



T.C.  
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ  
TIP FAKÜLTESİ  
RADYOLOJİ ANABİLİM DALI

**3.0T MRG İLE KEMİK YAŞI TAYİNİNDE DİSTAL  
FEMORAL VE PROKSİMAL TİBİAL EPİFİZ  
PLAĞININ DEĞERLENDİRİLMESİ: GÜNCEL  
METOTLARIN KARŞILAŞTIRILMASI**

TIPTA UZMANLIK TEZİ  
DR. BÜŞRA HAS

DÜZCE-2021





T.C.  
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ  
TIP FAKÜLTESİ  
RADYOLOJİ ANABİLİM DALI

**3.0T MRG İLE KEMİK YAŞI TAYİNİNDE DİSTAL  
FEMORAL VE PROKSİMAL TİBİAL EPİFİZ  
PLAĞININ DEĞERLENDİRİLMESİ: GÜNCEL  
METOTLARIN KARŞILAŞTIRILMASI**

TIPTA UZMANLIK TEZİ  
DR. BÜŞRA HAS

DANIŞMAN: DR. ÖĞR. ÜYESİ HASAN BAKİ ALTINSOY

DÜZCE-2021



## ÖNSÖZ

Tüm asistanlık eğitim sürecimde bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım değerli hocalarım Prof. Dr. Alp Alper Şafak'a, Prof. Dr. Ömer Önbaş'a, Doç. Dr. Elif Nisa Ünlü'ye, Dr. Öğr. Üyesi Derya Güçlü'ye, Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ali Özel'e ve diğer değerli hocalarıma,

Her konuda desteğini hissettiğim, tecrübelerinden faydalandığım Dr. Öğr. Üyesi Hasan Baki Altınsoy'a,

Tezimin her aşamasında bana sabırla yardımcı olan ve yol gösteren Dr. Öğr. Üyesi Murat Serdar Gürses'e,

Birlikte uyum içerisinde çalıştığım tüm çalışma arkadaşlarıma,

Yaşamım boyunca maddi ve manevi her zaman yanımda olan aileme en içten duygularıyla teşekkür ederim.

*Mart 2021*

*Büşra Has*

## ÖZET

Yaş tespiti, tıp ve hukuk alanındaki yaşa bağımlı uygulamalar nedeniyle önemli bir konudur. Radyolojik olarak kemik yaşı tespiti bu amaçla sıklıkla başvurulan bir yöntemdir. Çalışmamızın amacı, distal femur ve proksimal tibia epifizlerinin matürasyon aşamalarının manyetik rezonans görüntüleme ile değerlendirildiği üç farklı güncel yöntemi çalışma popülasyonumuzda incelemek, bu yöntemleri karşılaştırmak ve bu yöntemlerin adli yaş tespitinde uygulanabilirliğini tartışmaktır.

Çalışmada, 3.0 T (Tesla) MR (manyetik rezonans) tarayıcı ile elde edilmiş diz görüntüleri bulunan, 10-30 yaş arası 351'i erkek, 246'sı kadın, toplam 597 olgu retrospektif olarak değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında, T1 ağırlıklı turbo spin eko ve proton dansite ağırlıklı yağ baskılı turbo spin eko sekanslar, iki gözlemci tarafından birbirinden bağımsız olarak değerlendirilmiştir. Her üç evreleme metodunda da distal femur ve proksimal tibianın epifiz plaklarında, olguların yaşlarına göre evrelerde anlamlı değişiklikler saptanmıştır. Her evreleme metodunda gözlemci içi ve gözlemciler arası uyumluluk iyi-çok iyi olarak bulunmuştur.

Çalışmamızın sonuçlarına göre, 14 ve 15 yaş sınırları için femur ve tibiada Kramer ve ark.'nın kombine metodunun son evresinin; 18 yaş sınırı için femurda Dedouit ve ark. ile Vieth ve ark.'nın metodlarının son evrelerinin; 21 yaş sınırı için de femurda Dedouit ve ark.'nın metodunun son evresinin her iki cinsiyet için yaş tespitinde ek bir kriter olarak kullanılabileceği değerlendirilmiştir. Sonuç olarak kemik yaşı tespitinde diz MRG (manyetik rezonans görüntüleme), radyasyon içermeyen alternatif bir modalite olarak öne çıkmaktadır. MRG ile yaş tespitinde bireye özgü yaklaşım ile araştırılan yaş aralığına yönelik yöntemin tercih edilmesi ve gelecekte daha geniş popülasyonlarda bu farklı yöntemlerin karşılaştırıldığı çalışmalar yapılması gerekmektedir.

**ANAHTAR SÖZCÜKLER:** Adli yaş tayini, Distal femoral epifiz, Kemik yaşı değerlendirmesi, Manyetik rezonans görüntüleme, Proksimal tibial epifiz

## ABSTRACT

Age determination is an important matter due to age-dependent practices in medicine and law. Radiological determination of bone age is a frequently used method for this purpose. The aim of our study is to examine three different existing methods in our study population in which maturation stages of the distal femoral and proximal tibial epiphyses are evaluated by magnetic resonance imaging, to compare these methods and to discuss their applicability in forensic age determination.

In this study, a total of 597 cases, 351 males and 246 females, aged between 10-30 years, with knee images obtained with 3.0T MR scanner were evaluated retrospectively. Within the scope of this study, T1 weighted turbo spin echo and fat suppressed proton density weighted turbo spin echo sequences were evaluated independently by two observers. Significant changes have been found in the epiphyseal plates of the distal femur and proximal tibia in stages depending to the ages of the patients in all three staging methods. Intra-observer and inter-observer agreement was found to be good-very good for each staging method.

According to our findings of our study, the final stage of the combined method of Kramer et al. in the femur and tibia for the age limits of 14 and 15, the final stages of the methods of Dedouit et al. and Vieth et al. in the femur for the age limit of 18, the final stage of the method of Dedouit et al. in the femur for the age limit of 21 can be used as an additional criterion for age determination of both sexes. As a result, knee MRI (magnetic resonance imaging) stands out as an alternative modality that does not contain radiation. In age determination with magnetic resonance imaging, it is necessary to prefer the method intended for the investigated age range with an individual-specific approach. Further studies need to be carried out with larger populations by comparing these three methods in the future.

**KEYWORDS: Bone age assessment, Distal femoral epiphysis, Forensic age estimation, Magnetic resonance imaging, Proximal tibial epiphysis**

# İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfalar</u>
Önsöz .....	i
Özet .....	ii
İngilizce Özet (Abstract) .....	iii
İçindekiler .....	iv
Simgeler ve Kısaltmalar Dizini .....	vi
Şekiller Listesi .....	viii
Tablo Listesi .....	x
1. Giriş ve Amaç .....	1
2. Genel Bilgiler .....	2
2.1. Normal İskelet Gelişimi ve Ossifikasyon .....	2
2.2. Epifiz Yapısı ve Matürasyonu .....	3
2.3. Epifiz ve Büyüme Plağının MRG Özellikleri .....	5
2.4. Yaş Tespitine Genel Bakış ve Adli Yaş Tespiti .....	6
2.5. Ülkemizde Adli Yaş Tespiti, Yaş Sınırlarıyla İlgili Kanun ve Mevzuatlar ....	7
2.6. Kemik Yaşı Tespitinde Görüntüleme .....	8
2.6.1. Direkt grafi ve bilgisayarlı tomografi .....	8
2.6.2. Ultrasonografi .....	11
2.6.3. Manyetik rezonans görüntüleme .....	12
2.7. Manyetik Rezonans Görüntülemede Fizik Prensipler .....	12
2.7.1. Manyetizasyon, rezonans, relaksasyon kavramları ve sinyal oluşumu.	12
2.7.2. Görüntü oluşumu .....	14
2.7.3. Temel puls sekansları .....	16
3. Gereç ve Yöntem .....	19
4. Bulgular .....	30
5. Tartışma .....	44
6. Sonuç ve Öneriler .....	69

7. Kaynaklar .....70



## SİMGELER VE KISALTMALAR

AGFAD: Arbeitsgemeinschaft für Forensische Altersdiagnostik

B<sub>0</sub>: Eksternal manyetik alan gücü

BOS: Beyin-omurilik sıvısı

BT: Bilgisayarlı tomografi

FAT-SAT: Fat saturation

FID: Free induction decay

FLAIR: Fluid attenuated inversion recovery

FOV: Field of view

FS: Fat-suppressed

FSE: Fast spin echo

GA: Güven aralığı

GRE: Gradient-recalled echo

IR: Inversion recovery

maks: Maksimum

min: Minimum

MR: Manyetik rezonans

MRG: Manyetik rezonans görüntüleme

mSv: miliSievert

n: Olgu sayısı

Ort: Ortalama

PD: Proton dansite

PDA: Proton dansite ağırlıklı

RF: Radyofrekans

SE: Spin eko

sh: Standart hata

SS: Standart sapma

SNR: Signal-to-noise ratio

SPAIR: Spectral attenuated inversion recovery  
SPIR: Spectral pre-saturation with inversion recovery  
SS: Standart sapma  
STIR: Short time inversion recovery  
T: Tesla  
T1A: T1 ağırlıklı  
T2A: T2 ağırlıklı  
TE: Time to echo  
TI: Time inversion  
TR: Time to repetition  
TSE: Turbo spin echo  
USG: Ultrasonografi  
W<sub>0</sub>: Salınım frekansı  
 $\gamma$ : Giromanyetik oran  
 $\kappa$ : Kappa  
 $\kappa_w$ : Ağırlıklı kappa

## ŞEKİL LİSTESİ

## Sayfalar

Şekil 1. Uzun kemik sonlanmasının anatomisinin çizimi .....	4
Şekil 2. Femur ve tibiada Dedouit evre 1 saptanan olguya ait MR görüntüsü .....	21
Şekil 3. Femur ve tibiada Dedouit evre 2 saptanan olguya ait MR görüntüsü .....	21
Şekil 4. Femur ve tibiada Dedouit evre 3 saptanan olguya ait MR görüntüsü .....	21
Şekil 5. Femur ve tibiada Dedouit evre 4 saptanan olguya ait MR görüntüsü .....	21
Şekil 6. Femur ve tibiada Dedouit evre 5 saptanan olguya ait MR görüntüsü .....	22
Şekil 7. Femur ve tibiada Kramer evre 2c saptanan olguya ait MR görüntüsü .....	23
Şekil 8. Femur ve tibiada Kramer evre 3a saptanan olguya ait MR görüntüsü .....	23
Şekil 9. Femurda Kramer evre 3b saptanan olguya ait MR görüntüsü .....	24
Şekil 10. Tibiada Kramer evre 3b saptanan olguya ait MR görüntüsü .....	24
Şekil 11. Femur ve tibiada Kramer evre 3c saptanan olguya ait MR görüntüsü.....	24
Şekil 12. Femur ve tibiada Kramer evre 4 saptanan olguya ait MR görüntüsü .....	24
Şekil 13. Femur ve tibiada Vieth evre 2 saptanan olguya ait MR görüntüsü .....	26
Şekil 14. Femur ve tibiada Vieth evre 3 saptanan olguya ait MR görüntüsü .....	26
Şekil 15. Femur ve tibiada Vieth evre 4 saptanan olguya ait MR görüntüsü .....	27
Şekil 16. Femur ve tibiada Vieth evre 5 saptanan olguya ait MR görüntüsü .....	27
Şekil 17. Femur ve tibiada Vieth evre 6 saptanan olguya ait MR görüntüsü .....	28
Şekil 18. Dedouit metodunda femur için olguların dağılımı .....	33
Şekil 19. Dedouit metodunda tibia için olguların dağılımı .....	34
Şekil 20. Kramer metodunda femur için olguların dağılımı .....	37
Şekil 21. Kramer metodunda tibia için olguların dağılımı .....	38

**Şekil 22.** Vieth metodunda femur için olguların dağılımı .....41

**Şekil 23.** Vieth metodunda tibia için olguların dağılımı .....42



## TABLO LİSTESİ

Sayfalar

<b>Tablo 1.</b> Olguların yaş ve cinsiyete göre dağılımı .....	30
<b>Tablo 2.</b> Dedouit metodunda yaş ve cinsiyete göre tanımlayıcı istatistikler .....	32
<b>Tablo 3.</b> Dedouit metoduna göre gözlemci içi ve gözlemciler arası uyumluluk .....	35
<b>Tablo 4.</b> Kramer metodunda yaş ve cinsiyete göre tanımlayıcı istatistikler .....	36
<b>Tablo 5.</b> Kramer metoduna göre gözlemci içi ve gözlemciler arası uyumluluk .....	39
<b>Tablo 6.</b> Vieth metodunda yaş ve cinsiyete göre tanımlayıcı istatistikler .....	40
<b>Tablo 7.</b> Vieth metoduna göre gözlemci içi ve gözlemciler arası uyumluluk .....	43
<b>Tablo 8.</b> Dedouit ve ark.'nın metoduna göre diz MRG çalışmaları .....	52
<b>Tablo 9.</b> Kramer ve ark.'nın kombine metoduna göre diz MRG çalışmaları .....	59
<b>Tablo 10.</b> Vieth ve ark.'nın metoduna göre diz MRG çalışmaları .....	65
<b>Tablo 11.</b> 15, 18 ve 21 yaş sınırları için kullanılabilir yöntem ve evreleri .....	67

## 1. GİRİŞ VE AMAÇ

Yaş tayini konusu adli ve klinik uygulamalarda büyük önem taşımaktadır. Özellikle adli merciler tarafından ceza hukuku ve medeni hukuk açısından adli yaş tespiti istenmektedir. Yaş tayininde, iskelet matürasyonuna bakılarak kemik yaşının radyolojik olarak tespit edilmesi yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Uzun zamandır direkt grafler ile kemik yaşı tayini üzerine çalışmalar yapılmış ve bununla ilgili referans atlaslar geliştirilmiştir. Son yıllarda BT (bilgisayarlı tomografi), USG (ultrasonografi) ve MRG kullanılarak kemik yaşı tayini yapılmaktadır. MRG ile kemik yaşı tayini, iyonize radyasyon içermeyen, non-invaziv alternatif bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Literatürde Dedouit ve ark. (1), Kramer ve ark. (2,3), Vieth ve ark. (4) tarafından diz MRG ile kemik yaşı tayininde üç farklı evreleme metodu tanımlanmıştır. Biz bu çalışmamızda, diz MRG incelemesinde ossifikasyon aşamalarını, tanımlanan her bir evreye ait uygun MRG sekansları ile değerlendirdik. Amacımız 3 farklı evreleme metoduna göre 3.0T MR tarayıcıda, T1 ağırlıklı ve proton dansite ağırlıklı sekanslarda distal femur ve proksimal tibiadaki epifiz plağının matürasyonunu kalınlık, konfigürasyon ve sinyal özelliklerine göre geniş bir popülasyonda incelemek, metotları karşılaştırmak ve elde edilen sonuçları adli yaş tespiti için literatür eşliğinde tartışmaktır. Ayrıca değerlendirme sırasında bu evreleme metotlarının uygulanabilirliği, kolaylığı ve validasyonu da literatür eşliğinde tartışılacaktır.

## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1. Normal İskelet Gelişimi ve Ossifikasyon

İnsan iskeleti kortikal (kompakt) ve spongiyöz (süngerimsi) kemikten meydana gelir (5). Prenatal iskelet gelişimi embriyonik dönemde başlamakta olup iskelet sistemi, nöral krest hücreleri, paraksiyel mezoderm ve lateral mezoderm kökenlidir. Nöral krest hücreleri kraniofasyal iskeleti, paraksiyal mezoderm aksiyel iskeleti ve lateral mezoderm ekstremiteleri oluşturur (6).

İntrauterin embriyonel dönemde kemik yapılar, prekürsör primitiv mezankimal hücrelerden farklılaşır. Kemik oluşumu yassı kemiklerde genel olarak intramembranöz ossifikasyon ile, femur ve tibia gibi uzun kemiklerde ise kartilajın endokondral ossifikasyonu ile intrauterin dönemde başlar ve gelişim çocukluk döneminde devam eder (7,8,9,10,11). Klavikula ise diğer uzun kemiklerin aksine intramembranöz ossifikasyon ile oluşur (12). Yeni kemik oluşumu primer ve sekonder ossifikasyon merkezlerinde gerçekleşir.

İntramembranöz veya diğer bir ismiyle membranöz ossifikasyon, genel olarak yassı kemiklerin gelişimi ve uzun kemiklerin kalınlaşmasından sorumludur. İntramembranöz ossifikasyon için kartilaj model gelişimine ihtiyaç olmayıp, intrauterin dönemde prekürsör mezankimal hücreler primer ossifikasyon merkezinde membranlara benzer şekilde toplanır ve osteoblastlara farklılaşırlar. Osteoblastlar osteoid matriks üretirler ve daha sonra bu matriks mineralize olur. Periferdeki hücreler periostu oluştururlar. İlk oluşan kemik model daha sonra remodeling ile spongiyöz kemiğe dönüşür ve periost tarafından da kortikal kemik üretilir (7,8,11).

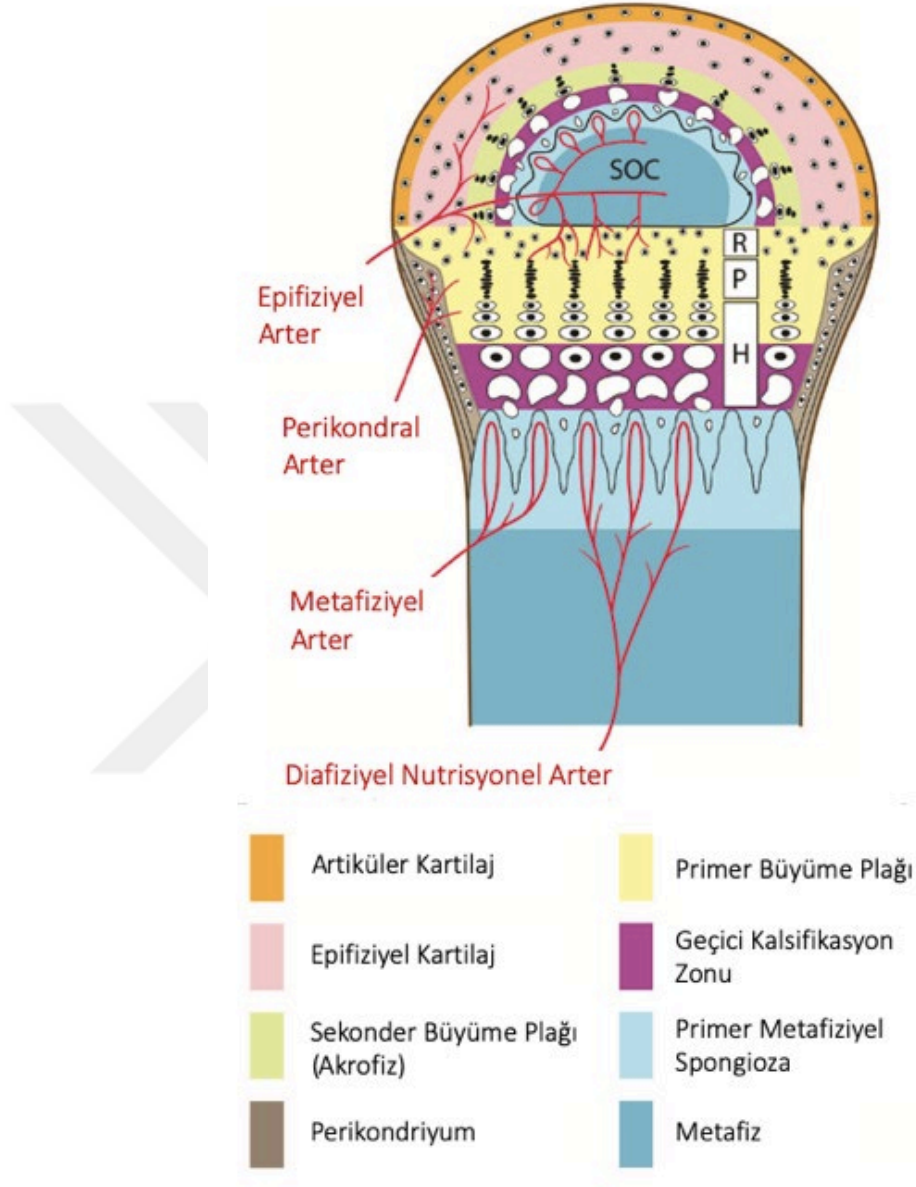
Endokondral veya diğer bir ismiyle endokondral ossifikasyon, kartilaj modelden kemik transformasyonu sürecidir. İntrauterin dönemde prekürsör mezankimal hücreler kümelenerek kartilaj hücrelerine (kondroblast, kondrosit) farklılaşırlar ve bir hyalin kartilaj model oluştururlar. Kondroblastların salgıladıkları ekstrasellüler matriks, hücreler etrafında birikir ve zamanla kalsifiye olur. Bu kartilaj matriks kalsifikasyonu, diyafiz santralindeki primer ossifikasyon bölgesinde gerçekleşir. Daha sonra bu primer ossifikasyon merkezinde yıkım olayları sonucu oluşan

kaviteleri periferel kapiller damarlar penetre eder ve mezenkimal hücreler bu bölgeye taşınarak osteoblast, osteoklast ve kondroklaslara farklılaşırlar. Başlangıçta geçici kemik dokusu olan trabeküler yapıdaki immatür primer spongiyöz kemik üretilir. Daha sonra yerini lamellar yapıdaki matür sekonder spongiyöz kemik alır. Ossifikasyon süreci epifiz uçlarına ulaşır ve burada kalsifiye kartilaj ve kemik trabeküllerinden oluşan, daha sonra incelerek büyüme plağını oluşturan iyi sınırlı bir hat oluşur (5,8,13). Fetal dönemde gelişimi başlayan ve puberteye dek görülmeye devam eden sekonder ossifikasyon merkezleri ise tübüler kemiklerin uçlarında epifiziyel kartilaj içerisinde tek veya çok sayıda meydana gelir. Endokondral ossifikasyon fetal dönemde başlar ve doğum sonrası büyüme plağı kapanana kadar devam eder (11,14,15). Sonuç olarak kemik metabolizması, intrauterin dönemde başlayan, infant ve adolesanlarda artış göstererek hayat boyu devam eden, yapım ve yıkım dengesiyle oldukça dinamik bir olaydır (5).

## **2.2. Epifiz Yapısı ve Matürasyonu**

Epifiz, kemiklerin uç kısımlarında eklem ile primer fizis (büyüme plağı) arasında kalan bölüm olup doğumda distal femur hariç çoğu uzun kemikte tamamen kartilajınöz yapıdadır (8,9). Hyalin kartilaj yapısında olan immatür epifiz; epifiziyel, fiziyel ve artiküler olmak üzere üç tip kartilaj içerir. Epifizin merkezindeki epifiziyel kartilaj, protein ve su bakımından zengin bir matriks içerisinde fazla miktarda kondrosit içerir ve mineralize olarak sekonder ossifikasyon merkezini oluşturur. Epifizin en dış kısmında bulunan artiküler kartilaj, eklem yüzlerinde subkondral kemiği destekler, eklem uygulanan kuvveti tamponlar ve iletir. Avasküler ve hücre bakımından fakir olan artiküler kartilaj, eklem sıvısı ve sinoviyumdan beslenir. Endokondral ossifikasyondan sorumlu olan fiziyel kartilaj ise hücreden yani kondrosit bakımından oldukça zengindir (14,16). Buradaki kondrositler histolojik olarak morfolojileri ve fonksiyonlarına göre germinal (rezerv), proliferatif ve hipertrofik zon olmak üzere üç zon halindedir (10). Bu histolojik zonlar hem primer hem sekonder fiziste mevcuttur, ancak sekonder fiziste daha incedir (17). Endokondral ossifikasyon, fiziyel kartilajın hipertrofik tabakasının geçici kalsifikasyon zonunda, osseoz mineral depozisyonu sonucu yeni kemik oluşumuyla gerçekleşir (16,18). Epifiz, özelleşmiş epifiziyel vasküler kanallar aracılığıyla

beslenir ve bu kanallar ossifikasyonda önemli rol oynar (9,16). Uzun kemik sonlanmasının anatomik çizimi şekil 1'de gösterilmektedir.



**Şekil 1.** Uzun kemik sonlanmasının anatomisinin çizimi. SOC: Sekonder Ossifikasyon Merkezi, R: Rezerv Zonu (Germinal zon), P: Proliferatif Zon, H: Hipertrofik zon (Alıntı: Kaynak 10'dan izinle, Türkçeleştirildi.)

Primer fizis, diğer bir ismiyle büyüme plağı veya epifiz plağı, epifiziyel kartilaj ve metafiz arasında yerleşmekte olup buradaki kondrositler doğum sonrası dönemde uzun kemiklerin longitudinal uzamasından sorumludur. Epifiziyel kartilaj

tarafından çevrili olan sekonder fizis ise epifiziyel kartilajın santralindeki sekonder ossifikasyon merkezini çevreler ve endokondral ossifikasyonla onun genişlemesini sağlar (9,10,14,16).

Epifiz plağı yaşla birlikte maturasyon gösterir, büyüme ile giderek inceler, pubertal dönemin sonunda büyümenin durmasıyla epifiz-metafiz füzyonu sonucu kemikleşir ve ortadan kaybolur (7,19).

### **2.3. Epifiz ve Büyüme Plağının MRG Özellikleri**

Epifiziyel, fiziyel ve artiküler kartilajlardaki kollajen liflerinin oryantasyonu ile matriks ve hücrelerdeki serbest-makromoleküllere bağlı su içeriğinin farklı oluşu, konvansiyonel MR görüntülerde kartilajın sinyal intensitesini değiştirir. Bu da MRG'de, farklı kartilaj türleri arasında görsel olarak ayırım yapmamıza olanak sağlar (14,20). T1A (T1 ağırlıklı) sekanslarda hyalin kartilaj tiplerinin hepsi intermedier sinyal özelliği gösterir. T2A (T2 ağırlıklı) sekanslar (özellikle yağ baskılı) ve STIR (short time inversion recovery) gibi yüksek uzaysal rezolüsyonlu suya duyarlı sekanslar ise hyalin kartilaj tipleri arasında ayırım sağlamakta olup fiziyel ve artiküler kartilaj daha yüksek, epifiziyel kartilaj daha düşük sinyal özelliği gösterir. Bu sekanslarda hem primer fizis hem sekonder fizis bölgesinde yüksek-düşük-yüksek sinyalli olarak birbirine paralel çizgiler şeklinde trilaminar bir görünüm oluşur. Bu görünümü oluşturan; yüksek sinyal intensiteli fizis (muhtemelen germinal ve proliferatif zon ile hipertrofik zonun bir kısmını içerir), tüm sekanslarda düşük sinyal intensiteli olarak izlenen geçici kalsifikasyon zonu ve yüksek sinyal intensiteli metafiziyel vasküler spongiozadır. GRE (gradient-recalled echo) sekanslarda bütün kartilajlar yüksek-intermedier sinyal özelliği gösterir (9,10,14,17,21).

Primer fizis başlangıçta düz ve kalın bir disk şeklinde görülürken yaşla birlikte ondüle hale gelir. Fizis, sağlıklı bireylerde uniform görünümde olup büyüme ile giderek inceler ve geçici kalsifikasyon zonunun rezidüsü olan hipointens fiziyel skarı bırakarak ortadan kaybolur. Bu fiziyel skar da zamanla regrese olur (9,10). Fiziyel füzyon (tibia distali dışında) santral ondülasyon bölgelerinden başlayarak periferde doğru ilerler (17).

## 2.4. Yaş Tespitine Genel Bakış ve Adli Yaş Tespiti

Yaş tayini, ölü veya yaşayan bireylerde klinik ve hukuki bazı gereksinim durumlarında yapılır. Ölü bireylerde esas olarak kimlik tespiti için, yaşayan bireylerde ise adli veya sivil bazı sorunları çözmek amacıyla gerçekleştirilir (22). Yaşayan bireylerde yaş tespiti, özellikle tüm dünyadaki yaygın göç hareketlerine bağlı olarak nüfus kayıtları güvenilir olmayan göçmenlerde önem arz etmektedir (23,24). Ayrıca bazı spor dallarında, sporcunun uygun yaş grubunda müsabakaya girip girmediğinin belirlenmesi için yaş tespitine ihtiyaç duyulabilmektedir (25). Kemik gelişimi üzerinden yaş tespiti, sıklıkla kullanılan bir uygulamadır (26). Kemik yaşı klinik pratikte aynı zamanda çocuklarda büyüme potansiyeli ve erişkinlikteki boyu tahmin etmede (özellikle boy kısalığı şikayetiyle gelen çocuklarda), büyümeyi etkileyen ve kemik yaşında retardasyona neden olan birtakım hastalıkların tanısında, bazı hastalıkların seyir ve tedavisinin izleminde, özellikle pubertal dönemde bazı cerrahilerin zaman planlamasında kullanılır (17,27,28). Yaş tayininde radyolojik inceleme, dünya çapında kabul gören bilimsel bir yöntemdir (29). Radyoloji, kemik yaşı tespitinde temel olarak, iskelet sisteminin matürasyonunu gösteren kemiklerdeki yaşa bağlı epifiz değişikliklerini inceler (30).

Kemik matürasyonu, hasta yaşına bağlı olarak pek çok farklı metotla değerlendirilebilir. Bu matürasyon süreci kalıtım, etnik köken, cinsiyet, sosyo-ekonomik durum gibi pek çok değişkene göre farklılık göstermektedir. Kemik yaşı tespitinde genel olarak yaşamın ilk 5 yılında ossifikasyon merkezlerinin görülme zamanı, 5-14 yaş aralığında epifizlerin durumu ve sesamoid kemikler gibi matürasyon kriterleri, 15-25 yaş aralığında ise sekonder ossifikasyon merkezlerinin kemik ile füzyon zamanı araştırılır (15).

2000 yılında Berlin'de kurulan ve şu an birçok farklı ülkeden üyesi bulunan Alman Adli Tıp Derneği'nin çalışma grubu AGFAD (Arbeitsgemeinschaft für Forensische Altersdiagnostik; Adli Yaş Tayini Çalışma Grubu), yaşayan bireylerde yaş tayini konusunda kılavuzlar oluşturmakta olup yaşayan bireylerde adli yaş tayini amacıyla fizik muayene, sol elin direkt grafisi ve diş muayenesi ile ortopantomogram (çene bölgesinin panoramik radyografisi) yapılmasını önermektedir. Fizik muayene ile birtakım antropometrik ölçümler yapılır, seksüel gelişim basamağı saptanır,

büyüme ve gelişimi etkileyecek yaşa bağlı olası bozukluklar sorgulanır ve ortaya konulur. El grafisinde el kemiklerinin matürasyonu değerlendirilmekte olup matürasyonun tamamlanmış olarak tespit edilmesi durumunda (kızlarda 17, erkeklerde 18 yaşında tamamlanır), medial klavikular epifizi değerlendirmek amacıyla ek inceleme olarak direkt grafi ve/veya BT önerilmektedir. Diş muayenesinde özellikle 3. molar dişler incelenir ve dişlerin mineralizasyon durumu ortopantomogram ile tespit edilir (31).

## **2.5. Ülkemizde Adli Yaş Tespiti, Yaş Sınırlarıyla İlgili Kanun ve Mevzuatlar**

Günümüzde dünya genelinde yaşanan etnik ve siyasi çatışmalar ile ekonomik nedenlerden dolayı göç hareketleri hızlanmıştır (32). Ülkemize son yıllarda Suriye'deki iç savaş nedeniyle sığınan çok sayıda mülteci, Türkiye'yi dünya çapında en çok mülteci barındıran ülke konumuna getirmiştir (33). 18 yaş altı çocuklar, Birleşmiş Milletler Çocuk Sözleşmesi'ne göre özel haklara sahip olup genelde ülkelerine geri gönderilmedikleri için, sığınmacılar sıklıkla 18 yaşından küçük oldukları bilgisini vermektedirler (34). Ülkemizde ayrıca özellikle kırsal kesimdeki nüfus kayıtları güvenilir değildir. Cezai ehliyeti belirlemede, evlilik, iş girme, cinsel saldırı, askerlik, emeklilik zamanı gibi birçok toplumsal olayda yaş tespiti önem kazanır (35). Türkiye'de özellikle 12, 15 ve 18 yaş sınırları cezai ve hukuki yönden önem arz etmektedir (36).

Türk Ceza Kanunu'nun 6. maddesine göre çocuk *"henüz 18 yaşını doldurmamış kişi"* olarak tanımlanmaktadır. 31. madde yaş küçüklüğünde cezai sorumlulukla ilgilidir ve 1. fıkrada *"Fiili işlediği sırada oniki yaşını doldurmamış olan çocukların ceza sorumluluğu yoktur. Bu kişiler hakkında, ceza kovuşturması yapılamaz; ancak, çocuklara özgü güvenlik tedbirleri uygulanabilir."*; 2. fıkrada *"Fiili işlediği sırada oniki yaşını doldurmuş olup da onbeş yaşını doldurmamış olanların işlediği fiilin hukukî anlam ve sonuçlarını algılayamaması veya davranışlarını yönlendirme yeteneğinin yeterince gelişmemiş olması hâlinde ceza sorumluluğu yoktur. Ancak bu kişiler hakkında çocuklara özgü güvenlik tedbirlerine hükümlenir. İşlediği fiilin hukukî anlam ve sonuçlarını algılama ve bu fiille ilgili olarak davranışlarını yönlendirme yeteneğinin varlığı hâlinde, bu kişiler hakkında*

*suç, ağırlaştırılmış müebbet hapis cezasını gerektirdiği takdirde oniki yıldan onbeş yıla; müebbet hapis cezasını gerektirdiği takdirde dokuz yıldan onbir yıla kadar hapis cezasına hükmolunur. Diğer cezaların yarısı indirilir ve bu hâlde her fiil için verilecek hapis cezası yedi yıldan fazla olamaz.";* 3. fıkrada "*Fiili işlediği sırada onbeş yaşını doldurmuş olup da onsekiz yaşını doldurmamış olan kişiler hakkında suç, ağırlaştırılmış müebbet hapis cezasını gerektirdiği takdirde onsekiz yıldan yirmidört yıla; müebbet hapis cezasını gerektirdiği takdirde oniki yıldan onbeş yıla kadar hapis cezasına hükmolunur. Diğer cezaların üçte biri indirilir ve bu hâlde her fiil için verilecek hapis cezası oniki yıldan fazla olamaz."* denilmektedir (36).

## **2.6. Kemik Yaşı Tespitinde Görüntüleme**

### **2.6.1. Direkt grafi ve bilgisayarlı tomografi**

El radyografilerinde kemiklerin şekli ve boyutu ile epifiziyel ossifikasyon değerlendirilir. Daha sonra ilgili yaş ve cinsiyetin standart radyografik atlas görüntüleri ile karşılaştırılır (atlas yöntemi) veya spesifik kemikler için skorlama yapılarak matürasyon belirlenir (tek kemik yöntemi). Yapılan çalışmalar sonucu tek kemik metodunun daha fazla zaman aldığı ve daha isabetli sonuçlar vermediği ortaya konmuştur ve adli yaş tayini için atlas yöntemi, uygun kabul edilen yöntem olarak öne çıkmıştır. Atlas yönteminde Greulich ve Pyle ile Thiemann ve Nitz atlasları; tek kemik yönteminde Tanner-Whitehouse atlası günlük pratikte sıklıkla kullanılan atlaslardır (37,38).

AGFAD'ın önerisine göre el kemiklerinin matürasyonunun tamamlanmış olması halinde bireyin 21 yaşını doldurup doldurmadığını tespit etmek amacıyla medial klavikular epifize yönelik ossifikasyonu değerlendirmek için direkt grafi ve/veya BT endikasyonu doğar (31). Klavikula, vücutta ossifikasyonunu tamamlayan son kemik olduğundan önem arz eder (23,39,40). Ayrıca 18 yaşından önce seksüel gelişim, diş gelişimi ve el-el bileği ossifikasyonu tamamlanmış olabileceği halde klavikular epifiz gelişiminin devam etmesi nedeniyle, klavikula 18 yaş sınırında önemli bir rol oynar (41,42,43).

Schmeling ve ark. (23) retrospektif olarak değerlendirdikleri 16-30 yaş arası 699 olgunun akciğer grafisinde, medial klavikular epifiziyel kartilajın matürasyon

derecesini incelemişlerdir. Daha önce yapılmış çalışmalara (44,45,46) ek olarak total epifiz-metafiz füzyonu sonucu epifiziyel skar görünümünün ortadan kalktığı beşinci bir evre tanımlamışlardır. Buna göre:

*"Evre 1: Ossifikasyon merkezi henüz ossifiye değil.*

*Evre 2: Ossifikasyon merkezi ossifiye olmuş, epifiziyel kartilaj ossifiye olmamış.*

*Evre 3: Epifiziyel kartilaj parsiyel ossifiye olmuş.*

*Evre 4: Epifiziyel kartilaj tamamen ossifiye olmuş ve epifiziyel skar görülebilir.*

*Evre 5: Epifiziyel kartilaj tamamen ossifiye olmuş ve epifiziyel skar görülemez."*

BT, adli yaş tayini alanında özellikle klavikulanın değerlendirilmesi için sıklıkla başvurulmuş bir görüntüleme yöntemidir (42).

Kreitner ve ark. (12,46) 1997 ve 1998 yıllarında, Owings Webb ve Myers Suchey ile Jit ve Kulkarni'nin (44,45) dördü evreleme sistemini kullanarak, medial klavikular epifiz matürasyonunun değerlendirildiği ilk BT çalışmasını yapmışlardır. Schulz ve ark. (47) ise 2005 yılında, Kreitner ve ark.'dan farklı olarak sonuçları olguların cinsiyetlerine göre ayırdıkları ve Schmeling ve ark.'nın (23) direkt grafide tanımladığı beşli evreleme sistemini kullandıkları, daha geniş olgu serisinde medial klavikular epifizin BT matürasyon evrelerini çalışmışlardır. Medial klavikular epifizin değerlendirilmesinde, uygun kesit kalınlığı ve uygun rekonstrüksiyonlar ile BT en iyi yöntem olarak kabul edilmektedir (12,47,48).

Schmeling ve ark.'nın (23) evreleme sistemine ek olarak Kellinghaus ve ark. (43), tahmini yaş aralığını daraltmak amacıyla, BT'de medial klavikular epifizin ossifikasyon aşamalarına yönelik evre 2 ve evre 3 için alt evreleme sınıfları oluşturmuşlardır. Buna göre:

*"Evre 2a: Epifizin uzunluğu, metafiz ucunun genişliğinin üçte biri veya daha azıdır.*

*Evre 2b: Epifizin uzunluğu, metafiz ucunun genişliğinin üçte biri ile üçte ikisi arasındadır.*

*Evre 2c: Epifizin uzunluğu, metafiz ucunun genişliğinin üçte ikisinden daha fazladır.*

*Evre 3a: Epifiziyel-metafiziyel füzyon, epifiz ve metafiz arasındaki eski boşluğun üçte birini veya daha azını tamamlar.*

*Evre 3b: Epifiziyel-metafiziyel füzyon, epifiz ve metafiz arasındaki eski boşluğun üçte biri ile üçte ikisini tamamlar.*

*Evre 3c: Epifiziyel-metafiziyel füzyon, epifiz ve metafiz arasındaki eski boşluğun üçte ikisinden fazlasını tamamlar."*

Son yapılan çalışmalarda (42,49,50,51) klavikuladan kemik yaşı tayininde, Schmelting ve ark. (23) ile Kellinghaus ark.'nın (43) evreleme sisteminin kombine olarak kullanımı önerilmektedir.

Radyografinin avantajı, BT'ye kıyasla iyonizan radyasyon maruziyetinin çok daha düşük olmasıdır. Bir diğer avantajı ise daha yüksek uzaysal çözünürlüğe sahip olmasıdır (47,52).

Radyografinin dezavantajı olan görüntü süperpozisyonu, değerlendirmeyi olumsuz etkileyebildiği ve hatta imkansız hale getirebildiğinden Schulz ve ark. en az üç düzlemde görüntü elde edilmesini önermektedir (52). Bu da iyonizan radyasyon maruziyetinde artışa neden olacaktır.

BT'nin radyografiye üstünlüğü, radyografilerde değerlendirmeyi olumsuz etkileyebilecek, epifiziyel kartilaj ile görüntüye dahil diğer yapılar arasında olası süperpozisyonların engellenmiş olmasıdır (12,52). Ayrıca BT uygun rekonstrüksiyonlar ile çevre yumuşak dokularda ve kemik yapılarda anatomik detayları gösterir (12). BT'nin dezavantajları arasında, kesit kalınlığının artması halinde parsiyel volüm etkisiyle bazı detay yapıların görülmesinin zorlaşması vardır (47,48). Bu durum özellikle epifiziyel skarın ortaya konmasında ve epifiz-metafiz füzyonunu değerlendirmede sorun oluşturur (43,47,48). Mühler ve ark. (48) medial klavikular epifiz ossifikasyon aşaması tayininde BT'de kesit kalınlığının etkisini araştırdıkları çalışmalarında, optimal değerlendirme için kesit kalınlığının en fazla 1 mm olması gerektiği, aksi takdirde olgulara daha yüksek ossifikasyon evresi tayin edilebileceği, dolayısıyla yanlış evrelendirmeler yapılabileceğini bildirmişlerdir.

Yaş tayini uygulamalarında kullanılan ve yukarıda bahsedilen iyonizan radyasyon içeren tekniklerin ortalama efektif dozları; el radyografisi için 0,0001 mSv (miliSievert), ortopantomogram için 0,026 mSv, sternoklavikular eklem BT'si için 0,6-0,8 mSv'dir (40,53). Schmeling ve ark. (40,54) bu dozların, Almanya ve Hollanda için hesaplanan bir yıllık doğal çevresel maruziyet ile alınan dozun çok altında olduğunu belirtse de Berrington de González ve Darby tanısal x-ray kullanımı ile kanser riskini araştırdıkları çalışmalarında (55), kanser riski açısından bir eşik doz olmadığını belirtmişlerdir. Yaş tayini daha çok çocuk ve adolesanları ilgilendirmekte olup bu yaş grubu iyonizan radyasyonun etkilerine çok daha duyarlı olduğundan x-ışını içeren tetkiklerden olabildiğince kaçınmak gerekir (53). Ayrıca fizis kemiğin görece olarak zayıf bölgesi olup radyasyona duyarlıdır (16). Özellikle adli yaş tayininde yasal bir dayanak yok ise x-ışını içeren prosedürlerin uygulanmasında da sorun ortaya çıkacaktır.

### 2.6.2. Ultrasonografi

USG, yüksek frekanslı ses dalgalarının kullanıldığı dinamik bir görüntüleme yöntemidir. USG ile kemik yaşı tespitinde el ve el bileği (28,56,57,58,59), olekranon (60), medial klavikular epifiz (61,62,63), femur başı (64,65), iliak krest (58,66,67) ve distal fibula (68) üzerine çalışmalar yapılmıştır. Sonografik olarak fiziyel skar görüntülenemediği için, fiziyel skar görünümünün sınıflandırmaya dahil edilmediği dörtlü evreleme sistemi USG için uygulanabilmektedir (69). USG'nin hızlı, ulaşılabilir, maliyeti düşük ve en önemlisi radyasyon içermeyen bir görüntüleme yöntemi olması avantajları arasındadır. Kullanıcı bağımlı olması ve dokümantasyonun zorluğu ise kullanımını sınırlandırmaktadır.

Schulz ve ark. (61) klavikula ossifikasyon aşamalarını, Owings Webb ve Myers Suchey'in evreleme sistemine göre (44) sonografik olarak şu şekilde uygulamışlardır:

*"Evre 1 (ossifikasyon merkezi ossifiye değil): Klavikulanın medial ucu dar açılı konfigürasyondadır. Ossifikasyonun kemik merkezi gösterilemez.*

*Evre 2 (ossifikasyon merkezi ossifiye, epifiziyel plak ossifiye değil): Klavikulanın medial ucu ossifikasyonun kemik merkezinden bir "ses boşluğu" ile ayrılır.*

*Evre 3 (epifiziyel plak kısmen ossifiye): Hem ossifikasyonun kemik merkezi ile birlikte "ses boşluğu", hem de tamamen ossifiye epifiziyel plak ile konveks şekilli klavikula ucu görülebilir.*

*Evre 4 (epifiziyel plak tamamen ossifiye): Klavikulanın medial ucu konveks şekillidir. Ossifikasyonun kemik merkezi gösterilemez."*

### **2.6.3. Manyetik rezonans görüntüleme**

MRG, iyonizan radyasyon içermeyen, yumuşak dokuda mükemmel ayrıntı ve kontrast sağlayan, radyo frekans dalgaları ile çalışan modern bir görüntüleme yöntemidir. Son yıllarda kemik yaşı tespitinde özellikle radyasyon içermeyen bir yöntem olması nedeniyle öne çıkmaktadır. Son yıllarda el bileği (25,70,71,72,73,74), klavikula (75,76,77,78,79), diz kemikleri (1,2,3,4,80,81,82,83,84,85,86,87,88,89), distal tibia ve kalkaneus (90), anterior iliak krest (91), proksimal humerus (92,93,94,95) epifiz matürasyonunun MRG ile incelendiği çalışmalar mevcuttur. Ayrıca üçüncü molar dişin mineralizasyon aşamalarının MRG ile gösterimi üzerine çalışmalar vardır (96,97).

## **2.7. Manyetik Rezonans Görüntülemeye Fizik Prensipler**

### **2.7.1. Manyetizasyon, rezonans, relaksasyon kavramları ve sinyal oluşumu**

Atom nükleusundaki nükleonlar (proton ve nötron) spin hareketi yaparak doğal bir nükleer manyetik alan ve manyetik moment oluştururlar. Yalnızca tek sayıda nükleon içeren atomlar, manyetik dipol momentine sahiptir ve manyetik rezonans gösterirler. Nükleusu yalnızca bir protondan oluşan, manyetik sensitivitesi yüksek ve biyolojik dokularda yaygın olarak bulunan hidrojen atomu ( $^1\text{H}$ ), MR sinyalinin ana kaynağıdır. Dokularda dağınık olarak yerleşen hidrojen dipollerinin net manyetizasyonu sıfırdır.

MRG, ana magnet ile oluşturulan manyetik alan içerisinde RF (radyofrekans) dalgalarının kullanıldığı bir görüntüleme yöntemidir.

MR cihazına giren insan vücudundaki protonlar, cihaz magnetinin oluşturduğu eksternal manyetik alan yönüne göre, paralel dizilenler biraz daha fazla olmak üzere, paralel ve antiparalel dizilim gösterirler. Zıt yönde dizilim gösteren manyetik vektörler birbirlerinin etkilerini yok edeceğinden net manyetik vektör paralel yönde oluşur. Eksternal manyetik alan vektörü  $B_0$  şeklinde ifade edilir ve buna paralel z eksenine; z eksenine dik x ve y eksenleri bulunur. Eksternal manyetik alan içerisine giren protonlar spin hareketlerine ek olarak  $B_0$  vektörü etrafında salınım (presesyon) hareketi yapmaya başlarlar. Bu salınım hareketinin frekansı ( $W_0$ ), magnetin gücü ( $B_0$ ; Tesla ile ifade edilir) ve her atoma özgü olan giromanyetik oran ( $\gamma$ ) ile doğru orantılıdır. Bu salınım frekansı Larmor denklemi ile ifade edilir:

$$W_0 = \gamma \times B_0$$

Eksternal manyetik alan içerisindeki salınım yapan protonların vektör uçları farklı yöne bakmaktadır ve salınım frekansları düzensizdir, yani "faz dışı" ("out of phase") durumundadırlar. Bu farklı fazlardaki protonların x ve y eksenindeki vektörleri birbirlerini nötralize eder ve sonuç olarak z ekseninde yani eksternal manyetik alan yönünde net manyetik vektör oluşur. Bu olay "longitudinal manyetizasyon" olarak adlandırılır. Bu paralel dizilimli protonlar sinyal kaynağı olamayacağından, dışarıdan  $90^\circ$  RF pulsu uygulamak gereklidir.

MR cihazındaki RF koiller vasıtasıyla devamlı olarak değil, belli bir süre ve güçte, demetler halinde radyo dalgaları gönderilir ve buna "RF pulsu" denir. Protonlar sadece kendi salınım frekansındaki RF pulsları ile uyarılabilirler. Aynı frekansta gerçekleşen bu enerji transferi "rezonans" olarak bilinir. RF pulsu gönderimi ile iki etki ortaya çıkar: İlki düşük enerji seviyesindeki paralel dizilimli bazı protonlar, enerji transferi ile yüksek enerji seviyesine ulaşarak antiparalel dizilim gösterirler. Böylelikle longitudinal manyetizasyon azalır. İkinci etki ise; faz dışı durumundaki protonlar, vektör uçları aynı anda salınım çemberinin aynı noktasında olacak şekilde "faz içi" ("in phase") duruma geçerler. Sonuç olarak, longitudinal manyetizasyon  $90^\circ$  yön değiştirir ve transvers planda, yani x-y düzleminde yeni bir "transvers manyetizasyon" ortaya çıkar. Bu uygulanan RF pulsu, "90° RF pulsu" olarak isimlendirilir.

RF pulsun kesilmesi ile de iki etki ortaya çıkar: Birincisi, antiparalel dizilmiş protonlar absorbe ettikleri enerjiyi ortama vererek, eski düşük enerjili paralel konumlarına dönerler ve longitudinal manyetizasyon yeniden oluşmaya başlar. İkincisi, faz içi salınım gösteren protonlar faz dışı durumlarına dönerler ve transvers manyetizasyon azalır. Protonların, RF pulsun kesilmesi ile eski konumlarına dönmeleri olayına "relaksasyon" denir. Longitudinal manyetizasyonun yeniden kazanılması "longitudinal relaksasyon" veya "spin-lattice relaksasyon", oluşan transvers manyetizasyonun kaybolması ise "transvers relaksasyon" olarak adlandırılır. Bu olaylar birlikte devam ederken transvers manyetizasyon vektörü x-y ekseninden z eksenine doğru salınım yapmaya başlar. Net manyetik vektör her an değişerek spiral şeklinde bir hareket yapar. Bu değişen manyetik vektör vasıtasıyla elektrik akımı üretilir; bu akım alıcı koiller tarafından algılanır ve sinüzoidal bir sinyal kaydedilir. Bu olay FID (Free Induction Decay; serbest indüksiyonlu bozunma) olarak adlandırılır. FID sinyali alıcı koiller ile algılanarak alternatif akıma ve daha sonra bilgisayar vasıtasıyla görüntüye dönüştürülür.

#### 2.7.1.1. T1 ve T2 relaksasyon zamanları

T1 relaksasyon zamanı, longitudinal manyetizasyonun %63'ünün kazanılması için geçen süredir. Ana manyetik alan gücüne ve mikroskobik manyetik çevre özelliklerine göre değişir.

T2 relaksasyon zamanı, transvers manyetizasyonun %63'ünün kaybedildiği ana kadar geçen süredir. Gerçek T2 relaksasyon veya spin-spin relaksasyon sadece mikroskobik manyetik çevre inhomojenitesinden etkilenir. T2\* relaksasyon ise hem eksternal manyetik alan inhomojenitesinden hem de mikroskobik manyetik çevre özelliklerinden etkilenir. T2 relaksasyon zamanı, T1 relaksasyon zamanından her zaman daha kısadır.

#### 2.7.2. Görüntü oluşumu

Görüntü oluşturmak için RF pulsu kesildikten sonra alıcı sargılarla protonlardan toplanan MR sinyalinin lokalizasyonunu belirlemek gereklidir. Bunun için gradient koiller kullanılır. Gradient koiller x, y ve z eksenlerinde manyetik alanı kademeli olarak arttırıp azaltırlar.

### 2.7.2.1. Kesit belirleme

RF pulsu gönderildiği esnada uygulanır. Sinyalin hangi kesitten geldiğini belirlemek için gradientin merkezi 0 olacak şekilde, z eksenini üzerinde kademeli olarak bir yöne doğru artan ve diğer yöne doğru azalan manyetik alan uygulanır. Böylelikle  $B_0$  yönünde yani z eksenindeki protonlar üzerine uygulanan manyetik alan değiştiğinden, protonların salınım frekansları da değişir. RF pulsu gönderildiğinde yalnızca RF pulsu ile aynı frekansa sahip kesitteki protonlar uyarılabilir. Dolayısıyla sinyalin hangi kesitten geldiği saptanmış olur.

Kesit kalınlığı, verici RF bant genişliği (transmit RF bandwidth) ile doğru, gradientin gücü yani amplitüdü ile de ters orantılıdır. Kesit kalınlığı aşağıdaki formülle ifade edilir:

$$\text{Kesit kalınlığı} = \text{Verici RF bant genişliği} / (\gamma \times \text{Gradient amplitüdü})$$

### 2.7.2.2. Frekans kodlama

Sinyalin okunması ve kaydedilmesi esnasında uygulanır. Kesit belirleme gradientine dik horizontal eksende çalıştırılan frekans kodlama gradienti ile manyetik alan şiddeti bir yöne doğru giderek arttırılır. Böylelikle her kesitte farklı salınım frekansı gösteren protonlara ait kolonlar oluşur ve kesitteki hangi kolondan sinyal alındığı belirlenmiş olur. Bu eksende oluşturulan frekans farkı, kullanıcı bağımlı olan alıcı bant genişliği (receiver bandwidth) ile ölçülür.

### 2.7.2.3. Faz kodlama

180° RF pulsundan önce kısa süreli olarak kesit belirleme ve frekans kodlama gradientlerine dik eksende uygulanır. Gradient çalıştırılıp kapatıldıktan sonra kesitteki satırlar arasında faz farkı gelişmiş olur ve sinyalin hangi satırdan geldiği belirlenir.

### 2.7.2.4. Veri toplama, depolama ve görüntüye çevirme

Görüntüyü oluşturan en küçük birim pikseldir. Pikselin üç boyutlu karşılığı ise vokseldir. Piksel ve voksellerin dizilimiyle matriks oluşur.

K-alanı (k-space), kesit belirlendikten sonra ham datanın toplandığı geçici görüntü deposudur. K-alanı matriksinin boyutları, x ve y eksenlerinde sırasıyla faz kodlama ve frekans kodlama sayısı ile belirlenir. K-alanında sinyallerin lokalizasyon bilgisi ile birlikte amplitüd bilgisi de mevcuttur ve görüntü temel olarak sinyal amplitüdü ile oluşturulur. Tüm k-alanını doldurmak için puls sekansı, faz kodlama sayısı kadar uygulanır. En sonunda bu ham data matriksi Fourier transformasyonu denilen işlem ile analiz edilir ve görüntüye çevrilir. K-alanının merkezinde yüksek amplitüdü ve düşük frekanslı sinyaller mevcut olup görüntünün kontrast rezolüsyonundan sorumludur. Periferde ise düşük amplitüdü ve yüksek frekanslı sinyaller mevcut olup uzaysal rezolüsyonu belirler.

### **2.7.3. Temel puls sekansları**

MRG'de günümüzde başlıca üç temel puls sekansı kullanılmaktadır.

#### **2.7.3.1. Spin eko**

MRG'nin temel sekansı olan SE (spin eko) sekansı için en az iki RF pulsu uygulaması gereklidir. Sıklıkla  $90^\circ$  ve  $180^\circ$  RF pulsları kullanılır. TR (time to repetition; tekrarlama zamanı),  $90^\circ$  RF pulsları arasındaki süre; TE (time to echo; eko toplama zamanı),  $90^\circ$  RF puls uygulaması ile en yüksek sinyalin elde edildiği ana kadar geçen süredir. Önce  $90^\circ$  RF pulsu uygulaması ile longitudinal manyetizasyon, transvers manyetizasyona çevrilir. Puls kesilince protonların faz uyumu bozulmaya başlar. TE/2 kadar süre sonra ters yönde  $180^\circ$  RF pulsu gönderilerek tekrar faz uyumu sağlanır. TE süresinin sonunda ise sinyal en yüksektir ve eko sinyali bu safhada toplanır. Aynı basamaklar TR süresi kadar sonra tekrarlanır.

SE sekansının üstünlüğü, mikroskobik manyetik çevre inhomojenitesinin yani  $T2^*$  etkisinin ortadan kaldırılmasıdır. Longitudinal manyetizasyonun geri kazanılması için ardışık RF pulsları arasında uzun süre beklenmesi ise ana dezavantajdır.

SE sekansta, TR ve TE değerleri değiştirilerek imajların T1, T2 ve PD (proton dansite) ağırlığı belirlenir. Görüntünün T1 ağırlığını TR, T2 ağırlığını TE belirlemektedir. T1A görüntü elde etmek için kısa TR ve kısa TE değerleri; T2A

görüntü elde etmek için uzun TR ve uzun TE; PDA (PD ağırlıklı) görüntü elde etmek içinse uzun TR ve kısa TE değerleri seçilir.

TSE (turbo spin echo) veya diğer adıyla FSE (fast spin echo)'de konvansiyonel SE'den farklı olarak  $90^\circ$  RF pulsu sonrası çok sayıda  $180^\circ$  RF pulsu gönderilir ve her  $180^\circ$  puls sonrası sinyal toplanır.  $180^\circ$  RF pulslarından sonra k-alanının birden fazla faz kodlama satırı doldurularak daha hızlı görüntü elde edilir. TSE'de turbo faktörü veya echo train length kavramı her bir TR süresinde uygulanan  $180^\circ$  puls sayısı ve dolayısıyla k-alanında doldurulan satır sayısıdır. TSE'de turbo faktörü arttırıldıkça görüntü elde edilme süresi kısalmır. TSE'nin üstünlükleri; kısa görüntüleme süresi, T2 kontrastının ve yağın parlaklığının artması, duyarlılık artefaktının azalmasıyken, konvansiyonel SE'ye kıyasla SNR (signal-to-noise ratio; sinyal-gürültü oranı)'nin azalması dezavantajıdır.

#### 2.7.3.2. Gradient eko

GRE sekansın SE'dan farkı,  $90^\circ$  puls yerine daha küçük açılardaki RF pulslarının kullanılması, ikinci  $180^\circ$  pulsunun olmaması ve gradient çeviricilerin kullanılmasıdır. GRE'de  $90^\circ$  puls yerine kullanılan daha küçük açılar, flip angle (sapma açısı) olarak adlandırılır. Daha küçük açı kullanılması transvers manyetizasyonun daha çabuk oluşması, longitudinal manyetizasyonun daha çabuk kazanılması, dolayısıyla daha kısa TR ile daha kısa inceleme süresi demektir.  $180^\circ$  puls yerine kullanılan gradient çeviriciler ile protonlar önce defaze edilir; daha sonra ise aynı güçte ama ters yönde çalıştırılarak protonlar bir miktar refaze edilir ve GRE sinyali oluşur. Daha kısa sürede eko toplandığından TE kısadır. GRE sekanslar,  $180^\circ$  RF pulsu kullanılmadığından, manyetik duyarlılık etkisinin güçlü olduğu sekanslardır.

#### 2.7.3.3. Inversion recovery

IR (inversion recovery), SE'deki istenmeyen sinyalleri baskılamak (örneğin yağ veya sıvı sinyalleri), T1 ağırlığını ve kontrast rezolüsyonunu arttırmak amacıyla kullanılmaktadır. TSE'deki  $90^\circ$  puls öncesinde  $180^\circ$  puls uygulanarak dokuların longitudinal manyetizasyonları tersine çevrilir. Buradaki ilk  $180^\circ$  pulsu inversiyon pulsudur ve  $90^\circ$  puls ile arasındaki zaman TI (time inversion; inversiyon zamanı)

şeklinde ifade edilir. Bu sürede longitudinal manyetizasyon geri kazanılırken (T1 relaksasyon) uygulanan  $90^\circ$  puls ile, dokuların manyetik vektörleri farklı noktalarda olduğundan, her dokudan farklı büyüklükte transvers manyetizasyon elde edilir. Bu sayede dokular arası T1 relaksasyon sürelerindeki farklılıktan yararlanılarak kontrast rezolüsyonu artırılmış olur. T1 değeri değiştirilerek selektif dokuların sinyali baskılanabilir. Yağ sinyalini baskılamak için kullanılan STIR ve BOS (beyin-omurilik sıvısı) sinyalini baskılamak için kullanılan FLAIR (fluid attenuated inversion recovery) sekansları, sık kullanılan ve bu yöntemle elde edilen sekanslardır. Ayrıca iki dokuyu birden baskılamak amacıyla iki defa inversiyon pulsunun uygulandığı double-IR sekanslar da mevcuttur (98,99).



### 3. GEREÇ VE YÖNTEM

Bu tez çalışması, Düzce Üniversitesi Tıp Fakültesi Girişimsel Olmayan Sağlık Araştırmaları Etik Kurulu Başkanlığı'ndan 17.08.2020 tarih ve 2020/181 sayılı etik kurul onayı alınarak yapılmıştır. Çalışmada 23.03.2018-19.12.2020 tarihleri arasında Düzce Üniversitesi Tıp Fakültesi Radyoloji Anabilim Dalı'nda 3.0T MR cihazı ile gerçekleştirilmiş diz MR görüntüleri retrospektif olarak değerlendirilmiştir. Her olgunun protokol numaraları ile klinik bilgileri Mia-Med Hastane Bilgi Yönetim Sistemi programı yardımıyla incelenmiştir.

Çalışmaya 3.0T MR cihazında (MAGNETOM Sykra, Siemens Healthineers, Erlangen, Germany, 2017) diz koili (yüksek rezolüsyonlu 15 kanallı Tx/Rx diz koili, Quality ElectroDynamics LLC, Ohio, USA, 2017) ile yapılan diz incelemeleri dahil edildi. Dedouit ve Vieth evreleme metodu için koronal ve sagittal planda PD ağırlıklı YB (yağ baskılı) (FAT-SAT [fat saturation] tekniği ile) TSE sekansı (TR 2500 ms, TE 21 ms, turbo faktörü 6, kesit kalınlığı 3 mm, FOV [field of view] 190 mm [sagittal]-200 mm [koronal], matriks 384x261 [sagittal], 384x218 [koronal], voksel boyutları 0.5x0.5x3 mm, inceleme süresi 1.34-1.37 dk); Kramer ve Vieth evreleme metodu için sagittal planda T1 ağırlıklı TSE sekansı (TR 455 ms, TE 21 ms, turbo faktörü 2, kesit kalınlığı 3 mm, FOV 190 mm, matriks 261x184, voksel boyutları 0.5x0.5x3 mm, inceleme süresi 1.28 dk) kullanıldı. Görüntüler, olguların demografik bilgileri gizlenerek, yüksek rezolüsyonlu monitöre sahip iş istasyonunda (Syngo MultiModality Workplace, Siemens, Germany) değerlendirildi.

Toplamda 10-30 yaş arası 743 olgu değerlendirildi. Diz patolojisi bulunan (epifiziyel tümör, direkt akut travma, enfeksiyon), diz operasyonu öyküsü bulunan, sistemik veya neoplastik bozukluğu olan (hormonal bozukluk, romatolojik hastalıklar, malignite, lösemi, kemo/radyoterapi), steroid veya hormon tedavisi alan ve görüntü kalitesi hareket artefaktları vb. nedenlerle değerlendirmeye uygun olmayan toplam 146 olgu çalışmaya dahil edilmedi. Sonuç olarak çalışma popülasyonunu 351'i erkek, 246'sı kadın, toplam 597 olgu oluşturdu. Görüntüleme tarihi ve olguların doğum yaşı kullanılarak ondalıklı olarak kronolojik yaşlar (örneğin 15 yaş, 15.0 ve 15.9 yaşları arasında tanımlandı) hesaplandı. Her olgunun distal femur ve proksimal tibiya ait epifiz plakları ayrı ayrı Dedouit ve ark.'nın (1),

Kramer ve ark.'nın (2,3), Vieth ve ark.'nın (4) tanımladıkları evreleme sistemine göre evrelere ayrıldı. Gözlemciler arası uyumu belirlemek için 4 yıllık deneyime sahip radyoloji asistanı ile 20 yıllık deneyime sahip radyoloji uzmanı ayrı ayrı, olguların yaş ve cinsiyet bilgileri gizlenerek değerlendirmede bulundular. İlk değerlendirmeden iki hafta sonra ise gözlemci içi uyumu belirlemek için random seçilen 100 olgu, ilk gözlemci tarafından tekrar değerlendirildi. Son olarak da iki gözlemci ortak kanaat için bütün olguları birlikte tekrar değerlendirdi ve bu veriler çalışmamızda kullanıldı.

101 olgunun eş zamanlı gerçekleştirilmiş bilateral diz MR görüntüleri mevcuttu. Bunlardan 6 olgunun femoral epifiz plağının evresi, Dedouit ve Vieth yöntemine göre sağ ve sol diz arasında farklı olarak saptandı ve bu olgularda nihai karar olarak daha ileri evre olan taraf kabul edildi. Bu olgular arasında Kramer yöntemine göre sağ ve sol diz evreleri arasında farklılık saptanmadı.

Dedouit ve ark.'nın (1) tanımladığı evreleme metoduna göre:

*"Evre 1: Metafiz ve epifiz arasında, 1.5 mm'den kalın ve multilaminar görünümde, şerit benzeri, devamlı, horizontal kartilaj sinyal intensitesi bulunur. Multilaminar görünüm, üst katmanda azalmış sinyal intensitesi, orta katmanda artmış sinyal intensitesi ve alt katmanda azalmış sinyal intensitesi olarak görülür.*

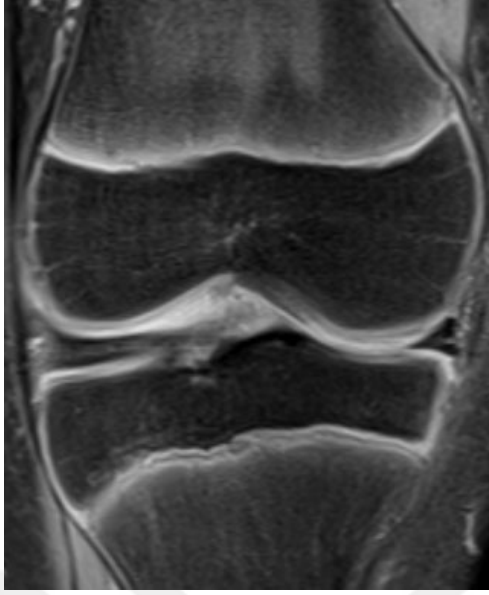
*Evre 2: Metafiz ve epifiz arasında, 1.5 mm'den kalın, yüksek sinyalli ancak multilaminar görünümde olmayan, devamlı, horizontal, lineer kartilaj sinyal intensitesi bulunur.*

*Evre 3: Metafiz ve epifiz arasında, kalınlığı 1.5 mm'den az, yüksek sinyalli, devamlı, horizontal, lineer kartilaj sinyal intensitesi bulunur.*

*Evre 4: Metafiz ve epifiz arasında, kalınlığı 1.5 mm'den az, yüksek sinyalli, kesintili, horizontal, lineer kartilaj sinyal intensitesi bulunur.*

*Evre 5: Metafiz ve epifiz arasında artmış sinyal intensitesi yok."*

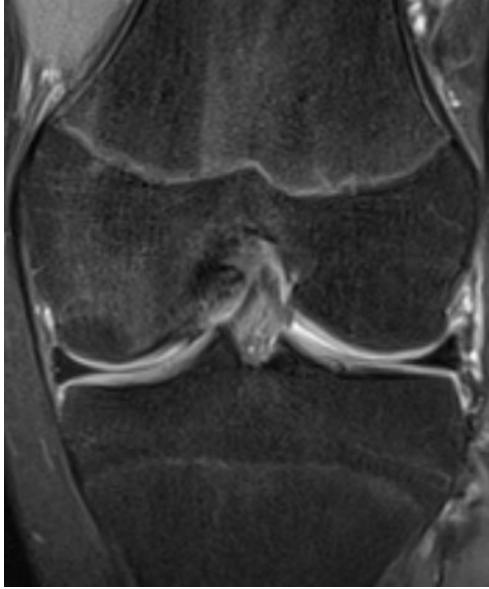
Her evreye ait olgu örneklerinin MR görüntüleri Şekil 2-6'da gösterilmektedir.



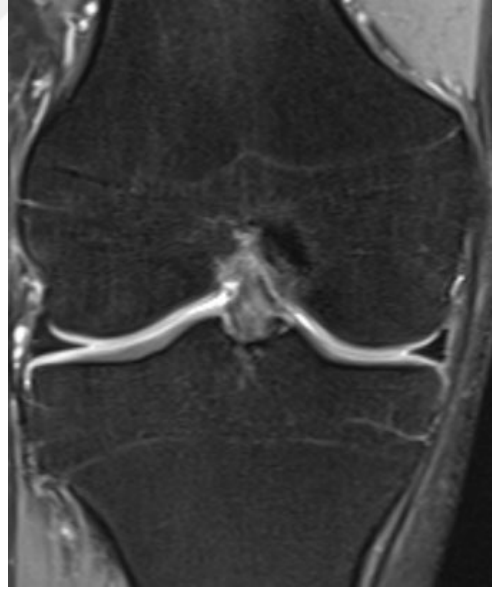
**Şekil 2.** Femur ve tibiada evre 1 tespit edilen 13.2 yaşındaki erkek olgunun MR görüntüsü (PDA YB TSE sekans).



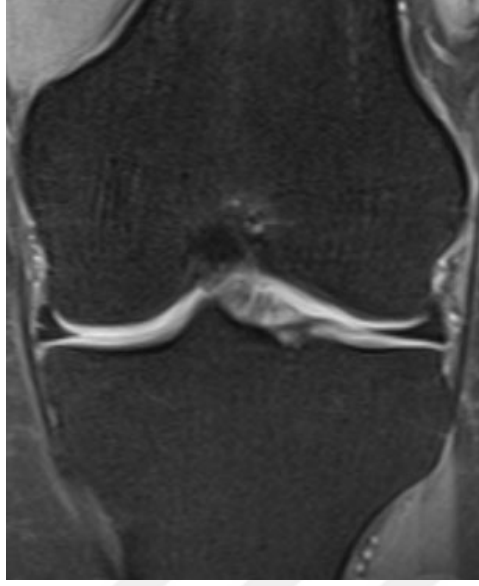
**Şekil 3.** Femur ve tibiada evre 2 tespit edilen 13.2 yaşındaki kadın olgunun MR görüntüsü (PDA YB TSE sekans).



**Şekil 4.** Femur ve tibiada evre 3 tespit edilen 16.2 yaşındaki erkek olgunun MR görüntüsü (PDA YB TSE sekans).



**Şekil 5.** Femur ve tibiada evre 4 tespit edilen 24.1 yaşındaki erkek olgunun MR görüntüsü (PDA YB TSE sekans).



**Şekil 6.** Femur ve tibiada evre 5 tespit edilen 27.2 yaşındaki erkek olgunun MR görüntüsü (PDA YB TSE sekans).

Kramer ve ark.'nın (2,3), Schmeling ve ark. (23) ile Kellinghaus ve ark. (43) tarafından tanımlanan evreleme metotlarını kombine ederek oluşturdukları evreleme sistemine göre:

*"Evre 1: Epifiz henüz ossifiye değil.*

*Evre 2a: Ossifiye olmuş epifizin uzunluğu, metafiziyel uç genişliğinin üçte biri veya daha azıdır.*

*Evre 2b: Ossifiye olmuş epifizin uzunluğu, metafiziyel uç genişliğinin üçte biri ile üçte ikisi arasındadır.*

*Evre 2c: Ossifiye olmuş epifizin uzunluğu, metafiziyel uç genişliğinin üçte ikisinden fazladır.*

*Evre 3a: Epifiziyel-metafiziyel füzyon, epifiz ve metafiz arasındaki eski boşluğun üçte birini veya daha azını tamamlar.*

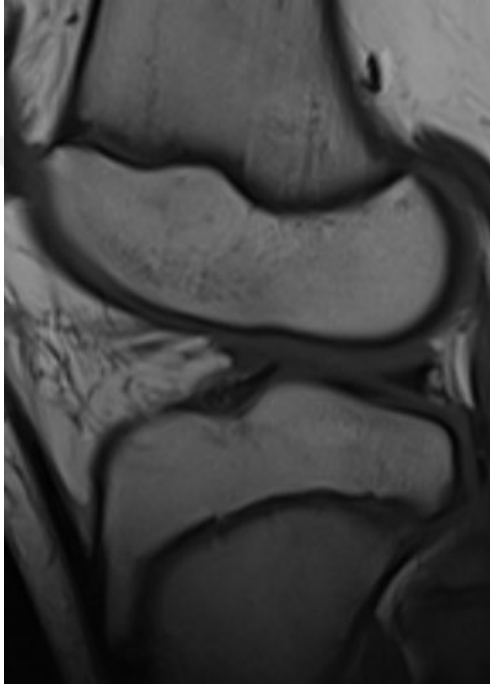
*Evre 3b: Epifiziyel-metafiziyel füzyon, epifiz ve metafiz arasındaki eski boşluğun üçte biri ile üçte ikisi arasını tamamlar.*

*Evre 3c: Epifiziyel-metafiziyel füzyon, epifiz ve metafiz arasındaki eski boşluğun üçte ikisinden fazlasını tamamlar.*

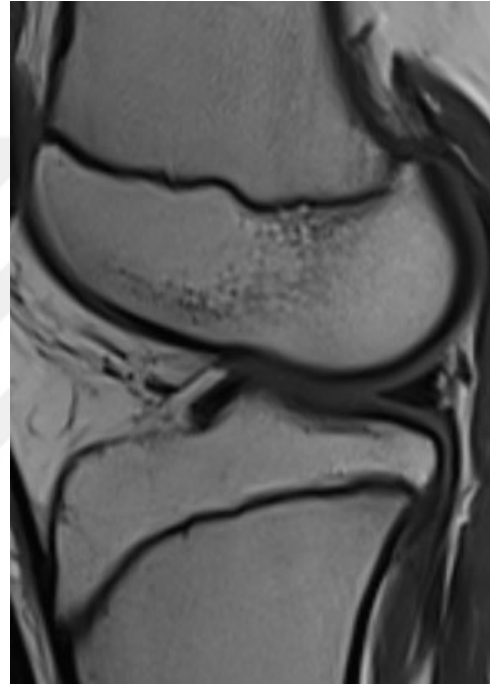
*Evre 4: Epifiziyel kartilaj tümüyle ossifiedir ve epifiziyel skar görülebilir.*

*Evre 5: Epifiziyel kartilaj tamamen kaynamıştır ve epifiziyel skar görülememektedir."*

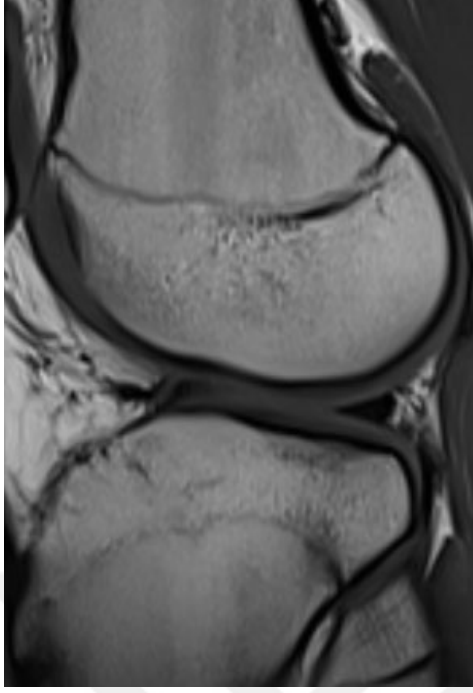
Her evreye ait olgu örneklerinin MR görüntüleri Şekil 7-12'de gösterilmektedir.



**Şekil 7.** Femur ve tibiada evre 2c tespit edilen 11.0 yaşındaki erkek olgunun MR görüntüsü (T1A TSE sekans).



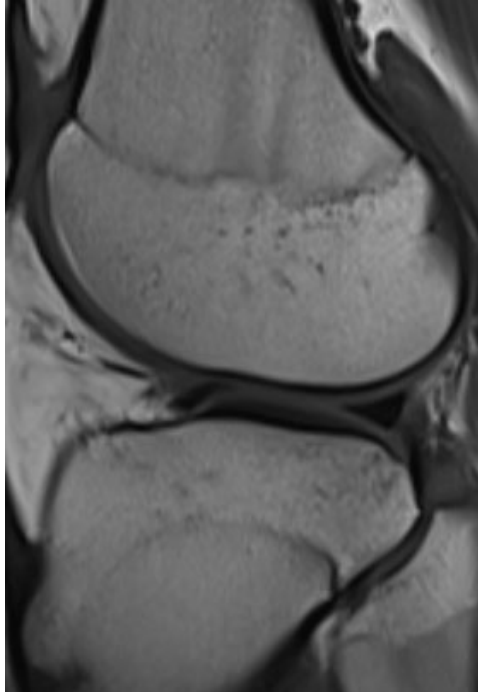
**Şekil 8.** Femur ve tibiada evre 3a tespit edilen 15.0 yaşındaki kadın olgunun MR görüntüsü (T1A TSE sekans).



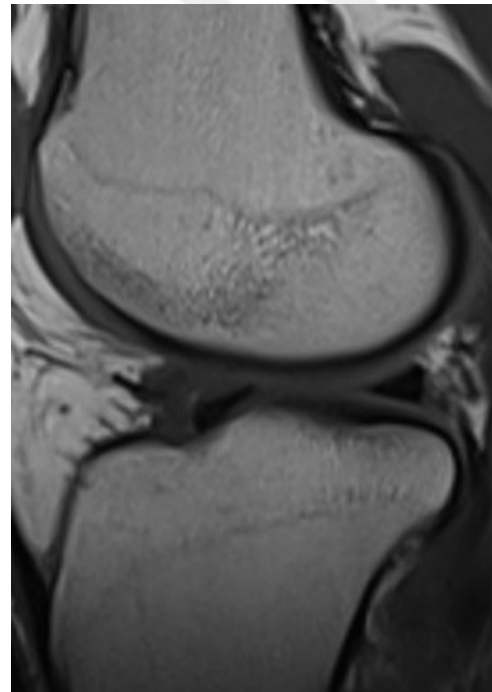
**Şekil 9.** Femurda evre 3b tespit edilen 16.6 yaşındaki erkek olgunun MR görüntüsü (T1A TSE sekans).



**Şekil 10.** Tibiada evre 3b tespit edilen 16.0 yaşındaki kadın olgunun MR görüntüsü (T1A TSE sekans).



**Şekil 11.** Femurda ve tibiada evre 3c tespit edilen 14.6 yaşındaki kadın olgunun MR görüntüsü (T1A TSE sekans).



**Şekil 12.** Femur ve tibiada evre 4 tespit edilen 28.4 yaşındaki erkek olgunun MR görüntüsü (T1A TSE sekans).

Vieth ve ark.'nın (4) tanımladığı evreleme metoduna göre:

*"Evre 2: T1A sekansta ara sinyal intensiteli kesintisiz bir bant izlenir. Bu bant, epifiz ve diyafize doğru, düşük sinyalli veya sinyalsiz tırtıklı hatlar tarafından çevrelenir. T2A sekansta epifiz, düşük sinyalli veya sinyalsiz tırtıklı bir hat ile sınırlanır. Metafizde iki adet yüksek sinyal intensiteli tırtıklı hat izlenir. Her iki hat kesintili veya kesintisiz olabilir.*

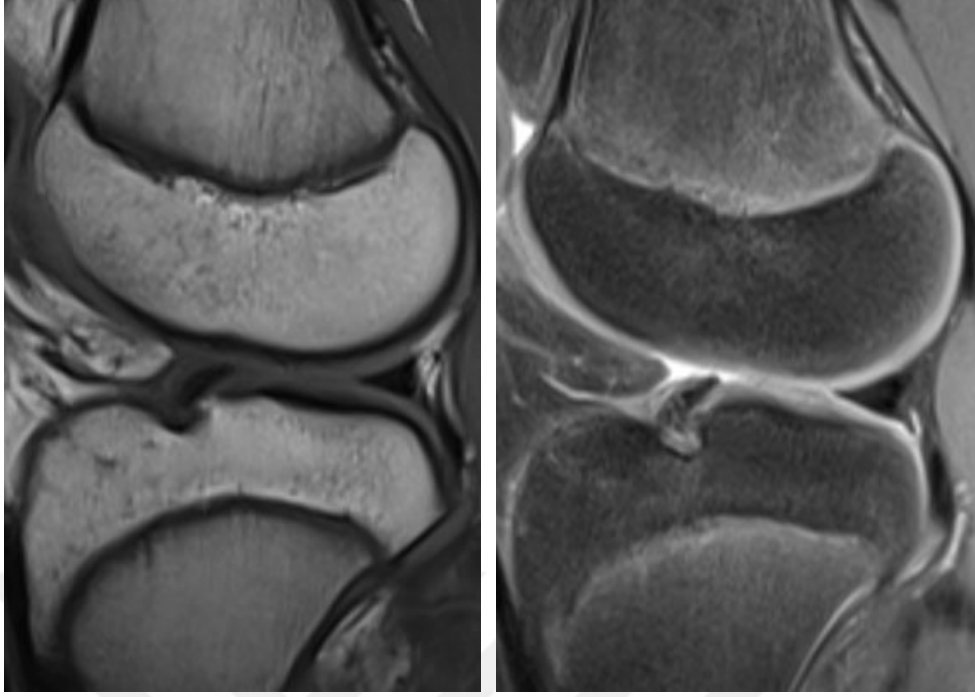
*Evre 3: T1A sekansta ara sinyal intensiteli kesintili bir bant izlenir. Bu bant epifiz ve diyafize doğru düşük sinyalli veya sinyalsiz tırtıklı hatlar ile sınırlanır ve bu hatlar sporadik olarak birleşip ayrılarak sinyalsiz tek bir tırtıklı hat meydana getirir. T2A sekansta metafizde iki adet yüksek sinyal intensiteli tırtıklı hat izlenir ve bu hatlar sporadik olarak birleşerek yüksek sinyal intensiteli tek bir tırtıklı hat meydana getirir.*

*Evre 4: T1A sekansta epifiz ve diyafiz arasında ara sinyal intensiteli, kesintili, ince ve tırtıklı hat izlenir. Bu hattın devamlılığında sinyalsiz daha kalın bölümler görülebilir. T2A sekansta, T1A sekansta tanımlanan ince hatta karşılık gelen bölgede tek, ince, kesintili veya noktalı hiperintens hat izlenir. Hattın devamlılığında daha kalın hiperintens bölümler izlenebilir.*

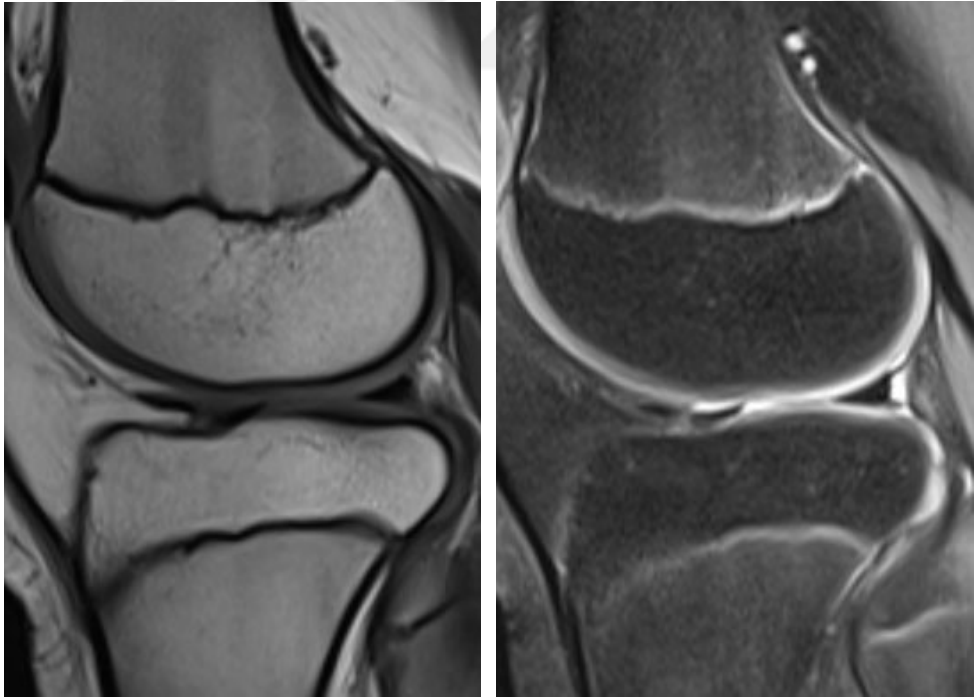
*Evre 5: T1A sekansta epifiz ve diyafiz arasında ara sinyal intensiteli devamlı bir hat izlenir. T2A sekansta, T1A sekansta tanımlanan ince hatta karşılık gelen bölgede tek, ince, kesintili veya noktalı hiperintens hat izlenir.*

*Evre 6: T1A sekansta epifiz ile diyafiz arasında ara sinyal intensiteli kesintisiz ince bir hat izlenir. T2A sekansta, T1A sekansta tanımlanan ince hatta karşılık gelen bölgede herhangi bir hiperintens hat izlenmez."*

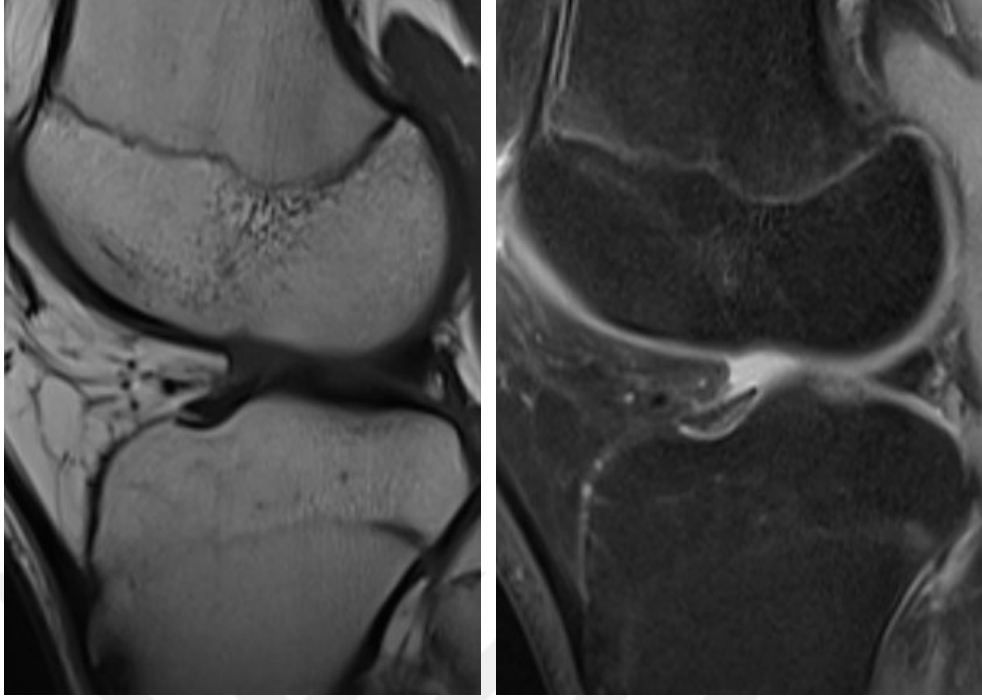
Her evreye ait olgu örneklerinin MR görüntüleri Şekil 13-17'de gösterilmektedir.



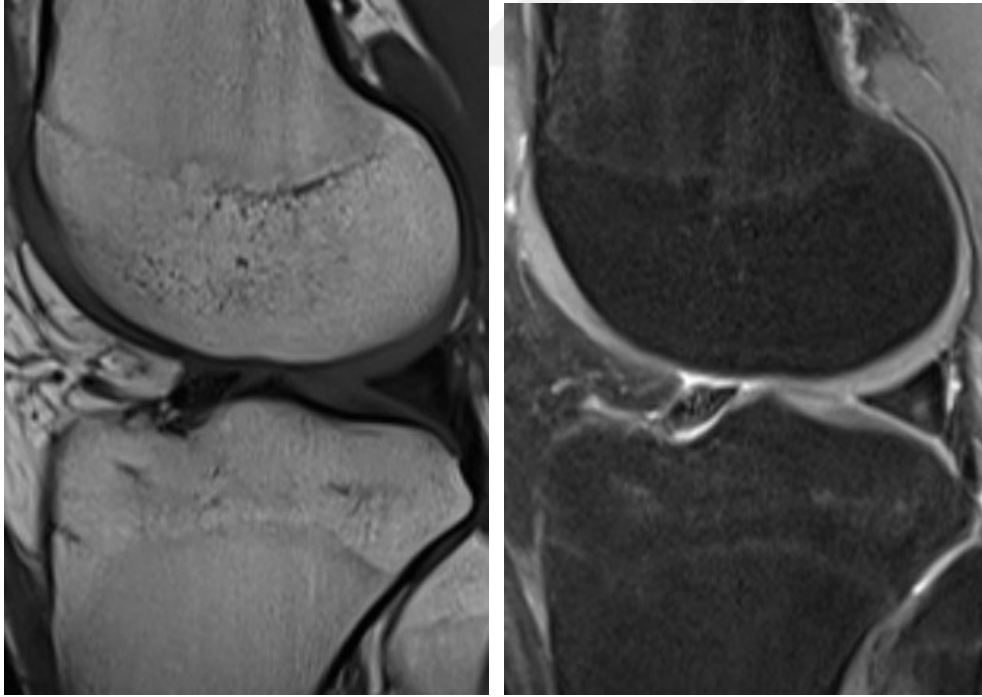
**Şekil 13.** Femur ve tibiada evre 2 tespit edilen 15.7 yaşındaki erkek olgunun MR görüntüleri (soldan sağa sırasıyla T1A TSE ve PDA YB TSE sekanslar)



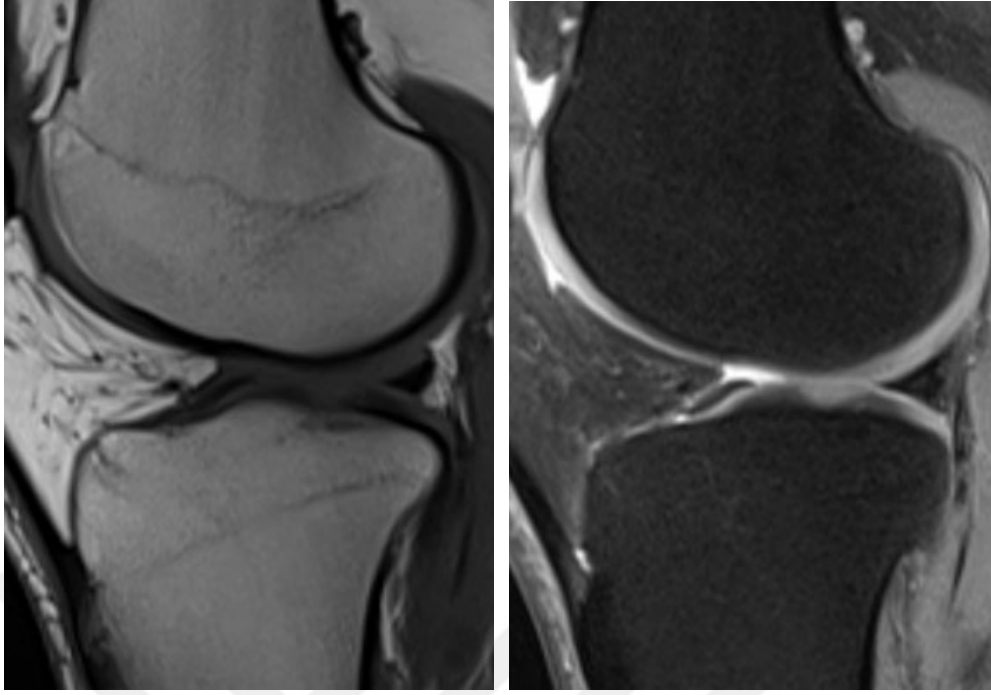
**Şekil 14.** Femur ve tibiada evre 3 tespit edilen 12.2 yaşındaki kadın olgunun MR görüntüleri (soldan sağa sırasıyla T1A TSE ve PDA YB TSE sekanslar)



**Şekil 15.** Femur ve tibiada evre 4 tespit edilen 16.7 yaşındaki erkek olgunun MR görüntüleri (soldan sağa sırasıyla T1A TSE ve PDA YB TSE sekanslar)



**Şekil 16.** Femur ve tibiada evre 5 tespit edilen 18.2 yaşındaki erkek olgunun MR görüntüleri (soldan sağa sırasıyla T1A TSE ve PDA YB TSE sekanslar)



**Şekil 17.** Femur ve tibiada evre 6 tespit edilen 22.4 yaşındaki erkek olgunun MR görüntüleri (soldan sağa sırasıyla T1A TSE ve PDA YB TSE sekanslar)

### **İstatistiksel Analiz**

Kadın ve erkeklerin yaş dağılımı Shapiro-Wilk's testi ve her Kramer evresinde normallik grafikleri ile incelenmiştir. Yaş; min (minimum), maks (maksimum), ortalama  $\pm$  SS (standart sapma), ortalamanın %95 GA (güven aralığı), median, Tukey-Higens 25. ve 75. persentiller şeklinde değerlendirildi. Yaş dağılımının normal olmaması veya cinsiyet kategorilerinin örneklem büyüklüğünün dengeli olmaması nedeniyle her evredeki kadın ve erkeklerin yaşları Mann-Whitney U testi ile karşılaştırıldı. Evreler için gözlemci içi ve gözlemciler arası uyum Fleiss yaklaşımıyla, standart hataları ile ağırlıksız kappa ( $\kappa$ ) ve doğrusal ağırlıklı kappa ( $\kappa_w$ ) istatistikleri ile değerlendirildi. Genel uyum oranı ve bunun %95 Wilson skoru GA belirlendi. Analizlerde p-değeri  $<0.05$ , istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi.

$\kappa$  değerleri için Landis ve Koch (100) tarafından tanımlanan şu eşik değerler kullanıldı:

*" $\kappa < 0.20$ : kötü uyum*

*$\kappa = 0.21-0.40$ : makul uyum*

$\kappa = 0.41-0.60$ : orta düzeyde uyum

$\kappa = 0.61-0.80$ : iyi uyum

$\kappa = 0.81-1.00$ : çok iyi uyum"

$\kappa$  ve  $\kappa_w$ , "rel" paketinin "ckap" fonksiyonu (101) ile hesaplandı. Wilson skoru GA'ları RStudio (ver. 1.3.959) (102) aracılığıyla R dilinde (sürüm 4.0.1) "PropCIs" paketinin "skoreci" fonksiyonu (103) ile elde edildi. Diğer tüm istatistiksel analiz ve hesaplamalar IBM SPSS Statistics 22.0 (IBM Corp. Released 2013. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 22.0. Armonk, NY: IBM Corp.) aracılığıyla gerçekleştirildi.



#### 4. BULGULAR

Çalışma kapsamındaki toplam 597 olgu değerlendirildi. Olguların 351'i (%58.8) erkek, 246'sı (%41.2) kadın olup yaş ve cinsiyete göre dağılım Tablo 1'de gösterilmektedir.

**Tablo 1.** Olguların yaş ve cinsiyete göre dağılımı

Yaş	Erkek	Kadın	Toplam
10	2	2	4
11	2	5	7
12	2	3	5
13	5	7	12
14	5	5	10
15	12	7	19
16	12	8	20
17	14	16	30
18	16	13	29
19	15	16	31
20	24	15	39
21	23	17	40
22	30	13	43
23	27	25	52
24	24	15	39
25	17	19	36
26	25	11	36
27	33	10	43
28	28	19	47
29	26	13	39
30	9	7	16
<b>Toplam</b>	<b>351</b>	<b>246</b>	<b>597</b>

Dedouit ve ark.'nın (1) evreleme metoduna göre distal femoral epifiz plağı için tespit edilen minimum yaşlar erkeklerde sırasıyla evre 1, 2, 3, 4 ve 5 için 10.09, 10.77, 15.72, 17.05 ve 21.31; kadınlarda sırasıyla evre 1, 2, 3, 4 ve 5 için 10.36, 11.36, 13.5, 16.78 ve 21.07 bulunmuştur. Proksimal tibial epifiz plağı için tespit edilen minimum yaşlar ise erkeklerde sırasıyla evre 1, 2, 3, 4 ve 5 için 10.09, 10.77, 14.82, 17.05 ve 18.77; kadınlarda sırasıyla evre 1, 2, 3, 4 ve 5 için 10.36, 11.36, 13.5, 15.34 ve 16.35 bulunmuştur. Her evre için distal femur ve proksimal tibiaya ait cinsiyetlere göre olgu sayısı, minimum-maksimum yaşlar, ortalama ile standart sapma, median değerler ve alt-üst çeyrek değerler Tablo 2'de gösterilmektedir. Distal femur için evre 2, 3 ve 4'te; proksimal tibia içinse evre 2 ve 5'te erkeklere ait yaş ortalaması, kadınlardan daha yüksek bulunmuştur (karşılık gelen p-değeri<0.05). Diğer evrelerde cinsiyetler arasında anlamlı farklılık saptanmamıştır (p-değeri>0.05). Cinsiyet ve yaşa göre olguların dağılımı sırasıyla distal femur ve proksimal tibia için Şekil 18 ve 19'da gösterilmektedir.

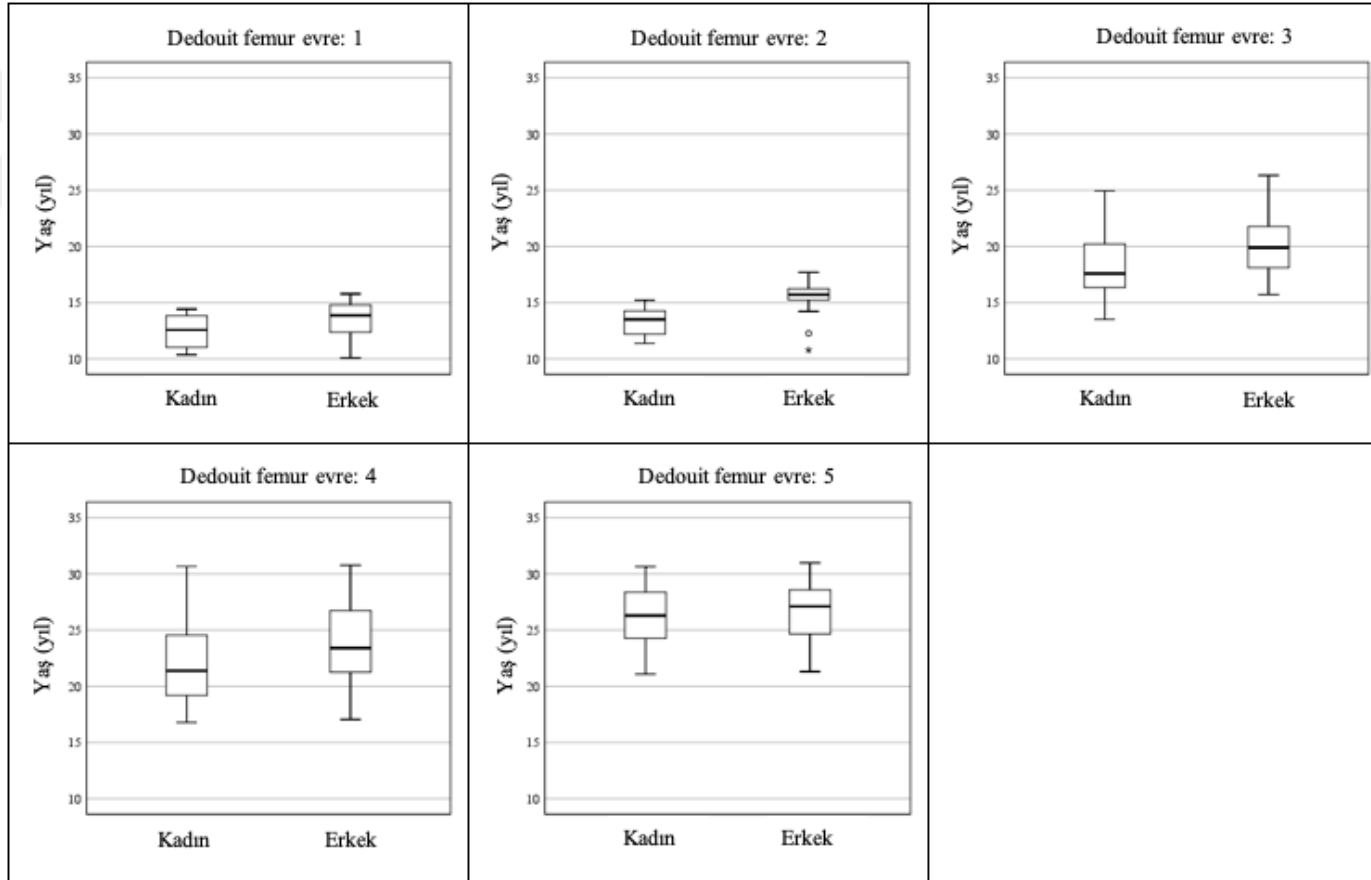
Dedouit ve ark.'nın (1) evreleme metoduna göre distal femur ve proksimal tibia için yapılan değerlendirmede ağırlıklı kappa istatistikleri, gözlemci içi ve gözlemciler arası iyi-çok iyi uyumluluk olduğunu göstermektedir (Tablo 3).

**Tablo 2.** Dedouit evreleme metodunda distal femoral ve proksimal tibial epifiz plağı için yaş ve cinsiyete göre tanımlayıcı istatistikler

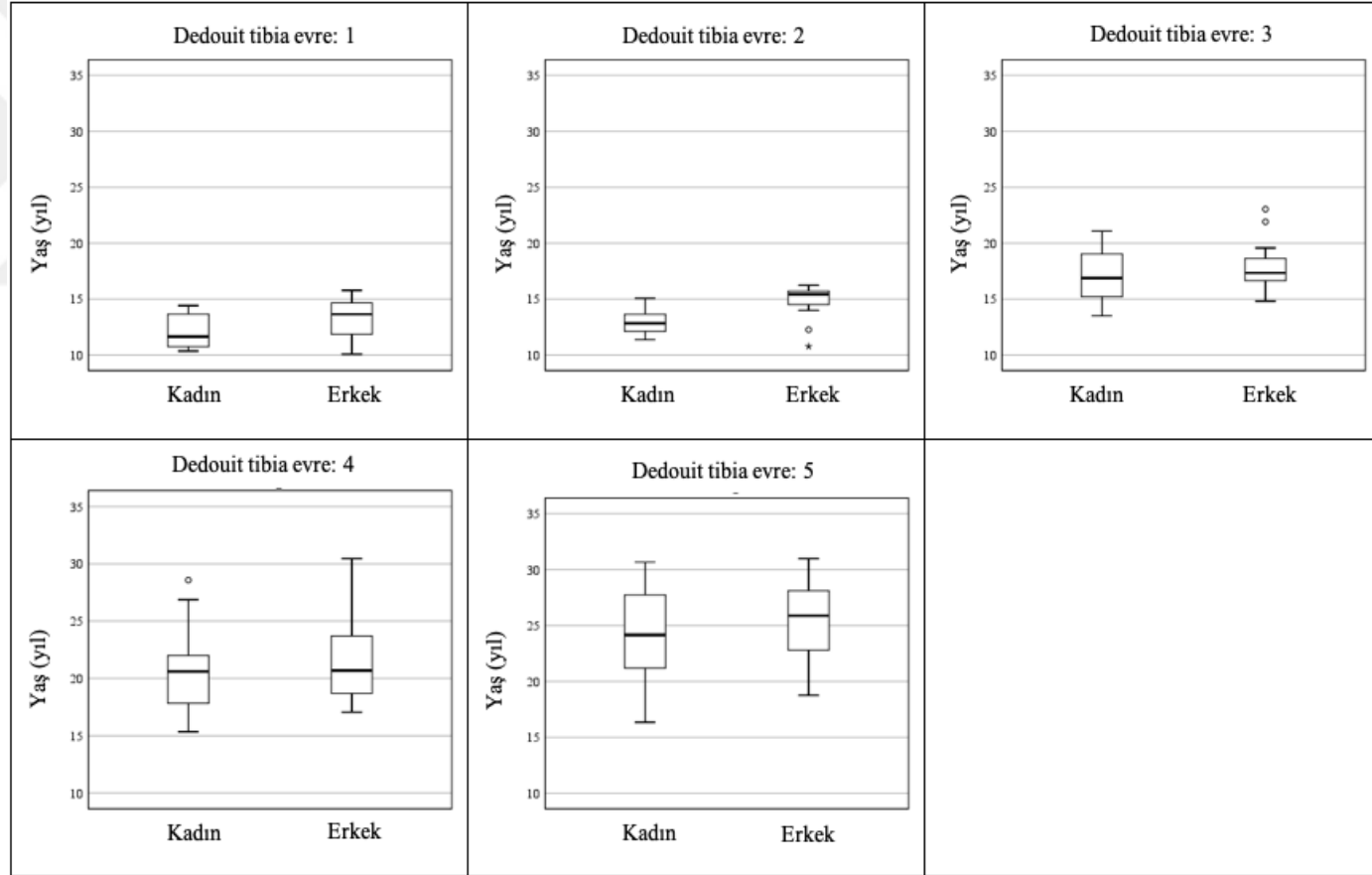
	Evre	Cinsiyet	n	Min-Maks	Ort±SS	Ortalamanın %95 GA	Median	25.-75. Persentiller	p-değeri
Femur	1	Kadın	10	10.36-14.42	12.46±1.58	11.33-13.59	12.58	11.02-13.83	0.143*
		Erkek	14	10.09-15.77	13.50±1.71	12.52-14.49	13.86	12.37-14.80	
	2	Kadın	13	11.36-15.22	13.37±1.26	12.61-14.13	13.51	12.21-14.25	<b>&lt;0.001</b>
		Erkek	21	10.77-17.70	15.46±1.55	14.76-16.17	15.71	15.24-16.24	
	3	Kadın	29	13.50-24.94	18.24±2.57	17.26-19.22	17.58	16.35-20.22	<b>0.002</b>
		Erkek	65	15.72-26.33	19.99±2.34	19.41-20.57	19.90	18.10-21.78	
	4	Kadın	112	16.78-30.66	22.18±3.65	21.49-22.86	21.38	19.19-24.54	<b>&lt;0.001</b>
		Erkek	121	17.05-30.77	23.78±3.39	23.17-24.39	23.40	21.24-26.73	
	5	Kadın	82	21.07-30.65	26.30±2.53	25.74-26.85	26.29	24.27-28.37	0.380
		Erkek	130	21.31-30.98	26.64±2.48	26.21-27.07	27.11	24.67-28.58	
Tibia	1	Kadın	8	10.36-14.42	12.11±1.58	10.78-13.43	11.64	10.75-13.66	0.157
		Erkek	12	10.09-15.77	13.30±1.75	12.19-14.42	13.64	11.86-14.66	
	2	Kadın	10	11.36-15.07	12.96±1.13	12.15-13.77	12.84	12.11-13.65	<b>0.001</b>
		Erkek	15	10.77-16.24	14.85±1.51	14.01-15.69	15.43	14.52-15.70	
	3	Kadın	21	13.50-21.08	17.09±2.48	15.96-18.22	16.88	15.22-19.03	0.344
		Erkek	27	14.82-23.04	17.74±1.84	17.01-18.47	17.33	16.66-18.62	
	4	Kadın	31	15.34-28.58	20.53±3.27	19.33-21.73	20.61	17.82-22.00	0.179
		Erkek	69	17.05-30.45	21.57±3.30	20.78-22.37	20.69	18.69-23.69	
	5	Kadın	176	16.35-30.66	24.12±3.85	23.55-24.69	24.17	21.19-27.73	<b>0.001</b>
		Erkek	228	18.77-30.98	25.46±3.09	25.05-25.86	25.87	22.80-28.11	

n: Olgu sayısı, Min: Minimum, Maks: Maksimum, Ort: Ortalama, SS: Standart Sapma, GA: Güven Aralığı

\*Bağımsız örnekler t-testi uygulanmıştır. Diğer evreler için Mann-Whitney U testi uygulanmıştır.



**Şekil 18.** Dedouit evreleme metodunda distal femoral epifiz plağı için cinsiyet ve yaşlara göre olguların dağılımı



Şekil 19. Dedouit evreleme metodunda proksimal tibial epifiz plağı için cinsiyet ve yaşlara göre olguların dağılımı

**Tablo 3.** Dedouit ve ark.'nın evreleme metoduna göre distal femur ve proksimal tibia için gözlemci içi ve gözlemciler arası uyumluluk

	Dedouit - Femur		Dedouit - Tibia	
	Gözlemci içi (n=100)	Gözlemciler arası (n=597)	Gözlemci içi (n=100)	Gözlemciler arası (n=597)
$\kappa$ ( $\pm$ sh)	0.775 $\pm$ 0.050	0.743 $\pm$ 0.023	0.827 $\pm$ 0.045	0.778 $\pm$ 0.026
$\kappa_w$ ( $\pm$ sh)	0.848 $\pm$ 0.034	0.832 $\pm$ 0.017	0.896 $\pm$ 0.029	0.878 $\pm$ 0.016
Uyumluluk oranı (%)	84.0	82.2	87.0	89.3
(%95 GA)	75.6-89.9	79.0-85.1	79.0-92.2	86.5-91.5
p-değeri	<b>&lt;0.001</b>	<b>&lt;0.001</b>	<b>&lt;0.001</b>	<b>&lt;0.001</b>

n: Olgu sayısı,  $\kappa$ : Kappa,  $\kappa_w$ : Ağırlıklı kappa, sh: Standart hata, GA: Wilson Skor metodunun güven aralığı

Kramer ve ark.'nın (2,3), Kellinghaus ve ark. (43) ile Schmelting ve ark. (23) tarafından tanımlanan evreleme metodlarını kombine ederek oluşturduğu evreleme metoduna göre, distal femoral epifiz plağı için tespit edilen minimum yaşlar erkeklerde sırasıyla evre 2c, 3a, 3b, 3c ve 4 için 10.09, 12.37, 15.88, 15.51 ve 17.84; kadınlarda sırasıyla evre 2c, 3a, 3b, 3c ve 4 için 10.36, 12.21, 14.61, 15.34 ve 16.19 bulunmuştur. Proksimal tibial epifiz plağı için tespit edilen minimum yaşlar ise erkeklerde sırasıyla evre 2c, 3a, 3b, 3c ve 4 için 10.09, 11.36, 14.82, 15.88 ve 15.72; kadınlarda sırasıyla; evre 2c, 3a, 3b, 3c ve 4 için 10.36, 11.36, 14.03, 14.08 ve 15.34 bulunmuştur. Her evre için distal femur ve proksimal tibiaya ait cinsiyetlere göre olgu sayısı, minimum-maksimum yaşlar, ortalama ile standart sapma, median değerler ve alt-üst çeyrek değerler Tablo 4'te gösterilmektedir. Distal femur için evre 2c, 3a ve 4'te; proksimal tibia içinse evre 3a ve 4'te erkeklere ait yaş ortalaması kadınlardan daha yüksek bulunmuştur (karşılık gelen p-değeri<0.05). Diğer evrelerde cinsiyetler arasında anlamlı farklılık saptanmamıştır (p-değeri>0.05). Cinsiyet ve yaşa göre olguların dağılımı sırasıyla distal femur ve proksimal tibia için Şekil 20 ve 21'de gösterilmektedir.

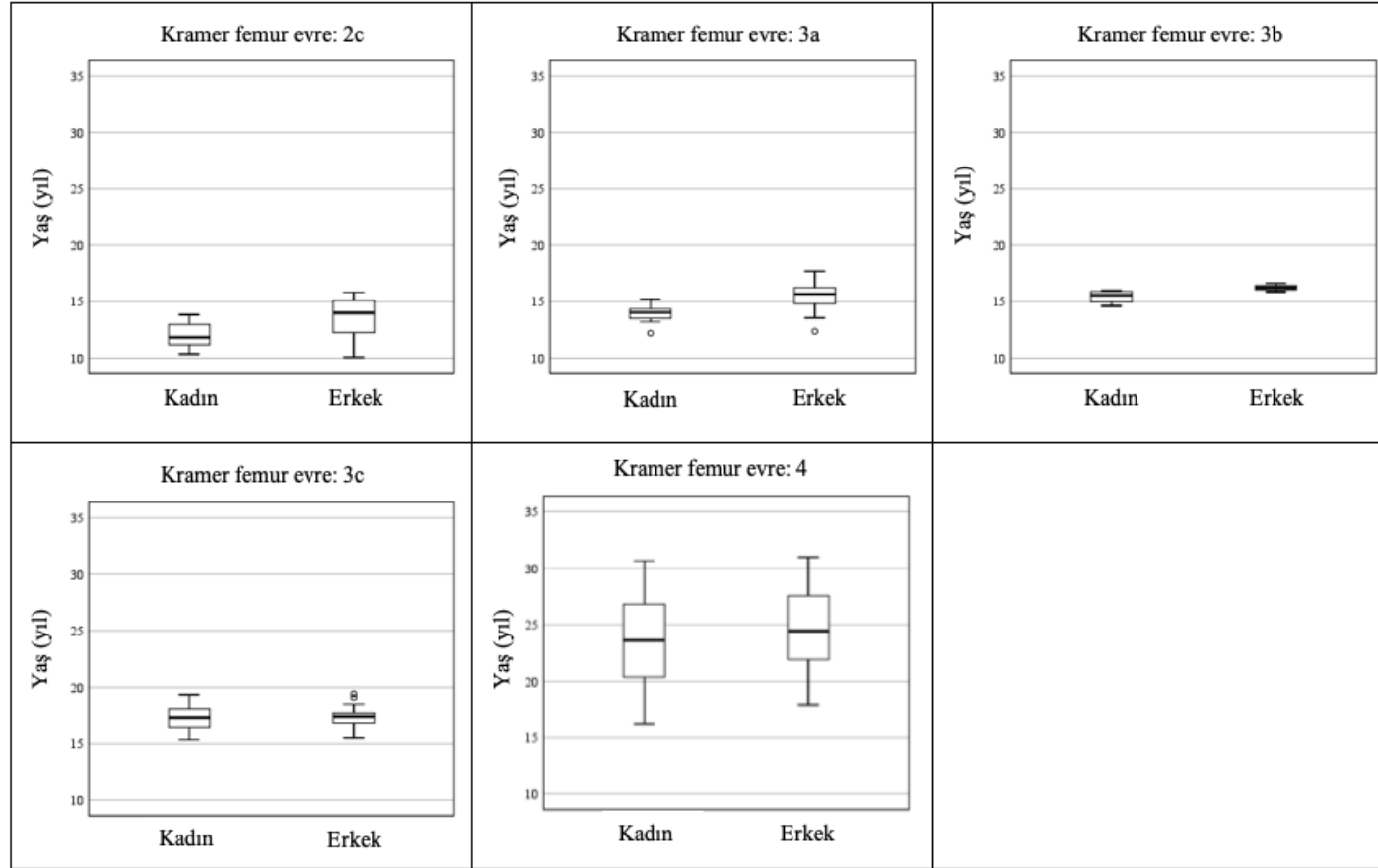
Kramer ve ark.'nın (2,3) evreleme metodu için kappa ve ağırlıklı kappa katsayıları, gözlemci içi ve gözlemciler arası çok iyi uyumluluk olduğunu göstermektedir (Tablo 5).

**Tablo 4.** Kramer evreleme metodunda distal femoral ve proksimal tibial epifiz plağı için yaş ve cinsiyete göre tanımlayıcı istatistikler

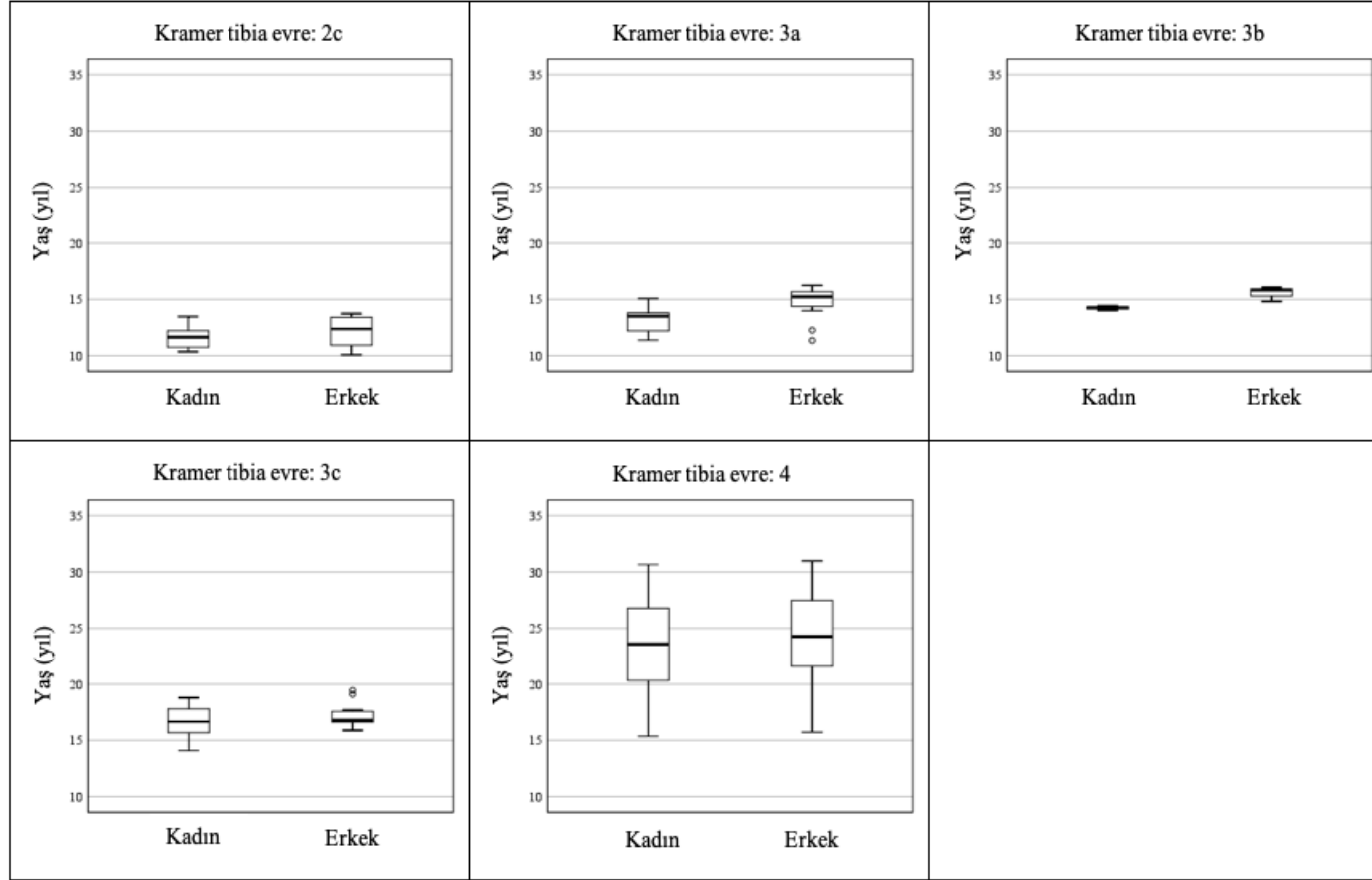
	Evre	Cinsiyet	n	Min-Maks	Ort±SS	Ortalamanın %95 GA	Median	25.-75. Persentiller	p-değeri
Femur	2c	Kadın	12	10.36-13.83	12.00±1.17	11.25-12.75	11.82	11.19-12.97	<b>0.012*</b>
		Erkek	17	10.09-15.83	13.65±1.88	12.69-14.62	13.99	12.27-15.10	
	3a	Kadın	11	12.21-15.22	13.94±0.85	13.36-14.51	14.03	13.51-14.34	<b>0.003*</b>
		Erkek	14	12.37-17.7	15.49±1.37	14.70-16.29	15.68	14.82-16.24	
	3b	Kadın	4	14.61-15.98	15.43±0.61	14.46-16.40	15.57	14.98-15.88	0.114
		Erkek	3	15.88-16.63	16.25±0.38	15.31-17.18	16.23	16.05-16.43	
	3c	Kadın	10	15.34-19.36	17.31±1.36	16.34-18.29	17.27	16.43-18.03	0.983
		Erkek	20	15.51-19.44	17.33±0.95	16.89-17.78	17.37	16.79-17.68	
	4	Kadın	209	16.19-30.66	23.61±3.88	23.08-24.14	23.60	20.38-26.81	<b>0.005</b>
		Erkek	297	17.84-30.98	24.61±3.45	24.22-25.00	24.44	21.92-27.56	
Tibia	2c	Kadın	8	10.36-13.48	11.63±1.04	10.76-12.50	11.64	10.75-12.22	0.462*
		Erkek	7	10.09-13.73	12.13±1.48	10.76-13.49	12.37	10.93-13.42	
	3a	Kadın	10	11.36-15.07	13.22±1.06	12.46-13.98	13.51	12.21-13.79	<b>&lt;0.001</b>
		Erkek	19	11.36-16.24	14.82±1.26	14.22-15.43	15.24	14.37-15.67	
	3b	Kadın	3	14.03-14.42	14.24±0.19	13.75-14.72	14.25	14.14-14.34	0.100
		Erkek	3	14.82-16.07	15.56±0.65	13.94-17.17	15.77	15.30-15.92	
	3c	Kadın	14	14.08-18.78	16.64±1.48	15.78-17.49	16.65	15.67-17.79	0.271*
		Erkek	13	15.88-19.44	17.20±1.06	16.56-17.83	16.79	16.63-17.56	
	4	Kadın	211	15.34-30.66	23.54±3.95	23.00-24.07	23.59	20.32-26.78	<b>0.030</b>
		Erkek	309	15.72-30.98	24.33±3.67	23.92-24.74	24.26	21.60-27.48	

n: Olgu sayısı, Min: Minimum, Maks: Maksimum, Ort: Ortalama, SS: Standart Sapma, GA: Güven Aralığı

\*Bağımsız örnekler t-testi uygulanmıştır. Diğer evreler için Mann-Whitney U testi uygulanmıştır.



**Şekil 20.** Kramer evreleme metodunda distal femoral epifiz plağı için cinsiyet ve yaşlara göre olguların dağılımı



Şekil 21. Kramer evreleme metodunda proksimal tibial epifiz plağı için cinsiyet ve yaşlara göre olguların dağılımı

**Tablo 5.** Kramer ve ark.'nın evreleme metoduna göre distal femur ve proksimal tibia için gözlemci içi ve gözlemciler arası uyumluluk

	Kramer - Femur		Kramer - Tibia	
	Gözlemci içi (n=100)	Gözlemciler arası (n=597)	Gözlemci içi (n=100)	Gözlemciler arası (n=597)
$\kappa$ ( $\pm$ sh)	0.851 $\pm$ 0.042	0.890 $\pm$ 0.023	0.878 $\pm$ 0.043	0.871 $\pm$ 0.028
$\kappa_w$ ( $\pm$ sh)	0.924 $\pm$ 0.021	0.956 $\pm$ 0.010	0.934 $\pm$ 0.023	0.943 $\pm$ 0.013
Uyumluluk oranı (%)	90.0	97.0	93.0	97.0
(%95 GA)	82.6-94.5	95.3-98.1	86.3-96.6	95.3-98.1
p-değeri	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

n: Olgu sayısı,  $\kappa$ : Kappa,  $\kappa_w$ : Ağırlıklı kappa, sh: Standart hata, GA: Wilson Skor metodunun güven aralığı

Vieth ve ark.'nın (4) evreleme metoduna göre distal femoral epifiz plağı için tespit edilen minimum yaşlar erkeklerde sırasıyla evre 2, 3, 4, 5 ve 6 için 10.09, 13.56, 14.82, 15.72 ve 21.24; kadınlarda sırasıyla evre 2, 3, 4, 5 ve 6 için 10.36, 12.21, 14.61, 14.03 ve 20.37 bulunmuştur. Proksimal tibial epifiz plağı için tespit edilen minimum yaşlar ise erkeklerde sırasıyla evre 2, 3, 4, 5 ve 6 için 10.09, 13.99, 14.82, 15.72, ve 18.84; kadınlarda sırasıyla evre 2, 3, 4, 5 ve 6 için 10.36, 11.97, 13.5, 14.61 ve 17.28 bulunmuştur. Her evre için distal femur ve proksimal tibiaya ait cinsiyetlere göre olgu sayısı, minimum-maksimum yaşlar, ortalama ile standart sapma, median değerler ve alt-üst çeyrek değerler Tablo 6'da gösterilmektedir. Distal femur için evre 3, 4 ve 5'te; proksimal tibia içinse evre 3, 4 ve 6'da erkeklere ait yaş ortalaması kadınlardan daha yüksek bulunmuştur (karşılık gelen p-değeri<0.05). Diğer evrelerde cinsiyetler arasında anlamlı farklılık saptanmamıştır (p-değeri>0.05). Cinsiyet ve yaşa göre olguların dağılımı sırasıyla distal femur ve proksimal tibia için Şekil 22 ve 23'te gösterilmektedir.

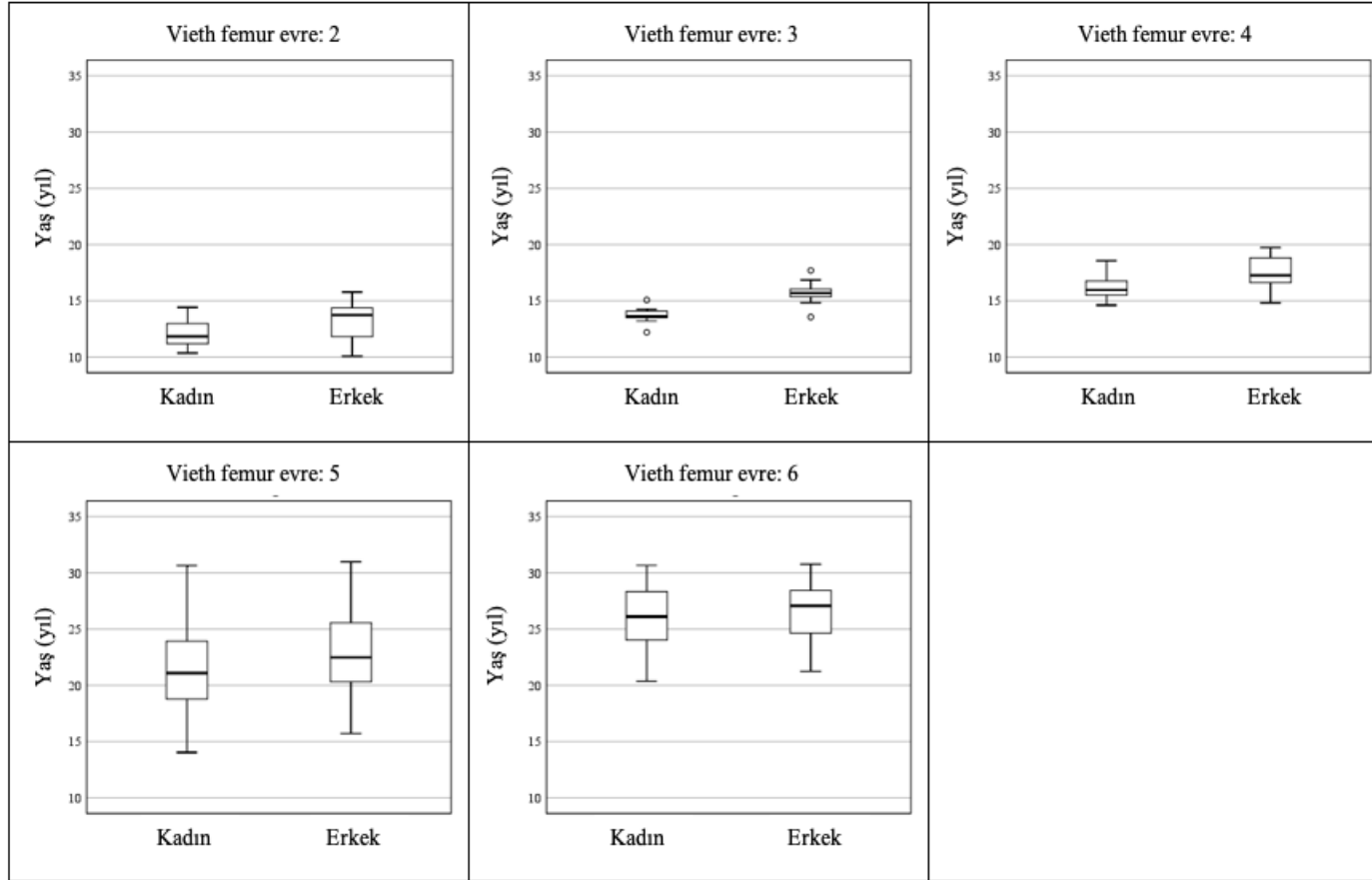
Vieth ve ark.'nın (4) evreleme metodu için ağırlıklı kappa istatistikleri, distal femur ve proksimal tibia için gözlemci içi ve gözlemciler arası iyi-çok iyi uyumluluk olduğunu göstermektedir (Tablo 7).

**Tablo 6.** Vieth evreleme metodunda distal femoral ve proksimal tibial epifiz plağı için yaş ve cinsiyete göre tanımlayıcı istatistikler

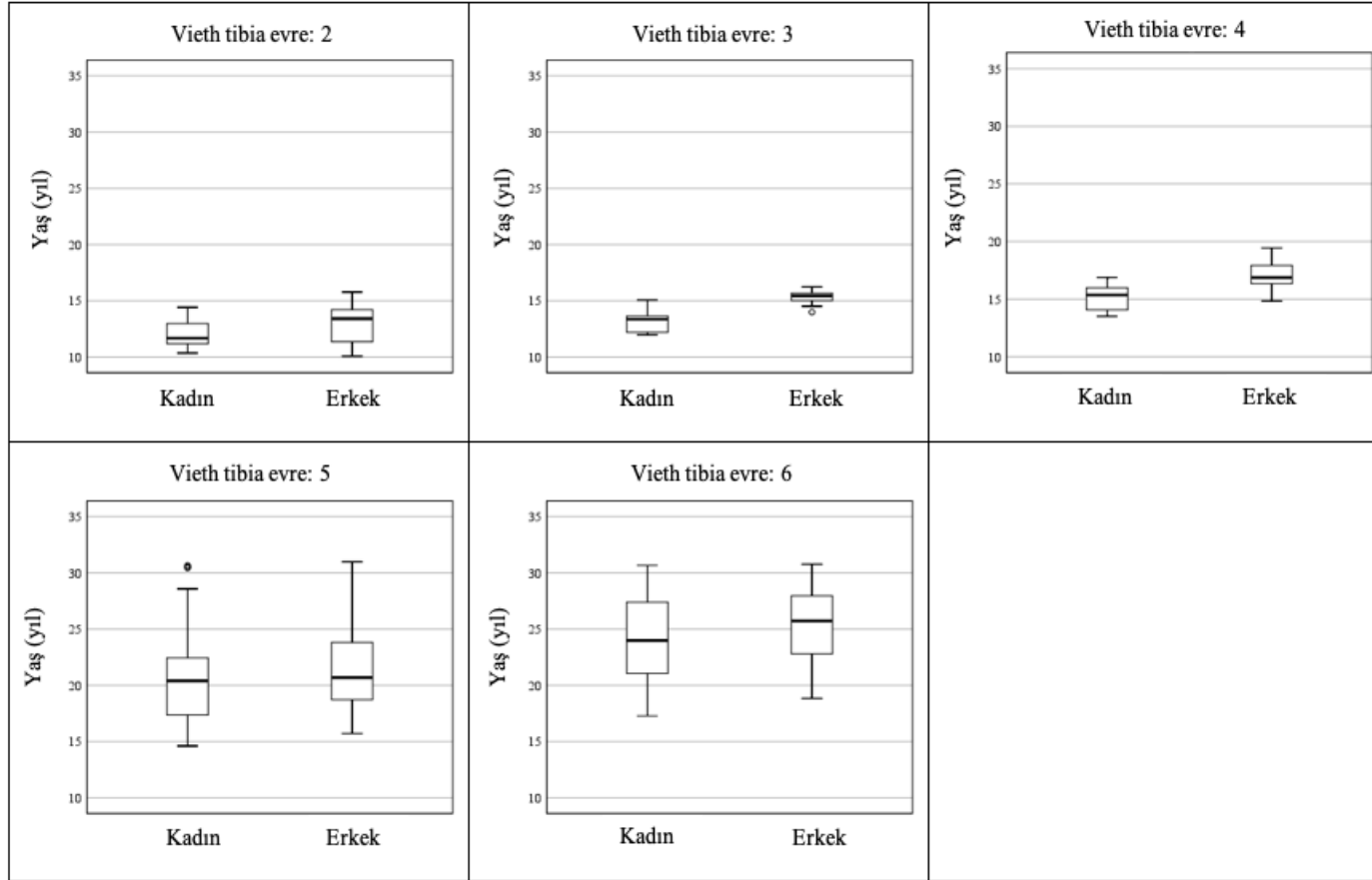
	Evre	Cinsiyet	n	Min-Maks	Mean±SS	Ortalamanın %95 GA	Median	25.-75. Persentiller	p-değeri
<b>Femur</b>	2	Kadın	12	10.36-14.42	12.06±1.29	11.25-12.88	11.82	11.19-12.97	0.082*
		Erkek	15	10.09-15.77	13.15±1.73	12.19-14.12	13.73	11.81-14.37	
	3	Kadın	9	12.21-15.07	13.70±0.78	13.10-14.30	13.65	13.50-14.08	<0.001
		Erkek	15	13.56-17.70	15.71±0.91	15.20-16.21	15.69	15.36-16.04	
	4	Kadın	11	14.61-18.57	16.30±1.19	15.50-17.10	15.98	15.51-16.75	0.027*
		Erkek	18	14.82-19.73	17.45±1.35	16.78-18.12	17.25	16.63-18.81	
	5	Kadın	130	14.03-30.65	21.72±3.72	21.07-22.36	21.08	18.78-23.93	0.003
		Erkek	174	15.72-30.98	22.90±3.53	22.37-23.43	22.48	20.32-25.55	
	6	Kadın	84	20.37-30.66	26.16±2.65	25.58-26.73	26.11	24.03-28.34	0.375
		Erkek	129	21.24-30.77	26.53±2.48	26.10-26.96	27.06	24.64-28.44	
<b>Tibia</b>	2	Kadın	11	10.36-14.42	12.07±1.35	11.17-12.98	11.68	11.19-12.97	0.149*
		Erkek	14	10.09-15.77	13.03±1.74	12.02-14.03	13.42	11.36-14.21	
	3	Kadın	6	11.97-15.07	13.27±1.12	12.09-14.44	13.36	12.21-13.65	0.001
		Erkek	11	13.99-16.24	15.28±0.63	14.86-15.70	15.43	15.03-15.67	
	4	Kadın	13	13.50-16.88	15.19±1.13	14.51-15.87	15.35	14.08-15.98	<0.001
		Erkek	23	14.82-19.44	17.15±1.15	16.66-17.65	16.86	16.35-17.92	
	5	Kadın	40	14.61-30.65	20.76±4.23	19.40-22.11	20.40	17.36-22.44	0.096
		Erkek	79	15.72-30.98	21.69±3.64	20.87-22.50	20.69	18.73-23.81	
	6	Kadın	176	17.28-30.66	24.02±3.68	23.47-24.57	23.98	21.07-27.39	<0.001
		Erkek	224	18.84-30.77	25.43±3.04	25.03-25.83	25.73	22.80-27.96	

n: Olgu sayısı, Min: Minimum, Maks: Maksimum, Ort: Ortalama, SS: Standart Sapma, GA: Güven Aralığı

\*Bağımsız örnekler t-testi uygulanmıştır. Diğer evreler için Mann-Whitney U testi uygulanmıştır.



**Şekil 22.** Vieth evreleme metodunda distal femoral epifiz plağı için cinsiyet ve yaşlara göre olguların dağılımı



**Şekil 23.** Vieth evreleme metodunda proksimal tibial epifiz plağı için cinsiyet ve yaşlara göre olguların dağılımı

**Tablo 7.** Vieth ve ark.'nın evreleme metoduna göre distal femur ve proksimal tibia için gözlemci içi ve gözlemciler arası uyumluluk

	Vieth - Femur		Vieth - Tibia	
	Gözlemci içi (n=100)	Gözlemciler arası (n=597)	Gözlemci içi (n=100)	Gözlemciler arası (n=597)
$\kappa$ ( $\pm$ sh)	0.788 $\pm$ 0.053	0.759 $\pm$ 0.024	0.878 $\pm$ 0.039	0.787 $\pm$ 0.026
$\kappa_w$ ( $\pm$ sh)	0.861 $\pm$ 0.035	0.843 $\pm$ 0.017	0.925 $\pm$ 0.024	0.880 $\pm$ 0.016
Uyumluluk oranı (%)	87.0	85.1	91.0	89.8
(%95 GA)	79.0-92.2	82.0-87.7	83.8-95.2	87.1-92.0
p-değeri	<b>&lt;0.001</b>	<b>&lt;0.001</b>	<b>&lt;0.001</b>	<b>&lt;0.001</b>

n: Olgu sayısı,  $\kappa$ : Kappa,  $\kappa_w$ : Ağırlıklı kappa, sh: Standart hata, GA: Wilson Skor metodunun güven aralığı

## 5. TARTIŞMA

Yaş tayini konusu, adli ve klinik uygulamalarda geçmişten günümüze önemini korumaktadır. Yaş tayini için geliştirilen yöntemler, temel olarak fiziksel gelişimi yaşla karşılaştırmaktadır. Bireysel varyasyonlar ve referans çalışmalarda temsil edilen popülasyonların farklılığı kesin bir sonuç elde etmeye engel oluşturduğundan, farklı yöntemlerin kombinasyonu daha güvenilir tahminler yapmak için gerekli görülmektedir (104).

Yaş tayini için sıklıkla kullanılan bir yöntem olan kemik yaşının radyolojik tespitine yönelik yakın geçmişte ve günümüzde pek çok çalışma mevcuttur. Ancak pratikte kullanılabilen referans çalışmaları sadece iyonize radyasyon içeren görüntüleme yöntemlerine dayanmaktadır. Radyasyon içermeyen görüntüleme yöntemlerine dayalı metotlar güncel bir mesele olup uluslararası adli yaş tespiti çalışma gruplarınınca yakından takip edilmektedir (105).

Radyolojik kemik yaşı tespitinde belirli kemiklerin matürasyonu veya epifiziyel füzyon değerlendirilmekte olup bu amaçla en sık incelenen kemikler el-el bileği kemikleridir ve buna dayalı atlaslar geliştirilmiştir (37,38). Bu amaçla incelenen diğer kemikler; klavikula (12,23,42,43,46,47,49,50,51,75,76,77,78,79), birinci kosta (106), servikal vertebralar (107), iliak kemikler (66) ve diz eklemi oluşturan kemiklerdir (1,2,3,4,80,81,82,83,84,86,87,88,89,108,109,110,111). Kemik yaşı tespitine yönelik yapılan radyolojik çalışmalar farklı modalitelerle farklı sonuçlar elde edilebildiğini göstermektedir. Bu nedenle her modaliteye spesifik bir yaklaşım geliştirmek ve deneyimi arttırmak amacıyla buna yönelik referans çalışmaları çeşitlendirmek gerekmektedir (104).

Epifiziyel füzyon yaklaşık olarak 12-14 yaşlarında başlar. Antropolojik olarak bu sürecin cinsiyetler arası farklılık gösterdiği bilinmekte olup kadınlarda erkeklerden daha erken (2 yıl veya daha az) gerçekleştiği vurgulanmaktadır (112).

Diz eklemi aynı anda üç kemiğe ait epifiziyel füzyonun değerlendirilebildiği bir anatomik bölgedir. Klinik olarak da özellikle travmaya sık maruz kalan bir bölge olması nedeniyle görüntülemesinin sıklıkla yapılması, çalışmalar için kolaylıkla veri toplanmasını sağlamaktadır. Dizin özellikle radyografik değerlendirmesinde

süperpozisyon oluşturacak anatomik yapıların olmaması önemli bir avantajdır (108,110). Ayrıca dizin MRG incelemesinde, hareket artefaktları görece az oluşur. Diz kemiklerinde, örneğin medial klavikular epifizde olduğu gibi morfolojik varyasyonların bulunmaması da değerlendirmeyi kolaylaştırmaktadır (81).

Diz bölgesine yönelik yapılan antropolojik çalışmalar mevcuttur (113,114,115,116). Bunlar arasında Stevenson'ın (113) iskelet kalıntıları üzerinde yaptığı osteolojik çalışma bir dönüm noktası olmuştur. Bu çalışmalar arasında en kapsamlı olanı ise McKern ve Stewart (114) tarafından Kore Savaşı esnasında ölen Amerikan askerlerinin iskelet kalıntıları üzerinde yapılan çalışmadır ve evreleme sistemiyle bazı radyografik çalışmalara da öncü olmuştur.

Pyle ve Hoerr, 1931-1942 doğumlu Kuzey Amerikalı çocuklarda diz grafisinde iskelet matürasyonunu incelemiş ve sonuçları bir atlas haline getirmiştir (117).

Diz radyografisi ile kemik yaşı tespitine yönelik pek çok çalışma vardır (83,108,109,110,118,119).

O'Connor ve ark. (108) İrlanda popülasyonunda yaptıkları retrospektif çalışmada, 9-19 yaş arası 148'i erkek ve 86'sı kadın toplam 234 olgunun anteroposterior ve lateral diz grafiilerini değerlendirmiştir. Çalışmada McKern ve Stewart'ın (114) morfolojik olarak kullandığı evreleme sistemini ilk defa radyolojik olarak uyarlamışlardır. Buna göre;

*"Evre 0 - non-union, evre 1 - unionun başlangıcı, evre 2 - aktif union, evre 3 - union sonu, evre 4 - tamamlanmış union"*

şeklinde beş aşamalı evreleme yöntemi, distal femur ile proksimal tibia ve fibula epifizi için uygulanmıştır. Çalışma sonucunda ilk iki evrenin saptandığı en yaşlı olgu McKern ve Stewart (114) ile Schaefer ve Black'in (115) morfolojik çalışmalarına göre daha küçük yaşlarda bulunmuştur. Union başlangıcı (evre 1) için en yaşlı olgu proksimal fibula epifize göre 16.2 yaşındaki bir erkek olgu; aynı evre için en genç olgu ise distal femoral epifize göre 12.0 yaşında erkek olgu olarak saptanmıştır. Yine bu çalışmada diğer pek çok çalışmada olduğu gibi kadınların erkeklerden daha erken

gelişim gösterdiği saptanmış olup bu durum cinsiyete göre ayrı standartlar geliştirilmesi gerektiğini göstermiştir.

Cameriere ve ark. (110) 18 yaş sınırını tahmin etmek için İtalyan popülasyonunda yaptıkları retrospektif çalışmada, 14-24 yaş arası 215 (116 erkek, 99 kadın) sağlıklı olgunun anteroposterior diz grafilerini değerlendirmiştir. Çalışmada distal femur, proksimal tibia ve fibula ayrı ayrı değerlendirilmiş olup her kemik için bir evre atanmıştır. Evreler;

*"Evre 1, epifiz füzyone değil; evre 2, epifiz tamamen ossifiye ve epifiziyel skar görülebilir; evre 3, epifiz tamamen ossifiye ve epifiziyel skar görülemez."*

olarak üçe ayrılmış olup her evre için sırasıyla 0, 1 ve 2 olarak her kemiğe bir skor verilmiştir. Son olarak her kemiğin skoru toplanarak o dizin toplam skoru elde edilmiştir. Sonuç olarak 18 yaş sınırı için toplam skorda cut-off değeri olarak erkeklerde 3, kadınlarda 3 veya 4 (4 daha spesifik) bulunmuş olup diz radyografisinin yaş tayininde alternatif bir yöntem olabileceğini belirtmişlerdir.

Radyasyon içermeyen bir görüntüleme yöntemi olan USG ile kemik yaşı tespitinde, el ve el bileği (28,56,57,58,59), olekranon (60), medial klavikular epifiz (61,62,63), femur başı (64,65), iliak krest (58,66,67) ve distal fibula (68) üzerine çalışmalar yapılmıştır. USG'nin hızlı, kolay ulaşılabilir, maliyeti düşük ve radyasyon içermeyen bir görüntüleme yöntemi olması avantajları arasındadır ancak kullanıcı deneyimine bağlı olması ve dokümantasyonun zorluğu kullanımını sınırlandırmaktadır.

MRG, kemik yaşı tayininde kullanılabilecek alternatif bir diğer modalite olup son yıllarda adli yaş tayini konusunda popüler olmuştur. Radyasyon içermemesi, non-invaziv olması, anatomik detay gösterme gücü yüksek ve değerlendirmenin nispeten objektif oluşu avantajları arasındadır.

MRG'de büyüme plağının morfolojik özelliklerine yönelik çalışmalar mevcuttur (9,10,14,16,20,21,120). Literatürde el bileği (25,70,71,72,73,74), klavikula (75,76,77,78,79), diz kemikleri (1,2,3,4,80,81,82,83,84,85,86,87,88,89), distal tibia ve kalkaneus (90), anterior iliak krest (91), proksimal humerus (92,93)

(94) (95) epifizlerinin ossifikasyon aşamalarının MRG ile incelendiği çalışmalar mevcuttur. Ayrıca üçüncü molar dişin mineralizasyon aşamalarının MRG ile gösterimi üzerine çalışmalar da vardır (96,97).

Jopp ve ark. (80) 2010 yılında yayınlanan çalışmalarında, proksimal tibiada yaşa bağlı epifiz değişikliklerini prospektif olarak MRG ile incelemişlerdir. Çalışmaya 15-19 yaş arası 41 erkek dahil edilmiş olup 1.5T ve 3T MR cihazları ile koronal ve sagittal planda T1A TSE görüntüleri iki radyolog tarafından bağımsız olarak değerlendirilmiştir. Epifizin ossifikasyon aşamaları üç evreye ayrılmıştır:

*"Evre 1: Epifiz ve diyafiz tam olarak birbirlerinin üzerinde uzanım gösterirler. Plak (kartilaj şerit/"epifiziyel plak"), tüm büyüme plağı boyunca görülür (metafiz ve epifiz arasında hipointens şerit şeklinde fizis [açık plak]).*

*Evre 2: Kartilaj şerit parsiyel olarak kemikleşmiştir. Matürasyon, plağın santralinden başlar ve periferine doğru ilerler. Medial ve lateral periferel kesimlerde kartilaj plak hala görülebilir. Kartilaj şerit daralmış ve daha hiperintensdir (santrali kapalı plak).*

*Evre 3: Epifiz ve diyafiz kemikle birleşir. Büyüme plağı ince, koyu bir şerit olarak kısmen görülebilir (epifiziyel skar; kapalı plak)."*

Erkeklerde proksimal tibial epifizin 15 yaşında kapanmaya başladığını ve 16 yaşına kadar olguların çoğunda kapanmış olduğunu görmüşlerdir. Çalışmanın limitasyonları olarak olgu sayısının az olmasını ve kadın olguların temsil edilmemesini vurgulamışlardır.

Dedouit ve ark. (1) kemik yaşı tayininde, diz MRG için orijinal bir evreleme sistemi geliştirmişlerdir. 10-30 yaş arası diz ağrısı nedeniyle diz MRG incelemesi bulunan 138'i erkek, 152'si kadın toplam 290 olguyu retrospektif olarak değerlendirmişlerdir. 1.5T MR cihazı ile gerçekleştirilmiş PD ağırlıklı FSE görüntülerde, daha çok koronal ve daha nadiren arada kalınan olgularda sagittal planda, distal femoral ve proksimal tibial epifiz plakları, tanımlanan 5 evreli sisteme göre, bir adli tıp hekimi ve bir radyolog gözlemci tarafından değerlendirilmiştir. Bu

evreleme sisteminde epifiz plağının morfolojisi, kalınlığı ve sinyal özellikleri dikkate alınmış olup buna göre:

*"Evre 1: Metafiz ve epifiz arasında, 1.5 mm'den kalın ve multilaminar görünümde, şerit benzeri, devamlı, horizontal kartilaj sinyal intensitesi bulunur. Multilaminar görünüm, üst katmanda azalmış sinyal intensitesi, orta katmanda artmış sinyal intensitesi ve alt katmanda azalmış sinyal intensitesi olarak görülür.*

*Evre 2: Metafiz ve epifiz arasında, 1.5 mm'den kalın, yüksek sinyalli ancak multilaminar görünümde olmayan, devamlı, horizontal, lineer kartilaj sinyal intensitesi bulunur.*

*Evre 3: Metafiz ve epifiz arasında, kalınlığı 1.5 mm'den az, yüksek sinyalli, devamlı, horizontal, lineer kartilaj sinyal intensitesi bulunur.*

*Evre 4: Metafiz ve epifiz arasında, kalınlığı 1.5 mm'den az, yüksek sinyalli, kesintili, horizontal, lineer kartilaj sinyal intensitesi bulunur.*

*Evre 5: Metafiz ve epifiz arasında artmış sinyal intensitesi yok."*

Olguların yaşlarına göre evrelerinde anlamlı farklılıklar saptanmış olup her iki cinsiyette epifiz plaklarında yaşla ilgili değişiklikler izlediklerini belirtmişlerdir. Fransa'daki cezai ehliyet için önemli olan 18 yaş eşiğine göre sonuçlar değerlendirildiğinde; evre 1'in görüldüğü maksimum yaş, her iki cinsiyette, hem distal femur hem proksimal tibia epifizi için 18 yaşın altında bulunmuştur. Distal femoral ve proksimal tibial epifiz için kadınlarda evre 2'nin görüldüğü maksimum yaş, yine 18 yaşın altında bulunmuştur. Evre 5, distal femoral epifiz için her iki cinsiyette, proksimal tibial epifiz içinse sadece erkeklerde 18 yaş üzerinde görülmüştür. 18 yaşındaki kadınların hepsinin proksimal tibial epifiz evresi 4 olarak bulunmuştur. Gözlemci içi ve gözlemciler arası uyumluluk iyi olarak bulunmuştur. Yaş grupları ve evreler arasında örtüşmeler saptanmış olsa da, bu sonuçlara göre 18 yaş eşiğinin belirlenmesinde bazı evrelerin dikkate alınabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca sonuçlar radyografik çalışmaların sonuçlarıyla karşılaştırılabilir olmasa da, hem diz MRG incelemesi hem de diz radyografisi olan birkaç olgunun iki görüntülemesini karşılaştırdıklarında, farklı MRG evrelerine karşılık gelen aynı

radyografik görüntünün olabileceğini görmüşler ve bunu MRG'nin yüksek kontrast gücüne bağlamışlardır.

Ekizoğlu ve ark. (82) ülkemizde yaptıkları çalışmada, 305'i erkek, 198'i kadın toplam 503 olgunun 3.0T MR cihazında gerçekleştirilmiş diz eklemi görüntülerini retrospektif olarak değerlendirmişlerdir. Distal femur ve proksimal tibia epifizlerini, Dedouit ve ark.'nın (1) tanımladığı evreleme metodunu kullanarak, ancak farklı olarak PD ağırlıklı görüntüler yerine T2 ağırlıklı TSE görüntülerde değerlendirmişlerdir. Değerlendirme, kas-iskelet sistemi konusunda deneyimli iki radyolog gözlemci tarafından yapılmıştır. İncelemeler sonucunda distal femoral epifizde; evre 1 her iki cinsiyette ilk olarak 10 yaşında görülmüştür. Evre 2 her iki cinsiyette ilk olarak 11 yaşında görülmüştür. Erkeklerde evre 3'ün ilk belirtildiği yaş 14, kadınlarda 13 olmuştur. Evre 4 ilk olarak erkeklerde 17, kadınlarda 16 yaşında görülmüştür. Evre 5'in erkeklerde ilk gözlemlendiği yaş 22, kadınlarda ise 21 olarak bulunmuştur. Proksimal tibial epifizde; evre 1 ve 2'nin ilk olarak görüldüğü yaşlar erkek ve kadınlarda sırasıyla 10 ve 11 olmuştur. Evre 3'ün ilk gözlemlendiği yaş erkeklerde 14, kadınlarda 13 olmuştur. Evre 4'ün ilk gözlemlendiği yaşlar erkeklerde 17, kadınlarda 15 ve evre 5'in ilk gözlemlendiği yaşlar erkeklerde 18, kadınlarda 16 olmuştur. Çalışma sonuçlarını Dedouit ve ark.'nın (1) çalışması ile karşılaştırdıklarında; erken evrelerde görülen minimum yaşların genelde benzer olduğunu; evre 5 için distal femoral epifizde kadınlarda, proksimal tibial epifizde erkek ve kadınlarda görülen minimum yaşların ise birer yıl daha geride olduğunu görmüşlerdir. Bu farklılığı, farklı manyetik alan gücüne sahip MR cihazlarının kullanılmış olmasına, farklı sosyoekonomik durum ve etnik köken ile pubertal dönemdeki farklılıklara bağlamışlardır. Distal femoral epifizde evre 5'in her iki cinsiyette 21 yaşın üzerinde görülmesi nedeniyle, bu metodun 21 yaş sınırı için kullanılabilir alternatif bir yöntem olabileceğini belirtmişlerdir.

Altınsoy ve ark. (84) tarafından yine ülkemizde yapılan çalışmada, 10-30 yaş arası, 195 kadın, 277 erkek, toplam 472 olgunun 1.5T MR cihazı ile gerçekleştirilmiş diz imajları retrospektif olarak değerlendirilmiştir. PD ağırlıklı FSE sekansda distal femoral ve proksimal tibial epifiz matürasyonu iki radyolog gözlemci tarafından Dedouit ve ark.'nın (1) tanımladığı yöntemle göre evrelere ayrılmıştır. Distal femur

epifizi için minimum yaşlar; evre 1 için her iki cinsiyette 10.2; evre 2 için erkeklerde 12.7 ve kadınlarda 11.4; evre 3 için erkeklerde 14.9 ve kadınlarda 13.4; evre 4 için erkeklerde 17.1 ve kadınlarda 16.3; evre 5 için erkeklerde 21.8 ve kadınlarda 21.2 olarak bulunmuştur. Proksimal tibia epifizi için minimum yaşlar; evre 1 için her iki cinsiyette 10.2; evre 2 için erkeklerde 11.9 ve kadınlarda 11.5; evre 3 için erkeklerde 14.2 ve kadınlarda 13.4; evre 4 için erkeklerde 17.1 ve kadınlarda 15.3; evre 5 için erkeklerde 18.1 ve kadınlarda 17.2 olarak bulunmuştur. Çalışma verilerini, yukarıda özetlenen iki çalışma (1,82) verileri ile karşılaştırdıklarında, bazı farklılıklar olsa da genel olarak uyumlu sonuçlar elde ettiklerini görmüşlerdir. Gözlemci içi ve gözlemciler arası uyum çok iyi olarak bulunmuştur. Sonuç olarak, proksimal tibia epifizinde evre 4'ün her iki cinsiyette 15 yaş sınırı için; evre 5'in erkeklerde 18 yaş sınırı için önemli bilgiler verdiğini görmüşlerdir. Ayrıca her iki cinsiyette distal femur epifizinde evre 5, 18 ve hatta 21 yaşın üzerindeki olgularda görülmüş olup, bu yaş sınırlarını belirlerken distal femur epifizinin son evresinin bir kriter olarak kullanılabileceğini savunmuşlardır.

Uygun ve ark. (89) tarafından ülkemizde yapılan diğer bir çalışmada, 10-25 yaşlar arasında 197'si kadın ve 292'si erkek toplam 489 olgunun diz MRG incelemeleri, yaş tayini amacıyla retrospektif olarak değerlendirilmiştir. 1.5T MR cihazında elde edilmiş koronal planda PD ağırlıklı FSE görüntülerde distal femur ve proksimal tibia epifizinin ossifikasyon aşamaları, Dedouit ve ark.'nın (1) 5 evreli metoduna göre incelenmiştir. Distal femur için görülen minimum yaşlar evre 1'de her iki cinsiyette 10; evre 2'de erkek ve kadınlarda sırasıyla 11 ve 10; evre 3'te erkek ve kadınlarda sırasıyla 14 ve 12; evre 4'te erkek ve kadınlarda sırasıyla 16 ve 15; evre 5'te erkek ve kadınlarda sırasıyla 15 ve 14 olarak saptanmıştır. Proksimal tibia için minimum yaşlar ise evre 1'de her iki cinsiyette 10; evre 2'de erkek ve kadınlarda sırasıyla 11 ve 10; evre 3'te erkek ve kadınlarda sırasıyla 14 ve 10; evre 4'te erkek ve kadınlarda sırasıyla 16 ve 15; evre 5'te erkek ve kadınlar için sırasıyla 15 ve 14 olarak bulunmuştur. Sonuçları önceki çalışmalarla (1,82,84) karşılaştırdıklarında; distal femur ve proksimal tibiada evre 5'in erkek ve kadınlarda görüldüğü minimum yaşları (sırasıyla 15 ve 14) daha erken saptamışlardır. Diğer çalışmalara göre bu çok daha erken saptanan minimum yaşların, bu evre grupları içerisinde azınlıkta olduğunu ve istatistiksel olarak anlamlı olmadığını belirtmişlerdir. Bu durumun

hastane kayıtlarındaki hatalardan veya popülasyonlar arasındaki farklılıklardan kaynaklı olabileceğini düşünmüşlerdir. Sonuç olarak, distal femurda (15 ve 14 yaşlarında iki olgu haricinde) ve proksimal tibiada (14, 15 ve 17 yaşlarında üç olgu haricinde) evre 5'in 18 yaş ve üzerinde saptanmasının, reşitliği ispat etmede bir kriter olarak kullanılabileceğini ifade etmişlerdir. Ayrıca distal femur ve proksimal tibia için her iki cinsiyette evre 1 ve 2'de görülen maksimum yaşları, diğer çalışmalara benzer olarak 18 yaşından küçük bulmuşlardır.

Yukarıda özetlenen dört çalışmanın (1,82,84,89) sonuçları ile bizim çalışmamızda aynı evreleme sistemini kullanarak elde ettiğimiz sonuçlar Tablo 8'de özetlenmiştir. Bizim çalışmamız ile diğer çalışmaların sonuçlarını karşılaştıracak olursak; her evrede görülen minimum ve maksimum yaşlar, Uygun ve ark.'nın (89) çalışması haricinde, diğer çalışmalar ile büyük oranda uyumlu bulunmuştur. Evrelerde saptadığımız minimum ve maksimum yaşların (distal femurda her iki cinsiyette ve proksimal tibiada erkeklerde evre 3'te görülen maksimum yaşlar haricinde) bizim çalışmamız ile en uyumlu olduğu çalışmayı, Ekizoğlu ve ark.'nın çalışması (82) olarak gördük. Bu durumu farklı sekanslar kullanılmış olsa da aynı manyetik alan gücüne sahip (3.0T) MR cihazlarını kullanmamıza ve çalışma popülasyonlarının aynı olmasına bağlayabiliriz. Evre 1'i diğer çalışmalara benzer şekilde her iki cinsiyette femur ve tibia için 18 yaşın altında saptadık. Dedouit ve ark. (1) evre 2'yi femur için sadece kadınlarda 18 yaşın altında bulmuşken, biz Ekizoğlu ve ark. (82) ile Uygun ve ark.'nın (89) çalışmalarına benzer şekilde her iki cinsiyette hem femur hem tibia için 18 yaşın altında saptadık. Femurda evre 5'i, Uygun ve ark.'nın (89) haricinde diğer çalışmalara benzer şekilde her iki cinsiyette 18 ve hatta 21 yaşın üzerinde saptadık. Tibiada ise evre 5'i, yine Uygun ve ark.'nın (89) çalışması haricinde diğer çalışmalara benzer şekilde erkeklerde 18 yaşın üzerinde gördük. Tüm bu sonuçlar 18 ve 21 yaş sınırları için önemli bilgiler ortaya koymaktadır.

**Tablo 8.** Dedouit ve ark.'nın evreleme metoduna göre diz ossifikasyon aşamalarının değerlendirildiği MRG çalışmaları

Evre	Cinsiyet	Dedouit ve ark. (1)		Ekizoğlu ve ark. (82)		Altınsoy ve ark. (84)	
		Femur (yaş)	Tibia (yaş)	Femur (yaş)	Tibia (yaş)	Femur (yaş)	Tibia (yaş)
1	Kadın	10.1-13.6	10.1-13.5	10-15	10-14	10.26-14.03	10.26-14.13
	Erkek	10.3-16.1	10.3-13.3	10-16	10-16	10.23-16.70	10.23-15.23
2	Kadın	11.0-15.7	10.3-15.7	11-15	11-16	11.48-16.09	11.57-16.55
	Erkek	12.1-18.9	10.7-18.0	11-17	11-16	12.73-18.51	11.97-18.15
3	Kadın	13.6-25.1	13.2-25.1	13-20	13-20	13.43-22.39	13.43-20.72
	Erkek	14.8-25.7	14.8-25.7	14-23	14-18	14.94-26.07	14.20-22.61
4	Kadın	16.6-29.6	15.6-29.6	16-30	15-29	16.31-30.48	15.39-26.57
	Erkek	17.8-30.0	17.8-30.0	17-30	17-30	17.17-30.10	17.17-29.98
5	Kadın	22.1-30.9	17.0-30.9	21-30	16-30	21.23-29.68	17.20-30.48
	Erkek	22.6-30.3	19.0-30.3	22-30	18-30	21.83-30.98	18.17-30.98

Evre	Cinsiyet	Uygun ve ark. (89)		Bizim çalışmamız	
		Femur (yaş)	Tibia (yaş)	Femur (yaş)	Tibia (yaş)
1	Kadın	10-13	10-13	10.36-14.42	10.36-14.42
	Erkek	10-16	10-15	10.09-15.77	10.09-15.77
2	Kadın	10-17	10-17	11.36-15.22	11.36-15.07
	Erkek	11-16	11-16	10.77-17.70	10.77-16.24
3	Kadın	12-23	10-21	13.50-24.94	13.50-21.08
	Erkek	14-25	14-25	15.72-26.33	14.82-23.04
4	Kadın	15-25	15-24	16.78-30.66	15.34-28.58
	Erkek	16-25	16-25	17.05-30.77	17.05-30.45
5	Kadın	14-25	14-25	21.07-30.65	16.35-30.66
	Erkek	15-25	15-25	21.31-30.98	18.77-30.98

Dedouit ve ark. (1), gözlemciler arası uyumun iyi olması nedeniyle geliştirdikleri evreleme metodunun radyolog olmayan kişilerce de kolaylıkla uygulanabileceğini belirtmektedirler. Ancak bize göre MRG ve hatta kas-iskelet MRG'si konusunda deneyimi olmayan kişilerce yapılan değerlendirmede, MRG'ye özgü bazı püf noktaların bilinmemesi, olası hatalara neden olabilir. Örneğin, zaman zaman bizim de ayırımında zorlandığımız, özellikle evre 4 ile 5'in ayırımında kullanılan fizis hattı düzeyindeki hiperintensite ile perifiziyele ince vasküler yapılar karıştırılabilir. Metafizdeki aktif kemik iliği sinyali veya kırmızı kemik iliği adacıklarının fizis hattına uzanması durumu, evre tayininde yanılgılara neden olabilir.

Dedouit ve ark.'nın (1) evreleme metodu epifiziyele plağın kalınlık ölçümüne dayanmaktadır. Bu tür yapıların boyutları bireyin boy-kilo gibi fiziksel özelliklerine bağılı olarak değişebileceğinden (4), bu tarz ölçümlerin standardize edilemeyeceğini düşünmekteyiz.

Kramer ve ark. (2) Almanya'da yaptıkları çalışmada, 10-30 yaş arası 166'sı erkek, 124'ü kadın, 290 olgunun diz MRG incelemelerini retrospektif olarak değerlendirmişlerdir. 3.0T MR cihazında gerçekleştirilmiş incelemelerde sagittal planda T1 ağırlıklı TSE görüntülerde distal femoral epifiz matürasyonu, Schmeling ve ark. (23) ile Kellinghaus ve ark. (43) tarafından tanımlanan evreleme metodlarını kombine ederek oluşturulan evreleme sistemine göre, kas-iskelet MRG'si konusunda deneyimli iki radyolog gözlemci tarafından değerlendirilmiştir. Bu evreleme sistemine göre:

*"Evre 1: Epifiz henüz ossifiye değil.*

*Evre 2a: Ossifiye olmuş epifizin uzunluğu, metafiziyele uç genişliğinin üçte biri veya daha azıdır.*

*Evre 2b: Ossifiye olmuş epifizin uzunluğu, metafiziyele uç genişliğinin üçte biri ile üçte ikisi arasındadır.*

*Evre 2c: Ossifiye olmuş epifizin uzunluğu, metafiziyele uç genişliğinin üçte ikisinden fazladır.*

*Evre 3a: Epifiziyel-metafiziyel füzyon, epifiz ve metafiz arasındaki eski boşluğun üçte birini veya daha azını tamamlar.*

*Evre 3b: Epifiziyel-metafiziyel füzyon, epifiz ve metafiz arasındaki eski boşluğun üçte biri ile üçte ikisi arasını tamamlar.*

*Evre 3c: Epifiziyel-metafiziyel füzyon, epifiz ve metafiz arasındaki eski boşluğun üçte ikisinden fazlasını tamamlar.*

*Evre 4: Epifiziyel kartilaj tümüyle ossifiedir ve epifiziyel skar görülebilir.*

*Evre 5: Epifiziyel kartilaj tamamen kaynamıştır ve epifiziyel skar görülememektedir."*

Evre 1, 2a, 2b ve 5 çalışma popülasyonunda izlenmemiştir. Her iki cinsiyette görülen ilk evre 10.1 yaşta evre 2c olmuştur. Evre 3a'nın görüldüğü en erken yaşlar erkeklerde 12.2 ve kadınlarda 11.4 olarak bulunmuştur. Evre 3b kadınlarda hiç görülmemişken, erkeklerde en erken 15.0 yaşında görülmüştür. Evre 3c'nin görüldüğü minimum yaşlar erkeklerde 15.0 ve kadınlarda 15.6 olmuştur. Son evre olan evre 4 ise en erken erkeklerde 18.3, kadınlarda 16.2 yaşında görülmüştür. Birçok ülkede cezai ehliyet için kabul edilen yaş sınırları olan 14 ve 18 yaşa göre sonuçları değerlendirdiklerinde: Evre 3b, 3c ve 4 erkeklerde; evre 3c ve 4 kadınlarda 14 yaşın altında görülmemiştir. Evre 4'ün erkeklerde 18 yaşın altında görülmediğini ve bu sonucun gelecekteki çalışmalarla verifikasyonu şartıyla, 18 yaş sınırının belirlenmesinde büyük önem taşıyabileceğini belirtmişlerdir. Evre 5 çalışma popülasyonunda görülmediğinden, evre 5'in en erken 30 yaş üzerinde görüldüğünün varsayılabilirliğini düşünmüşlerdir. Gözlemci içi ve gözlemciler arası uyum çok iyi olarak bulunmuştur. Sonuçları, Dedouit ve ark.'nın (1) çalışma sonuçları ile karşılaştırdıklarında; epifiz plağının parsiyel ve tam ossifikasyonunu temsil eden evrelerin ilk görüldüğü yaşları birkaç yıl daha erken bulmuşlar ve bunu iki çalışmada farklı manyetik alan gücüne sahip MR cihazlarının kullanılmasına bağlamışlardır. Ayrıca farklı görüntü ağırlıkları ve farklı sekanslar kullanılarak yapılan çalışmaların tam olarak karşılaştırılmasının mümkün olamayacağını belirtmişlerdir. T1 ağırlıklı sekansların primer ossifikasyonu daha iyi gösterdiğini savunmuşlardır. Dedouit ve ark.'nın (1) kullandığı, ödem gibi patolojik doku değişikliklerinin daha iyi

gösterildiği PD ağırlıklı sekansa, epifiz plağındaki hiperintens ödem, sudan zengin rezidüel kartilaj kalıntılarına ait olduğunu düşünmüşlerdir.

Kramer ve ark. (3) Almanya'da yaptıkları bir diğer çalışmada, 166'sı erkek, 124'ü kadın 10-30 yaş arası 290 olgunun diz MRG incelemelerini retrospektif olarak değerlendirmişlerdir. 3.0T MR cihazında gerçekleştirilmiş incelemelerde sagittal planda T1 ağırlıklı TSE görüntülerde proksimal tibial epifiz matürasyonu, Schmeling ve ark. (23) ile Kellinghaus ve ark. (43) tarafından tanımlanan evreleme metotlarını kombine ederek oluşturulan evreleme sistemine göre iki radyolog gözlemci tarafından değerlendirilmiştir. Çalışma popülasyonunda evre 1, 2a, 2b ve 5 izlenmemiştir. Evre 2c erkek ve kadınlarda en erken 10.1 yaşında görülmüştür. Evre 3a erkeklerde en erken 12.2, kadınlarda 11.4 yaşında görülmüştür. Evre 3b, erkeklerde en erken 13.9 yaşında görülürken, kadınlar arasında 14.2 yaşındaki tek bir olguda saptanmıştır. Evre 3c erkeklerde en erken 15.0 ve kadınlarda 14.3 yaşında görülmüştür. Evre 4'ün görüldüğü minimum yaşlar ise erkeklerde 16.3 ve kadınlarda 15.6 olarak bulunmuştur. Sonuç olarak erkeklerde evre 3c ve 4, 14 yaşın altında görülmemiştir. Kadınlarda evre 3b ve 3c'de 14 yaşın altında olgu görülmezken, bu evrelerdeki olguların az sayıda olması nedeniyle bu evrelerin kadınlarda güvenilir bir eşik olarak kullanılamayacağını belirtmişlerdir. Evre 4, kadınlarda 14 yaşın altında, erkeklerde 16 yaşın altında görülmemiştir. Gözlemci içi ve gözlemciler arası uyumluluk iyi-çok iyi olarak bulunmuştur.

Saint-Martin ve ark. (111), Kramer ve ark.'nın (2) distal femoral ossifikasyon aşamalarını MRG ile değerlendirdikleri çalışmada bulmuş oldukları, erkek bireylerde 18 yaşından önce evre 4'ün görülmediği sonucunu doğrulamak amacıyla Fransa'da küçük kapsamlı bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Sadece erkek bireylerin dahil edildiği 14-20 yaş arası 214 olgulu çalışma popülasyonununun 1.5T MR cihazı ile elde edilmiş diz eklemine yönelik incelemeleri retrospektif olarak taranmıştır. Sagittal planda T1 ağırlıklı TSE imajlar, yalnızca distal femurda epifiziyel tam füzyonun olup olmamasına göre iki gözlemci tarafından değerlendirilmiştir. Sonuçlar Kramer ve ark.'nın (2) çalışma sonuçları ile uyumlu olup evre 4'e karşılık gelen tam epifiziyel füzyonun görüldüğü minimum yaşı 18.1 olarak bulmuşlardır. Her ne kadar iki

çalışmada farklı manyetik alan gücüne sahip MR cihazları kullanılmış olsa da, bu bulgunun 18 yaş sınırının tespitinde değerli olduğunu belirtmişlerdir.

MRG ve radyografi arasında ossifikasyon aşamalarının karşılaştırıldığı çalışmalar literatürde az sayıdadır. Bunlardan Fan ve ark.'nın (83) diz MRG ve radyografisini karşılaştırdıkları çalışmada; 11-30 yaş arası 139 kadın ve 183 erkekten oluşan toplam 322 olgunun dahil edildiği popülasyonda, olguların aynı gün içerisinde gerçekleştirilmiş anteroposterior diz radyografisi ile diz MRG incelemeleri retrospektif olarak değerlendirilmiştir. 1.5T MR cihazı ile elde edilmiş sagittal planda T1 ağırlıklı TSE sekans incelenmiş ve hem radyografi hem MRG değerlendirmesinde Kramer ve ark.'nın (2) kullandığı evreleme metodunun bir uyarlaması kullanılmıştır. Buna göre:

*"Evre 1: Epifiz-metafiz füzyonu henüz oluşmamış.*

*Evre 2a: Epifiziyel-metafiziyel füzyon, epifiz ile metafiz arasındaki eski boşluğun üçte birini veya daha azını tamamlar.*

*Evre 2b: Epifiziyel-metafiziyel füzyon, epifiz ile metafiz arasındaki eski boşluğun üçte biri ile üçte ikisi arasını tamamlar.*

*Evre 2c: Epifiziyel-metafiziyel füzyon, epifiz ile metafiz arasındaki eski boşluğun üçte ikisinden fazlasını tamamlar.*

*Evre 3: Epifiziyel kartilaj tümüyle ossifiedir ve epifiziyel skar görülebilir.*

*Evre 4: Epifiziyel kartilaj tamamen füzyonedir ve epifiziyel skar artık görülemez."*

Distal femoral, proksimal tibial ve fibular epifiz evreleri belirlenerek her birine birer skor tayin edilmiştir. MRG'de evre 4, hiçbir olguda saptanmamıştır. Sonuç olarak, radyografik evrelerin ortalaması MRG'den daha ileri bulunmuş ve radyografik tam füzyonun her zaman MRG'de de tam füzyona karşılık gelmediği gözlemlenmiştir. Diz kemiklerinin matürasyonunda kronolojik yaş, MRG ve radyografinin her ikisi ile de iyi korele bulunmuş ancak diğer çalışmalara (1,72) benzer şekilde MRG'nin yüksek kontrast gücü nedeniyle aynı radyografik görünümün farklı MRG karşılıkları olabileceği saptanmıştır.

Ottow ve ark. (81) Alman popülasyonunda, 12-24 yaş aralığında, 325'i erkek ve 333'ü kadın, toplam 658 gönüllü olgunun dahil edildiği prospektif bir çalışma yapmışlardır. Diz bölgesine yönelik 3.0T MR cihazında koronal planda T1 ağırlıklı TSE görüntüler elde edilmiştir. Distal femur ve proksimal tibia da ossifikasyon aşamalarını değerlendirmede, Schmeling ve ark. (23) ile Kellinghaus ve ark.'nın (43) evreleme metotları kombine edilerek kullanılmıştır. Görüntüler kas-iskelet sistemi radyolojisi konusunda deneyimli iki radyolog gözlemci tarafından değerlendirilmiştir. Evre 1, 2a, 2b ve 5 her iki cinsiyette hiçbir olguda görülmemiştir. Erkeklerde distal femur ve proksimal tibia epifizlerinde sırayla evre 3c'nin görüldüğü yaşlar 16.13 ve 15.8 olarak saptanmış olup bu sonucun önceki çalışmalara (2,3,80) benzer şekilde 14 yaş sınırının belirlenmesini mümkün kıldığını belirtmişlerdir. Erkeklerde distal femoral epifizde, komplet füzyonu ifade eden evre 4'ün görüldüğü birkaç olgu 18 yaşın altında bulunmuştur. Bu da daha önce kabul edilenin (2,111) aksine erkeklerde MRG'de distal femoral epifiz ile 18 yaş sınırını belirlemenin uygun olmayabileceğini göstermiştir. Kadınlarda distal femoral epifizde evre 3c ve proksimal tibial epifizde evre 4, Kramer ve ark.'nın (2,3) çalışmalarına benzer şekilde 14 yaş sınırının belirlenmesini mümkün kılmıştır.

Ekizoğlu ve ark. (87) Türk popülasyonunda yaptıkları çalışmada, 10-30 yaş arası 335'i erkek, 314'ü kadın toplam 649 olgunun diz MRG incelemelerini retrospektif olarak incelemişlerdir. 1.5T MR cihazında T1 ağırlıklı TSE sekansda distal femur ve proksimal tibia epifizleri kombine evreleme sistemi ile (Schmeling ve ark. (23) ile Kellinghaus ve ark.'nın (43) evreleme sistemlerinin Kramer ve ark. (2,3) tarafından oluşturulmuş kombinasyonu) bir adli tıp uzmanı ve bir radyolog gözlemci tarafından değerlendirilmiştir. Her iki epifiz değerlendirmesi için de gözlemci içi ve gözlemciler arası uyum çok iyi olarak bulunmuştur. Her evrede görülen minimum yaşlar daha önceki çalışmalar (2,3,81,83) ile benzer olarak bulunmuştur. Evre 4'ün görüldüğü minimum yaşlar distal femur için erkek ve kadınlarda sırayla 17.0 ve 15.4; proksimal tibia için erkek ve kadınlarda sırayla 15.8 ve 15.1 olarak bulunmuş olup bu sonucun T1 ağırlıklı sekanslar ile MRG'de kemik yaşı tayininde yeni önemli bir bilgi sağlayabileceğini belirtmişlerdir.

Yukarıda özetlenen altı çalışma (2,3,81,83,87,111) ve bizim çalışmamızın verileri Tablo 9'da özetlenmektedir. Bu çalışmalarda diz kemiklerinde MRG ile yaş tayininde, Kramer ve ark. (2,3) tarafından oluşturulmuş, Schmeling ve ark. (23) ile Kellinghaus ve ark.'nın (43) evreleme sistemlerinin sentezi ile evre 2 ve 3'te alt aşamalar içeren kombine yöntem kullanılmıştır. Yöntem, kemik yapıyı değerlendirmede değerli olan T1 ağırlıklı sekans üzerine kurgulanmıştır. Fan ve ark. (83) diğerlerinden farklı olarak radyografi ve MRG'yi karşılaştırmışlar, evreleme sisteminin bir uyarlamasını kullanmışlar ve proksimal fibulayı da değerlendirmeye dahil etmişlerdir. Saint-Martin ve ark. (111) ise farklı olarak yalnızca erkeklerden oluşan daha küçük bir popülasyonda yalnızca komplet metafiz-epifiz füzyonunun gelişip gelişmediğini göre değerlendirmede bulunmuşlardır. Aynı evreleme metodunu kullandığımız diğer dört çalışmaya (2,3,81,87) benzer şekilde biz de evre 1, 2a, 2b ve 5'i çalışma popülasyonumuzda saptamadık. Diğerlerinden farklı olarak biz Kramer ve ark. (2,3) ile Ottow ve ark.'nın (81) çalışmalarına benzer şekilde 3.0T MR cihazı ile elde edilmiş görüntüleri değerlendirdik. Saint-Martin ve ark. (111) 1.5T MR cihazı ile 18 yaş sınırı için yaptıkları çalışmada, Kramer ve ark. (2) ile 18 yaş eşiğinin saptanmasında aynı sonuca vardıklarından, cihazın manyetik alan gücünün değerlendirmeyi tek başına etkileyen bir faktör olmadığını ileri sürmüşlerdir. Saint-Martin ve ark. (111) erkeklerden ibaret küçük bir popülasyonda yalnızca tam füzyon olup olmadığını değerlendirerek bu yorumda bulunmuşlardır. Kramer ve ark. (2) ise magnet gücü arttıkça, artan SNR ile özellikle küçük yapılarda anatomik detayı ortaya koymanın kolaylaştığını belirtmişlerdir. Biz de manyetik alan gücünün artışının tanıya etkisinin olumlu olacağını düşünmekteyiz. Ancak gelecekte tüm ossifikasyon aşamalarını farklı Tesla değerlerine sahip cihazlarda karşılaştırmalı olarak değerlendiren çalışmalar kesin bir yargıya varmak için faydalı olacaktır.

**Tablo 9.** Kramer ve ark.'nın kombine evreleme metoduna göre diz ossifikasyon aşamalarının değerlendirildiği MRG çalışmaları

Evre	Cinsiyet	Kramer ve ark. (2) (3)		Ottow ve ark. (81)		Ekizoğlu ve ark. (87)		Bizim çalışmamız	
		Femur (yaş)	Tibia (yaş)	Femur (yaş)	Tibia (yaş)	Femur (yaş)	Tibia (yaş)	Femur (yaş)	Tibia (yaş)
2c	Kadın	10.1-13.4	10.1-12.8	12.11-15.74	12.11-15.13	10.1-12.9	10.1-12.9	10.36-13.83	10.36-13.48
	Erkek	10.1-15.5	10.1-13.6	12.05-19.15	12.13-17.07	10.0-15.3	10.0-13.7	10.09-15.83	10.09-13.73
3a	Kadın	11.4-18.4	11.4-14.2	13.39-17.82	12.74-15.32	12.8-15.7	11.8-14.6	12.21-15.22	11.36-15.07
	Erkek	12.2-19.4	12.2-15.8	13.68-17.88	12.05-19.15	12.7-18.7	12.7-18.5	12.37-17.7	11.36-16.24
3b	Kadın	-	-	14.73-19.5	13.39-24.84	15.1-15.8	13.0-14.0	14.61-15.98	14.03-14.42
	Erkek	15.0-15.1	13.9-16.2	-	15.18-17.88	15.1-17.5	13.7-18.7	15.88-16.63	14.82-16.07
3c	Kadın	15.6-18.2	14.3-18.4	14.53-20.62	13.85-17.82	14.6-18.8	14.0-16.4	15.34-19.36	14.08-18.78
	Erkek	15.0-19.5	15.0-19.5	16.13-24.84	15.8-24.84	15.8-21.9	15.1-16.6	15.51-19.44	15.88-19.44
4	Kadın	16.2-30.8	15.6-30.8	16.13-25.00	15.87-25.00	15.4-29.8	15.1-29.8	16.19-30.66	15.34-30.66
	Erkek	18.3-30.8	16.3-30.8	17.46-24.98	17.46-24.98	17.0-29.8	15.8-29.8	17.84-30.98	15.72-30.98

Evre	Cinsiyet	Saint-Martin ve ark. (111)		Evre	Cinsiyet	Fan ve ark. (83)		
		Femur (yaş)				Femur (yaş)	Tibia (yaş)	Fibula (yaş)
<4	Erkek	14-17		1	Kadın	11.00-14.58	11.00-13.24	11.00-15.07
≥4	Erkek	18-20			Erkek	11.00-16.32	11.00-15.95	11.00-16.73
				2a	Kadın	11.43-17.64	11.43-17.64	11.43-14.77
					Erkek	12.24-17.07	12.24-17.07	13.03-17.39
				2b	Kadın	13.82-15.07	13.82-14.86	14.52-17.64
					Erkek	16.12-16.84	15.24-16.74	14.29-16.87
				2c	Kadın	14.13-25.15	13.82-28.79	14.13-17.42
					Erkek	14.59-27.58	14.59-29.9	15.28-29.90
				3	Kadın	14.76-29.48	14.68-29.48	14.68-29.48
					Erkek	16.93-29.97	15.93-29.97	15.48-29.97

Yukarıda bahsedilen çalışmalar (2,3,81,83,87,111) arasında bir tek Ottow ve ark.'nın (81) çalışması prospektif olup, yazarlar bu konuda diğer çalışmalara olan üstünlüklerini vurgulamışlardır. Ottow ve ark. (81) diğer çalışmaların (2,111) aksine, çalışma popülasyonlarında erkeklerde distal femoral epifizde 18 yaş sınırı için güvenilir bir eşik evre olamayacağını ileri sürmüşlerdir. Biz de benzer şekilde çalışmamıza dahil bireylerde, aynı evreleme sistemiyle 18 yaş sınırı için güvenilir bir eşik olmadığını saptadık. Bizim gibi Türk popülasyonunun değerlendirildiği Ekizoğlu ve ark.'nın (87) çalışma sonuçları da bunu destekler niteliktedir. Çalışmamızda, her iki cinsiyette hemen her evreye ait saptadığımız minimum ve maksimum yaşlar, Kramer ve ark. (2,3) ile Ekizoğlu ve ark.'nın (87) çalışma sonuçları ile büyük oranda uyumlu bulunmuştur. Femurda evre 3b, 3c ve 4 erkeklerde diğer üç çalışmaya (2,81,87) benzer şekilde bizim çalışmamızda da 14 yaşın altında görülmedi. Femurda kadınlar için evre 3b, 3c ve 4 diğer iki çalışmaya (81,87) benzer şekilde 14 yaşın altında görülmedi. Kramer ve ark. (2) femurda evre 3b'yi çalışma popülasyonundaki kadınlarda görmezken, biz çalışmamızda 14 yaşından büyük dört kadın olgunun femur evresini 3b olarak saptadık. Tibia için; her iki cinsiyette evre 4'ü benzer şekilde 14 yaşın altında saptamadık.

Vieth ve ark. (4) Almanya'da, diz kemiklerinde ossifikasyon aşamalarını inceledikleri, 12-24 yaş arası 344'ü erkek, 350'si kadın toplam 694 gönüllü olgunun dahil edildiği prospektif bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Epifiz-diyafiz füzyonu, 3.0T MR cihazı ile gerçekleştirilmiş diz görüntülerinde, diğer çalışmalardan farklı olarak ayrı iki sekans üzerinden, kas-iskelet MRG'si konusunda deneyimli iki gözlemci tarafından değerlendirilmiştir. İlk olarak T1 ağırlıklı TSE imajlarda kemiğin anatomik detayı ve varsa patolojik değişiklikleri saptanmış; T2 ağırlıklı TSE SPIR (spectral pre-saturation with inversion recovery) imajlarda ise osseoz ve/veya kartilajinöz yapılarıdaki kalıntı sulu bileşenleri göstermek amaçlanmıştır. Her iki sekans koronal planda alınmıştır. Bu iki sekans üzerinden oluşturdukları evreleme sistemine göre:

*"Evre 2: T1A sekansta ara sinyal intensiteli kesintisiz bir bant izlenir. Bu bant, epifiz ve diyafize doğru, düşük sinyalli veya sinyalsiz tırtıklı hatlar tarafından çevrelenir. T2A sekansta epifiz, düşük sinyalli veya sinyalsiz tırtıklı bir hat ile sınırlanır.*

*Metafizde iki adet yüksek sinyal intensiteli tırtıklı hat izlenir. Her iki hat kesintili veya kesintisiz olabilir.*

*Evre 3: T1A sekansta ara sinyal intensiteli kesintili bir bant izlenir. Bu bant epifiz ve diyafize doğru düşük sinyalli veya sinyalsiz tırtıklı hatlar ile sınırlanır ve bu hatlar sporadik olarak birleşip ayrılarak sinyalsiz tek bir tırtıklı hat meydana getirir. T2A sekansta metafizde iki adet yüksek sinyal intensiteli tırtıklı hat izlenir ve bu hatlar sporadik olarak birleşerek yüksek sinyal intensiteli tek bir tırtıklı hat meydana getirir.*

*Evre 4: T1A sekansta epifiz ve diyafiz arasında ara sinyal intensiteli, kesintili, ince ve tırtıklı hat izlenir. Bu hattın devamlılığında sinyalsiz daha kalın bölümler görülebilir. T2A sekansta, T1A sekansta tanımlanan ince hatta karşılık gelen bölgede tek, ince, kesintili veya noktalı hiperintens hat izlenir. Hattın devamlılığında daha kalın hiperintens bölümler izlenebilir.*

*Evre 5: T1A sekansta epifiz ve diyafiz arasında ara sinyal intensiteli devamlı bir hat izlenir. T2A sekansta, T1A sekansta tanımlanan ince hatta karşılık gelen bölgede tek, ince, kesintili veya noktalı hiperintens hat izlenir.*

*Evre 6: T1A sekansta epifiz ile diyafiz arasında ara sinyal intensiteli kesintisiz ince bir hat izlenir. T2A sekansta, T1A sekansta tanımlanan ince hatta karşılık gelen bölgede herhangi bir hiperintens hat izlenmez."*

Evre 5 ve 6'nın ayırımında T2A sekans kullanılmıştır çünkü bu iki evre T1A sekansta aynı morfolojiyi sergilemektedir. Gözlemci içi ve gözlemciler arası uyum çok iyi bulunmuştur. Sonuç olarak, distal femoral epifizde gözlemlenen minimum yaşlar erkek ve kadınlarda sırayla; evre 2 için 12.05 ve 12.11, evre 3 için 12.13 ve 12.16, evre 4 için 15.49 ve 14.33, evre 5 için 15.71 ve 14.82, evre 6 için 21.24 ve 20.65 olarak bulunmuştur. Proksimal tibial epifizde gözlemlenen minimum yaşlar erkek ve kadınlarda sırayla; evre 2 için 12.05 ve 12.56, evre 3 için 12.13 ve 12.11, evre 4 için 14.68 ve 12.48, evre 5 için 15.71 ve 14.44, evre 6 için 19.85 ve 17.65 olarak bulunmuştur. "Minimum yaş kavramı" ile sonuçlar değerlendirildiğinde; bu yeni sınıflandırmanın reşitliği belirlemede her iki cinsiyette distal femoral epifiz ve erkeklerde proksimal tibial epifiz için mümkün olduğunu belirtmişlerdir. Kadınlarda

proksimal tibial epifizde evre 6'nın görüldüğü minimum yaş 17.65 olduğundan, kadınlarda proksimal tibial epifiz evresine bakılarak reşitliğin belirlenemeyeceğini ifade etmişlerdir.

Gürses ve ark. (86) ülkemizde gerçekleştirdikleri çalışmada, Vieth ve ark.'nın (4) evreleme metodunu kullanarak diz MRG'de ossifikasyon aşamalarını incelemişlerdir. 12-30 yaş arası, 367'si erkek ve 231'i kadın toplam 598 olgunun dahil edildiği çalışmada diz MRG incelemeleri retrospektif olarak taranmıştır. 1.5T MR cihazında elde edilmiş koronal planda PD ağırlıklı YB TSE sekans ile sagittal ve koronal planda T1 ağırlıklı sekans değerlendirmede kullanılmıştır. MRG'yi de içeren çeşitli modalitelerle yaş tayini konusunda deneyimli iki gözlemci tarafından olgular değerlendirilmiştir. Distal femoral epifizde saptanan minimum yaşlar: Evre 2 ve 3'te her iki cinsiyette 12; evre 4 ve 5'te erkeklerde 12 ve kadınlarda 14; evre 6'da her iki cinsiyette 20 olarak bulunmuştur. Proksimal tibial epifizde saptanan minimum yaşlar: Evre 2 ve 3'te her iki cinsiyette 12; evre 4'te her iki cinsiyette 13; evre 5'te erkeklerde 15 ve kadınlarda 14; evre 6'da erkeklerde 18 ve kadınlarda 17 olarak bulunmuştur. Sonuçları Vieth ve ark.'nın (4) çalışma sonuçları ile karşılaştırdıklarında; evre 2, 3 ve 5 için saptanan yaşlar uyumlu iken diğer evrelerde saptanan yaşları yaklaşık birer yıl farklı olarak bulduklarını belirtmişlerdir. Minimum yaş kavramına göre yine Vieth ve ark. (4) ile uyumlu olarak, 18 yaş eşiğini saptamada distal femurda her iki cinsiyette ve proksimal tibiada erkeklerde evre 6'nın kullanılabileceğini göstermişlerdir. Proksimal tibial epifizde kadınlarda evre 6'da görülen en erken yaş 17 olarak bulunduğu proksimal tibia epifizini inceleyerek kadınlarda 18 yaş eşiğinin belirlenemeyeceğini ileri sürmüşlerdir.

Alataş ve ark. (88) tarafından ülkemizde yapılan diğer bir çalışmada, 12-27 yaşlar arasındaki 425'i erkek, 284'ü kadın toplam 709 olgudan oluşan popülasyonda diz kemiklerindeki ossifikasyon aşamaları MRG ile retrospektif olarak değerlendirilmiştir. 1.5T MR cihazı ile elde edilmiş diz görüntülerinde PD ağırlıklı SPAIR (spectral attenuated inversion recovery) TSE ile T1 ağırlıklı sekanslar kullanılmış olup distal femoral ve proksimal tibial epifizler Vieth ve ark.'nın (4) beş aşamalı metoduna göre incelenmiştir. Değerlendirmeyi yapan iki gözlemci de MRG'de yaş tayininde tecrübesi bulunan radyoloji uzmanları olmuştur. Distal

femoral epifizde saptanan minimum yaşlar; evre 2 için erkeklerde 12.02 ve kadınlarda 12.01, evre 3 için erkeklerde 12.34 ve kadınlarda 12.01, evre 4 için erkeklerde 14.84 ve kadınlarda 13.77, evre 5 için erkeklerde 15.81 ve kadınlarda 14.77, evre 6 için erkeklerde 20.76 ve kadınlarda 20.45 olarak bulunmuştur. Proksimal tibial epifizde saptanan minimum yaşlar; evre 2 için erkeklerde 12.02 ve kadınlarda 12.01, evre 3 için erkeklerde 12.07 ve kadınlarda 12.02, evre 4 için erkeklerde 13.57 ve kadınlarda 13.24, evre 5 için erkeklerde 15.59 ve kadınlarda 14.38, evre 6 için erkeklerde 18.91 ve kadınlarda 16.87 olarak bulunmuştur. Gözlemci içi ve gözlemciler arası uyum çok iyi olarak bulunmuştur. Literatürdeki benzer çalışmalarla (4) (86) sonuçları karşılaştırdıklarında, her iki epifizde, erkek ve kadınlarda, evre 2, 3 ve 5 için saptanan minimum yaşları benzer olarak görmüşlerdir. Reşitliğin belirlenmesinde, distal femoral epifizde her iki cinsiyette ve proksimal tibial epifizde erkeklerde evre 6'nın diğer çalışmalara benzer şekilde bir kriter olarak kullanılabileceğini ileri sürmüşlerdir.

Yukarıda özetlenen üç çalışma (4,86,88) ile bizim çalışmamızın verileri Tablo 10'da özetlenmiştir. "Minimum yaş kavramı" üzerinden Vieth evreleme metodunu uyguladığımız bizim sonuçlarımızı değerlendirecek olursak; yukarıda özetlenen çalışmalardan farklı olarak çalışma popülasyonumuzun yaş aralığını 10-30 olarak seçtiğimizden, evre 2 için her iki epifizde gördüğümüz minimum yaşlar daha küçük olarak bulunmuştur. Diğer evrelerde saptanan minimum yaşlara baktığımızda ise femoral epifizde erkeklerde evre 2'yi gördüğümüz minimum yaş, diğer çalışmalardan yaklaşık 1 yaş ileride olup evre 4, 5 ve 6'da saptanan minimum yaşlar büyük benzerlik göstermektedir. Her iki cinsiyette reşitliğin belirlenmesi distal femoral epifizde evre 6 ile mümkün olmaktadır. Distal femoral epifizde evre 6'nın görüldüğü minimum yaşlar, erkek ve kadınlarda sırasıyla 21.24 ve 20.37 olarak bulundu. Proksimal tibial epifizde evre 6'nın görüldüğü minimum yaş erkeklerde 18.84 olarak bulundu; bu durum yine reşitliğin belirlenmesini mümkün kılmaktadır. Kadınlarda proksimal tibial epifizin 6. evresinin görüldüğü minimum yaş ise 17.28 olup bu durumu sağlamamaktadır. Tüm bu sonuçlar yukarıda özetlenen üç çalışmanın (4,86,88) sonuçları ile uyumlu olarak bulunmuştur. Aynı zamanda distal femoral ve proksimal tibial epifizde her iki cinsiyette evre 2 ve 3'ün görüldüğü olgular ile proksimal tibial epifizde kadınlarda evre 4'ün görüldüğü olgular 18 yaşın altındadır.

Biz, Vieth ve ark.'nın (4) kullandığı T2 ağırlıklı TSE SPIR sekans yerine Gürses ve ark. (86) ile benzer şekilde PD ağırlıklı YB (FAT-SAT tekniği ile) TSE sekans kullandık. PD ağırlıklı sekanslar yüksek SNR'ye sahiptirler. Özellikle eklemleri içeren çoğu kas-iskelet MRG protokolünde yer almakta olup kartilaj, tendon ve labrum patolojilerini değerlendirmede değerlidir. PD ağırlıklı sekanslara yağ baskılamanın eklenmesi ile görüntü kontrastı artırılmış olur (121). T2 ağırlıklı TSE SPIR sekansta ise SPIR yönteminde, FAT-SAT tekniği ile STIR görüntüleme birlikte kullanılarak yağ baskılama güçlendirilir ve osseoz veya kartilajinöz yapılarıdaki su içeriği diğer dokulardan daha iyi ayrt edilir (4,98). Gürses ve ark. (86) kartilaj yapılarında benzer bilgiler vermesi nedeniyle bu iki sekansın birbirinin yerine kullanılabilceğini belirtmişlerdir.

Biz bu çalışmamızda, diz kemikleri üzerinde yapılan diğer pek çok MRG çalışmasına benzer şekilde, her üç evreleme metodunda, kadınlarda epifiz matürasyonunun erkeklerden daha önce gerçekleştiğini saptadık (1,2,3,4,80,81,82,84,89).

Radyolojik ve antropolojik çalışma sonuçları, dizde proksimal tibial epifizin distal femoral epifizden daha erken matüre olduğunu göstermektedir (1,3,80,108,114,115,116,117). Bizim çalışmamız da bunu her üç evreleme yöntemi ile destekler niteliktedir.

Adli yaş tespitinde "median yaş" ve "minimum yaş kavramı" kullanılan iki yaklaşımdır. İlkinde referans olarak alınan çalışmada, benzer gelişim evresindeki olgularda saptanmış olan median yaş, araştırılan bireyin olası kronolojik yaşı olarak değerlendirilir. Yasal olarak belirlenmiş yaş sınırının aşıldığının daha kesin olarak ispat edilmesi gereken durumlarda uygulanan minimum yaş kavramında ise yine referans olarak kullanılan çalışmada, araştırılan birey ile benzer gelişim evresindeki olgular arasında saptanmış olan minimum kronolojik yaş dikkate alınır. Minimum yaş yaklaşımı ile yaşın olandan fazla tahmin edilmesinin önüne geçilmiş olur (40).

**Tablo 10.** Vieth ve ark.'nın evreleme metoduna göre diz ossifikasyon aşamalarının değerlendirildiği MRG çalışmaları

Evre	Cinsiyet	Vieth ve ark. (4)		Gürses ve ark. (86)		Alataş ve ark. (88)		Bizim çalışmamız	
		Femur (yaş)	Tibia (yaş)	Femur (yaş)	Tibia (yaş)	Femur (yaş)	Tibia (yaş)	Femur (yaş)	Tibia (yaş)
2	Kadın	12.11-12.88	12.56	12.08-14.75	12.08-13.25	12.01-14.53	12.01-13.38	10.36-14.42	10.36-14.42
	Erkek	12.05-15.56	12.05-15.56	12.08-15.33	12.08-14.50	12.02-16.28	12.02-15.05	10.09-15.77	10.09-15.77
3	Kadın	12.16-15.74	12.11-15.13	12.92-16.08	12.50-15.25	12.01-17.22	12.01-15.51	12.21-15.07	11.97-15.07
	Erkek	12.13-19.15	12.13-17.07	12.92-19.50	12.25-17.58	12.34-18.92	12.07-16.68	13.56-17.70	13.99-16.24
4	Kadın	14.33-18.46	12.48-17.82	14.33-19.67	13.08-18.75	13.77-19.08	13.24-17.22	14.61-18.57	13.50-16.88
	Erkek	15.49-18.81	14.68-20.70	15.08-20.67	13.83-21.25	14.84-21.96	13.57-21.04	14.82-19.73	14.82-19.44
5	Kadın	14.82-24.98	14.44-24.98	14.75-30.42	14.75-30.75	14.77-25.61	14.38-25.61	14.03-30.65	14.61-30.65
	Erkek	15.71-24.98	15.71-24.98	15.83-30.50	15.58-30.50	15.81-26.71	15.59-26.71	15.72-30.98	15.72-30.98
6	Kadın	20.65-24.05	17.65-24.84	20.58-30.92	17.25-30.92	20.45-27.55	16.87-27.55	20.37-30.66	17.28-30.66
	Erkek	21.24-24.70	19.85-24.88	20.58-30.92	18.83-30.92	20.76-27.37	18.91-27.37	21.24-30.77	18.84-30.77

Ülkemizde, Türk Ceza Kanunu'nun (36) 31. ve 33. maddelerine göre 12, 15, 18 ve 21 yaşları, cezai ehliyet açısından önemli yaş gruplarıdır. Çalışmamızda uyguladığımız her üç evreleme metodunu minimum yaş kavramı ile kendi arasında karşılaştıracak olursak; hem Dedouit ve ark.'nın (1) hem de Vieth ve ark.'nın (4) evreleme yöntemi ile distal femurda her iki cinsiyette ve proksimal tibiada erkeklerde son evreler (Dedouit için evre 5, Vieth için evre 6) 18 yaş ve üzerinde görülmüştür. Bu sonuçlar diğer çalışma sonuçları (1,4,82,84,86,88) ile uyumludur. Ayrıca distal femurda Dedouit yöntemiyle her iki cinsiyette evre 5, diğer çalışmalara (1,82,84) benzer şekilde 21 yaşın üzerinde saptandı. Kramer ve ark.'nın (2) kombine yöntemiyle ise, Kramer ve ark. (2) ile Saint-Martin ve ark.'nın (111) aksine, 18 yaş sınırı için diğer çalışmalara (81,87) benzer şekilde bir eşik evre saptanamamıştır. 18 yaş sınırı ülkemizde ve diğer pek çok ülkede cezai ehliyet için önemli olup Kramer ve ark.'nın (2,3) kombine yöntemi, bizim çalışma sonuçlarımıza göre bu konuda yardımcı bilgi sağlayamamaktadır.

Kramer ve ark.'nın (2,3) kombine yönteminin kullanıldığı çalışmalar ile bizim aynı yöntemi kullanarak elde ettiğimiz sonuçları, ülkemiz için bir diğer önemli yaş sınırı olan 15 yaş açısından değerlendirdiğimizde; femur ve tibiada her iki cinsiyette evre 4, bizim çalışmamızda diğer çalışmalarla (2,3,81,87,111) uyumlu olarak 15 yaş üzerinde görülmüştür. Üstelik bu evrelerdeki olguların toplam popülasyonun çoğunluğunu oluşturması (distal femur için; erkeklerde 297, kadınlarda 209 olgu; proksimal tibia için erkeklerde 309, kadınlarda 211 olgu), güvenilirliğini arttırmaktadır. Bu evre ayrıca 14 yaşın da üzerinde saptandığından, başta Avrupa ülkeleri olmak üzere diğer ülkelerde önemli olan 14 yaş sınırı için de faydalı olabilir.

Yukarıda özetlediğimiz sonuçların özeti Tablo 11'de gösterilmektedir.

Çalışmamızda, MRG'de kemik yaşı tayini konusunda gözlemcilerden biri deneyimliken, diğer gözlemcinin böyle bir tecrübesi olmamasına rağmen her üç evreleme yönteminde de gözlemcilerin birbiri ile uyumu yüksek olarak bulunmuştur. Buna göre her üç yöntemin de kolay öğrenilebilir ve uygulanabilir olduğu sonucuna varabiliriz. Ancak her iki gözlemcinin de radyolog olması ve kas-iskelet MRG'si konusunda deneyiminin olması bu durumda etkili olmuş olabilir.

**Tablo 11.** Çalışma sonuçlarımıza göre 15, 18 ve 21 yaş sınırları için cinsiyetlere göre kullanılabilir yöntem ve evreleri

	≥15 yaş	≥18 yaş	≥21 yaş
<b>Erkek</b>	→ Distal femurda Dedouit evre 3 ve evre 4 → Proksimal tibiada Dedouit evre 4 → Distal femurda Kramer evre 3b*, evre 3c* ve evre 4 → Proksimal tibiada Kramer evre 3c* ve evre 4 → Distal femur ve proksimal tibiada Vieth evre 5	→ Distal femur ve proksimal tibiada Dedouit evre 5 → Distal femur ve proksimal tibiada Vieth evre 6	→ Distal femurda Dedouit evre 5 → Distal femurda Vieth evre 6
<b>Kadın</b>	→ Distal femur ve proksimal tibiada Dedouit evre 4 → Proksimal tibiada Dedouit evre 5 → Distal femurda Kramer evre 3c* ve evre 4 → Proksimal tibiada Kramer evre 4 → Distal femur ve proksimal tibiada Vieth evre 6	→ Distal femurda Dedouit evre 5 → Distal femurda Vieth evre 6	→ Distal femurda Dedouit evre 5

\* Olgu sayısı az olduğundan normal popülasyonu tam yansıtmayabilir.

Uygulanabilirlik açısından üç yöntemi kendi arasında kıyasladığımızda, bizim tecrübelerimize göre değerlendirmenin en kolay ve pratik olduğu yöntem, Kramer ve ark.'nın (2,3) kombine yöntemidir. İstatiksel olarak gözlemciler arası uyumun en iyi bulunduğu yöntem de bu olmuştur. Dedouit ve ark.'nın (1) yönteminde ise, zaten ince bir yapı olan epifiz plağının ölçümünde ve özellikle evre 3-4 ile evre 4-5 ayırımında zorluk yaşadık. Vieth ve ark.'nın (4) yöntemi temel olarak T1A sekansa dayalı olup

ikinci bir sekans ile bulguları desteklemek zaman alsa da değerlendirmeyi kolaylaştırdı. Vieth yönteminde evre 2-3 ayırımında T1A sekansa zorluk yaşasak da PDA sekans ile kolayca ayırım yapabildik.

MRG'nin maliyetinin yüksek ve ulaşımının zor bir yöntem olması, değerlendirmenin geniş tecrübe gerektiriyor oluşu ve inceleme süresinin uzun oluşu, kemik yaşı tespitinde kullanımını sınırlayan faktörlerdir. Ayrıca MRG incelemesi teknik parametrelere çok bağımlı olduğundan, farklı çalışmalardaki uygun olmayan sonuçların birleştirilmesi, hatalı yorumlara yol açabilir (122).

Çalışmamızın ana limitasyonları; olguların sosyoekonomik durumu ve etnik kökenleri hakkında veri eksikliği, yaş gruplarının dengesiz dağılımı ve retrospektif olmasıdır. Ayrıca değerlendirmede bulunan her iki gözlemci de radyolog olduğundan, radyolog olmayan gözlemciler tarafından uygulanabilirlik ve gözlemciler arası uyum değerlendirilememiştir. Sonuçların yalnızca 3.0T MRG ve belirtilen sekanslar ile sınırlı olması da ayrı bir kısıtlılıktır.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sonuç olarak, diz MRG incelemesi, kemik yaşı tayininde kullanılabilir, radyasyon içermeyen, non-invaziv, anatomik detay gösterme gücü yüksek alternatif bir modalitedir. Biz bu çalışmamızın sonuçlarına göre 14 ve 15 yaşın tamamlanıp tamamlanmadığının araştırıldığı durumlarda distal femur ve proksimal tibia epifizi için Kramer ve ark.'nın (2,3) kombine metodunun son evresini; 18 yaşın tamamlanıp tamamlanmadığının araştırıldığı durumlarda distal femur epifizi için Dedouit ve ark. (1) ile Vieth ve ark.'nın (4) metodlarının son evrelerini; 21 yaşın tamamlanıp tamamlanmadığının araştırıldığı durumlarda ise distal femur epifizi için Dedouit ve ark.'nın (1) metodunun son evresinin her iki cinsiyette ek bir kriter olarak kullanılabilirliğini düşünmekteyiz. Yaş tespitinde her birey için mutlak tek bir yöntemin kullanılmasındansa, olgunun araştırılan yaş aralığına göre faydalı bilgi sağlayacak uygun sekans ve yöntemlerin tercih edilmesi gerektiğini düşünmekteyiz. Bu bireye özgü yaklaşım ile araştırılan yaş eşikleri daha kesin doğrulukla ortaya konulacaktır. Bireye özgü yaklaşımın geliştirilebilmesi için, bizim çalışmamıza benzer şekilde aynı popülasyonda farklı yöntemlerin karşılaştırıldığı daha geniş çalışma grupları ile çok merkezli çalışmalar yapılarak popülasyonlara özgü standartların elde edilmesi gerekmektedir.

## 7. KAYNAKLAR

1. Dedouit F, Auriol J, Rousseau H, Rouge D, Crubezy E, Telmon N. Age assessment by magnetic resonance imaging of the knee: a preliminary study. *Forensic Science International*. 2012;217:232.e1–232.e7.
2. Krämer JA, Schmidt S, Jürgens K-U, Lentschig M, Schmeling A, Vieth V. Forensic age estimation in living individuals using 3.0T MRI of the distal femur. *Int J Legal Med*. 2014;128:509–514.
3. Krämer JA, Schmidt S, Jurgens K-U, Lentschig M, Schmeling A, Vieth V. The use of magnetic resonance imaging to examine ossification of the proximal tibial epiphysis for forensic age estimation in living individuals. *Forensic Sci Med Pathol*. 2014;10:306–313.
4. Vieth V, Schulz R, Heindel W, Pfeiffer H, Buerke B, Schmeling A, Ottow C. Forensic age assessment by 3.0T MRI of the knee: proposal of a new MRI classification of ossification stages. *Eur Radiol*. 2018;28(8):3255–3262.
5. Greenspan A. Bone formation and growth. Greenspan A, *Orthopedic Radiology*. pp. 37-41, Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, USA, 2000.
6. Horton WA. Skeletal development: insights from targeting the mouse genome. *Lancet*. 2003;362:560–569.
7. Maes C, Kronenberg HM. Postnatal bone growth: growth plate biology, bone formation, and remodeling. Ed: Glorieux FH, Pettifor JM, Jüppner H, *Pediatric Bone*. pp. 55-76, Elsevier, San Diego, USA, 2012.
8. Scannell B, Frick SL. Skeletal growth, development, and healing as related to pediatric trauma. Mencio GA, Frick SL, *Green's Skeletal Trauma in Children*. pp. 2-3, Elsevier Health Sciences, Philadelphia, USA, 2014.
9. Laor T, Jaramillo D. MR imaging insights into skeletal maturation: What is normal? *Radiology*. 2009;250:28–38.

10. Nguyen JC, Markhardt BK, Merrow AC, Dwek JR. Imaging of pediatric growth plate disturbances. *RadioGraphics*. 2017;37:1791–1812.
11. Kushdilian MV, Ladd LM, Gunderman RB. Radiology in the study of bone physiology. *Acad Radiol*. 2016;23:1298–1308.
12. Kreitner K-F, Schweden FJ, Riepert T, Nafe B, Thelen M. Bone age determination based on the study of the medial extremity of the clavicle. *Eur Radiol*. 1998;8:1116-1122.
13. Akpınar E, Özyalvaç ON. Çocuk kırıklarının biyolojik yönü. *TOTBİD Dergisi*. 2019;18:296–300.
14. Jaimes C, Chauvin NA, Delgado J, Jaramillo D. MR imaging of normal epiphyseal development and common epiphyseal disorders. *RadioGraphics*. 2014;34:449–471.
15. Tuncel E. Klinik radyoloji. Nobel Tıp Kitabevi, İstanbul, Türkiye, 2012.
16. Khanna PC, Thapa MM. The growing skeleton: MR imaging appearances of developing cartilage. *Magn Reson Imaging Clin N Am*. 2009;17:411–421.
17. Oudjhane K. Normal development. Ed: Stein-Wexler R, Wootton-Gorges SL, Ozonoff MB, *Pediatric Orthopedic Imaging*. pp. 25-39, Springer, Heidelberg, 2015.
18. Jaramillo D, Connolly SA, Mulkern RV, Shapiro F. Developing epiphysis: MR imaging characteristics and histologic correlation in the newborn lamb. *Radiology*. 1998;207:637-645.
19. Emons J, Chagin AS, Sävendahl L, Karperien M, Wit JM. Mechanisms of growth plate maturation and epiphyseal fusion. *Horm Res Paediatr*. 2011;75:383–391.
20. Thapa MM, Iyer RS, Khanna PC, Chew FS. MRI of pediatric patients: part 1, normal and abnormal cartilage. *AJR*. 2012;198:450-455.
21. Jaramillo D, Laor T. Pediatric musculoskeletal MRI: basic principles to optimize success. *Pediatr Radiol*. 2008;38:379–391.

22. Cunha E, Baccino E, Martrille L, Ramsthaler F, Prieto j, Schuliar Y, Lynnerup N, Cattaneo C. The problem of aging human remains and living individuals: a review. *Forensic Science International*. 2009;193:1–13.
23. Schmeling A, Schulz R, Reisinger W, Mühler M, Wernecke KD, Geserick G. Studies on the time frame for ossification of the medial clavicular epiphyseal cartilage in conventional radiography. *Int J Legal Med*. 2004;118:5–8.
24. Buckley MB, Clark KR. Forensic age estimation using the medial clavicular epiphysis: a study review. *Radiologic Technology*. 2017;88(5):482-489.
25. Dvorak J, George J, Junge A, Hodler J. Age determination by magnetic resonance imaging of the wrist in adolescent male football players. *Br J Sports Med*. 2007;41:45–52.
26. Demirkıran DS, Çelikel A, Zeren C, Arslan MM. Yaş tespitinde kullanılan yöntemler. *Dicle Medical Journal*. 2014;41(1):238-243.
27. Buckler JMH. How to make the most of bone ages. *Archives of Disease in Childhood*. 1983;58:761-763.
28. Mentzel H-J, Vilser C, Eulenstein M, Schwartz T, Vogt S, Böttcher J, Yaniv I, Tsoref L, Kauf E, Kaiser WA. Assessment of skeletal age at the wrist in children with a new ultrasound device. *Pediatr Radiol*. 2005;35:429–433.
29. Banerjee KK, Agarwal BBL. Estimation of age from epiphyseal union at the wrist and ankle joints in the capital city of India. *Forensic Science International*. 1998;98:31–39.
30. Baransel Isır A. Adli hekimlikte yaş tayini. *Klinik Gelişim*. 2009;Adli tıp özel sayısı:114-121.
31. Schmeling A, Grundmann C, Fuhrmann A, Kaatsch HJ, Knell B, Ramsthaler F, Reisinger W, Riepert T, Ritz-Timme S, Rösing FW, Rötzscher K, Geserick G. Criteria for age estimation in living individuals. *Int J Legal Med*. 2008;122:457–460.

32. Güllüoınar F. Göç olgusunun ekonomi-politiği ve uluslararası göç kuramları üzerine bir değerlendirme. *Yalova Sosyal Bilimler Dergisi*. 2012;4:53-85.
33. Ően YF, Özkurul G. Türkiye – Avrupa birliği iliŐkilerinde yeni bir eşik: sığınmacı krizi bağlamında bir değerlendirme. *Göç Araştırmaları Dergisi*. 2016;2(2):86-119.
34. Olze A, Solheim T, Schulz R, Kupfer M, Schmeling A. Evaluation of the radiographic visibility of the root pulp in the lower third molars for the purpose of forensic age estimation in living individuals. *Int J Legal Med*. 2010;124:183–186.
35. Büken B, Şafak AA, Yazıcı B, Büken E, Mayda AS. Is the assessment of bone age by the Greulich–Pyle method reliable at forensic age estimation for Turkish children? *Forensic Science International*. 2007;173:146–153.
36. Türk ceza kanunu. Kanun numarası: 5237. Resmi Gazete. 26/09/2004;25611.
37. Greulich WW, Pyle SI. Radiographic atlas of skeletal development of the hand and wrist. Second edition. Stanford University Press, California, USA, 1959.
38. Tanner JM, Healy MJR, Goldstein H, Cameron N. Assessment of skeletal maturity and prediction of adult height (TW3 method). 3rd edition. Saunders Ltd., London, UK, 2002.
39. Schmeling A, Olze A, Reisinger W, Geserick G. Forensic age diagnostics of living people undergoing criminal proceedings. *Forensic Science International*. 2004;144:243–245.
40. Schmeling A, Dettmeyer R, Rudolf E, Vieth V, Geserick G. Forensic age estimation: methods, certainty, and the law. *Dtsch Arztebl Int*. 2016;113:44–50.
41. Knell B, Ruhstaller P, Prieels F, Schmeling A. Dental age diagnostics by means of radiographical evaluation of the growth stages of lower wisdom teeth. *Int J Legal Med*. 2009;123:465–469.
42. Wittschieber D, Schulz R, Vieth V, Küppers M, Bajanowski T, Ramsthaler F, Püchel K, Pfeiffer H, Schmidt S, Schmeling A. The value of sub-stages and thin

slices for the assessment of the medial clavicular epiphysis: a prospective multi-center CT study. *Forensic Sci Med Pathol*. 2014;10(2):163-169.

43. Kellinghaus M, Schulz R, Vieth V, Schmidt S, Pfeiffer H, Schmeling A. Enhanced possibilities to make statements on the ossification status of the medial clavicular epiphysis using an amplified staging scheme in evaluating thin-slice CT scans. *Int J Legal Med*. 2010;124(4):321-325.

44. Owings Webb PA, Myers Suchey J. Epiphyseal union of the anterior iliac crest and medial clavicle in a modern multiracial sample of American males and females. *American Journal of Physical Anthropology*. 1985;68:457-466.

45. Jit I, Kulkarni M. Times of appearance and fusion of epiphysis at the medial end of the clavicle. *Indian j Med Res*. 1976;64(5):773-782.

46. Kreitner KF, Schweden F, Schild HH, Riepert T, Nafe B. Computerized tomography of the epiphyseal union of the medial clavicle: an auxiliary method of age determination during adolescence and the 3d decade of life? *Rofo*. 1997;166:481–486.

47. Schulz R, Mühler M, Mutze S, Schmidt S, Reisinger W, Schmeling A. Studies on the time frame for ossification of the medial epiphysis of the clavicle as revealed by CT scans. *Int J Legal Med*. 2005;119:142–145.

48. Mühler M, Schulz R, Schmidt S, Schmeling A, Reisinger W. The influence of slice thickness on assessment of clavicle ossification in forensic age diagnostics. *Int J Leg Med*. 2006;120:15–17.

49. Gurses MS, Turkmen Inanir N, Soylu E, Gokalp G, Kir E, Fedakar R. Evaluation of the ossification of the medial clavicle according to the Kellinghaus substage system in identifying the 18-year-old age limit in the estimation of forensic age—is it necessary? *Int J Legal Med*. 2017;131:585–592

50. Gurses MS, Turkmen Inanir N, Gokalp G, Fedakar R, Tobcu E, Ocakoglu G. Evaluation of age estimation in forensic medicine by examination of medial

clavicular ossification from thin-slice computed tomography images. *Int J Legal Med.* 2016;130:1343–1352.

51. Uysal Ramadan S, Gurses MS, Turkmen Inanir N, Hacifazlioglu C, Fedakar R, Hizli S. Evaluation of the medial clavicular epiphysis according to the Schmeling and Kellinghaus method in living individuals: a retrospective CT study. *Leg Med (Tokyo).* 2017;25:16-22.

52. Schulz R, Mühler M, Reisinger W, Schmidt S, Schmeling A. Radiographic staging of ossification of the medial clavicular epiphysis. *Int J Legal Med.* 2008;122:55–58.

53. Ramsthaler F, Proschek P, Betz W, Verhoff MA. How reliable are the risk estimates for x-ray examinations in forensic age estimations? A safety update. *Int J Legal Med.* 2009;123:199–204.

54. Schmeling A, Garamendi PM, Prieto JL, Landa MI. Forensic age estimation in unaccompanied minors and young living adults. Ed: Vieira DN, *Forensic Age Estimation in Unaccompanied Minors and Young Living Adults.* pp. 77-120, InTech, Rijeka, Croatia, 2011.

55. Berrington de González A, Darby S. Risk of cancer from diagnostic x-rays: estimates for the UK and 14 other countries. *Lancet.* 2004;363:345–351.

56. Giuca MR, Mazza P, Marrapese E, Cesaretti G, Calderazzi A, Carafoli D, Saggase G. A comparison between radiographic and sonographic assessment of hand and wrist bones for the estimation of skeletal age in the child patient. *Eur J Paediatr Dent.* 2002;3(2):79-84.

57. Bilgili Y, Hizel S, Altan Kara S, Cihat Sanli, Erdal HH, Altinok D. Accuracy of skeletal age assessment in children from birth to 6 years of age with the ultrasonographic version of the Greulich-Pyle atlas. *J Ultrasound Med.* 2003;22:683–690.

58. Wagner UA, Diedrich V, Schmitt O. Determination of skeletal maturity by ultrasound: a preliminary report. *Skeletal Radiol.* 1995;24:417-420.

59. Schmidt S, Schiborr M, Pfeiffer H, Schmeling A, Schulz R. Age dependence of epiphyseal ossification of the distal radius in ultrasound diagnostics. *Int J Legal Med.* 2013;127:831–838.
60. Schulz R, Schiborr M, Pfeiffer H, Schmidt S, Schmeling A. Forensic age estimation in living subjects based on ultrasound examination of the ossification of the olecranon. *Journal of Forensic and Legal Medicine.* 2014;22:68-72.
61. Schulz R, Zwiesigk P, Schiborr M, Schmidt S, Schmeling A. Ultrasound studies on the time course of clavicular ossification. *Int J Legal Med.* 2008;122:163–167.
62. Quirnbach F, Ramsthaler F, Verhoff MA. Evaluation of the ossification of the medial clavicular epiphysis with a digital ultrasonic system to determine the age threshold of 21 years. *Int J Legal Med.* 2009;123:241–245.
63. Schulz R, Schiborr M, Pfeiffer H, Schmidt S, Schmeling A. Sonographic assessment of the ossification of the medial clavicular epiphysis in 616 individuals. *Forensic Sci Med Pathol.* 2013;9:351–357.
64. Castriota-Scanderbeg A, De Micheli V. Ultrasound of femoral head cartilage: a new method of assessing bone age. *Skeletal Radiol.* 1995;24:197-200.
65. Castriota-Scanderbeg A, Sacco MC, Emberti-Gialloreti L, Fraracci L. Skeletal age assessment in children and young adults: comparison between a newly developed sonographic method and conventional methods. *Skeletal Radiol.* 1998;27:271-277.
66. Schmidt S, Schmeling A, Zwiesigk P, Pfeiffer H, Schulz R. Sonographic evaluation of apophyseal ossification of the iliac crest in forensic age diagnostics in living individuals. *Int J Legal Med.* 2011;125:271–276.
67. Schmidt S, Schiborr M, Pfeiffer H, Schmeling A, Schulz R. Sonographic examination of the apophysis of the iliac crest for forensic age estimation in living persons. *Science and Justice.* 2013;53:395–401.
68. Schulz R, Schiborr M, Pfeiffer H, Schmidt S, Schmeling A. Sonographic examination on the time frame of ossification of the distal fibula epiphysis. *Arch Kriminol.* 2013;231(5-6):156-165.

69. Schulz R, Schiborr M, Pfeiffer H, Schmidt S, Schmeling A. Sonographic assessment of the ossification of the medial clavicular epiphysis in 616 individuals. *Forensic Sci Med Pathol*. 2013;9:351–357.
70. Dvorak J, George J, Junge A, Hodler J. Application of MRI of the wrist for age determination in international U-17 soccer competitions. *Br J Sports Med*. 2007;41:497–500.
71. Dvorak J. Detecting over-age players using wrist MRI: science partnering with sport to ensure fair play. *Br J Sports Med*. 2009;43:884–885.
72. George J, Nagendran J, Azmi K. Comparison study of growth plate fusion using MRI versus plain radiographs as used in age determination for exclusion of overaged football players. *Br J Sports Med*. 2012;46:273–278.
73. Timme M, Ottow C, Schulz R, Pfeiffer H, Heindel W, Vieth V, Schmeling A, Schmidt S. Magnetic resonance imaging of the distal radial epiphysis: a new criterion of maturity for determining whether the age of 18 has been completed? *Int J Legal Med*. 2017;131(2):579-584.
74. Ekizoğlu O, Hocaoğlu E, İnci E. Distal radial epifizin manyetik rezonans görüntülemesi: yaşayan bireylerde adli yaş tayini. *Adli Tıp Bülteni*. 2017;22(3):177-183.
75. Schmidt S, Mühler M, Schmeling A, Reisinger W, Schulz R. Magnetic resonance imaging of the clavicular ossification. *Int J Legal Med*. 2007;121:321–324.
76. Hillewig E, De Tobel J, Cuche O, Vandemaele P, Piette M, Verstraete K. Magnetic resonance imaging of the medial extremity of the clavicle in forensic bone age determination: a new four-minute approach. *Eur Radiol*. 2011;21:757–767.
77. Hillewig E, Degroote T, Van der Paelt T, Visscher A, Vandemaele P, Lutin B, D’Hooghe L, Vandriessche V, Piette M, Verstraete K. Magnetic resonance imaging of the sternal extremity of the clavicle in forensic age estimation: towards more sound age estimate. *Int J Legal Med*. 2013;127(3):677-689.

78. Tangmose S, Jensen KE, Villa C, Lynnerup N. Forensic age estimation from the clavicle using 1.0 T MRI—preliminary results. *Forensic Science International*. 2014;234:7–12.
79. Vieth V, Schulz R, Brinkmeier P, Dvorak J, Schmeling A. Age estimation in U-20 football players using 3.0 tesla MRI of the clavicle. *Forensic Science International*. 2014;241:118–122.
80. Jopp E, Schröder I, Maas R, Adam G, Püschel K. Proximale tibiaepiphyse im magnetresonanztomogramm. Neue möglichkeit zur altersbestimmung bei lebenden? *Rechtsmedizin*. 2010;20:464–468.
81. Ottow C, Schulz R, Pfeiffer H, Heindel W, Schmeling A, Vieth V. Forensic age estimation by magnetic resonance imaging of the knee: the definite relevance in bony fusion of the distal femoral- and the proximal tibial epiphyses using closest-to-bone T1 TSE sequence. *Eur Radiol*. 2017;27(12):5041-5048.
82. Ekizoglu O, Hocaoglu E, Inci E, Can IO, Aksoy S, Kazimoglu C. Forensic age estimation via 3-T magnetic resonance imaging of ossification of the proximal tibial and distal femoral epiphyses: Use of a T2-weighted fast spin-echo technique. *Forensic Science International*. 2016;260:102.e1-102.e7.
83. Fan F, Zhang K, Peng Z, Cui J, Hu N, Deng. Forensic age estimation of living persons from the knee: Comparison of MRI with radiographs. *Forensic Science International*. 2016;268:145–150.
84. Altinsoy HB, Alatas O, Gurses MS, Turkmen Inanir N. Forensic age estimation in living individuals by 1.5 T magnetic resonance imaging of the knee: a retrospective MRI study. *Australian Journal of Forensic Sciences*. 2018;52(1):1-15.
85. Alaa El-Din EA, El Sayed Mostafa H, Tantawy EF, El-Shafei DA. Magnetic resonance imaging of the proximal tibial epiphysis: could it be helpful in forensic age estimation? *Forensic Science, Medicine and Pathology*. 2019;15:352–361.
86. Gurses MS, Altinsoy HB. Evaluation of distal femoral epiphysis and proximal tibial epiphysis ossification using the Vieth method in living individuals:

applicability in the estimation of forensic age. *Australian Journal of Forensic Sciences*. 2020;0:1-17.

87. Ekizoglu O, Er A, Bozdog M, Basa CD, Kacmaz IE, Moghaddam N, Grabherr S. Forensic age estimation via magnetic resonance imaging of knee in the Turkish population: use of T1-TSE sequence. *International Journal of Legal Medicine*. 2021;135:631–637.

88. Alatas O, Altinsoy HB, Gurses MS, Balci A. Evaluation of knee ossification on 1.5 T magnetic resonance images using the method of Vieth et al. A retrospective magnetic resonance imaging study. *Rechtsmedizin*. 2021;31:50–58.

89. Uygun B, Kaya K, Köse S, Ekizoğlu O, Hilal A. Applicability of magnetic resonance imaging of the knee in forensic age estimation. *Am J Forensic Med Pathol*. 2020 Nov 3.

90. Saint-Martin P, Rérolle C, Dedouit D, Bouilleau L, Rousseau H, Rougé D, Telmon N. Age estimation by magnetic resonance imaging of the distal tibial epiphysis and the calcaneum. *Int J Legal Med*. 2013;127:1023–1030.

91. Wittschieber D, Vieth V, Timme M, Dvorak J, Schmeling A. Magnetic resonance imaging of the iliac crest: age estimation in under-20 soccer players. *Forensic Sci Med Pathol*. 2014;10:198–202.

92. Ekizoglu O, Inci E, Ors S, Hocaoglu E, Can IO, Basa CD, Kacmaz IE, Kranioti EF. Forensic age diagnostics by magnetic resonance imaging of the proximal humeral epiphysis. *International Journal of Legal Medicine*. 2019;133:249–256.

93. Ekizoglu O, Inci E, Ors S, Kacmaz IE, Basa CD, Can IO, Kranioti EF. Applicability of T1-weighted MRI in the assessment of forensic age based on the epiphyseal closure of the humeral head. *International Journal of Legal Medicine*. 2019;133:241–248.

94. Altinsoy HB, Gurses MS, Bogan M, Unlu NE. Applicability of 3.0 T MRI images in the estimation of full age based on shoulder joint ossification: single-centre study. *Legal Medicine*. 2020;47:101767.

95. Altinsoy HB, Gurses MS, Alatas O. Evaluation of proximal humeral epiphysis ossification in 3.0 T MR images according to the Dedouit staging method: is it be used for age of majority? *Journal of Forensic and Legal Medicine*. 2021;77:102095.
96. Guo Y, Olze A, Ottow C, Schmidt S, Schulz R, Heindel W, Pfeiffer H, Vieth V, Schmeling A. Dental age estimation in living individuals using 3.0 T MRI of lower third molars. *Int J Legal Med*. 2015;129:1265–1270.
97. Baumann P, Widek T, Merkens H, Boldt J, Petrovic A, Urschler M, Kirnbauer B, Jakse N, Scheurer E. Dental age estimation of living persons: comparison of MRI with OPG. *Forensic Sci Int*. 2015;253:76-80.
98. Radyoloji Fiziği. Ed: Gelal F. Nobel Tıp Kitapevleri, İstanbul, Türkiye, 2019.
99. Yeşildağ A, Oyar O. Manyetik rezonans görüntüleme fiziği. Ed: Oyar O, Tıbbi Görüntüleme Fiziği. SDÜ Tıp Fakültesi, Isparta, Türkiye, 2003.
100. Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*. 1977;33:159-174.
101. LoMartire R (2020). rel: Reliability Coefficients. R package version 1.4.2. <https://CRAN.R-project.org/package=rel>.
102. RStudio Team (2020). RStudio: Integrated Development Environment for R. RStudio, PBC, Boston, MA. <http://www.rstudio.com/>.
103. Scherer R (2018). PropCIs: Various Confidence Interval Methods for Proportions. R package version 0.3-0. <https://CRAN.R-project.org/package=PropCIs>.
104. Eikvil L, Kvaal SI, Teigland A, Haugen M, Grøgaard J. Age estimation in youths and young adults. A summary of the needs for methodological research and development. *Nor Comput Cent*. 2012;SAMBAA/52/12:1-26.
105. Schmeling A, Olze A, Reisinger W, König M, Geserick G. Statistical analysis and verification of forensic age estimation of living persons in the Institute of Legal Medicine of the Berlin University Hospital Charité'. *Legal Medicine*. 2003;5:367–371.

106. Garamendi PM, Landa MI, Botella MC, Aleman I. Forensic age estimation on digital X-ray images: Medial epiphyses of the clavicle and first rib ossification in relation to chronological age. *J Forensic Sci.* 2011;56:3-12.
107. Thevissen PW, Kaur J, Willems G. Human age estimation combining third molar and skeletal development. *Int J Legal Med.* 2012;126(2):285-292.
108. O'Connor JE, Bogue C, Spence LD, Last J. A method to establish the relationship between chronological age and stage of union from radiographic assessment of epiphyseal fusion at the knee: an Irish population study. *J. Anat.* 2008;212:198–209.
109. Faisant M, Rerolle C, Faber C, Dedouit F, Telmon N, Saint-Martin P. Is the persistence of an epiphyseal scar of the knee a reliable marker of biological age? *Int J Legal Med.* 2015;129:603–608.
110. Cameriere R, Cingolani M, Giuliadori A, De Luca S, Ferrante L. Radiographic analysis of epiphyseal fusion at knee joint to assess likelihood of having attained 18 years of age. *Int J Legal Med.* 2012;126:889–899.
111. Saint-Martin P, Rérolle C, Pucheux J, Dedouit F, Telmon N. Contribution of distal femur MRI to the determination of the 18-year limit in forensic age estimation. *Int J Legal Med.* 2015;129(3):619-20.
112. İşcan MY, Steyn M. *The human skeleton in forensic medicine.* Third Edition. Charles C Thomas, Springfield, Illinois, USA, 2013.
113. Stevenson PH. Age order of epiphyseal union in man. *Am J Phys Anthropol.* 1924;7(1):53-93.
114. McKern TW, Stewart TD. Skeletal age changes in young American males. *Massachusetts Technical Report EP-45. BBAA.* 1957;19/20(2);1-179.
115. Schaefer MC, Black SM. Comparison of ages of epiphyseal union in North American and Bosnian skeletal material. *J Forensic Sci.* 2005;50(4):777–784.

116. Schaefer MC, Black SM. Epiphyseal union sequencing: Aiding in the recognition and sorting of commingled remains. *J Forensic Sci.* 2007;52:277–285.
117. Pyle SI, Hoerr NL. Radiographic atlas of skeletal development of the knee. A standard of reference. Charles C Thomas, Springfield, Illinois, USA, 1955.
118. Das Gupta SM, Prasad V, Singh S. A roentgenologic study of epiphyseal union around elbow, wrist and knee joints and the pelvis in boys and girls of Uttar Pradesh. *J Indian Med Assoc.* 1974;62(1);10–12.
119. Ebeye OA, Eboh DE, Onyia NS. Radiological assessment of age from epiphyseal fusion at the knee joint. *Anatomy.* 2016;10(1):1-7.
120. Craig JG, Cody DD, van Holsbeeck M. The distal femoral and proximal tibial growth plates: MR imaging, three-dimensional modeling and estimation of area and volume. *Skeletal Radiol.* 2004;33:337–344.
121. Mangrum WI, Amrhein TJ, Duncan SM, Hoang PB, Maxfield CM, Song AW, Merkle AM. Duke review of MRI principles: case review series. 2nd edition. Ed: Yousem DM. Elseiver, Philadelphia, USA, 2019.
122. De Tobel J, Bauwens J, Parmentier GIL, Franco A, Pauwels NS, Verstraete KL, Thevissen PW. Magnetic resonance imaging for forensic age estimation in living children and young adults: a systematic review. *Pediatric Radiology.* 2020;50:1691–1708.
123. Ritz-Timme S, Cattaneo C, Collins MJ, Waite ER, Schütz HW, Kaatsch H-J, Borrman HIM. Age estimation: the state of the art in relation to the specific demands of forensic practise. *Int J Legal Med.* 2000;113:129–136.