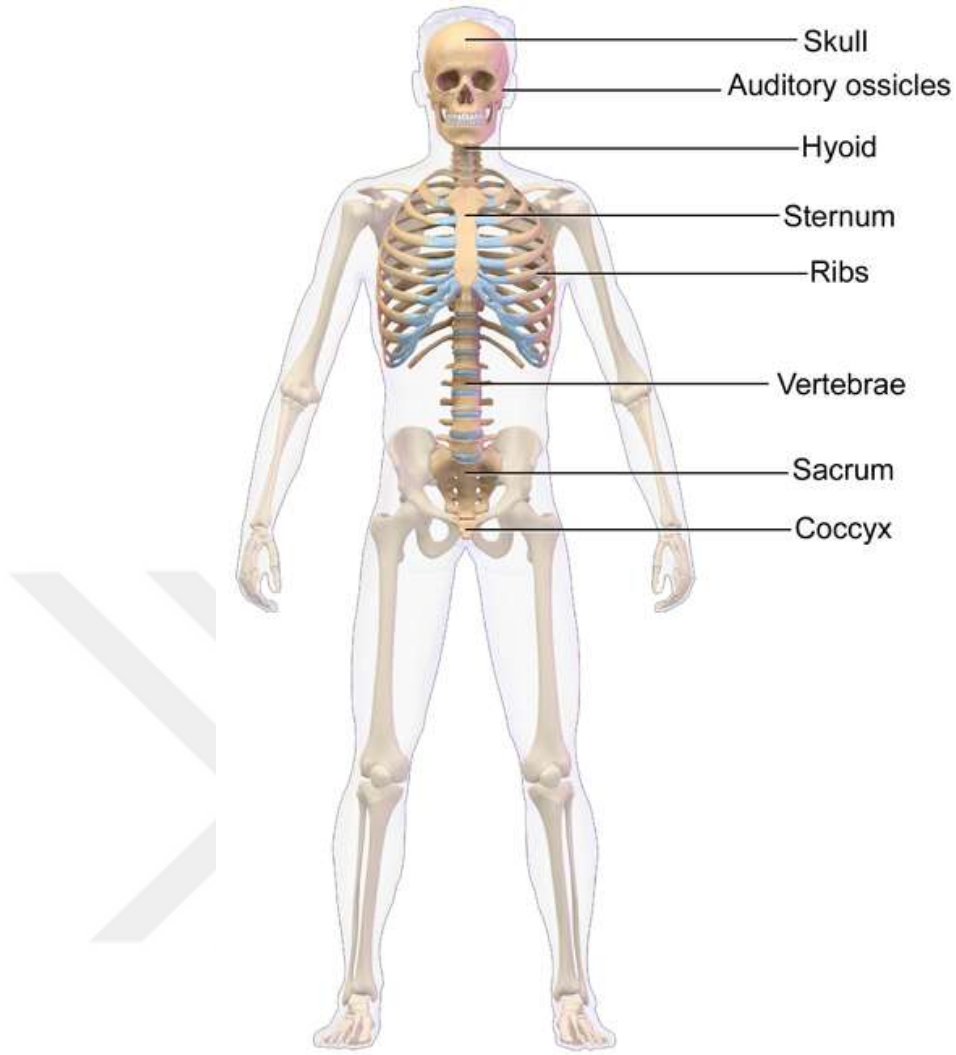
Şekil 2.3. Şekillerine göre kemikler [52]

## 2.5. İskelet Sistemi

Dışlerden sonra vücudun en sert yapısı olan kemikler, erişkin bir insan vücudunun ağırlığının yaklaşık %15'i kadar olup, toplam ağırlığı yaklaşık 5-6 kg. civarındadır. Erişkin bir insan iskeleti ortalama 206 kemikten oluşur. Bu sayı çocuklarda henüz bazı kemik bölümlerinin kaynaşmamış olmadığından dolayı doğumda 270, 14 yaşında 254'tür. İnsan iskeleti 2 kısımda incelenir. Bunlar;

- Gövde İskeleti (Axial)
- Üye İskeleti (Appendicular)

Gövde iskeleti; baş kemikleri, omurga ve göğüs kemikleri olmak üzere 3 bölümdür ve yetişkin insanda toplamda 80 adet gövde iskeleti kemiği bulunur.



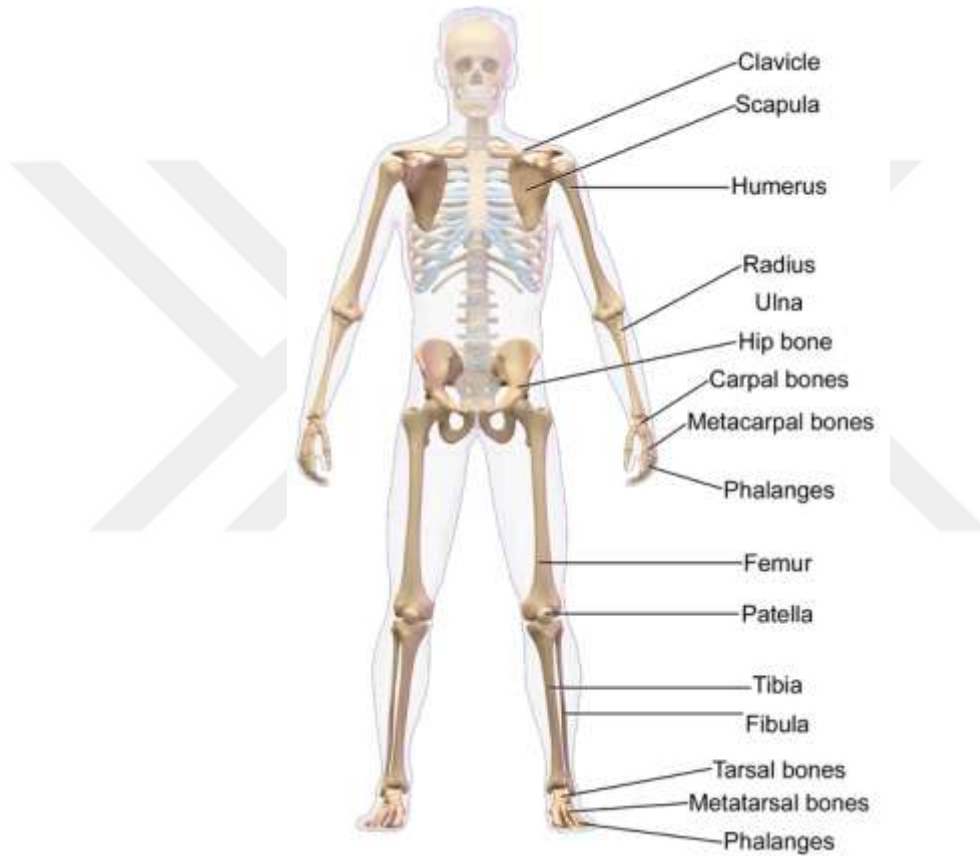
Şekil 2.4. Gövde (Axial) iskeleti [52]

Baş kemikleri (cranium) toplam 22 adettir. Beyni içine alan kısım ve kafa kemikleri (neurocranium) 8 adet kemikten oluşur. Ağız, yüz ve burun kemiklerine ise yüz kemikleri (viscerocranium) adı verilir ve 14 adet kemik içerir.

Omurga kemikleri (columna vertebralis) toplam 33 adettir. 7 adet boyun kemiği (vertebra cervicales), 12 adet göğüs kemiği (vertebra thoracicae), 5 adet bel kemiği (vertebra lumbales), 5 adet kuyruk sokumu kemiği (vertebra sacrales) ve 4 adet kuyruk kemiği (os coccygis) olmak üzere beş kısımda incelenir.

Göğüs kemikleri (Ossa throcis); 24 adet kaburga (costae) ve 1 adet göğüs tahtası (sternum) olmak üzere 25 adet kemikten oluşur. Kaburgalar arkadan göğüs omurlarıyla, önden sternuma bağlıdır fakat son iki kaburganın uçları serbesttir.

Üye iskeleti; kol kemikleri, kalça ve bacak kemiklerinden oluşur ve yetişkin insanda toplam 126 adet üye iskeleti kemiği bulunur.



Şekil 2.5. Üye (Appendicular) iskeleti [52]

Kol kemikleri toplam 64 adettir. 2 adet kürek kemiği (scapula), 2 adet köprücük kemiği (clavicula), 2 adet kol kemiği (humerus), 4 adet önkol kemikleri, (radius ve ulna), 54 adet bilek kemikleri (carpal) ve el kemikleri (ossa manus) bulunur.

Kalça ve bacak kemikleri 62 adettir. 2 adet kalça kemiği (coxae) omurgayı oluşturan 1 adet sacrum ile birleşerek leğen kemiği (pelvis) adı verilen yapıyı oluşturur. 2 adet uyluk kemiği (femur) leğen kemiğine bağlanır. Diz kapağının altında 2 adet kaval

(tibia) ve 2 adet baldır (fibula) kemikleri vardır. Daha sonra toplam 53 adet ayak tarak kemikleri (ossa metatarsi) ve ayak parmak kemikleri (phalanges) yer alır.

## 2.6. Kemik Kırıkları

Dışarıdan veya içeriden etki eden kuvvetlerle kemik dokusunda oluşan ayrılmaya veya bu sebeplerle kemiğin bütünlüğünün ve devamlılığının bozulmasına “Kırık” denilir. Kemikteki kırılma, etki eden kuvvetlerin derecesine ve kemiğin şoku abzorbe edebilme özelliğine göre ufak bir çatlaktan (fissür), bir veya birçok kemiğin kırılmasına; hatta komşu eklemlerde çıkık eşlik etmesine (kırıklı-çıkık) kadar farklılık gösterebilir. Kırığı oluşturan kuvvet sadece kemiği kırmayıp, beraberinde kemiğin etrafındaki deri, kaslar, tendonlar, ligamentler, damarlar, sinirler ve komşu organları da yaralayabilir [53–55].

Kemik yüksek bir metabolik aktiviteye sahiptir. Olgun kemik dokusunda metabolik aktivite, birbirine zıt iki mekanizma ile oluşur. Bu mekanizmalar kemiğin rezorpsiyonu (yıkımı) ve kemiğin formasyonu (yapımı) olarak ifade edilir ve yeniden yapılandırma (Remodeling) diye adlandırılır. Bu iki mekanizma sayesinde kemik normal yapısını korur ve sürekli olarak yenilenir. Böylece, mekanik stresi, yaşlılık veya hastalığın neden olduğu kemik incelmesini engellediği gibi vücudun mineral gereksinimini ve kırık iyileşmesini de sağlar. Bu özelliğinden dolayı kemik, homojen bir yapıda değildir. Bu özellikler canlının türü, yaşı ve sağlık durumuna göre değişir. Örneğin genç bir canlının kemiği yaşlıya göre daha az kırılığandır ve daha çok kan taşır, fakat yaş ilerledikçe kemik minerali (hidroksiapatit) kristallerinin oran ve boyutlarının artması ile birlikte kemiğin kırılma olasılığı da artar [50,56].

Kemiğin sertlik ve kuvveti hidroksiapatit kristalleri ve kollajene bağlıdır. Hidroksiapatit kristalleri, vücut kemikte depolanan kalsiyum ve fosfata ihtiyaç duyduğunda iyonize olur ve gerekli miktar serbest bırakılır. Kemiğe dayanıklılık ve esnekliği matriksteki kollajen liflerinin ağı sağlar. Bununla birlikte inorganik tuzlarda kemiğin sertliğini sağlar. Kemikten su ve organik maddeler çıkartıldığında kemik kolaylıkla kırılabilir [50].

## 2.7. Kırık Çeşitleri

Kırık çeşitlerinin ayrımı farklı yollarla yapılabilmektedir. Bunlar [42,55,57];

- Kırık çizgisinin yönüne göre kırıklar
- Kemiğin özelliğine göre kırıklar
- Kırık derecesine göre kırıklar
- Kırık sayısına göre kırıklar
- Kırık bulunan cildin ve yumuşak dokunun durumuna göre kırıklar
- Kırıkların eklemle bağlantısına göre kırıklar

### 2.7.1. Kırık çizgisinin yönüne göre kırıklar

Bu tip kırıklarda, kırık çizgisinin kemik eksenine göre yaptığı açıya göre ayırım yapılır. Buna göre enlemesine, uzunlamasına, eğik, spiral, parçalı ve epifiz kayması kırıklar olmak üzere 6 çeşittir [42,55,57].

*Enlemesine (Horizontal) kırıklar:* Kemik eksenine ile kırık çizgisi doksan dereceye yakın bir açı oluşturur. Genellikle doğrudan travmalarda makaslama mekanizması ile darbenin geldiği bölgede rastlanmaktadır.

*Uzunlamasına (Sagittal) kırıklar:* Kemik eksenine ile kırık çizgisi paralel olan kırıklardır ve oldukça nadir görülmektedir. Daha çok parmak veya metakarpal kemiklerde görülmektedir ve kemiklerin baskı altında ezilmesi sonucunda oluşur. Bu ezilme daha çok enlemesine kırıklarla birlikte görülür.

*Eğik (Oblik) kırıklar:* Kemik eksenine ile kırık çizgisi dar bir açı oluşturmaktadır. En çok görülen kırık çeşididir ve bükülme ile meydana gelmektedir.

*Spiral (Helezoni) kırıklar:* Kırığın bir ucu sabit iken, diğer ucunun kemiğin uzunlama eksenine etrafında dönmesi ile meydana gelir. Sık görülen kırık tiplerindedir ve dönme hareketi sonucu meydana gelir.

*Parçalı kırıklar:* Bu tip kırıklarda birden çok kırık çizgisi vardır. Kırık çizgisi karışık yönlerde ilerler. Özellikle ateşli silah yaralanmalarında görülmektedir.

*Epifiz Kayması (Epiphysiolysis):* Kemiğin epifiz hattından ayrılmasıdır ve daha çok 7-14 yaşları arasında görülür. Bu tür kırıklar, radius alt ucunda görülebildiği gibi epifizi henüz kapanmamış olan bütün kemiklerde de görülebilir.

### **2.7.2. Kemiğin özelliğine göre kırıklar**

Bu kırıklarda, travmaya uğrayan kemik dokusunun özelliğine bakılır. Buna göre, kırıklar travmatik, yıpranma ve patolojik olmak üzere üçe ayrılır [42,55,57].

*Travmatik Kırıklar:* Bu tip kırıklar sağlam kemiğe etkiyen bir travma sonucunda meydana gelir. Genel olarak farklı bireylere uygulanan aynı şiddette bir travma, aynı lezyonu meydana getirir. Fakat burada yaşın önemi büyüktür, aynı travma değişik kemik durumları dolayısıyla farklı yaş gruplarında farklı sonuçlar doğurur. Yine, diğer kemiklerin farklı yapı ve dayanıklılıkta olmaları ve buldukları bölge sebebiyle travmaya uğrama ihtimallerinin düşük ya da yüksek olması yüzünden, kırılma ihtimalleri ve şekilleri de farklı olur [42].

*Yıpranma Kırıkları:* Bu tip kırıklar, normal travma sonucu oluşan kırıklar gibi şiddetli bir travma sonunda ani bir ağrı ile meydana gelmez, genelde kemiğin yenilenme gücünü aşan uzun bir yıpranma sonunda meydana gelen kırıklardır. Bu kırıklarda travma meydana gelmeksizin, kemik dokusunun bir yerinde küçük mekanik kuvvetlerin aynı noktada toplanması sonucu, yıpranma/yenilenme dengesi bozulur ve kemikte patolojik bir değişiklik meydana gelir [42].

*Patolojik Kırıklar:* Bu tip kırıklarda kemik patolojik değişiklikler yüzünden dayanıksız bir hale gelmiştir ve kırık kemiğe uygulanan hafif bir kuvvet sonunda oluşur. Bu tür kırıkların teşhisi ancak anamneze dayanarak yapılmaktadır ve sebepleri üç grupta toplanabilir [42]:

- Sistemik kemik hastalıkları
- Kemikteki bölgesel sebepler
- Nöropatik sebepler

### 2.7.3. Kırık derecesine göre kırıklar

Bu kırıklarda kemik dokusunun bütünlüğüne ve kemikteki kırık parçalarının ayrılma durumuna bakılır. Ayrılmış ve ayrılmamış kırıklar olmak üzere iki çeşittir [42,55,57].

*Ayrılmış (Deplase) kırıklar:* Bu tip kırıklarda kemik dokusunun bütünlüğü tamamen kaybolmuştur ve kemik birkaç parçaya ayrılmış olabilir. Kırık sonucunda iki ayrı uç mevcuttur. Ayrılmış kırıklarda vücut merkezine yakın olan parçaya proksimal fragment, uzak olan parçaya distal fragment denir. Parçaların vücut merkezine yakın olan ucuna proksimal uç, uzak olan ucuna ise distal uç ismi verilmektedir.

*Ayrılmamış (Non-deplase) kırıklar:* Bu tip kırıklarda kemik dokusunun bütünlüğü kısmen korunmaktadır ve kırık parçaları kemikten ayrılmamıştır. Bu kırıklar bazı alt gruplara ayrılır:

- a) Fissur (Çatlak): Bu kırıklar, yarım kalmış kırıklar olarak tanımlanabilir. Kemik dokusunun bütünlüğü tamamen bozulmaz. Çatlaklar daha çok yassı kemiklerde görülür, fakat bazı kırık türlerinde diğer kemiklerde de rastlanır.
- b) Infraction (Bükülerek çatlama): Bu kırıklara subperiostal kırıklar da denir ve özellikle çocuklarda görülür. Kemğin cortical kısmı sadece bir taraftan kırılır, diğer kısımda ise herhangi bir değişiklik görülmez.
- c) Impression kırıkları (Çökme kırıkları): Bu tip kırıklar genelde yassı ve geniş kemiklerde görülür ve bükülme kırıklarıdır.
- d) Kompresyon kırıkları: Bu kırıklarda kemik dokusu iç içe geçmiştir ve basınçtan kaynaklanan kırıklardır. Bu tür kırıklar daha çok belkemiği kırıklarında görülür.

e) Kopma kırıkları: Bu kırıklarda kemiğin ana kısmı kırılmaz ve kemik bütünlüğü korunur. Kasların ani ve şiddetli çekilmesiyle, sadece yapıştığı kemik parçası kemiğin bir yerinden kopabilir [42].

#### **2.7.4. Kırık sayısına göre kırıklar**

Bu kırıklarda, kırık oluşan kemik sayısına göre ayırım yapılır. Tek kırıklar, çift kırıklar ve çoklu kırıklar olmak üzere 3 çeşittir [42,55,57].

*Tek kırıklar:* Bu tip kırıklarda bir kemikte sadece tek bir kırık bulunur.

*Çift kırıklar:* Çift kemiklerin (radius ve ulna, tibia ve fibula gibi) her ikisinde de kırık olduğu durumlarda geçerlidir. Bu kırıklar, her iki kemikte de aynı hizada veya kemiklerden birinin üst kısmında diğerinin ise alt yarısında meydana gelir.

*Çoklu kırıklar:* Birden fazla kemikte kırık olması durumunda çoklu kırık adı verilir. Örneğin; humerus, femur ve cruris kemiklerinin üçünde birden kırık bulunduğu durum [42].

#### **2.7.5. Kırık bulunan yumuşak dokunun durumuna göre kırıklar**

Bu kırıklarda kırık bulunan yumuşak dokunun durumuna bakılır. Kapalı ve açık kırıklar olmak üzere iki çeşittir [42,55,57].

*Kapalı (Basit) kırıklar:* Bu kırıklarda kırık bölgesini kaplayan deri sağlamdır.

*Açık (Komplike) kırıklar:* Bu kırıklarda kırık bölgesini kaplayan deride kırık ile ilgili bir yara bulunur, fakat yaranın bulunması mutlaka açık bir kırık anlamına gelmemektedir. Açık kırık olabilmesi için, kırık bölgesinin bu yara yolundan dışarıya bağlantısı olmalıdır [42].



### 2.7.6. Kırıkların eklemle bağlantısına göre kırıklar

Bu kırıklarda kırığın eklemle bağlantısı bakılır. Intra artiküler ve luxation kırıklar olmak üzere iki çeşittir [42].

*Intra artiküler kırıklar:* Bu kırıklarda diafizde bulunan kırık çizgisi eklem içerisine kadar uzanmaktadır.

*Luxation kırıkları:* Bu tip kırıklar, çıkık ile beraber meydana gelen kırıklardır ve daha çok bir kenar kopması ya da kırılması söz konusudur. Ayak bileğindeki veya kalça oynagındaki kenar kopması luxation kırıklardır [42].

## 2.8. Kemik İyileşmesi

Kemik bozuklukları ve kemik kırıkları farklı kuvvetler doğrultusunda oluşur. Kırık iyileşmesi, kırık olduğu andan itibaren başlar, düzenli kemik doku ile birlikte kırık uçları birleşinceye kadar devam eder. Kırıkların iyileşmeleri darbeyi takip eden dönemde devam eden karmaşık fizyolojik süreçle meydana gelir. Bu sürecin sonunda kemik iyileşmesi yani onarım, fizyolojik adaptasyon ve yeniden yapılanma öncül ve ikincil kemik iyileşmesi adı verilen iki yol ile olur [58–60].

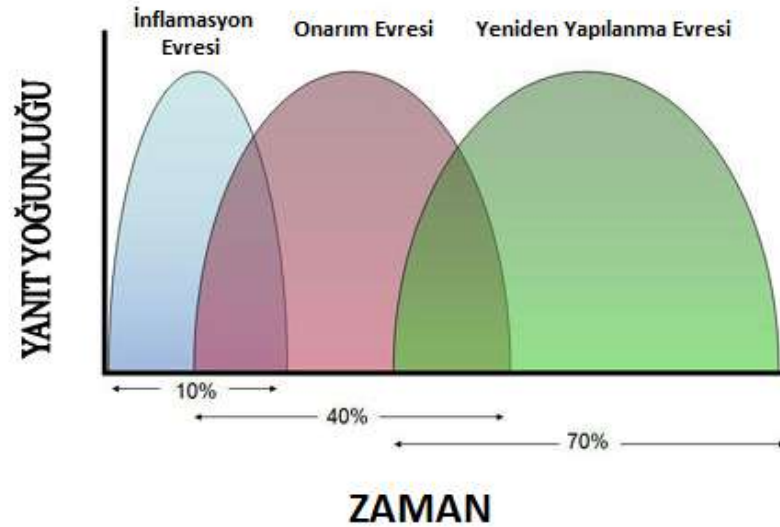
### 2.8.1. Öncül kemik iyileşmesi

Öncül kemik iyileşmesi daha çok süngerimsi kemikte görülen, ikincil iyileşmeye göre daha az rastlanan bir iyileşme türüdür. Sert ve dayanıklı malzemelerle yapılan sabitleme ile tedavinin sağlandığı kortikal kemik kırıklarında iyileşme; boşlukla iyileşme ve temasla iyileşme adı verilen iki yolla meydana gelir [61–63].

### 2.8.2. İkincil kemik iyileşmesi

İkincil kemik iyileşmesinde, ilk olarak kırıkta iskelet meydana gelir daha sonra bu iskelet kemik (endokondral) dokusuna dönüşür. Bu kemik dokusunun oluşması için

değişik özelliklere sahip hücrelerin bir araya gelip çoğalmaları, farklılaşmaları ve matriksi oluşturarak birlikte hareket etmeleri gerekir. İkincil kemik iyileşmesi birbirini izleyen Şekil 2.6'da gösterilen 3 evre ile gerçekleşir [64].



Şekil 2.6. Kemik iyileşme evreleri [65]

*İnflamasyon evresi:* Kemik dokusunda herhangi bir hasar meydana geldiğinde kan damarları ve etrafındaki yumuşak dokular hasara kan miktarını azaltarak cevap verir. Kan miktarındaki azalma bozulan yüzeyde oksijen azlığına ve buna bağlı olarak hücre ölümüne neden olur. Hücre ölümü nedeniyle kemik uçlarında nekroz ve aseptik nekroz ortaya çıkar ve bunun sonucunda enflamasyon ve ödem oluşur. Burada oluşan hematoma, iyileşmeye önemli katkısı vardır. Oluşan basınç kırık uçlarının bir arada tutulmasına sağlar. Enflamatuar yanıt ve hematoma hücre ölümünü tetikler [63,66–68].

*Onarım evresi:* Bu evre hasar oluşumundan sonraki saatlerde başlar ve 7-12 gün sürer. Onarım evresinin ilk zamanlarında kırık oluşumu başlar. Kırık oluşumu eksternal ve internal olmak üzere iki yolla olur [64,66]. Eksternal kırık oluşumunda kalsifiye olan kırık ile kondroblastlar, kondrositlere dönüşür ve osteoblastların sayısı artarken osteoklastlar ortama hücum eder. İnternal kırık oluşumunda ise kanlanmanın daha fazla olduğu bölgede nekroz azalır, fibrokartilaj görünmez. Kondroblastlar kırık büyüme faktörünü salgırlar. Mezenkimal hücre

farklılaşması sonucu fibrokartilaj kallus oluşur. Eksternal kallusla aynı zamanda endosteum kaynaklı osteoblastlar kırık uçları arasında internal kallus oluşturur [60].

*Yeniden yapılanma evresi:* Bu evrede güçlü fakat düzensiz sert kallus normale yakın güçteki düzenli lameller kemiğe dönüşür. Kırıkta kallus içerisinde artan damarlanma sonucu daha fazla oksijen ve besin taşınması ile bölgede osteoblastlar oluşur ve bunlar osteoid madde salgılar. Periferden merkeze doğru kalsifikasyon sonucu kemik oluşumu meydana gelir. Yeniden yapılanma, onarım evresinin ortasında başlar ve 4-16 hafta sürer [60,64,69,70].

## **2.9. Kırık Tedavi Yöntemleri**

Kırık tedavi yöntemleri dıştan ve içten sabitleme olmak üzere 2 çeşittir [42].

### **2.9.1. Dıştan sabitleme yöntemleri**

#### **2.9.1.1. Ateller**

Ateller daha çok bazı özel hallerde kullanılmaktadır. Tahta, mukavva ve telden, bazı durumlarda da alçıdan yapılmış olabilir.

Parmak ve tarak kemiklerinde, sürekli olarak kullanılan hazır ateller de bulunmaktadır [42].

#### **2.9.1.2. Alçı ile sabitleme**

İlk defa Mathijsen tarafından 1852 yılında kullanılan, kimyasal olarak  $(CaSO_4)_2H_2O$  yapısında bulunan alçı tozunun gözenekli sargı bezine emdirilmesi ile elde edilir ve kuru olarak 7.5-10-15 cm'lik rulolar halinde bulunur [71]. İyi uygulandığı takdirde alçı ile sabitleme en iyi sonuç veren tedavi yöntemidir. Kırık uçları kolaylıkla kaymayacak yaralanmalarda (daha çok enlemesine kırıklarda) alçı ile sabitleme yeterli sonucu vermektedir. Alçı uygulaması iki şekilde olmaktadır:

a) Yastıklanmış alçılar: Bu alçılarda alçı sarılacak olan bölge üzerine, önce bir tabaka pamuk koyulur daha sonra deri altına yakın olan kemik çıkıntıları üzerine de ayrıca bir kat daha pamuk ilave edilir ve alçı bunun üzerine sarılır. Bu şekilde alçının sıkma tehlikesi çok daha azdır [42].

b) Yastıklanmamış alçılar: Bu yöntemde alçı, doğrudan deri üzerine konmaktadır. Sadece bazı durumlarda deride bası meydana gelmesini önlemek için kemik çıkıntıları üzerine pamuklu bir bez koyulur. Bu yöntemde alçının sıkma tehlikesi ve dolaşım bozukluğu meydana gelmesi ihtimali yüksektir [42].

### **2.9.2. İçten sabitleme yöntemleri**

Bu yöntem vidalama, plak ile sabitleme ve civatalama olmak üzere 3 çeşittir [42].

#### **2.9.2.1. Vidalama**

Kırık tedavisinde vidalama yönteminin indikasyonları oldukça fazladır. Vidalama, kopma kırıklarında, tendon ile beraber kopan kemik parçasını yerine oturtmak için veya eklem yakını ve eklem içi kırıklarda küçük parçaları yerine sabitleyerek eklem yüzeyinin düzgünlüğünü sağlamak için kullanılır. Vida ile sabitleme uzun kemiklerin eğik veya spiral kırıklarında da yapılmaktadır. Vidaların değişik yön ve açıda yerleştirilebilmesi, daha iyi bir sabitleme sağlamaktadır. Plak ile tespit edilen eğik, spiral veya parçalı kırıklarda parçayı tutturmak için de vida kullanılmaktadır [42].

#### **2.9.2.2. Plak ile sabitleme**

Bu yöntem daha çok eğik ve parçalı kırıklarda kullanılmakla birlikte enlemesine kırıklarda da kullanılabilir. Enlemesine, eğik veya çoklu kırıklarda kompresyon plağı kullanılmaktadır. Plağın yeterli boyda olması ve plağı kemiğe sabitleyen vidaların karşı taraf korteksinden çıkması, plak ile iyi bir sabitleme sağlayabilmek için gerekmektedir [42].

### 2.9.2.3. Civatalama (Bolzung)

Civatalama yöntemi kırık parçalarını sabitlemek için, bir kemik grefinin ya da uzun bir kemik parçasının (sığır kemiğinden veya fildişinden) kırık parçalarının iliğine sokulması ile yapılır [42].

## 2.10. Kırıkların Sınıflandırılması

Kemik kırıkları, kırığın morfolojisine (şekline), parçalanmanın derecesine ve yumuşak dokudaki hasarın şiddetine göre sınıflandırılabilir. Günümüzde, en sık kullanılan ve bilinen sınıflandırma yöntemi, kırığın şekline göre sınıflandırma yapan AO Müller sınıflandırma yöntemidir. Bununla birlikte, literatürde genel sınıflandırma yöntemi olarak, açık yaralanmalarda yumuşak dokudaki hasarın şiddetine göre sınıflandıran Gustilo-Anderson ve kapalı yaralanmalarda kullanılan Tscherné sınıflandırma yöntemleri de mevcuttur.

Genel sınıflandırma yöntemlerinin yanında bölgesel kırıklar için kullanılan sınıflandırma yöntemleri de mevcuttur. Örneğin Frykman, Schatzker radius/ulna kırıklarında; Gartland, Neer humerus kırıklarında; Tile, Young-Burgess, Dennis pelvis kırıklarında; Winquist-Hansen, Garden, Pipkin femur kırıklarında; Fraser, Ellis tibia kırıklarında; Lauge-Hansen ve Hawkins ayak bileği bölgesindeki kırıkların sınıflandırılmasında kullanılmaktadır.

### 2.10.1. Winquist-Hansen femur kırık sınıflandırması

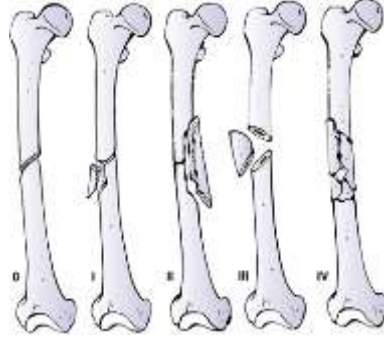
Winquist-Hansen bölgesel bir sınıflama olup sadece femur kırıklarında kullanılmaktadır ve parçalı kırıkları femur çapına göre sınıflara ayırır [72].

Tip 0 : Kırıklarda parçalanma yoktur.

Tip I : Kırıklarda parçalanma azdır ve femur çapının %75'den fazlası devamlılık göstermektedir.

Tip II : %50'den az parçalanma gösterirler.

- Tip III : %50'den az devamlılık gösterirler ve büyük kelebek fragmanları vardır.  
 Tip IV : Kırık hattında kortikal devamlılık yoktur, çok parçalı kırıklardır.



Şekil 2.7. Winquist-Hansen sınıflandırma sistemi [73]

### 2.10.2. Gustilo-Anderson sınıflandırması

Gustilo-Anderson genel sınıflandırma yöntemi açık kırıklarda kullanılmaktadır. Sınıflandırma ciltteki yaranın boyutları ve yumuşak dokudaki hasarın şiddetine göre yapılır [74].

- Tip 1 : Temiz yara, boyutu 1 cm den küçük  
 Tip 2 : Yara boyutu 1 cm den fazla, fakat yumuşak dokuda kayıp yok  
 Tip 3a : Yara boyutu genellikle 5 cm den fazla, yumuşak dokuda kayıp var  
 Tip 3b : Periostal soyulma ve kemik doku kaybı  
 Tip 3c : Onarım gerektiren atar damar yaralanması



Şekil 2.8. Gustilo-Anderson sınıflandırma sistemi [75]

### 2.10.3. Tscherne kırık sınıflandırması

Tscherne kırık sınıflandırması, kapalı yaralanmalarda cildin durumuna göre yapılan bir sınıflandırma yöntemidir. Tscherne evreleri aşağıdaki şekilde tanımlanabilir [76];

C0 : Klinik bulgu vermez, düşük enerjili yaralanmalardır, basit kırık paternleri ile birlikte.

C1 : Hafif orta enerjili yaralanmadır, kırık kemik uçlarının ciltte oluşturduğu basınç nedeni ile oluşur, yumuşak dokuda kontüzyon görülür, tipik örneği ayak bileği kırıklı çıkıklarıdır.

C2 : Yüksek enerjili yaralanmalardır, büyük oranda kontüzyon ile birlikte parçalı veya segmenter kırık paternleri gözlenir. Kompartman sendromları eşlik eder.

C3 : Dekompense kompartman sendromu ile birlikte ciddi ezilme, vasküler yaralanma, soyulma tarzı cilt ve kas tendon yaralanmalarıdır.

### 2.10.4. AO/OTA kırık sınıflandırması

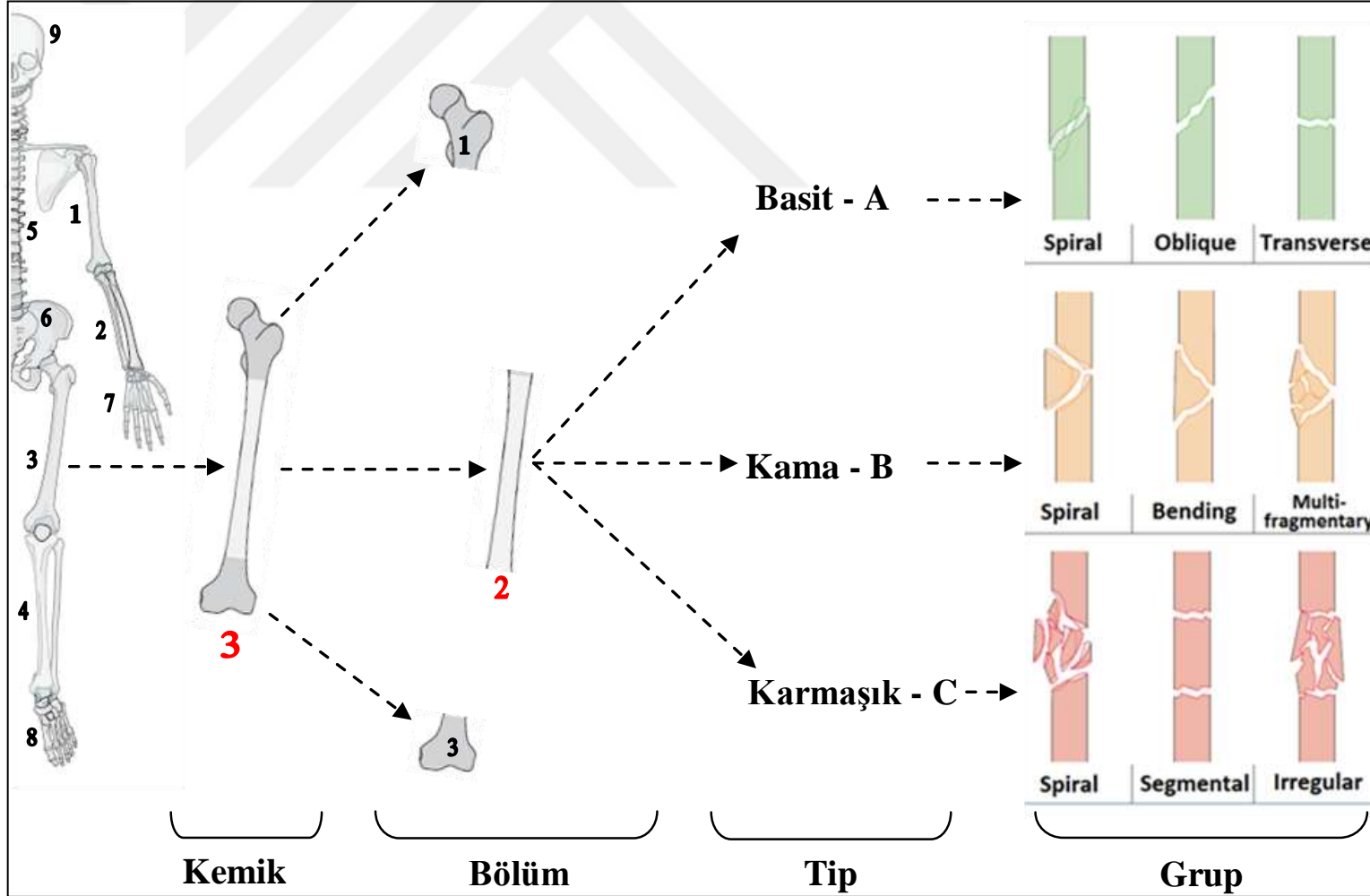
AO (Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen - Osteosentez Çalışma Grubu) Müller ve arkadaşları tarafından 1958 yılında kurulmuştur. 1984 yılında ise Müller başkanlığındaki bir grup cerrah ilk defa kapsamlı bir kırık sınıflandırma sistemi olan AO kırık sınıflandırılma sistemini yayınlamışlardır [1]. Böylece uzun zamandır hissedilen bir ihtiyaç olan evrensel olarak uygulanabilir ve kabul edilebilir bir sınıflandırma sistemi tanımlanmış oldu. Daha sonra bu ilk sistem cerrahlar, Amerikan Ortopedik Travma Derneği (OTA) ve AO araştırmacılarından oluşan bir grup tarafından geliştirildi ve "AO/OTA kırık sınıflandırması" olarak isimlendirildi.

AO/OTA kırık sınıflandırma yöntemi evrensel bir sınıflama olup, uygulamada sıklıkla kullanılmaktadır. Vücudumuzdaki tüm kırıkları kapsamlı bir şekilde dökümante eden bu yöntem özellikle kırıkların tanınması ve uygun olan tedavinin uygulanması için yol göstermektedir. Bu sınıflandırma yöntemi, kemikler (1-9), bölümler (1,2,3), tipler (A, B, C) ve gruplar (1, 2, 3) olmak üzere 4 seviyeli (level)

bir isimlendirmeden oluşmaktadır. Şekil 2.9'da AO kırık sınıflandırma sistemi görülmektedir.

Şekil 2.9'da görüldüğü gibi AO/OTA kırık sınıflama tekniğine göre ilk seviyeyi gösteren kemik türleri 1'den 9'a kadar numarayla temsil edilmektedir. Buna göre; Humerus (1), önkol (2), femur (3), tibia (4), omurga (5), pelvis (6), el (7), ayak (8) ve kafatası (9) olarak numaralandırılmıştır. Daha sonra 2. Seviye olan kemik bölgesi, kendi içinde proksimal bölge kırıkları (1), diafiz (2) ve distal bölge kırıkları (3) olmak üzere numaralandırılırlar. 3. Seviye numaralandırmayı gösteren kırık türleri ise Basit (A), Kama (B) ve Karmaşık (C) olmak üzere 3 kategoriye ayrılmaktadır. Son seviye olarak da bu 3 tip kırığın büyüklüğüne göre A1-A2-A3; B1-B2-B3 ve C1-C2-C3 olarak alt gruplara ayrılmaktadır.





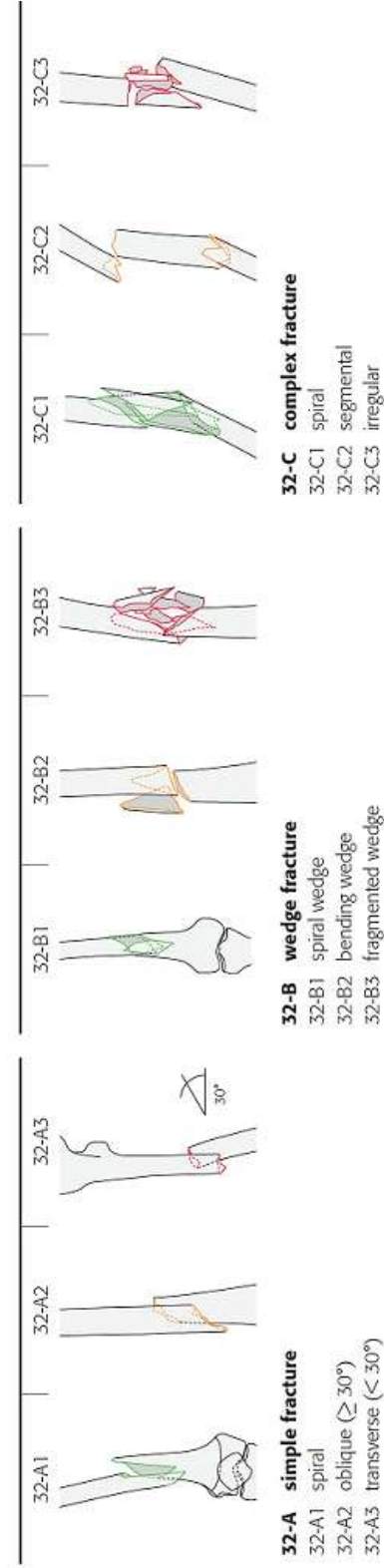
Şekil 2.9. AO sınıflandırma sistemine göre femur diafiz kırıklarının sınıflandırması [1]

Şekil 2.9’da görüldüğü gibi AO sınıflama tekniğine göre ilk seviyeyi gösteren kemik türleri 1’den 9’a kadar numarayla temsil edilmektedir. Buna göre; Humerus (1), önkol (2), femur (3), tibia (4), omurga (5), pelvis (6), el (7), ayak (8) ve kafatası (9) olarak numaralandırılmıştır. Daha sonra 2. Seviye olan kemik bölgesi, kendi içinde proksimal bölge kırıkları (1), diafiz (2) ve distal bölge kırıkları (3) olmak üzere numaralandırılırlar. 3. Seviye numaralandırmayı gösteren kırık türleri ise Basit (A), Kama (B) ve Karmaşık (C) olmak üzere 3 kategoriye ayrılmaktadır. Son seviye olarak da bu 3 tip kırığın büyüklüğüne göre A1-A2-A3; B1-B2-B3 ve C1-C2-C3 olarak alt gruplara ayrılmaktadır. Bu sınıflandırma tekniğine göre 32-A1 şeklinde kodlanmış bir kırığın Femur (3) kemiği, Diafiz (2) bölgesi, Basit (A) ve Spiral (1) bir kırık olduğu anlaşılmaktadır. Kemik türünün bu şekilde tespitinden sonra uygulanacak tedavi AO sınıflandırma yönteminden faydalanılarak belirlenebilmektedir.

Bu çalışmada, Femur kemiği Diafiz bölgesi kırıkları ele alınmıştır. Femur kemiği vücudun en sağlam ve büyük kemiklerinden biridir ve bu kemiği çevreleyen oldukça geniş bir kas dokusu vardır. Vücudun en sağlam kemiklerinden birisi olan femur, trafik kazaları, yüksekten düşme, ateşli silah yaralanmaları gibi yüksek enerjili travmalar sonucu kırılmaktadır. Bunun dışında, kemik tümörleri, enfeksiyonları ve femur kemiğine olan metastaslarla da femur kemiği zayıflar ve daha kolay kırılır. Femur kırığı tanısı, genelde ilk olarak fiziki muayenede koyulur. Ancak, kırığın türü, Radyolojik inceleme sonucunda belirlenerek uygun olan tedavi seçilir. Femur kırık tedavisinde genellikle cerrahi yöntem tercih edilir. Erişkin femur cisim kırıkları genelde çivileme ile tedavi edilmektedir. Kırığın tipine göre kilitli çivileme ya da kilitsiz çivileme yapılır. Kilitli çivileme özellikle parçalı ve oblik kırıklarda kısılmayı önlemek için uygulanır. Kırıkta kısılma riski olmayan transvers femur kırıklarında ise çivi kemiğe sadece ya kırığın üstünden ya da altında vida ile sabitlenir.

Uygun olan tedavinin belirlenebilmesi için femur kırığının türünün doğru bir şekilde belirlenmesi son derece önemlidir. Bu çalışmada, femur kırık türünün otomatik olarak belirlenmesini sağlayan bir teşhis sisteminin tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Önerilen sistem, Şekil 2.10'da görülen AO sınıflandırma [1] yöntemine göre 9 farklı Femur Diafiz bölgesi kırığının türünü otomatik olarak belirleyebilmektedir.



Şekil 2.10. Femur diafiz kırıklarının AO sınıflandırması [1]

Şekil 2.11’de AO sınıflandırma sistemine göre femur diafiz kırıklarının sınıflandırma metodolojisini gösteren örnek kod görülmektedir.

```

if (kırıkta parçalanma yok) {           // A tipi kırık
    if (kırık hattı spiral)                { “Kırığın AO sınıfı: 32-A1 ” }
    if (kırık açısı  $\geq 30^\circ$ )          { “Kırığın AO sınıfı: 32-A2 ” }
    if (kırık açısı  $< 30^\circ$ )           { “Kırığın AO sınıfı: 32-A3 ” }

    else if (kırıkta parçalanma var) { // B veya C tipi kırık

        if (birleştirme sonrası kırık uçları arasında temas var ) { // B tipi kırık
            if (kırık hattı spiral)          { “Kırığın AO sınıfı: 32-B1 ” }
            if (kırık parça sayısı  $< 2$ )    { “Kırığın AO sınıfı: 32-B2 ” }
            if (kırık parça sayısı  $\geq 2$ )   { “Kırığın AO sınıfı: 32-B3 ” }
        }

        if (birleştirme sonrası kırık uçları arasında temas yok) { // C tipi kırık
            if (kırık hattı spiral)          { “Kırığın AO sınıfı: 32-C1 ” }
            if (kırık parça sayısı  $< 2$ )    { “Kırığın AO sınıfı: 32-C2 ” }
            if (kırık parça sayısı  $\geq 2$ )   { “Kırığın AO sınıfı: 32-C3 ” }
        }
    }
}

```

Şekil 2.11. AO femur diafiz kırıkları sınıflandırması örnek kodu

AO/OTA kırık sınıflandırmasına göre kemik bölgesi belirlenmiş bir kırık için ilk olarak Şekil 2.11’de görüldüğü gibi kırık tipi belirlenir. Kırık tipi tespitinde belirleyici olan kırıktaki parçalanmadır. Eğer kırıkta parçalanma yok ise A tipi bir kırık, kırıkta parçalanma var ise B veya C tipi kırık olarak sınıflandırılır. Daha sonraki aşamada ise kırığın grubu belirlenir. Kırığın grubu belirlenirken kırık tiplerine göre değişmekle birlikte kırık hattına, kırık açısına ve kırıktaki parça sayısına göre bir değerlendirme yapılır.

## **BÖLÜM 3. FEMUR KEMİĞİ DİAFİZ BÖLGESİ KIRIKLARI İÇİN BİLGİSAYAR DESTEKLİ SINIFLANDIRICI (FEDİKS) TASARIMI**

### **3.1. Giriş**

Vücuttaki en uzun, çevresinde en fazla kas bulunan ve direk darbelere, zorlanmalara ve en fazla yüke maruz kalan kemik olan femur tek parçadan oluşur. Vücudun temel hareket fonksiyonlarını yerine getirmede rolü büyüktür [77]. Femur kırıklarının tedavisi hayati önem taşımaktadır. Femur kırıklarının teşhisi genellikle röntgen görüntüleri yardımı ile yapılır ve röntgen görüntüsü üzerinden tedaviye karar verme aşamasında kırığın hangi sınıfta olduğunu bilmek önemlidir. Çünkü uygulanacak tedavi kırık sınıfına göre belirlenir. Vücudumuzda bulunan 206 adet kemikten sadece kol, önkol, uyluk, kaval ve baldır kemiklerinde görülebilen kırık sayısı 117 adettir [1]. Bu sayı diğer kemiklerde görülebilen kırıklarla birlikte daha da artmaktadır. Bu kadar fazla sayıdaki kırık türünü bir uzmanın hatırlayabilmesi mümkün değildir. Bu nedenle, kırığın sınıfına otomatik olarak karar verebilen bir sistem doktorların işini büyük ölçüde kolaylaştırabilir.

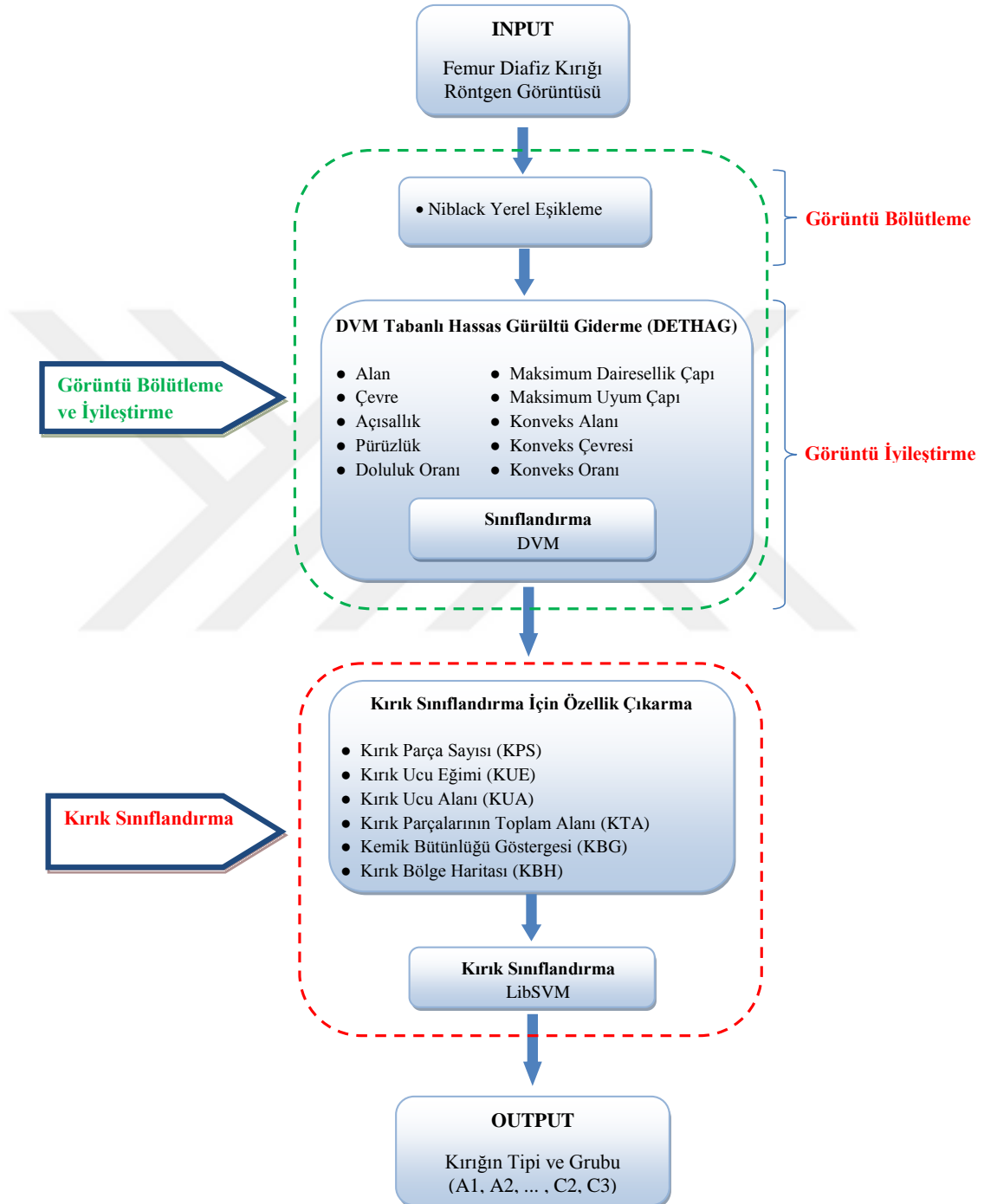
### **3.2. Femur Diafiz Kırıkları Sınıflandırıcı Sistemi (FEDİKS)<sup>1</sup>**

Femur diafiz kırıkları sınıflandırıcı sistemi (FEDİKS), X-ışını görüntülerinden Femur kırık türlerinin otomatik olarak belirlenmesini sağlamaktadır. Önerilen sistemin akış diyagramı Şekil 3.1’de görülmektedir. Bu yöntemin ilk aşamasında röntgen görüntüleri Niblack [78] yöntemine göre bölütlenmiştir. İkinci aşamada ise bölütlenen görüntüler geliştirilen DETHAG ile görüntülerinden temizlenerek yalnızca

---

<sup>1</sup> Bu çalışmanın İngilizce versiyonu “DIFFRACT: Diaphyseal Femur Fracture Classifier System” adı ile yayınlanmıştır [79].

kemik bölgesinin elde edilmesi sağlanmıştır. Üçüncü aşamada ise kırık bölgesi ve kırık parçaları tespit edilerek çeşitli öznitelikler çıkarılmıştır. Son aşamada ise bu öznitelikler LibSVM [80] çoklu sınıflayıcıya girilerek kırığın türü belirlenmiştir.



Şekil 3.1. Önerilen CAD sisteminin işlem basamakları

### 3.3. Görüntü Bölütleme ve İyileştirme

#### 3.3.1. Niblack eşikleme yöntemi ile bölütleme

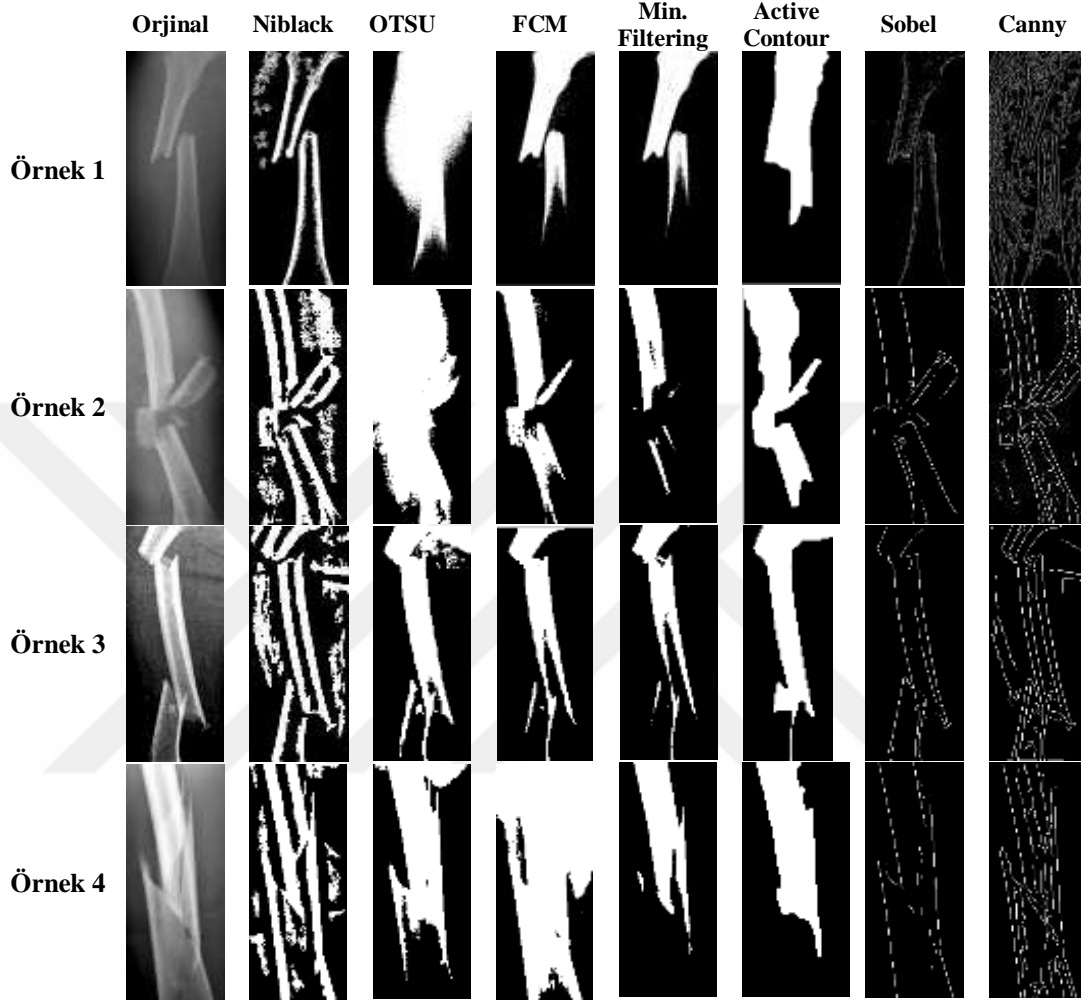
Röntgen görüntüsü kırık tespitinde etkili bir teşhis imkânı sağlar. Bununla birlikte röntgen görüntüleri, röntgen cihazlarındaki farklılıklar, hastalar arası kemik boyutlarının farklı oluşu, çekim hataları, çekim ortamı gibi değişkenlerden dolayı çeşitli zorluklar içerebilmektedirler ve standart kalitede değildir. Ayrıca, röntgen cihazlarından alınan görüntülerde kemik ile beraber kas dokusu da görülebilmektedir. Bu dokuların tonları bazı görüntülerde kemik rengine çok benzer olabilmektedir. Kemik kırıklarının otomatik olarak ve yüksek başarımla teşhisini gerçekleştirebilmek için kas dokusu ile kemiklerin birbirinden ayrılması ve gürültülerin giderilmesi son derece önemlidir. Bu çalışmada, X-ışını görüntülerini başarılı bir şekilde bölütleyebilmek amacıyla Niblack yöntemi kullanılmıştır. Niblack eşikleme yönteminde görüntüde  $w=b \times b$  boyutlarındaki pencerelerde bölgesel ortalama ve standart sapma göz önüne alınarak yerel eşik değerleri belirlenmekte ve konuma bağlı eşik değerinin hesabında Denklem 3.1’de verilen eşitliklerden faydalanılmaktadır [78].

$$T(i, j) = m_w(i, j) + k_w \sigma_w(i, j) \quad I_b(i, j) = \begin{cases} 0 & I(i, j) \leq T(i, j) \\ 1 & I(i, j) > T(i, j) \end{cases} \quad (3.1)$$

Burada;  $m_w(i, j)$  ve  $\sigma_w(i, j)$  pencere içinde kalan piksellerin ortalama ve standart sapmasıdır,  $k$  ise nesne kenar çizgilerinin hangi boyutta korunacağını belirleyen parametredir ve varsayılan değeri parlak nesnelere için 0.2, karanlık nesnelere için -0.2 dir. Bu çalışmada  $k=-0.2$  ve  $b=25$  parametreleri kullanılmıştır.

FEDİKS’te Niblack yönteminin Otsu, Fuzzy C-means, K-Means ve Active Contour gibi popüler bölütleme yöntemlerine oranla tercih edilmesinin sebebi Niblack ile kemik hatlarının kaybolmadan bölütlenebilmesidir. Yaptığımız deneylere göre; Niblack yöntemi ile kemikler hatları kaybolmadan bölütlenirken diğer yöntemlerde sınıflandırmada kullanılabilecek kemiğin kırık açısı, parça sayısı, kırık ucunun şekli gibi bazı bilgilerin kaybolduğu gözlemlenmiştir. Ancak, Niblack’in diğer yöntemlere

göre en büyük dezavantajı ise daha fazla gürültüye neden olmasıdır. Şekil 3.2’de Niblack yöntemi ile diğer bölütleme yöntemlerinin karşılaştırması verilmiştir.



Şekil 3.2. Bölütleme yöntemlerinin karşılaştırması

### 3.3.2. Destek Vektör Makinası-tabanlı hassas gürültü giderme (DETHAG)

Niblack Eşikleme ile gerçekleştirilen bölütleme işleminde kemik hatlarının kaybolmamasına karşın görüntülerde çeşitli gürültüler oluşmaktadır. Bu çalışmada, “Gürültü Giderme” terimi bölütleme sonrası kemik parçası olmadığı halde kemik parça görüntüsü gibi röntgende beyaz tonlarda gözükken pikselleri yok etmek için kullanılmıştır. Bu istenmeyen beyazlıklar genelde kas dokularından kaynaklanmaktadır. Gürültü giderme işlemi esnasında, kırık parçalarının gürültülerden ayrıştırılması örtük varsayımına dayanmaktadır.



Bu gürültüler, kırık kemiklerin sınıflandırılmasında hatalara yol açacağından kemik bölgelerine zarar vermeden hassas bir şekilde temizlenmesi gerekmektedir. Klasik yöntemler ile yapılan gürültü temizleme işlemlerinde kemik hattı ve kırık parçaları gibi önemli veriler kaybolabilmektedir. Çünkü çok parçalı kırıklarda ve kas dokusunun belirgin olarak gözüktüğü bazı röntgen resimlerinde bölütlemeyen sonra oluşan gürültüler ile kemikler aynı etikette yer almaktadır. Görüntü veritabanımızda 196 görüntüden 127 tanesinde (%64.8) kırık parçaları ile gürültüler aynı etikette yer almaktadır. Bundan dolayı klasik yöntemlerle yapılan gürültü temizleme işlemi etkili sonuçlar vermemektedir. Dolayısıyla, bu çalışmada gürültülerin karakteristik özelliklerini dikkate alarak hassas bir şekilde temizlenmesine imkân tanıyan DVM tabanlı gürültü giderici (DETHAG) yöntemi önerilmiştir.



DETHAG yönteminde, sınıflandırıcıya gürültüleri eğitmek için 6 basit ve 5 karmaşık olmak üzere toplam 11 adet şekilsel özellik sunulmuştur. Basit özellikler; parça alanı (particle area), parça çevresi (particle perimeter), konveks gövde çevresi (convex hull perimeter), konveks alanı (convex area), maksimum dairesellik çapı (MDC-maximum feret diameter) ve MDC açısıdır. Karmaşık özellikler ise açısallık (angularity), pürüzlük (roughness), konvekslik oranı (convexity ratio), doluluk oranı (fullness ratio) ve form faktörü (form factor) gibi şekilsel özelliklerdir [81–84]. Şekil 3.3'te bu özellikler ve formülleri açıklanmıştır.

Örnek	Özellikler	
	$\text{Açısallık} = \left( \frac{\text{Konveks Çevresi}}{\text{Elips Çevresi}} \right)^2$	
	= Parça Alanı	$\text{Pürüzlük} = \left( \frac{\text{Parça Çevresi}}{\text{Konveks Çevresi}} \right)^2$
	= Parça Çevresi	$\text{Konveks Oranı} = \frac{\text{Parça Alanı}}{\text{Konveks Alanı}}$
	= Konveks Gövde Çevresi	$\text{Doluluk Oranı} = \sqrt{\frac{\text{Parça Alanı}}{\text{Konveks Alanı}}}$
	+  = Konveks Alanı	$\text{Form Faktörü} = \frac{4\pi \text{ Parça Alanı}}{\text{Parça Çevresi}^2}$
	= Mak. Dairesellik Çapı (MDC) $\alpha$ = MDC Açısı	

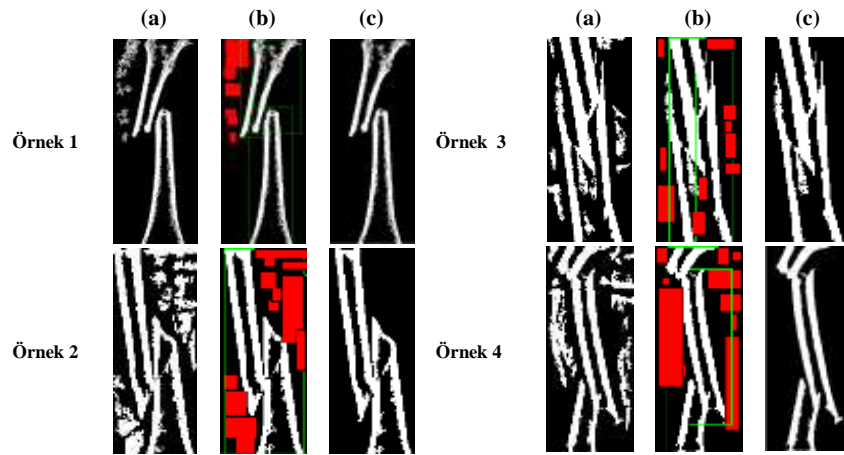
Şekil 3.3. Şekilsel özellikler

Tablo 3.1’de kırık parçası ve bölütleme sonucu oluşan gürültüye ait şekilsel öznelik değerlerinin karşılaştırması verilmiştir. Görüleceği üzere kemik parçaları ve gürültüler bu özellikler yardımı ile ayırtedilebilir.

Tablo 3.1. Kırık parçası ve gürültü şekil öznelik değerlerinin karşılaştırması

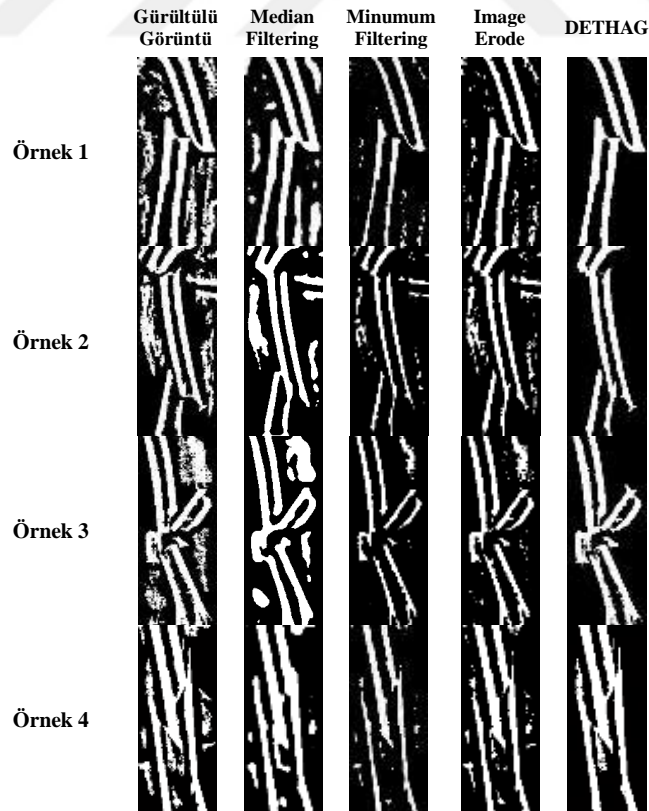
	<b>Kırık Parçası</b>	<b>Bölütleme Gürültüsü</b>
		
<b>Özellikler</b>		
<b>Parça Alanı</b>	655	1462
<b>Parça Çevresi</b>	139,397	972,254
<b>Konveks Hull Alanı</b>	734	4068
<b>Konveks Hull Çevresi</b>	138,568	246,953
<b>Maks. Dairesellik Çapı (MDC)</b>	61,156	81,709
<b>MDC Açısı</b>	109	89
<b>Açısalık</b>	0,042	0,074
<b>Pürüzlük</b>	1,011	15,499
<b>Konveks Oranı</b>	0,892	0,359
<b>Doluluk Oranı</b>	0,944	0,599
<b>Form Faktörü</b>	0,423	0,019
<b>Sınıf</b>	0	1

Gürültü ile kemik görüntülerini ayırmak için ‘0’: kemik görüntüsü, ‘1’: gürültüyü belirtecek şekilde sınıflandırma yapılmıştır. Sınıflandırıcı, 500 (250 gürültü, 250 kemik parçası) adet görüntü ile eğitilmiştir. Doğrusal DVM sınıflandırıcı ile yapılan sınıflandırma sonucunda % 93,7 oranında başarıyla gürültüler kemik parçalarından ayırt edilebilmektedir. Şekil 3.4’te DETHAG yardımıyla gerçekleştirilen gürültü giderme aşamaları 4 örnek üzerinden gösterilmektedir.



Şekil 3.4. DVM sınıflandırıcı ile gürültülerin temizlenme aşamaları a) Gürültülü resim b) DETHAG ile Gürültü tespiti c) DETHAG ile gürültünün temizlenmesi

Şekil 3.5’te klasik yöntemler ile doğrusal DVM tabanlı gürültü giderme yönteminin karşılaştırması verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere DETHAG yöntemi klasik gürültü giderme yöntemleri kıyaslandığında oldukça başarılı sonuçlar ürettiği görülmektedir.



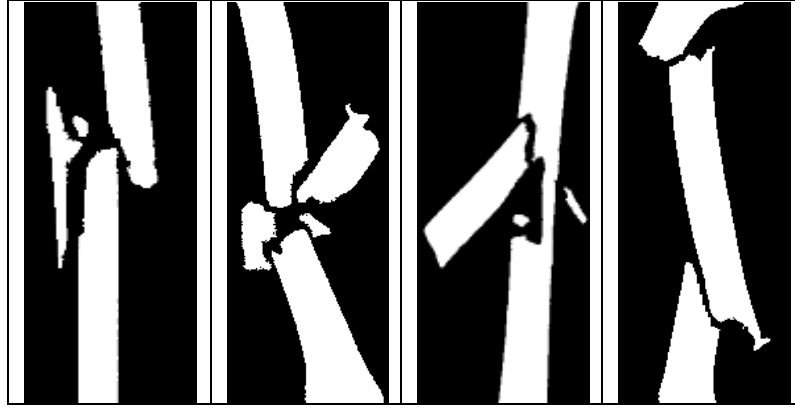
Şekil 3.5. Gürültü giderme yöntemlerinin karşılaştırılması

### 3.4. Kırıkların Sınıflandırılması için Özellik Çıkarımı

Ön-işleme yapılmış, Niblack yöntemine göre bölütlenmiş ve DETHAG yöntemi ile gürültülerden hassas bir şekilde ayrıştırılmış olan ikili formattaki x-ışını görüntüleri üzerinde kırıkların sınıfını bulabilmek için çok boyutlu LibSVM [80] kütüphanesi kullanılmıştır. LibSVM ile kırıkların türünün sınıflandırılabilmesi için kırıkların ayrıştırılmasını sağlayacak özelliklerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu sebeple, çalışmamızda görüntüdeki kırık parça sayısı, kırık ucu alanı, kırık parçalarının alanı, kemik bütünlüğü göstergesi, kırık ucu açısı, kırık bölge haritası gibi farklı özellikler belirlenerek öznitelik vektörü oluşturulmuştur.

#### 3.4.1. Kırık Parça Sayısı (KPS)

Kırık parça sayısı, özellikle parçalı kırıkların sınıflandırılmasında önemli bir ölçüt olduğu için karar sürecinde kullanılması gerekmektedir. Bu sebeple, kemik bölgesindeki KPS'nin belirlenerek LibSVM sınıflandırıcısına özellik olarak sunulması gerekmektedir. Şekil 3.6'da parçalı kırık örnekleri görülmektedir.



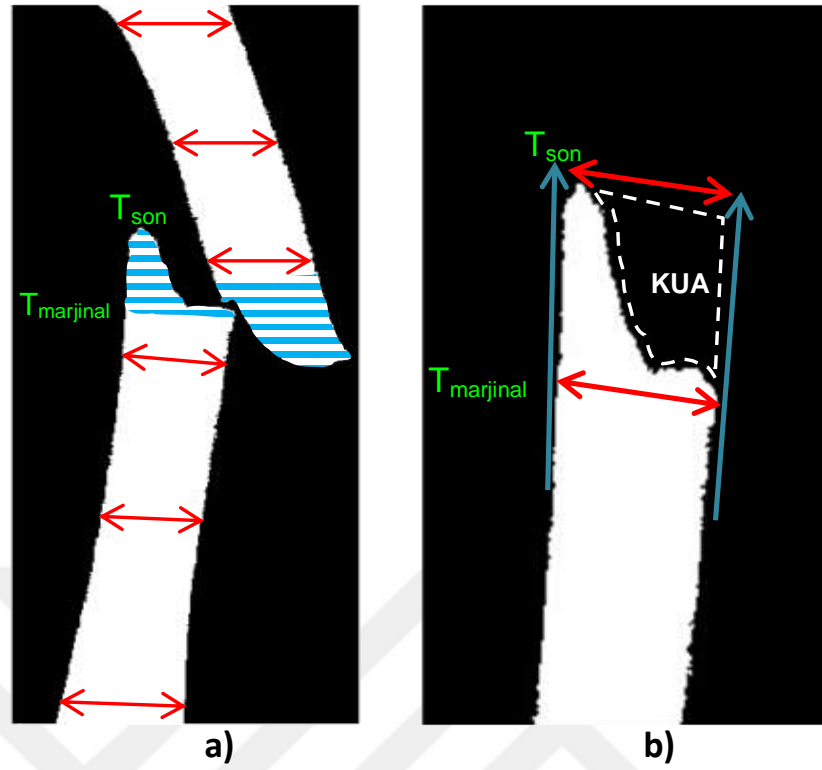
Şekil 3.6. Parçalı kırık örnekleri

#### 3.4.2. Kemik Bütünlüğü Göstergesi (KBG)

Kama (wedge) ve karmaşık kırıklar, yapısal olarak birbirlerine çok benzemektedirler. Her iki kırık türü de parça kırık içermektedir. Aralarındaki fark, kırılan kemik uçlarının redüksiyon sonrası birbirlerine temas edip etmemesiyle anlaşılmaktadır.

Bazı kama kırıklarında, özellikle de tek parçalı kama tipi kırıklarda (B2) röntgendeki parçanın şekline bakarak kırığın kama tipi kırık sınıfına girdiğini anlamak mümkündür fakat spiral (B1) veya çok parçalı (B3) kama kırıklarında her zaman parça veya parçaların şekillerine bakarak tam olarak kama tipi kırık olduğunu anlamak mümkün değildir. Bununla birlikte, kama ile karmaşık (B ve C) kırıkların her ikisinde parçalı kırıklar olup AO sınıflandırma sistemine göre bu tip kırıklardaki ayırteci tek özellik kırık uçlarında temas olup olmamasıdır (Şekil 2.13). Dolayısıyla, kama tipi kırık sınıfına karar vermek için kırık parçalarındaki kama şekline göre sınıflandırma yapmak AO sınıflandırma sisteminin esaslarına göre yanıltıcı sonuçlar verebilir.



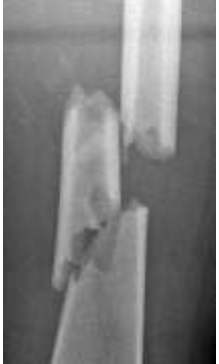





Literatürde, bu şekildeki kırıkları bilgisayar destekli olarak ayıracak her hangi bir yöntem önerilmemiştir. Bu çalışmada, kama ve karmaşık kırık türlerini birbirinden ayırabilmek için Kemik Bütünlüğü Göstergesi (KBG) olarak adlandırdığımız yeni bir özellik tanımlanmıştır. Temel olarak KBG'nin çalışma prensibi, kırılan parçaların eski yerlerine yerleştirildikten sonra kemiğin proximal ve distal uçlarının bir birine temas edip etmediğini anlamaya çalışmaktır. KBG, temas olup olmadığını anlamak için alan hesaplama parametresini kullanır. Bunun için CCL (Connected Component Labeling) ve geometrik hesaplama yöntemlerini kullanarak kırık ucu alanı (KUA) ve kırık parçalarının toplam alanı (KTA) parametrelerini hesaplar. İlk olarak, CCL yardımıyla kırık parçaları ve proximal/distal kemik bölümleri tespit edilir. Daha sonra, tespit edilen bu kemik etiketlerinde geometrik hesaplama yaparak KUA parametresi bulunur. KUA parametresinin hesaplanmasında femur kemiği diafiz bölümünün düz yapısından faydalanılır. Femur kemiği, diafiz bölgesinde proximal ve distal kısımlara doğru kemik eni çok fazla değişiklik göstermez. Bundan dolayı, kemik eninde marjinal bir düşüşün olduğu nokta ( $T_{\text{marginal}}$ ) kırık bölgesinin başlangıcıdır. Bununla birlikte, kemik eninin en az olduğu nokta ( $T_{\text{son}}$ ) ise kırık bölgesinin bitiş noktasıdır (Şekil 3.7a). Kırık başlangıç ve bitiş noktaları tespit edildikten sonra bu noktalardan çizilen doğruların kesişimleri yardımıyla KUA parametresi hesaplanmış olur (Şekil 3.7b).



Şekil 3.7. Kırık ucu alanının hesaplanması

Kırık ucu alanı, kemiğin kırıldığı noktada oluşan boşluk bölgenin alanını temsil ederken kırık parçalarının toplam alanı ise oluşan kırık parçalarının alanlarının toplamını ifade etmektedir. Bu iki değer farklarının alınması yardımıyla kemik bütünlüğünde meydana gelen kaybın veya bozulmanın miktarını belirleyen kemik bütünlüğü göstergesi hesaplanmaktadır. Örneğin, karmaşık kırıklarda kırık parça sayısı fazla olduğu ve kırık parçalarının ana kemiğe teması olmadığı için Kemik Bütünlüğü Göstergesi düşük bir değer olacaktır. Ancak, kama kırıklarda bu fark daha az olacağı için bütünlük göstergesi yüksek değerler olacaktır. Tablo 3.2’de kama ve karmaşık kırık türleri için hesaplanan KBG örnek olarak görülmektedir.

Tablo 3.2. Kemik bütünlük göstergesinin hesaplanması

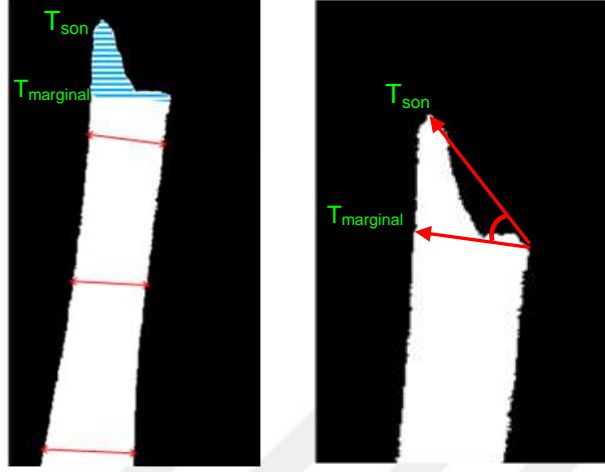
			
Orjinal Görüntü	KBG Hesaplanması	Orjinal Görüntü	KBG Hesaplanması
 Kırık Ucu Alanı (KUA) = 1641	 Kırık Parçalarının Toplam Alanı (KTA) = 1528	 Kırık Ucu Alanı (KUA) = 4531	 Kırık Parçalarının Toplam Alanı (KTA) = 9256
<b>Kemik Bütünlüğü Göstergesi (KBG)</b> = KUA-KTA = 1641-1528 = <b>109</b>		<b>Kemik Bütünlüğü Göstergesi (KBG)</b> = KUA-KTA = 4531-9256 = - <b>4725</b>	
<i>KBG pozitif bir değer olduğu için bu muhtemelen <b>Kama Kırığıdır</b> (32-B)</i>		<i>KBG negatif bir değer olduğu için bu muhtemelen <b>Karmaşık Kırıktır</b> (32-C)</i>	

KUA parametresinin KTA'dan çıkarılması ile bulunan KBG değerlerinin negatif olduğu durumlar karmaşık kırıkları, pozitif olduğu durumlar ise kama kırıklarını göstermektedir. Ancak, bu değerlerin büyüklüğü kırığın yapısına göre değişiklik arz edebilir. Hatta bazı vakalarda iki kırık türü için yakın değerler alabilir. Ancak, KBG değeri DVM sınıflandırıcıya verilen bir özelliktir. DVM, maksimum hiperdüzlem mesafesi yardımı ile etkili bir şekilde sınıflandırma yapabilir.

### 3.4.3. Kırık Ucu Eğimi (KUE)

Kırık ucu eğimi, kemiğin kırılma açısını gösteren bir özelliktir. Oblik ve transvers kırıkların tespitinde kırığın eğimi belirleyici olduğu için bu tip kırıkların sınıflandırmasında kullanılması gerekmektedir. Kırık ucu eğimi hesaplanırken ilk olarak KBG parametresinde tespit edilen proximal ve distal bölgeler kullanılır. Daha sonra Şekil 3.8'de gösterilen iki adet doğru çizilir. Birinci doğru, kırık ucu bölgesinin başlangıç noktasından ( $T_{\text{marjinal}}$ ) ikinci doğru ise kırık ucu bitiş noktasından ( $T_{\text{son}}$ )

çizilir. Kırık ucu eğimi bu iki çizginin kesişim noktası ile hesaplanır. Şekil 3.8'de kırık ucu açısının hesaplanması gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Kırık ucu açısının hesaplanması

#### 3.4.4. Kırık Bölge Haritası (KBH)

Kırık türlerinin sınıflandırma başarısını arttırmak için kırık hattının (çizgi) net olarak belirlenmesi gerekmektedir. Kırık hattının belirlenmesi, spiral kırıkların tespitine imkân sağlamaktadır. Benzer şekilde, parçalı ve karmaşık kırık türlerinin ayrıştırılmasını da kolaylaştırmaktadır. Bu çalışmada, kırık hattının belirlenmesini sağlamak ve kırık bölge haritasını çıkarabilmek için Distance Map ve Maximum Entropi Eşikleme tabanlı yeni bir birleşik özellik çıkarım yöntemi önerilmiştir. KBH olarak adlandırılan bu birleşik yöntem, kemik devamlılığının tespitini sağlar.

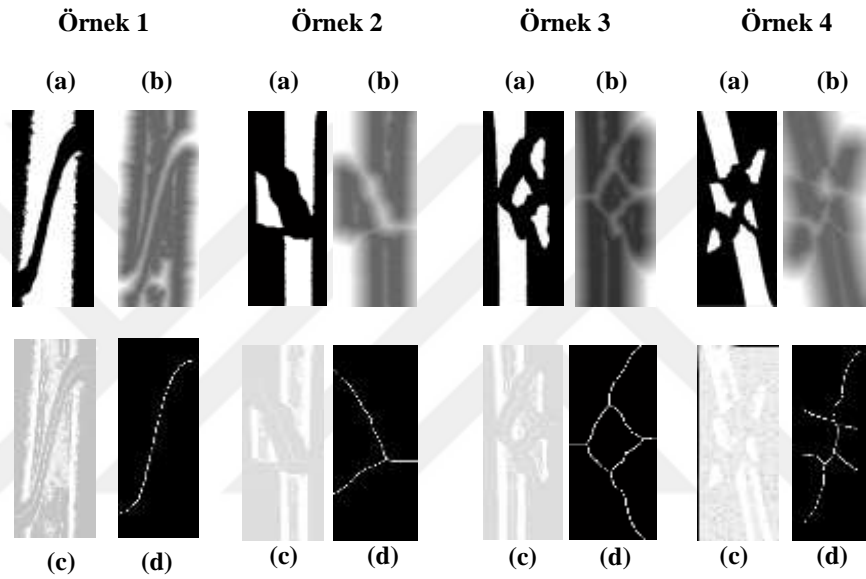
Önerilen metodun ilk aşmasında, kırık görüntüsünün Öklid Uzaklık Dönüşüm [85] yöntemi ile uzaklık haritası çıkarılmaktadır.  $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$  ve  $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_n)$  gibi  $N$  boyutlu iki vektör için Öklid Uzaklık Dönüşümü Denklem 3.2'deki formülle hesaplanabilmektedir;

$$d(X, Y) = \sqrt{(x_1 - y_1)^2 + (x_2 - y_2)^2 + \dots + (x_n - y_n)^2}$$

$$= \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}$$
(3.2)



Uzaklık haritası çıkarılan görüntü, daha sonra Maximum Entropi Eşikleme [86] yöntemi ile bölütlenmiş ve bölütleme sonucunda kırık hattı çizgisi elde edilmiştir. Belirlenen kırık hattı çizgisinin açısallık, pürüzlülük ve en/boy oranı sınıflandırıcıya özellik olarak sunulmuştur. Açısallık ve pürüzlülük Şekil 3.3'te tanımları yapılan şekilsel özniteliklerdir. En/boy oranı ise kırık hattı çizgisinin uzunluk ve yükseklik değerlerinin bölünmesi ile elde edilen orandır. Şekil 3.9'da çeşitli kırıklardan elde edilen kırık hattı çizgileri örnek olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Kırık hattı çizgilerinin belirlenmesi a) Bölütlenmiş Görüntü b) Uzaklık Haritası Çıkartılmış Görüntü c) Görüntünün Negatif d) Maximum Entropi ile eşiklenerek bulunmuş Kırık Hattı Çizgisi

Tablo 3.3'te kırıkları sınıflandırmak için kullanılan özellikler özet olarak görülmektedir. Toplam 8 farklı özellik sınıflandırıcıya giriş olarak sunulmaktadır.

Tablo 3.3. Kırık röntgeninden elde edilen özellikler

Özellik Çıkarma Metodu	Özellik Sayısı	
Kırık Parça Sayısı	KPS	1
Kırık Ucu Eğimi	KUE	1
Kemik Bütünlük Göstergesi	KBG	3
Kırık Bölge Haritası	KBH	3
Toplam		8

### 3.5. Sınıflandırıcı

Öznelik vektörünün oluşturulması aşamasından sonra sınıflandırma işlemi için destek vektör makineleri kullanılmıştır. DVM ilk olarak 1960'lı yıllarda Vapnik tarafından teorik temelleri atılmış [87]; öğrenme, sınıflandırma, kümeleme, yoğunluk tahmini ve regresyon kuralları üretmek için kullanılan bir eğitim algoritmasıdır [88]. Destek Vektör Makineleri yalnızca 2 adet sınıfa ayırıştırma işlemini yapabildikleri için çalışmamızda daha fazla sayıda sınıfa ayırıştırma işlemini destekleyen açık kaynak kodlu bir kütüphane paketi olan LibSVM kullanılmıştır [80]. Sınıflandırıcıya X-ray görüntülerinden elde edilen toplam 8 adet özellik sunulmakta ve 9 adet kırık türüne göre karar verilmektedir. Ayrıca, LibSVM sınıflandırıcısının başarısı k-NN (k-Nearest Neighbors, k-En Yakın Komşuluk), ANN (Artificial Neural Network – Yapay Sinir Ağları) ve LDA (Linear Discriminant Analysis – Doğrusal Ayraç Analizi) gibi sınıflandırıcılarla kıyaslanmıştır.

K-En Yakın Komşu (k-EYK) algoritması, önceden sınıflandırılmış örnekler yardımıyla yeni bir nesneyi özelliklerinden faydalanarak sınıflandırmayı amaçlar [89]. Yapay Sinir Ağları (YSA) ise insan beyninin bilgi işleme yönteminden esinlenerek geliştirilmiş biyolojik sinir sisteminin çalışma şeklini taklit eden bir öğrenme algoritmasıdır [90]. Doğrusal Ayraç Analizi (DAA) algoritmasında ise amaç verilerin sınıflandırılması için gerekli olan ayırt edici öznelikleri seçip, ayırt edici olmayan öznelikleri elemektir. Böylelikle görüntüleri analiz ederken onların içerikleri değil özneliklerine göre analiz edebilen bir yöntemdir [91].

## BÖLÜM 4. DENEYSEL SONUÇLAR

### 4.1. Giriş

Bu çalışmada, FEDİKS'in başarımlı değerlendirilmesini gerçekleştirmek için 196 hastadan alınan toplam 196 adet röntgen görüntüsü ile bir görüntü veritabanı oluşturulmuştur. Görüntüler, ayrıntıları Tablo 4.1'de verilen 9 farklı türdeki Femur diafiz kırık vakası içermektedir. Tüm görüntüler, Afyon Devlet Hastanesi ve Afyon Kocatepe Üniversitesi Hastanesinden 671x818 boyutlarında ve JPG formatında temin edilmiştir.

Tablo 4.1. Kırık veritabanının türlere göre dağılımı

Kırık Türü	1	2	3
A	27	20	20
B	20	29	20
C	20	20	20

Önerilen kırık sınıflandırıcı sistemindeki tüm uygulamalar MATLAB yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Tüm deneysel çalışmalar 3.4 GHz i7 bir işlemci ve 8 GB belleğe sahip, Windows 7 işletim sistemi ile çalışan bir masaüstü bilgisayar üzerinde yapılmıştır. Başarımlı değerlendirilmesinde Kırık Tespit Başarımlı ve Kırık Tespit Süresi kriterleri kullanılmıştır. Bu çalışmada, LibSVM sınıflandırıcı için radyal tabanlı çekirdek fonksiyonu,  $\gamma=29$  ve  $\text{cost}=16$  parametreleri; k-EYK algoritmasında k parametresinin seçilmesinde çapraz doğrulama yöntemi; YSA için 1 gizli katman, 20 nöron ve DAA için çok değişkenli her grup için normal yoğunluk parametreleri kullanılmıştır.

#### 4.2. Kırık Tespit Başarımı

Performans ölçüm deneylerinde 5-kat çapraz doğrulama yöntemi kullanılmış ve böylece tüm görüntülerin hem eğitim hem de test aşamasında kullanılması sağlanmıştır. Buna göre, Tablo 4.2’de önerilen sistemin başarı tespit yüzdeleri görülmektedir. FEDİKS’in çapraz doğrulama yöntemi kullanılarak LibSVM sınıflandırıcı ile ortalama tespit başarısı % 89,87 olarak hesaplanmıştır. Diğer bir ifade ile 196 kırık vakasının yaklaşık olarak 177’si doğru olarak tespit edilebilmiştir. Diğer sınıflandırıcılar ile tespit başarısı biraz daha düşük olarak ölçülmüştür.

Tablo 4.2. Kırık türlerinin sınıflandırma başarısı

Kat Sayısı	Örnek Sayısı	Sınıflandırıcı Başarımları			
		DVM	k-EYK	YSA	DAA
5	196	89,87	87,32	85,32	83,158

Önerilen sistemin başarısını bir başka açıdan değerlendirmek için karmaşıklık matrisinden faydalanılmıştır. Tablo 4.3’te her bir kırık türüne ait vakalar için tahmin edilen doğru ve yanlış kırıkları gösterilmektedir. Bu değerler, LibSVM sınıflandırıcı ile ve çapraz doğrulama yöntemi kullanılmadan hesaplanan değerlerdir. Buna göre, rastgele seçim yöntemiyle veri setinin yarısı sınıflandırıcının eğitimi için geri kalan yarısı da sınıflandırıcı testi için kullanılmıştır. Tablo 4.3’te sınıflandırıcıya ait Duyarlılık (Du) ve Özgüllük (Öz) sonuçları verilmiştir.

Tablo 4.3. Karmaşıklık matrisi

Görüntü Veritabanı		Tahmin Edilen Kırık Türleri									Du	Öz
Kırık Türü	Vaka Sayısı	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3		
A1	13	12	1	0	0	0	0	0	0	0	0,92	1,00
A2	10	0	10	0	0	0	0	0	0	0	1,00	0,98
A3	10	0	0	10	0	0	0	0	0	0	1,00	1,00
B1	10	0	0	0	5	5	0	0	0	0	0,50	0,98
B2	15	0	0	0	1	14	0	0	0	0	0,93	0,92
B3	10	0	0	0	0	0	10	0	0	0	1,00	1,00
C1	10	0	0	0	0	0	0	8	0	2	0,80	0,98
C2	10	0	0	0	0	1	0	0	9	0	0,90	1,00
C3	10	0	0	0	0	0	0	1	0	9	0,90	0,97
Toplam	98	Ortalama Başarım Yüzdesi									0,88	0,98

Tabloda gösterilen yeşil kutucuklar kırık türünün doğru bulunduğunu kırmızı kutucuklar ise yanlış bulunan kırık türlerini göstermektedir. Test sonuçlarına göre; önerilen sistemin ortalama sınıflandırma başarıları %88.75 olarak hesaplanmıştır.

Önerilen sistemin uzman doktorlarla performansını karşılaştırmak için başka bir karmaşıklık matrisi oluşturulmuştur. Bunun için 10 yıllık ve 3 yıllık deneyime sahip 2 ortopedi uzmanı FEDİKS veritabanında bulunan röntgen görüntülerini ayrı ayrı değerlendirmişlerdir. Değerlendirme sonuçları, Tablo 4.4'te gösterilen yeni bir karmaşıklık matrisinde verilmiştir. Tabloda E1 sütunları deneyimli doktoru, E2 sütunları ise daha fazla deneyime sahip doktoru ifade etmektedir. Tabloda görüleceği üzere daha fazla deneyime sahip uzmanın sonuçları FEDİKS'ten biraz daha fazla, az deneyime sahip uzmanın sonuçları daha az başarılıdır. Bununla birlikte karşılaştırmaların sadece 9 kırık türü için yapıldığı unutulmamalıdır.

Tablo 4.4. İki uzman için karmaşıklık matrisi

Görüntü Veritabanı		A1		A2		A3		B1		B2		B3		C1		C2		C3		DUYARLILIK		ÖZGÜLLÜK	
Kırık Türü	Vaka Sayısı	E1	E2	E1	E2	E1	E2	E1	E2	E1	E2	E1	E2	E1	E2	E1	E2	E1	E2	E1	E2		
A1	13	13	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,00	1,00	1,00	1,00
A2	10	1	2	6	7	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,66	0,70	0,97	0,98
A3	10	0	1	1	0	9	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,90	0,90	0,97	0,98
B1	10	0	0	0	0	0	0	10	9	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1,00	0,90	0,97	1,00
B2	15	0	0	0	0	0	0	5	1	10	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0,60	0,93	0,97	0,97
B3	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	10	9	0	0	0	0	0	0	1,00	0,90	0,98	1,00
C1	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	9	0	0	3	1	0,70	0,90	0,98	0,98
C2	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	10	9	0	0	1,00	0,90	1,00	1,00
C3	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	0	0	8	7	0,80	0,70	0,96	0,98
<b>Toplam</b>	<b>98</b>	<b>Ortalama Başarım Yüzdesi</b>																		<b>0,86</b>	<b>0,93</b>	<b>0,98</b>	<b>0,99</b>

Elde edilen sonuçlara göre; önerilen sistemin basit kırıkların sınıflandırılmasında oldukça başarılı olduğu görülmektedir. Ancak, B1 kırık türlerinin ayırımında ve C1 kırık türlerinin ayırımında zorlanmaktadır. Çünkü, bu kırık türleri parçalı spiral kırıklardır ve röntgen görüntülerinde kırıktaki parçalar kırık bölgesindeki spiralliğin net bir şekilde görünmesine engel olduğundan sistem tarafından ayırt edilmesini zorlaştırmaktadır. Ayrıca, kırıkların üst üste gelmesi ve bölütlemeye çok fazla gürültü oluşarak DETHAG tarafından tam olarak temizlenememesi veya bazı kırık parçalarının gürültü olarak sınıflandırılması gibi nedenlerden dolayı da hatalı sınıflandırmalar ortaya çıkabilmektedir. Şekil 4.1'de hatalı olarak sınıflandırılan kemik görüntü örnekleri görülmektedir.

Şekil 4.1a'da spiral (AO 32-A1) sınıfındaki bir kırığın FEDİKS tarafından oblik (AO 32-A2) kırık olarak sınıflandırıldığı görülmektedir. İşlem adımlarında bakıldığında bölütlemenin başarılı gerçekleştiği, DETHAG'ın gürültüleri temizlediği görülmüştür. Ancak, kırık kemik uçlarının birbirleri üzerine geçmesi nedeniyle KBH algoritması kırık hattı çizgisini doğru olarak hesaplayamamıştır. Kırıktaki spiralliği belirleyebilmek için en önemli özellik kırık hattı çizgisinin belirlenmesi olduğu için FEDİKS ortaya çıkan kırık hattı çizgisine göre yanlış karar vermiştir.

Şekil 4.1b'de karmaşık spiral (AO 32-C1) sınıfında bir kırık gözükmemektedir fakat FEDİKS bu görüntüyü karmaşık düzensiz (AO 32-C3) kırık olarak hatalı sınıflandırmıştır. İşlem adımlarında bakıldığında Niblack bölütlemenin çok başarılı gerçekleşmediği görülmektedir. Bölütleme görüntüsüne bakıldığında kırık parçaları üzerinde çok fazla gürültü oluştuğu ve DETHAG'ın gürültülerden bir kısmını temizleyemediği görülmektedir. Görüntünün kırık bölge haritası çıkartılırken KBH algoritması da görüntüdeki fazla gürültüden dolayı gürültülü bir kırık hattı çizgisi hesaplamıştır.

Şekil 4.1c'de ise spiral kama (AO 32-B1) sınıfında bir kırık gözükmemektedir fakat FEDİKS bu görüntüyü kama (AO 32-B2) kırık olarak hatalı sınıflandırmıştır. İşlem adımlarında bakıldığında Niblack bölütlemenin başarılı gerçekleştiği görülmektedir. Fakat DETHAG kırık parçalarından bazılarını hatalı olarak gürültü sınıfında

sınıflandırmış ve görüntüden bunları temizlemiştir. Görüntünün kırık bölge haritası çıkartılırken KBH algoritmasında bu boşlukları kırık hattı çizgisine dâhil ederek kırık hattı çizgisini yanlış hesaplamıştır. Ayrıca, kırık uçlarının birbiri içine geçmeside KPS, KUE ve KBG değerlerinin yanlış hesaplanmasına neden olmuştur.






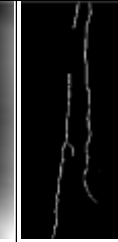











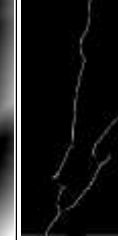





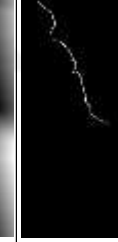
Şekil 4.1d'de karmaşık düzensiz (AO 32-C3) sınıfında bir kırık gözükmemektedir fakat FEDİKS bu görüntüyü karmaşık spiral (AO 32-C1) kırık olarak hatalı sınıflandırmıştır. İşlem adımlarında bakıldığında Niblack bölütlemenin nispeten başarılı gerçekleştiği görülmektedir. Fakat DETHAG'ın gürültülerden bazılarını temizleyemediği, bazı kırık parçalarını ise hatalı olarak temizlediği görülmektedir. Görüntünün kırık bölge haritası çıkartılırken KBH algoritmasında temizlenen hatalı kırık parçalarının bulunduğu boşlukları kırık hattı çizgisine dâhil ederek kırık hattı çizgisini yanlış hesaplamıştır. Ayrıca, kırık parçalarının birbiri içine geçmesi de KPS, KUE ve KBG değerlerinin yanlış hesaplanmasına neden olmuştur.

Hatalı sınıflandırma örneklerinden görüldüğü üzere daha çok spiral kırıkların sınıflandırmasında yanlış hesaplamalar ortaya çıkmaktadır, bunun nedeni spiralliğe karar verme işleminin geometrik olarak hesaplamasının zor olması, birbirinin içine geçmiş kemiklerin veya kırık parçalarının görüntülerde bile net olarak görülememesi ve x-ışını görüntülerinin kalitesinin oldukça düşük olmasıdır.

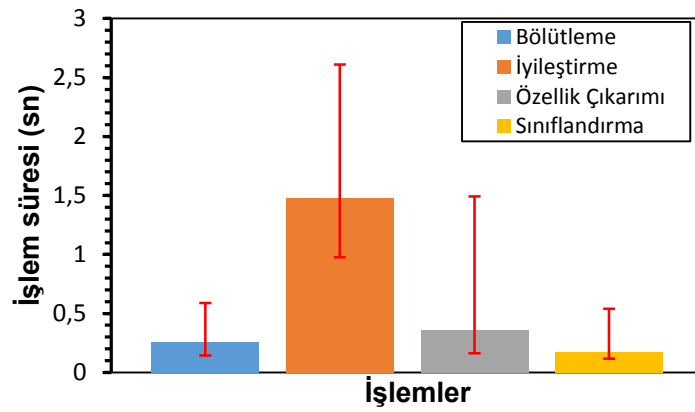
### 4.3. Kırık Tespit Süresi

FEDİKS sisteminin kırık tespit süresi Şekil 4.2'de verilmiştir. Buna göre sistem, kırık bulunan bir röntgen görüntüsünün sınıfını ortalama 2,5 sn'de bulabilmektedir. Tablodan elde edilen sonuçlara göre sistem en fazla zamanı görüntü iyileştirme aşamasında harcamaktadır. Bunun nedeni ise görüntüde bulunan bütün parçalara ait özellikler çıkarılarak bir öznitelik vektörü oluşturması ve gürültüleri temizlemek için bu parçaların sınıflayıcıda değerlendirmesidir.



	Orjinal Görüntü	Niblack	Gürültü Tanımlama (DETHAG)	DETHAG Gürültü Giderme	Distance Map	Kırık Bölge Haritası (KBH)
(a) Spiral (AO 32-A1) bir kırık ancak oblik (AO 32-A2) kırık olarak sınıflandırmıştır						
(b) Karmaşık Spiral (AO 32-C1) bir kırık ancak Karmaşık Düzensiz (AO 32-C3) kırık olarak sınıflandırmıştır						
(c) Spiral kama (AO 32-B1) bir kırık fakat kama (AO 32-B2) olarak sınıflandırmıştır						
(d) Karmaşık düzensiz (AO 32-C3) bir kırık ancak Karmaşık Spiral (AO 32-C1) kırık olarak sınıflandırmıştır						

Şekil 4.1. Hatalı sınıflandırılan röntgen görüntüsü örnekleri



Şekil 4.2. İşlem Sürelerinin Karşılaştırılması (Hata çubukları sürelerin minimum, maksimum ve ortalama değerlerini göstermektedir)

## BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışmada, Femur kemiği diafiz kırıklarının AO/OTA standartlarına göre 9 farklı sınıfta otomatik olarak ayrıştırabilen bütünleşik bir sistem (FEDİKS) önerilmiştir. FEDİKS ön-işleme, bölütleme, görüntü iyileştirme, özellik çıkarımı ve sınıflandırma aşamalarından meydana gelmektedir. Önerilen sistemde, kırık türlerini başarılı bir şekilde sınıflandırabilmek için Niblack eşikleme yöntemi ile bölütleme yapılmış ve daha sonrasında oluşan gürültüleri hassas bir şekilde kaldırabilmek için DETHAG adını verdiğimiz SVM tabanlı gürültü giderme tekniği kullanılmıştır. Buna ek olarak, kırık türlerinin birbirlerine çok benzer olması ve ayrıştırılmasının zor olması sebebiyle yeni birleşik özellik çıkarım yöntemleri önerilmiştir. Kemik Bütünlüğü Göstergesi (KBG) ve KBH adını verdiğimiz kırık bölge haritası özelliği ile de kırık hattının spirallığı, boyu ve açısı gibi bilgilerin elde edilmesi sağlanmıştır. Gerçekleştirilen detaylı test sonuçlarına göre toplam 196 adet kırık röntgen görüntüsü için sistemin sınıflandırma başarısı %89,87 oranında olarak ölçülmüştür.

Tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçların özetleri aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

1. Femur Diafiz bölgesi kırıklarının otomatik olarak sınıflandırılması için önerilen FEDİKS, literatürdeki bir kemik grubundaki kırık türlerinin (Femur Diafiz) otomatik olarak sınıflandırılmasını sağlayan ilk çalışmadır. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde genelde kemik kırıklarının tespitine odaklanıldığı görülmektedir.
2. FEDİKS ile farklı kırık türlerini yüksek başarıyla sınıflandırılabilmesi için X-ışını görüntülerinin bölütlenmesi aşamasında literatürdeki çalışmalardan farklı olarak Niblack eşikleme yönteminin kullanımı önerilmiştir. Niblack

yönteminin kullanımı sayesinde kemik bölgelerindeki kırığa dair bazı önemli verilerin kaybolmadan bölütlenmesi sağlanmıştır.

3. Bölütleme sonrasında oluşan gürültülerin kırık hatlarına zarar vermeden hassas bir şekilde temizlenebilmesi için ise DETHAG adı verilen DVM-tabanlı yeni bir gürültü giderme yöntemi tasarlanmıştır. DETHAG yöntemi ile bölütleme sonrasında oluşan gürültüler, kemik hatlarından %93,7 oranında bir başarıyla temizlenebilmiştir.
4. Önerilen kırık tespit sisteminin başarımını yükseltmek için ve farklı türdeki kırıkların tespitini gerçekleştirebilmek için “kemik bütünlüğü göstergesi” ve “kırık bölge haritası” adı verilen iki yeni özellik çıkarım metodu önerilmiştir. KBG ile kama ve karmaşık kırıklarının birbirlerinden ayrılmasına katkı sağlanırken KBH ile de özellikle spiral kırık türlerinin yüksek başarımla tespiti mümkün olmuştur.
5. Önerilen FEDİKS’in klinik ortamda kullanılabilirliğini anlayabilmek için tespit başarısı, ortopedi alanında farklı seviyede deneyime sahip iki doktor ile kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; FEDİKS’in başarısı az deneyimli bir doktorun başarısından %3 daha fazla çıkmıştır. Bununla birlikte, çok deneyimli bir doktorun başarısından ise %4 daha az çıkmıştır.
6. Önerilen FEDİKS yöntemi ile kırık sınıflandırma işlemi standart bir bilgisayarda yaklaşık 2,5 sn. gibi bir süre içerisinde gerçekleştirilebilmektedir. Klinik şartlar düşünüldüğünde tespit süresinin yeterli olduğu söylenebilir.
7. Sonuç olarak, FEDİKS doktorlara Femur kemiği diafiz kırıklarının sınıflandırmasında kolaylık sağlayacak ek bir araç olma potansiyeline sahip olduğu söylenebilir.

## 5.1. Tartışma ve Öneriler

Bu tezden elde edilen sonuçlar ve katkılar doğrultusunda kısıtlamalar ve gelecekte yapılabilecek çalışmalar şunlardır:

1. Bu çalışmanın en önemli sınırlamalarının başında, önerilen sistemin sadece tek bir kemik ile kısıtlı olması gelmektedir. Bu kısıtlamanın sebebi, her bir kemiğin altında 10'larca farklı kırık türünün bulunması ve toplamda 100'lerce farklı kırık türünü sınıflandırılmasının oldukça zor olmasıdır. Bu çalışmada, bir kemik grubundan başlanarak kapsamlı bir otomatik kırık kemik sınıflandırıcının temeli atılmıştır. Ancak, bu çalışmada önerilen tekniklerin bazılarının diğer kırık türlerinin tespitinde de kullanılması mümkündür. Çünkü farklı kemik türü de olsa alt grupların belirlenmesi için kırığın spiralliği, kemik bütünlüğünün devamı ve açısı gibi parametrelerin belirlenmesine bağlıdır.
2. Önerilen sistem diğer kırıklara göre daha az rastlanılan Femur diafiz kırıklarının üzerine odaklanmaktadır. Bu kısıtlamanın sebebi, Femur Diafiz bölgesindeki kemiğin vücudumuzun en uzun ve tek parça kemiği olması ve dolayısıyla kırık vakalarının daha kolay tespit edilebilmesidir. Ancak, kolay tespit avantajına karşın femur kemiği diafiz kırıkları çok sık rastlanılan bir kırık türü değildir, bu nedenle örnek veri seti oluşturmak zahmetli olabilmektedir. Bundan sonraki çalışmalarımızda, veri seti arttırarak daha detaylı başarımların değerlendirilmesinin gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir.
3. Röntgen görüntüsünden kaynaklanan hatalar sistemin teşhis başarısını düşürmektedir. Bazı kırık vakalarında görüntüde fark edilemeyen kırık parçaları teşhisin hatalı konmasına sebep olabilmektedir. Örneğin, bir doktorun röntgene bakarak görünenler ışığında Kama kırığı olarak değerlendirdiği bir vaka ameliyatla incelendiğinde karmaşık kırık olarak değerlendirilebilmektedir. Bu gibi zorluklar önerilen sistemin teşhis başarısını düşürebilmektedir.

4. Önerilen FEDİKS sistemi, lisans problemlerini aşmak ve çalışma hızını arttırmak için MATLAB yerine ITK veya OpenCV gibi açık-kaynak platformalara taşınabilir.



## KAYNAKLAR

- [1] Müller, M.E., AO Classification of fractures-long bones, [http://www.aofoundation.org/Documents/mueller\\_ao\\_class.pdf](http://www.aofoundation.org/Documents/mueller_ao_class.pdf), Erişim Tarihi: 27.12.2015.
- [2] Marolt, D., Knezevic, M., Novakovic, G.V., Bone tissue engineering with human stem cells. *Stem. Cell. Res. Ther.*, 10:20637059, 2010.
- [3] Wang, X., Sreekar, P., The toughness of cortical bone and its relationship with age. *Ann. Biomed. Eng.*, 1:123–135, 2004.
- [4] Graham, T.J., Bamberger, H.B., Calandruccio, J.H., Wiedrich, T.A., Focht, L.M., Bone plate extender and extension system for bone restoration and methods of use thereof., Patent no:US8652179B2, 2014.
- [5] Dewi, D.E., Veldhuizen, A.G., Burgerhof, J.G., Purnama, I.K., Ooijen, P.M., Wilkinson, M.H., Mengko, T.L., Verkerke, G.J., Reproducibility of standing posture for x-ray radiography: a feasibility study of the balancaid with healthy young subjects. *Ann. Biomed. Eng.*, 10:3237-3245, 2010.
- [6] Müller, M.E., Koch, P., Nazarian, S., Schatzker, J., The comprehensive classification of fractures of long bones. In: Springer-Verlag, Berlin; 1990:106-115, 1990.
- [7] Dirschl, D.R., Cannada, L.K., Classification of fractures. *Rockwood and Green's Fractures in Adults*. In: Lippincott, Williams & Wilkins, Philadelphia; 2010:39-52, 2010.
- [8] Behiels, G., Maes, F., Vandermeulen, D., Suetens, P., Evaluation of image features and search strategies for segmentation of bone structures in radiographs using active shape models. *Med. Image Anal.*, 1: 47–62, 2002.
- [9] Jiang, Y., Babyn, P., X-ray bone fracture segmentation by incorporating global shape model priors into geodesic active contours. *CARS 2004 - Comput. Assist. Radiol. Surg. Proc. 18th Int. Congr. Exhib.*, 219-224, 2004.
- [10] Ding, F., Leow, W., Howe, T., Automatic segmentation of femur bones in anterior-posterior pelvis x-ray images. In: *computer analysis of images and patterns*. Springer Berlin Heidelberg; 4673:205-212, 2007.

- [11] Pilgram, R., Walch, C., Blauth, M., Jaschke, W., Schubert, R., Kuhn, V., Knowledge-based femur detection in conventional radiographs of the pelvis. *Comput. Biol. Med.*, 5:535-544, 2008.
- [12] Korürek, M., Yüksel, A., Iscan, Z., Dokur, Z., Ölmez, T., Retrospective correction of near field effect of X-ray source in radiographic images by using genetic algorithms. *Expert Syst. Appl.*, 3:1946-1954, 2010.
- [13] Ribeiro, E., Nogueira-Barbosa, M.H., Rangayyan, R.M., Azevedo-Marques, P.M., Detection of vertebral plateaus in lateral lumbar spinal X-ray images with Gabor filters. *Engineering In Medicine And Biology Society*, 2010:4052-4055, 2010.
- [14] Liang, J., Pan, A-C., Huang, Y-H., Fan, X., Fracture identification of X-ray image. *Wavelet Analysis And Pattern Recognition (Icwapr).*; 2010:67-73, 2010.
- [15] Bandyopadhyay, O., Chanda, B., Bhattacharya, B., Entropy-Based automatic segmentation of bones in digital x-ray images. *pattern recognition and machine intelligence*. Springer Berlin Heidelberg, 6744:122-129, 2011.
- [16] Lindner, C., Thiagarajah, S., Wilkinson, J.M., Wallis, G.A., Cootes, T., Accurate fully automatic femur segmentation in pelvic radiographs using regression voting. *Medical Image Computing And Computer-Assisted Intervention (miccai)*. Springer Berlin Heidelberg; 7512:353-360, 2012.
- [17] Chen, C., Xie, W., Franke, J., Grütznert, P., Nolte, L-P., Zheng, G., Fully automatic x-ray image segmentation via joint estimation of image displacements. In: *medical image computing and computer-assisted intervention*, Springer Berlin Heidelberg; 8151:227-234, 2013.
- [18] Chen, C., Zheng, G., Fully automatic segmentation of AP pelvis X-rays via random forest regression with efficient feature selection and hierarchical sparse shape composition. *Comput. Vis. Image Underst.*, 1-10, 2014.
- [19] Tian, T.P., Chen, Y., Leow, W.K., Hsu, W., Howe, T.S., Png, M.A., Computing neck-shaft angle of femur for x-ray fracture detection. *Computer Analysis Of Images And Patterns*. Springer; 2756:82-89, 2003.
- [20] Yap, D.W., Chen, Y., Leow, W.K., Howe, T.S., Png, M.A., Detecting femur fractures by texture analysis of trabeculae. In: *pattern recognition, icpr 2004. proceedings of the 17th international conference on*. IEEE, 3:730-733, 2004.
- [21] Lim, S.E., Xing, Y., Chen, Y., Leow, W.K., Howe, T.S., Png, M.A., Detection of femur and radius fractures in x-ray images. In: *2nd international conference on advances in medical signal and information processing.*; 249-256, 2004.

- [22] Lum, V.L., Leow, W.K., Chen, Y., Howe, T.S., Png, M.A., Combining classifiers for bone fracture detection in X-ray images. In: image processing, icip 2005. iee international conference on. 1:I-1149-52, 2005.
- [23] He, J., Leow, W., Howe, T., Hierarchical classifiers for detection of fractures in x-ray images. In: computer analysis of images and patterns. Springer Berlin Heidelberg, 4673:962-969, 2007.
- [24] Ekşi, Z., Dandil, E., Çakıroğlu, M., Computer aided bone fracture detection. In: 20th signal processing and communications applications conference, 2012.
- [25] Mahendran, S.K., Baboo, S.S., Ensemble systems for automatic fracture detection. Int. J. Eng. Technol. IACSIT, 1:7, 2012.
- [26] Donnelley, M.W., Computer aided long-bone segmentation and fracture detection., Flinders University, Faculty of Science and Engineering, Yüksek Lisans Tezi 2008.
- [27] Chai, H.Y., Wee, L.K., Swee, T.T., Hussain, S., Ariff, A.K., Gray-level co-occurrence matrix bone fracture detection. Am. J. Appl. Sci., 1:26-32, 2011.
- [28] Linda, C.H., Jiji, G.W., Crack detection in X-ray images using fuzzy index measure. Appl. Soft Comput., 4:3571-3579, 2011.
- [29] Smith, R., Ward, K., Cockrell, C., Ha, J., Najarian, K., Detection of fracture and quantitative assessment of displacement measures in pelvic X-RAY images. In: Ieee International Conference Acoustics Speech And Signal Processing. 2010:682-685, 2010.
- [30] Wei, Z., Liming, Z., Study on recognition of the fracture injure site based on X-ray images. In: Image and Signal Processing, 2010 3rd international congress on, 4:1947-1950, 2010.
- [31] Hacıhaliloğlu, I., Abugharbieh, R., Hodgson, A.J., Rohling, R.N., Guy, P., Automatic bone localization and fracture detection from volumetric ultrasound images using 3-D local phase features. Ultrasound Med. Biol., 1:128-144, 2012.
- [32] Hacıhaliloğlu, I., Wilson, D.R., Gilbert, M., Hunt, M.A., Abolmaesumi, P., Non-iterative partial view 3D ultrasound to CT registration in ultrasound-guided computer-assisted orthopedic surgery. Int. J. Comput. Assist. Radiol. Surg., 2:157-168, 2013.
- [33] Wu, J., Davuluri, P., Ward, K.R., Cockrell, C., Hobson, R., Najarian, K., Fracture detection in traumatic pelvic ct images. Int. J. Biomed. Imaging, 1-10, 2012.



- [34] Burghardt, A.J., Kazakia, G.J., Majumdar, S., A local adaptive threshold strategy for high resolution peripheral quantitative computed tomography of trabecular bone. *Ann. Biomed. Eng.*, 10:1678-1686, 2007.
- [35] Zhang, J., Yan, C-H., Chui, C-K., Ong, S-H., Fast segmentation of bone in CT images using 3D adaptive thresholding. *Comput. Biol. Med.*, 2:231-236, 2010.
- [36] Roberts, M.G., Pacheco, E.M., Mohankumar, R., Cootes, T.F., Adams, J.E., Detection of vertebral fractures in DXA VFA images using statistical models of appearance and a semi-automatic segmentation. *Osteoporos. Int.*, 12:2037-2046, 2010.
- [37] Chowdhury, A., Burns, J.E., Mukherjee, A., Sen, B., Yao, J., Summers, R.M., Automated detection of pelvic fractures from volumetric CT images. In: *The 9th International Symposium Biomedical Imaging*, 2012.
- [38] Ababneh, S.Y., Prescott, J.W., Gürcan, M.N., Automatic graph-cut based segmentation of bones from knee magnetic resonance images for osteoarthritis research. *Med. Image Anal.*, 4:438-448, 2011.
- [39] Funk, M.W., El-kwae, E.A., Kellam, J.F., Towards automated bone fracture classification. *Proc. SPIE - Int. Soc. Opt. Eng.*, 2:755-765, 2001.
- [40] Lee, C.A., Einhorn, T.A., Chapter 1 - The Bone Organ System: Form and Function. In: Kelsey RMF, ed. *osteoporosis (second edition)*. Academic Press, San Diego; 2001:3-20, 2001.
- [41] Akay, M.T., *Genel Histoloji*. Palme Yayıncılık, 2006.
- [42] Demircan, G., Kompozit delikli ortopedik plaklarda gerilme analizi. *Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 2007.
- [43] Yazıcı, M., Kutlu, M., Kemiğin Yapısı ve Kemik Döngüsünün Düzenlenmesi. *Turk. Klin. J. Endocrinol. Spec. Top.*, 2:1-8, 2011.
- [44] Gowen, M., Cytokines regulate bone cell function. *Rheumatol. Rewiev*, 43-50, 1991.
- [45] Glimcher, M.J., Composition, structure, and organization of bone and other mineralized tissues and the mechanism of calcification. *Williams and Wilkins Company*, 1976.
- [46] Carola, R., Harley, J.P., Noback, C.R., *Human anatomy and physiology*. McGraw-Hill College, 1992.
- [47] Mescher, A., *Junqueira's Basic Histology: Text and Atlas, Thirteenth Edition: Text and Atlas, Thirteenth Edition*. McGraw-Hill Education, 2013.

- [48] An, Y.H., Draughn, R.A., Mechanical testing of bone and the bone-implant interface. CRC press, 1999.
- [49] <https://courses.candelalearning.com/biology2x4master/chapter/bone>, Erişim Tarihi: 27.12.2015.
- [50] Carola, R., Harley, J.P., Noback, C.R., Human anatomy and physiology. McGraw-Hill College, 1992.
- [51] Özkara, T., Dondurarak kurutma yöntemi ile saklanan greftlerin mekanik özellikleri üzerine radyasyonla sterilizasyonun etkileri. İstanbul Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2003.
- [52] Blausen.com staff, Wikiversity J. Med., doi:10.15347/wjm/2014.010
- [53] Ortner, D.J., Identification of pathological conditions in human skeletal remains. Academic Press, 2003.
- [54] Kumar, V., Cotran, R.S., Robbins, S.L., Temel Patoloji, (Çev.Edt: Çevikbaş, U.), Nobel Tıp Kitabevleri, İstanbul., 2000.
- [55] Günay, I., Mersin–Kelenderis (19. yy) toplumunun sağlık sorunları. Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2005.
- [56] Gartner, L.P., Hiatt, J.L., Colour textbook of histology. London, WB Saunders, 2001.
- [57] Polat, O., Ekstremitte Kırıklarına Yaklaşım ve Tedavi Metodolojisi. Acil Tıp Derg., 4, 2003.
- [58] Danis, D.R., Théorie et pratique de l'ostéosynthèse: par Robert Danis, Université de Bruxelles, Masson-Niort, 1949.
- [59] Sharrard, W., Treatment of congenital and infantile pseudarthrosis of the tibia with pulsing electromagnetic fields. Orthop. Clin. North Am., 1:143–162, 1984.
- [60] Şirin, H.T., Biyoaktif metalik implantların üretimi. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2011.
- [61] Hutzschenreuter, P., Perren, S., Steinemann, S., Geret, V., Klebl, M., Some effects of rigidity of internal fixation on the healing pattern of osteotomies. Injury, 1:77–81, 1969.
- [62] Reitzik, M., Cortex-to-cortex healing after mandibular osteotomy. J. Oral Maxillofac. Surg., 10:658–663, 1983.
- [63] Schenk, R., Histophysiology of bone remodeling and bone repair. Perspect. Biomater., 75–94, 1986.

- [64] Fonseca, R., Walker, R., Betts, N., Barber, H., Powers, M., Oral and maxillofacial trauma, Elsevier, 2005.
- [65] [http://www.davidnelson.md/articles/Fractures\\_in\\_general.htm](http://www.davidnelson.md/articles/Fractures_in_general.htm), Erişim Tarihi: 27.12.2015.
- [66] Buser, D., Dahlin, C., Schenk, R., Guided bone regeneration. Chic. Quintessence, 1994.
- [67] Mathog, R.H., Maxillofacial trauma. Lippincott Williams and Wilkins, 1984.
- [68] Simmons, D., Fracture healing. Fundam. Clin. Bone Physiol., 283–330, 1980.
- [69] Fourman, P., Roger, R., Fourman, P., Royer, P., Calcium Metabolism and the Bone, Oxford, 1968.
- [70] Polson, A.M., Periodontal regeneration: current status and directions. Quintessence Pub Co, 1994.
- [71] Canbeyli, İ.D., Platelet’den zengin plazma’nın (prp) tavşanlarda oluşturulan kırık iyileşmesine etkilerinin araştırılması. Başkent Üniversitesi, Uzmanlık Tezi, 2013.
- [72] Winqvist, R.A., Hansen, S.T., Clawson, D.K., Closed intramedullary nailing of femoral fractures. A report of five hundred and twenty cases. J. Bone Jt. Surg., 4:529–539, 1984.
- [73] Mrita, F.S., Short-term outcome of patients with closed comminuted femoral shaft fracture treated with locking intramedullary sign nail at Muhimbili Orthopaedic Institute, Uzmanlık Tezi, 2012.
- [74] Gustilo, R.B., Anderson, J.T., Prevention of infection in the treatment of one thousand and twenty-five open fractures of long bones: retrospective and prospective analyses. J. Bone Joint Surg. Am., 4:453-458, 1976.
- [75] Goslings, J., Ponsen, K., Van Delden, O., Injuries to the Pelvis and Extremities. ACS Surg. Princ. Pract., 2:3–4, 2007.
- [76] Oestern, H-J., Tscherne, H., Pathophysiology and classification of soft tissue injuries associated with fractures. In: fractures with soft tissue injuries. Springer; 1–9, 1984.
- [77] Ünsalan, S., Eksternal fiksator schanz vidalarında, yorulma, çekme-çıkarma ve sıkma-çözülme torklarının analizi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2006.
- [78] Niblack, W., An Introduction to Image Processing. In: Prentice-Hall, Englewood Cliffs; 115–116, 1986.

- [79] Bayram, F., Çakıroğlu, M., DIFFRACT: DIaphyseal Femur FRActure Classifier SysTem. *Biocybernetics and Biomedical Engineering*, 36:157-171, 2016.
- [80] Chang, C-C., Lin, C-J., LIBSVM: a library for support vector machines. *ACM Trans. Intell. Syst. Technol. TIST*, 3:27, 2011.
- [81] Kuo, C.Y., Frost, J.D., Lai, J.S., Wang, L.B., Three-dimensional image analysis of aggregate particles from orthogonal projections. *Transp. Res. Rec.*, 1526:98-103, 1996.
- [82] Kuo, C-Y., Freeman, R., Imaging indices for quantification of shape, angularity, and surface texture of aggregates. *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, 57-65, 2000.
- [83] Mora, C.F., Kwan, K.H., Sphericity, shape factor, and convexity measurement of coarse aggregates for concrete using digital image processing. *Cem. Concr. Res.*, 351-358, 2000.
- [84] Özen, M., Investigation of relationship between aggregate shape parameters and concrete strength using imaging techniques. *Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 2007.
- [85] Maurer, C., Qi, R., Raghavan, V., A linear time algorithm for computing exact euclidean distance transforms of binary images in arbitrary dimensions. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, 2:265-270, 2003.
- [86] Sahoo, P.K., Soltani, S., Wong, K.C., Chen, Y.C., A survey of thresholding techniques. *Comput. Vis. Graph. Image Process.*, 233-260, 1998.
- [87] Vapnik, V., Cortes, C., Support-vector networks. *Machine learning*, 20(3), 273-297, 1995.
- [88] İlhan, İ., Genom çaplı ilişki çalışmaları için yapay zekâ teknikleri ile etiket snp seçimi. *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, 2013.
- [89] <http://akademi.itu.edu.tr/kiris/DosyaGetir/92593/09%20Ozkan%202013.pdf>, Erişim Tarihi: 27.12.2015.
- [90] Yegnanarayana, B., *Artificial Neural Networks*, Prentice Hall of India, New Delhi, 2006.
- [91] Çevikalp, H., Theoretical analysis of linear discriminant analysis criteria. In *Signal Processing and Communications Applications*, 2006.

## ÖZGEÇMİŞ

Fatih BAYRAM, 04.09.1982 de Afyon' da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Afyon'da tamamladı. 1999 yılında Gazi Anadolu Teknik Lisesi, Bilgisayar bölümünden mezun oldu. 1999 yılında başladığı Marmara Üniversitesi Bilgisayar Öğretmenliği bölümünü 2003 yılında bitirdi. 2003 yılında Afyon'da başladığı Bilgisayar Öğretmenliği görevine devam etmektedir. Yüksek Lisans eğitimini 2009 yılında Afyon Kocatepe Üniversitesi, Bilgisayar bölümünde tamamladı.

Yüksek lisans eğitimi sırasında Avrupa Birliği Erasmus öğrenci değişimi çerçevesinde 6 ay süre ile Avusturya'da araştırmalarda bulundu. Ayrıca Avrupa Birliği Erasmus+, Comenius ve Grundtvig programları kapsamında İngiltere, Avusturya ve Slovenya'da faaliyetlere katıldı.

2009 Eylül ayında Doktora çalışmasına başladı. Halen Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalında doktora öğrencisidir.