



**T.C.  
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ  
TIP FAKÜLTESİ  
ORTOPEDİ VE TRAVMATOLOJİ ANABİLİM DALI**

**KUZU DELBET TİP 3 FEMUR BOYUN KIRIK  
MODELİNDE 2 FARKLI İMPLANTIN VE 2 FARKLI  
TEKNİĞİN BİYOMEKANİK AÇIDAN ARAŞTIRILMASI**

**Dr. Ali Aydın KARADENİZ  
TIPTA UZMANLIK TEZİ**

**DANIŞMAN  
Dr. Öğr. Üyesi Duran TOPAK**

**KAHRAMANMARAŞ 2022**



**T.C.  
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ  
TIP FAKÜLTESİ  
ORTOPEDİ VE TRAVMATOLOJİ ANABİLİM DALI**

**KUZU DELBET TİP 3 FEMUR BOYUN KIRIK  
MODELİNDE 2 FARKLI İMPLANTIN VE 2 FARKLI  
TEKNİĞİN BİYOMEKANİK AÇIDAN ARAŞTIRILMASI**

**Dr. Ali Aydın KARADENİZ  
TIPTA UZMANLIK TEZİ**

**DANIŞMAN**

**Dr. Öğr. Üyesi Duran TOPAK**

**Bu araştırma, 2021/2-23 D nolu proje olarak Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi tarafından desteklenmiştir.**

**KAHRAMANMARAŞ 2022**

## TEŞEKKÜR

K.S.Ü Tıp Fakültesi Ortopedi ve Travmatoloji A.B.D ‘ da uzmanlık eğitimine başladığım Eylül 2017’den beri asistanlık eğitimimde çıraklıktan ustalığa giden yolda emeği olan sabır, bilgi ve deneyimlerini esirgemeyen başta tez danışmanım ve değerli hocam Dr. Öğretim Üyesi Duran TOPAK olmak üzere Doç. Dr. Ökkeş BİLAL, Dr. Öğretim Üyesi Bülent GÜNERİ, Dr. Öğretim Üyesi Fatih VATANSEVER, Doç. Dr. Fatih DOĞAR ve Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Abdullah ÖZDEMİR’e,

Beraber çalıştığım ve emeği geçen şuan uzman olmuş kıdemlilerim sırasıyla Op.Dr.Hakan ŞİRİN, Op.Dr. Muhammed YILDIZ, Op.Dr. Burak KUŞCU ve Op.Dr. Kadir İsmail DERE başta olmak üzere, eş kıdemlim Dr. Mikail TELEK’e, ihtisasına devam eden tüm çalışma arkadaşlarıma, doğduğum günden beri her zaman yanımda olan annem, babam ve kardeşime, uzmanlık eğitimim sürecinde her zaman yanımda olan yoğun tempo ile çalıştığım zamanlarda bile desteğini esirgemeyen eşim Ayşe Esra KARADENİZ’e, Kahramanmaraş ‘a geldiğimiz günden beri hep yanımda olan kayınvalidem Sayın Ayşe SAYAR’a , varlığı ve neşesi ile hayatımıza anlam kazandıran oğlum Kıvanç KARADENİZ’ e teşekkürlerimi sunarım.

Bu araştırma, 2021/2-23 D nolu proje olarak Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi tarafından desteklenmiştir

Temmuz-2022

Dr. Ali Aydın KARADENİZ

**KUZU DELBET TİP 3 FEMUR BOYUN KIRIK MODELİNDE 2 FARKLI  
İMLANTIN VE 2 FARKLI TEKNİĞİN BİYOMEKANİK AÇIDAN  
ARAŞTIRILMASI**

**(Tıpta Uzmanlı Tezi)**

**Dr. Ali Aydın KARADENİZ**

**KAHRAMANMARAŞSÜTÇÜİMAMÜNİVERSİTESİ TIP FAKÜLTESİ**

**Temmuz 2022**

**ÖZET**

**Amaç:** Pediatrik hastalarda, femur boyun kırığı, uygun tanı ve tedaviye rağmen, yüksek komplikasyon oranına sahip nispeten nadir bir yaralanmadır. Femur boyun kırıklarında fiksasyon, genellikle boyun eksenine boyunca yerleştirilen vidalarla gerçekleştirilir. Dizilim, implant tipi, vida sayısı ve kullanılan yöntem, ihtiyaç duyulan fiksasyon derecesine göre, cerrah tarafından belirlenir. Bu çalışmada, iki farklı implant ve yöntemin biyomekanik açıdan karşılaştırılması amaçlanmıştır.

**Yöntem:** 6 aylık Ovis aries türünden ivesi cinsi aynı çiftlikte yetişen erkek kuzuya ait 28 adet sağ-sol taze femur kemiği kullanılmıştır. Kemikler randomize olarak 4 gruba ayrıldı (n=7). Grup 1’de delbet tip 3 femur boyun kırığı modelinde 1 vida fiz’i geçen tespit yapılmış olup 2 adet 4,5 mm’lik kanüllü vida ile tespit edilmiştir. Grup 2’de delbet tip 3 femur boyun kırığı modelinde fiz’i geçmeyen 2 adet 4,5 mm’lik kanüllü vida kullanılmıştır. Grup 3’te delbet tip 3 femur boyun kırığı modelinde fiz’i geçen 1 adet 3,5 mm’lik kilitli vida, 3,5 mm’lik proksimal femur anatomik plak ve 5 adet vida ile tespit edilmiştir. Son olarak, grup 4’de delbet tip 3 femur boyun kırığı modelinde fiz’i geçmeyen 1 adet 3,5 mm’lik proksimal femur anatomik plak ve 5 adet vida ile tespit edilmiştir. Biyomekanik testler, Zwick/Roell AllroundLine 100 kN marka cihaz kullanarak yapıldı.

**Bulgular:** Yapılan tek yönlü varyans analizi sonucuna göre, aksiyal başarısızlık yükü,  $F=6.819$ ,  $p<.05$ ,  $d=.46$ , ve aksiyal sertlik,  $F=3.576$ ,  $p<.05$ ,  $d=.30$ , bağımsız tedavi grupları arasında istatistiksel açıdan anlamlı farklılık gösterirken; aksiyal başarısızlık deplasmanı,  $F=.622$ ,  $p>.05$ , ve aksiyal bozulma enerjisi,  $F=.727$ ,  $p>.05$ , bağımsız

gruplar arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir şekilde farklılaşmamıştır. Anlamlı bir biçimde farklılaşan aksiyal başarısızlık yükü ve aksiyal sertlik değişkenlerinin sırasıyla kaydedilen etki büyüklükleri 0.46 ve 0.30 olup, orta seviye klinik etki gözlenmiştir. Aksiyal başarısızlık yükü ve aksiyal sertlikte bulunan istatistiksel farklılığın hangi iki grup arasında olduğunu tespit etmek için post-hoc LSD testi yapılmıştır. Test sonucunda elde edilen bulguya göre, en yüksek aksiyal başarısızlık yükü grup 3’de kaydedilirken, en küçük yük grup 2’de kaydedilmiştir. Benzer şekilde, grup 3’te bulunan aksiyal sertlik düzeyi grup 2’de kaydedilen aksiyal sertlik ölçümüne göre istatistiksel düzeyde daha yüksek bulunmuştur ( $p < .05$ ).

**Sonuç:** Sonuç olarak, bu çalışmada fizi geçen ve geçmeyen 4,5 mm’lik kanüllü kompresyon vidaları ve anatomik plak ile birlikte uygulanan fizi geçen ve geçmeyen 3,5 mm’lik kilitli vida uygulamasının tespit başarıları kıyaslanmıştır. Elde edilen bulgulara göre, 3.5 mm’lik proksimal femur anatomik plak ve 1 adet fiz’i geçen 3.5 mm’ lik kortikal vida ve 3,5 mm’lik 5 adet vida ile tespit işleminin biyomekanik tespit başarısının en yüksek olduğu bulunmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Femur boyun kırığı, Delbet sınıflaması, Aksiyel kompresyon, Büyüme hattı

**Sayfa sayısı:** 65

**Danışman:** Dr. Öğr. Üyesi Duran TOPAK

**BIOMECHANIC INVESTIGATION OF TWO DIFFERENT IMPLANTS AND  
TECHNIQUES IN LAMB DELBET TYPE 3 FEMUR NECK FRACTURE  
MODEL**

**(Specialization Thesis)**

**Dr. Ali Aydın KARADENİZ**

**KAHRAMANMARAŞSÜTÇÜİMAMUNIVERSITYFACULTY OF MEDICINE**

**July 2022**

**ABSTRACT**

**Objective:** In pediatric patients, femoral neck fracture is a relatively rare injury with a high complication rate, despite proper diagnosis and treatment. Fixation of femoral neck fractures is usually performed with screws placed along the neck axis. Alignment, implant type, number of screws and the method used are determined by the surgeon according to the degree of fixation needed. In this study, it was aimed to compare two different implants and methods in terms of biomechanics.

**Methods:** Twenty-eight right-left fresh femur bones of 6-month-old male *Ovis aries ivesi* lambs grown in the same farm were used. Bones were randomly divided into 4 groups (n=7). In group 1, the Delbet type 3 femoral neck fracture model was fixed with two 4.5 mm cannulated screws , one screw crossing the physis. In group 2, two 4.5 mm cannulated screws, did not crossing the physis, were used. In group 3, Delbet type 3 femoral neck fracture model was fixed with a 3.5 mm proximal femoral anatomical plate and five screws ,one screw crossing the physis. Finally, in group 4, Delbet type 3 femoral neck fracture model was fixed with one 3.5 mm proximal femoral anatomical plate and five screws that did not exceed the physis. Biomechanical tests were performed using a Zwick/RoellAllroundLine 100 kN device.

**Results:** According to the results of one-way analysis of variance, while axial failure burden,  $F=6.819$ ,  $p<.05$ ,  $d=.46$ , and axial stiffness,  $F=3.576$ ,  $p<.05$ ,  $d=.30$ , have been found to be significantly different between the independent treatment groups; axial failure displacement,  $F=.622$ ,  $p>.05$ , and axial failure energy,  $F=.727$ ,  $p>.05$ , have been found not to be significant between the independent groups. The effect sizes of the axial failure load and axial stiffness variables, were 0.46 and 0.30, respectively, suggesting a

moderate clinical effect. Post-hoc LSD test was performed to determine which group is the statistical different in axial failure load and axial stiffness. According to the result of the test, the highest axial failure load was recorded in group 3, while the smallest load was recorded in group 2. Similarly, the axial stiffness level in group 3 was statistically higher than the axial stiffness measurement recorded in group 2,  $p < .05$ .

**Conclusion:**As a result, in this study, the fixation success of 4.5 mm cannulated compression screws with and without penetration, and a 3.5 mm locking screw with and without an anatomical plate applied together with the anatomical plate were compared. According to the findings, it was found that the biomechanical fixation success was the highest with a 3.5 mm proximal femoral anatomical plate, a 3.5 mm locking screw crossing the physis, and five 3.5 mm screws.

**Key words:** Femoral neck fracture, Delbet classification, Axial compression, Physis.

**Page:** 65

**Advisor:** Dr.Öğr. Üyesi Duran TOPAK

## İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY FORMU .....	i
TEŞEKKÜR.....	ii
ÖZET .....	iii
ABSTRACT.....	v
İÇİNDEKİLER .....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	xi
1.GİRİŞ VE AMAÇ.....	1
2. GENEL BİLGİLER .....	4
2.1. Kırık.....	4
2.2. Kırık Sınıflandırılması.....	4
2.3. Kırık İyileşmesi .....	7
2.4. Kırık Onarımı .....	8
2.4.1. Hareketli kırıklarda remodelizasyon .....	8
2.4.2. Stabil kırıklarda remodelizasyon.....	10
2.5. Femur Boyun Anatomisi ve Biyomekanikleri.....	11
2.6. Çocuklarda Femur Boyun Kırıkları.....	12
2.6.1. Delbet sınıflaması.....	13
2.7. Özel Durumlar .....	14
2.7.1. Stres ve patolojik kırıkları .....	14
2.8. Tedavi .....	14
2.8.1. Tip 1 kırık tedavisi .....	15
2.8.2. Tip 2 ve Tip 3 kırıklar .....	15
2.8.3. Tip 4 kırık tedavisi .....	16
2.9. Komplikasyonlar .....	16
2.9.1. Femurbaşı avasküler nekrozu.....	16
2.9.2. Koksa vara.....	18
2.9.3. Kaynama gecikmesi ve kaynamama .....	18
2.9.4. Erken fizis kapanması .....	19
2.9.5. Enfeksiyon.....	19
3. GEREÇ VE YÖNTEM.....	20
3.1. Deney Grupları .....	20
3.2. Deney Prosedürü .....	21

3.3. Biyomekanik Testler .....	26
3.3.1. Statik ve kırma testi uygulaması .....	26
3.4. İstatistiksel Yöntem .....	28
4. BULGULAR.....	29
5. TARTIŞMA .....	35
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	40
7. KAYNAKLAR .....	41
8. ŞEKİLLER VE RESİMLER DİZİNİ .....	49
9. TABLO DİZİNİ.....	50
10. EKLER DİZİNİ .....	51
11. EKLER.....	52
12. ÖZGEÇMİŞ .....	54

## SİMGELER VE KISALTMALAR

<b>ABD</b>	: Aksiyal Başarısızlık Deplasmanı
<b>ABE</b>	: Aksiyal Başarısızlık Enerjisi
<b>ABY</b>	: Aksiyal Başarısızlık Yüğü
<b>ARİF</b>	: Açık Redüksiyon ve İnternal Fiksasyon
<b>AS</b>	: Aksiyal Sertlik
<b>AVN</b>	: Avasküler Nekroz
<b>DSÖ</b>	: Dünya Sağlık Örgütü
<b>KRİF</b>	: Kapalı Redüksiyon ve İnternal Fiksasyon
<b>TYD</b>	: Travma Yaşam Desteği

## 1.GİRİŞ VE AMAÇ

Amerika Birleşik Devletleri'nde yılda 250.000'den fazla kalça kırığı meydana gelmektedir ve bu sayı femur boynu ve intertrokanterik kırıklar arasında eşittir. Bu sayının 2050 (1) yılına kadar iki katına çıkacağı beklenmektedir. Kalça kırıklarının yüzde yetmiş beşi kadınlarda görülmektedir (2). Genç hastalarda görülme oranı çok düşüktür ve esas olarak yüksek enerjili travma ile ilişkilidir. Çoğunlukla, düşük enerjili düşmelerin bir sonucu olarak yaşlılarda (ortalama yaş 72) ortaya çıkar (2). Risk faktörleri arasında kadın cinsiyet, beyaz ırk, artan yaş, kötü sağlık durumu, tütün ve alkol kullanımı, önceki kırık, düşme öyküsü ve düşük östrojen seviyesi sıralanır (3).

Düşük enerjili travma en çok yaşlı hastalarda görülür ve doğrudan veya dolaylı mekanizmalar içerebilir. Doğrudan mekanizmalar büyük trokanter üzerine düşme veya femur boynunu asetabulumun arka dudağına çarpmasıyla alt ekstremitenin zorlu dış rotasyonunu kapsar. Dolaylı mekanizmalar ise, kas kuvvetleri femur boynunun gücünü aştığında ortaya çıkar. Yüksek enerjili travma, motorlu taşıt kazası veya önemli bir yükseklikten düşme gibi genç bireylerdeki çoğu femur boyun kırığından sorumlu olmaktadır. Sporcularda, askerlerde ve bale dansçılarında döngüsel yüklenme-stres kırıkları görülür. Deplase femur boyun kırığı olan hastalar tipik olarak kasık ve uyluk ağrısından şikâyet ederler ve alt ekstremitede kısıalma ve dış rotasyon ile birlikte yürüyemezler. Bununla birlikte, femur boynunda hasar veya stres kırığı olan hastalarda deformite olmayabileceği ve ağırlık taşıyabildikleri raporlanmıştır. Yüksek enerjili travmaya maruz kalan hastalar, standart Travma Yaşam Desteği (TYD) protokollerine tabi tutulmalıdır. Ağrı genellikle bacak açma hareketi girişiminde ve aksiyal kompresyonda ortaya çıkmakta ve kasık palpasyonunda hassasiyet ile kendini göstermektedir. Genellikle yaşlı bireylerde görülen düşük enerjili kırıkta doğru öykü önemlidir. Tüm hastalar, kırıkla ilişkili yaralanmaları değerlendirmek için kapsamlı bir ikincil değerlendirmeye tabi tutulmalıdır.

Pediyatrik kalça kırıkları ilk olarak Delbet tarafından dört tipe ayrılmıştır(4). Diğer faktörlerle birlikte bu sınıflandırma, ameliyatsız ve ameliyatsız tedavi şeklinin belirlenmesine yardımcı olur ve femur başı avasküler nekroz (AVN) riskinin tahmininde kullanılır. Tip I: Transepifizyal ayrılması. Proksimal femur epifizindeki kırıklardır ve proksimal femurun Salter-Harris tip I kırıklarını temsil eder (<%10). Bu grubun alt

tipleri IA (çıkıksız) ve IB'dir (çıkıklı). Tip II: Transservikal kırık. Bu tip, en sık görülen pediatrik kalça kırığıdır (%40-50). Femur boyununun orta kısmından uzanır.

Tip III: Servikotrokanterik kırıktır. Bu kırık femur boyununun tabanında (%25-35) olur. Tip IV: İntertrokanterik kırıktır. Büyük ve küçük trokanterler arasındaki bu kırık, tüm pediatrik kalça kırıklarının %6-15'ini oluşturur ve en iyi sonuç alınan tiptir (5).

Kliniğe getirilen çocuğun, herhangi bir pasif hareketten korktuğu ve aktif olarak hareket edemediği görülür. Pediatrik femur kırıklarında ilk ağrı kesici olarak femoral sinir blokları ve faysa iliaka kompartman bloğu tanımlanmıştır (6). Kırık tanısı ise iki düzlemde grafilerle doğrulanır. Deneyimli bir radyolog, şüpheli vakalarda kırık hattını ve kırık hematomunu tespit edebilir. Yakın zamanda yapılan bir çalışmada, çocuklarda, ipsilateral femur shaft kırıklarına eşlik eden femur boyun kırıklarının değerlendirilmesinde rutin bilgisayarlı tomografi taraması yapmak yoğun radyasyon riski nedeniyle uygun görülmemiştir (7). Ancak, manyetik rezonans görüntüleme, stres kırığını tespit etmek için özel durumlarda kullanılabilir (8).

Çocuklarda görülen femur boyun kırıklarında karşılaşılan en önemli komplikasyon AVN'dir. AVN insidansı; kırık tipi, cerrahinin zamanlaması ve çocuğun yaşından etkilenir (9). Moon ES ve Mehlman CT (10), AVN oranını Delbet tip I'de %38, Delbet tip II'de %28, Delbet tip III'te %18 ve Delbet tip IV'te %5 olarak raporlamıştır. Diğer bir yaygın komplikasyon, femur boynu ile shaftı arasındaki açının azalmasına bağlı olarak ortaya çıkan koksa vara'dır. Koksa vara, boyun-shaft açısı 120°'den az olduğunda ortaya çıkar. Kalça abdüktörünün gücünü azaltabilir ve ekstremiteleri kısaltabilir (11). Tedavi yöntemiyle ilişkili komplikasyonlardan bir diğeri de kaynamamadır. Fiksasyon veya redüksiyonun düzgün yapılmaması, kaynamada bozukluğa yol açar. Erken fiz kapanması ise, fiksasyon için kullanılan araç gereçlerin bir sonucu olabilir (11). Dolayısıyla hem biyomekanik hem de klinik açıdan en verimli implant ve cerrahi yönteminin seçimi, çocuk femur boyun kırık yönetimi için önemlidir. Henüz bir neden sonuç ilişkisi kurulmasına rağmen, kanüllü vida kullanılan çocuklarda, cerrahi sonrası AVN görülme oranı yüksek olduğu görülmüştür(12). Literatürde, mevcut tedavi yöntemlerinin deplase femur boyun kırık tedavilerinde komplikasyon oranını arttırıp arttırmadığı net değildir. Ayrıca, pediatrik femur boyun kırıklarında erişkinden farklı olarak büyüme hatları açıktır. Bu grupta, ortopedik cerrahi girişimin uygulandığı ekstremitede büyüme hattını geçen ve geçmeyen tespit

modellerinden en iyi stabiliteyi oluşturan yöntemi araştıran kontrollü deney bulunmamaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada, taze kuzu femur kemiğinde oluşturulan delbet tip 3 femur boyun kırık modelinde en iyi stabiliteyi sağlayan, ekonomik ve sosyal yan etkileri görece az olan cerrahi uygulamanın belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, iki farklı teknik ve implant kıyaslanmıştır.



## **2. GENEL BİLGİLER**

### **2.1. Kırık**

İskelet-kas sisteminin en önemli ögesi olan kemikler yüksek kuvvet altında bütünlüklerini kaybedebilir. Kemiğin anatomik bütünlüğünün ve korteks devamlılığının bozulmasına “kırık” adı verilir. Söz konusu kuvvet tam kırık oluşturabilecek büyüklükte değilse, bir çatlak oluşur. Bu durum “fissür” adını alır. Kırık oluşumuna sebep olan kuvvetler, kemik doku bütünlüğünü bozmasının yanı sıra kemiğin çevresindeki komşu organlara da zarar verebilir (13, 14).

Kemikte, direkt ve dolaylı kuvvetler kompresyon uygulayarak, rotasyon ile döndürerek, gererek veya makaslayarak kırık oluşturabilir. Kemiğe dışarıdan uygulanan kuvvetler direkt kuvvetlerdir. Bu kuvvetlerin büyüklüğü, uygulanma hızı ve etkileştiği alanın büyüklüğü kırık oluşumu ve oluşan kırık tipi açısından önemli faktörlerdir. Kemik dokusu belirli bir mekanik özelliğe sahip olduğundan, uygulanan kuvvetin yönü ve hızı belirlendiğinde oluşacak kırığın tipi tahmin edilebilir. Örneğin, saf gerilme şeklinde uygulanacak bir kuvvet transvers bir kırığa yol açabilirken, homojen dağılmayan bükme tipi kuvvetler eğik (oblik) kırıklara yol açabilir. Burulma tipi (torsiyonel) kuvvetler ile spiral tipteki kırıklara neden olabilmektedir(14-16).Dolaylı faktörler, kemik yapısının biyomekanik özellikleri bozulmaya başlamadan önce soğurabileceği enerji miktarı (dayanıklılık) ile ilgilidir. Kemik elastik bir yapıda olduğundan, kuvvet yüklenmesinin hızı kemik tarafından soğurabilecek enerji miktarını belirler. Yüksek yüklenme hızlarında daha fazla enerji soğurular ve kemiğin biyomekanik yapısı daha fazla bozulur ve parçalı tipte kemik kırıkları oluşur. Diğer taraftan, düşük yüklenme hızlarında daha az enerji soğurular, bu nedenle daha basit tipte kırık oluşur (14, 17).

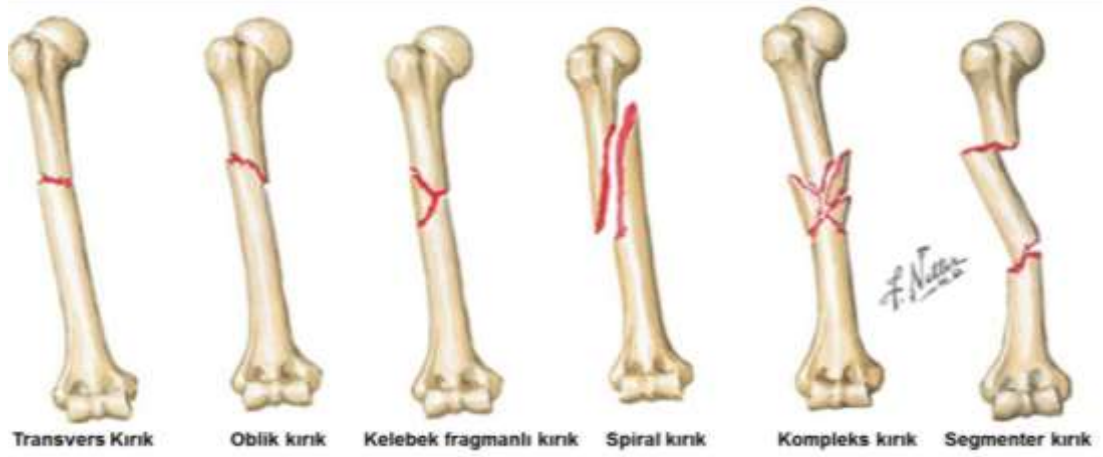
### **2.2. Kırık Sınıflandırılması**

Kırık sınıflandırılması, verilerin kaydedilmesi ve en uygun tedavi sürecinin başlatılması için önemlidir. Kırıklar, farklı şekillerde sınıflandırılabilir. Böylece hekimler arasında hatasız iletişime olanak sağlanır ve doğru sağaltım planlamasına imkân tanır(18, 19).Uzun kemiklerde sınıflandırma yapılırken kırığın anatomik bölgesi, kırık parçalarının dış ortam ile olan ilişkisi ve deri yaralanması dikkate alınmaktadır (19, 20).

Oluşum nedenlerine göre kırıklar üç gruba ayrılmaktadır: Stres kırıkları, patolojik kırıklar ve travmatik kırıklar. Travmatik kırıklar, etkileyen kuvvete göre alt iki gruba daha ayrılır: Direkt kırıklar ve dolaylı kırıklar. Direkt kırıklar travmaya neden olan kuvvetin olduğu bölgede görülürken, dolaylı kırıklarda kırığa neden olan kuvvetlerin kemiğe isabet ettiği noktadan daha uzakta oluşur. Direkt kırıklarda yumuşak doku hasarı dolaylı kırıklara göre daha fazladır. Diğer taraftan, dolaylı kırıklarda uygulanan kuvvet kırığın olduğu noktaya kemik veya kas yoluyla iletilir. Dolayısıyla, dolaylı kırıklarda da kas hasarı görülebilmektedir. Patolojik kırıklarda yüksek kuvvet görülmez. Kemik; metabolik veya dejeneratif bozukluklar, tümör, kalıtsal ve edinsel hastalıklar gibi faktörlerin sebep olduğu kanseröz bir sürece bağlı olarak zayıflar. Bu zayıflamaya bağlı olarak, kas veya kemik doku üzerinde oluşan normal fizyolojik kuvvetle veya önemsiz bir travma ile kemikte kırıklar meydana gelir (13, 16).

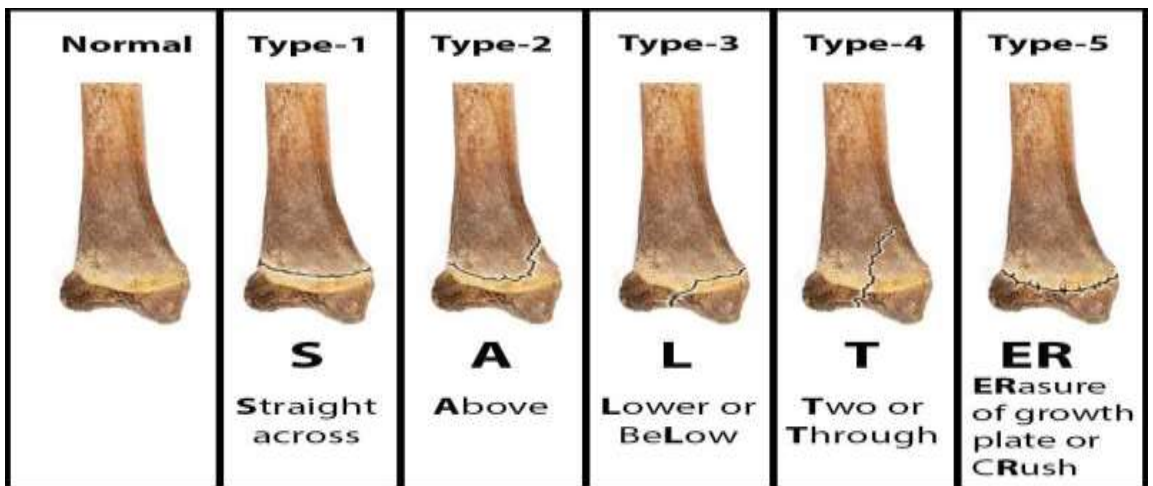
Kırık, derecesine göre ikiye ayrılır: Tam kırık ve tam olmayan kırık. Tam kırık, kemiğin en az iki parçaya ayrılmasıyla sonuçlanır. Kemik bütünlüğü tamamen bozulur ve kırık parçaları birbiri üzerine gelir veya deplase olur. Tam olmayan kırıklarda ise kemik kırıldığı noktadan tam olarak ayrılmaz ve çoğu zaman sadece korteksin yapısında bozulma ile sonuçlanır (20-22). Kırık sayısına göre sınıflandırmada tek bir kırık çizgisi olan kırıklara tekli kırıklar, çoklu kırık çizgisi olanlara parçalı kırıklar, beş veya daha fazla kırık çizgisi olan kırıklar ise çok parçalı kırıklar olarak adlandırılır (23). Söz konusu çizgiler bulunduğu eksene göre, eğri, spiral, transvers ve kopma olarak alt gruplara ayrılmıştır.

Oblik kırıklar kemiğin uzun eksenine  $30^{\circ}$ 'den daha büyük uygulanan kuvvetle oluşurken, transvers kırıklar uzun eksene dik veya  $30^{\circ}$ 'den küçük uygulanan kuvvetle meydana gelir. Transvers kırıklar eğilme ve açılma kuvvetlerinden kaynaklanırken, oblik kırıklar bükülme kuvvetiyle oluşur. Spiral kırıklarda kırık çizgisi spiral görünümündedir, kemiğin kendi ekseninde kuvvetle dönmesi sonucunda oluşur. Şekil 1'de açılanmaya göre kırık tipleri gösterilmektedir(24).



**Şekil 1.** Kırık tipleri.

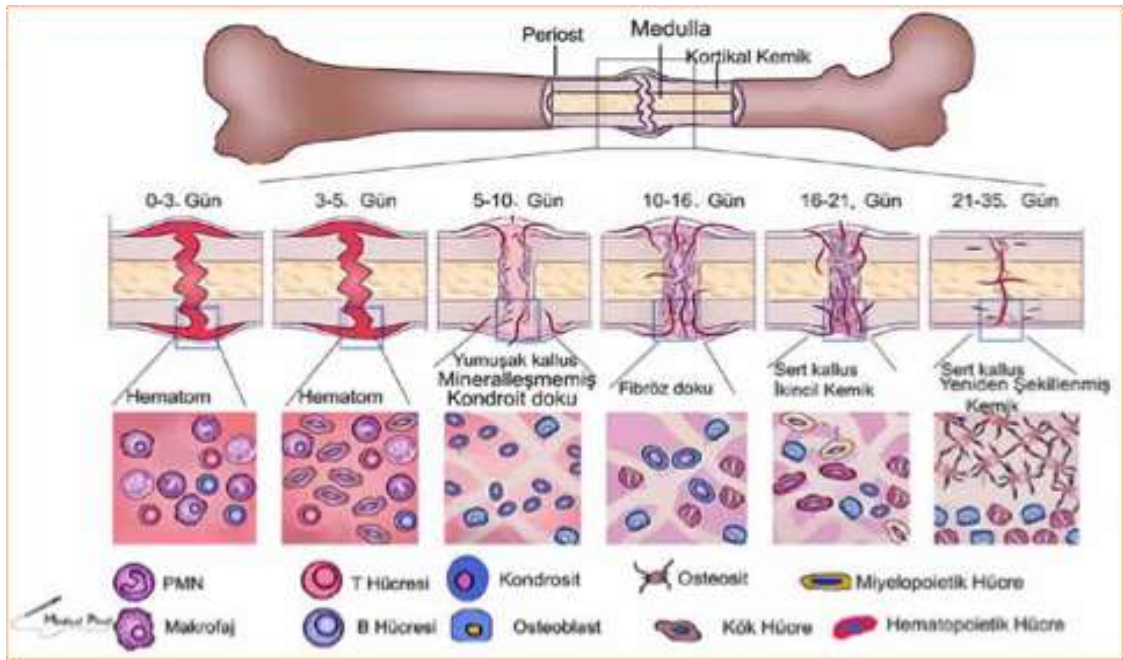
Kopma kırığı ise kemiklere yapışan kas, ligament veya tendon gibi anatomik bağların kemik gövdesinden ayrılması sonucunda meydana gelen kırıklardır (13, 18). Bunun yanında, kırık kemikteki anatomik lokalizasyonuna göre de sınıflandırılır. Buna göre, suprakondiler, epifizler ve diyafizer kırık olmak üzere üç tip kırık bulunur. Diğer taraftan, epifizler kırıkları kırık çizgisinin konumunu tanımlayan Salter-Harris kırık şemasına göre sınıflandırılır. Salter-Harris tip kırıkları beşe ayrılır. Tip I’de kırık epifiz büyüme plağına yerleşir, tip II’de fizis ve metafizin bir kısmından geçer, tip III’de kırıklar eklem yüzeyinden başlar ve büyüme plağına uzanır, tip IV’de eklem yüzeyinden metafize geçen kırık hattı görülür ve tip V’de büyüme plağı hasarı ve erken kapanma görülür. Germinal hücrelerdeki geri dönüşümsüz hasar ile endemiktir (Şekil 2)(25).



**Şekil 2.** Salter-Harris kırık tipleri.

### 2.3. Kırık İyileşmesi

Kırık iyileşmesi, karmaşık bir biyolojik süreç olup; enflamasyon, onarım ve remodalizasyon olmak üzere üç aşamadan oluşur. Bu süreç içerisinde, kırılan kalsifiye kemik dokusunun bütünlüğü osteoblast ve osteoklast hücre aktiviteleri ile yeniden oluşturulur. Kırığıngerçekleştiği andan itibaren başlayan kırık iyileşmesinin evreleri histolojik olarak kesin sınırlar ile birbirinden ayrılamaz (Şekil 3 - (26))(27-30).



Şekil 3. Sekonder kırık iyileşmesinin aşamaları.

Kemik kırıklarında meydana gelen ilk yanıt, tüm doku travmalarında olduğu gibi “enflamasyon” dur. Kırık oluşmasına sebep olan travma, yalnızca kemik dokuda değil aynı zamanda bölgesel kan damarları ve kasları da içeren çevrede hasar oluşturur. Kırık bölgesinde oluşan olası kanamanın durmasını ve pıhtılaşmasını sağlamak için, trombotik faktörler travma bölgesine toplanırlar. Kemik kan damarlarında meydana gelen hasar osteosit beslenmesini bozar ve kırık uçlarını cansız hücrelere bırakırlar(14, 31, 32).

Travmayı takip eden süreçte, trombositlerden ve hasar gören hücrelerden salınan enflamasyon başlatıcı düzenleyiciler, kan damarlarını genişleterek plazmanın doku boşluğuna geçişine neden olur, böylece taze kırık bölgesinde klinik ödem görülür. Kırık bölgesine, enflamatuvar yanıt başlatan hücrelerden çok şekilli nükleer lökositler, doku makrofajları ve lenfositler yayılır. Bu hücreler enflamasyon döngüsünü başlatmanın yanında, anjiyogenezden sorumlu sitokinler salgılar. Enflamatuvar yanıt hafifleyince nekrotik doku ve doku boşluğunda biriken plazma, lenf ve dolaşım sistemleri tarafından absorbe edilir. Sonrasında, fibroblast ve kondrositler ortaya çıkarak yeni matriks yapımı ile kırık kallusunu oluşturmaya başlar (26). Kırık sağaltımında amaç; etkilenen kemik ve çevresindeki yumuşak dokunun işlevini yeniden kazandırmak, hastanın iyileşme sürecini hızlandırmak ve kozmetik olarak kabul edilebilir bir görünüş elde etmektir (33).

## **2.4. Kırık Onarımı**

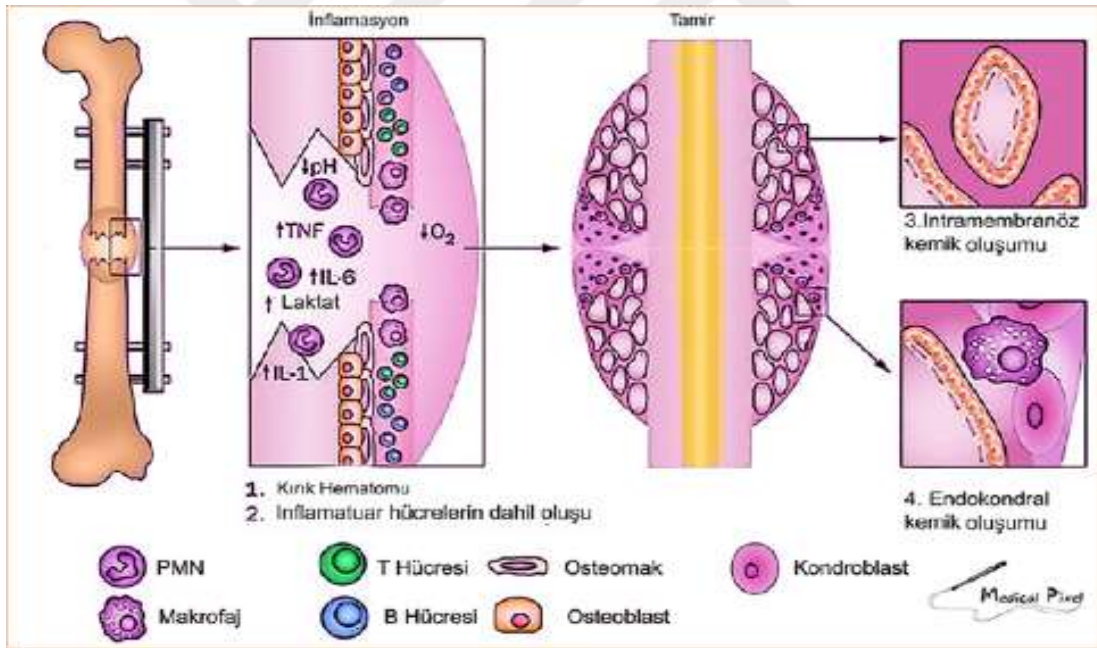
### **2.4.1. Hareketli kırıklarda remodelizasyon**

Kırık hattında yeterli redüksiyonun sağlanıp, kırık fragmanlarının tespit edilemediği durumlarda dolaylı veya sekonder kırık iyileşmesi gerçekleşir. Sekonder kırık iyileşmesinde primer kırık iyileşmesinden farklı olarak kallus formasyonu görülmektedir(33, 34). Yaralanma sırasında kemik ve çevre dokulardaki kan damarları hasar göerek kanın kırık bölgesine sızmasına yol açar, böylelikle kırık bölgesinde hematoma oluşur. Bu hematoma organizasyonu kırık onarımında ilk basamak olarak kabul edilir.

Kırık hematoma, sekonder kırık iyileşmesi için önemlidir, ancak kırık iyileşmesine etkisi henüz belirsizliğini korumaktadır. Mevcut görüşlere göre, kırık bölgesinde oluşan hematoma onarım hücrelerinin göçünü kolaylaştırıcı bir fibrin yapı iskeleti sağlamaktadır. Hematom bölgesindeki trombosit ve diğer hücrelerin salgıladığı paratiroid ve transforming büyüme faktörleri onarım sürecindeki kritik süreçleri yönetirler. Bunlar, hücre göçü ve çoğalmasını, doku onarım matriksinin sentezini de içermektedir. İlginç bir biçimde, kırık hematoma kaybı kırık iyileşmesini zayıflatmaktadır. Bu durum açık kırıklarda veya açık redüksiyon ile yapılan tedavi şekillerinde açıkça görülür. Açık bölgeden dışarıya boşalan hematoma, iyileşmeyi geciktirir veya hiç başlatmaz(33, 35, 36). Etkilenen ekstremitenin kanlanması vazodilatasyona bağlı olarak kısa süre sonra artsa da, kırık bölgesinde vasküler

proliferasyon görülmektedir. Normalde, kemik iyileşmesinin erken döneminde periostal damarlar kılcal damar filizlerinin oluşmasına daha çok katkıda bulunurken, sürecin sonraki aşamalarında besleyici meduller arter daha fazla önem kazanmaktadır (36).

Kırık bölgesinde kemik uçlarına kan akışı bozulur ve kemik rezorbe olmaya başlar. Bu durum bazı kırıklarda radyografik olarak tespit edilebilen boşluklar oluşturabilir. Bu boşluk kemiği rezorbe eden osteoklastlar tarafından oluşturulur. Osteoklastlar, kemik iliğinden köken alan monosit öncü hücre hattının devamında oluşurken, osteoblastlar kırık bölgesine göç eden mezenkimal hücrelerden oluşur (14).Öncelikli olarak, kırık bölgesindeki mezenkimal hücreler çoğalır, farklılaşır ve kırık kallusunu oluşturur. Kırık kallusu, kırık bölgesini doldurup etrafını çevreler, iyileşmenin erken evrelerinde sert ya da kemik kallusa dönüşebildiği gibi daha yumuşak olan fibröz ya da kırıkta kallusa dönüşebilir. Yumuşak kallus kırıkta ve fibröz dokudan oluşur ve düşük oksijen basıncına sahip kemiğin orta bölümlerinde bulunur. Diğer taraftan sert kallus periferdeki intramembranöz kemiktir (Şekil 4) (14).



**Şekil 4.** Kırık kallus ile intramembranöz ve endokondral kemikleşme.

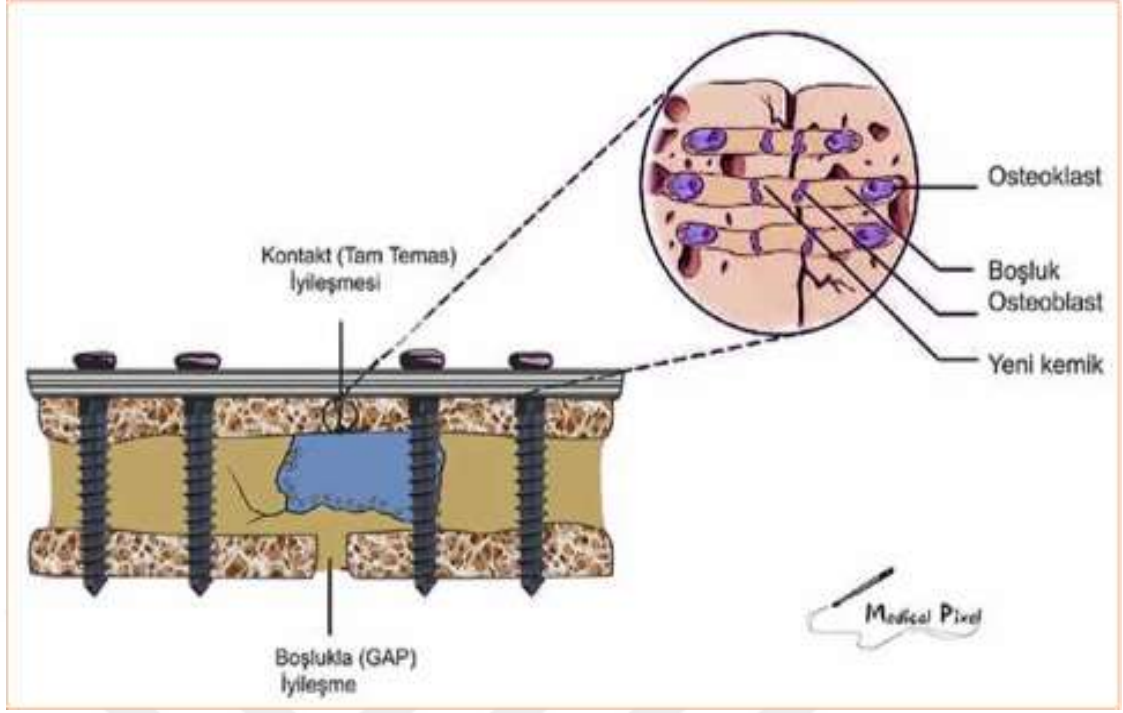
Kırık kallusu iyileştikçe mineralizasyon artar ve örgülü kemik içeren kallus kitlesi kemik uçlarını kaplamaya başlar. Artan mineral içeriğiyle korele olarak kemik sertliğinde artış görülür. Kırık parçalarının stabilitesi, iç ve dış kallus oluşumu ve sonuçta kırık bölgesinin hareketsiz duruma gelmesi ile klinik kaynama meydana gelir. Radyolojik kaynama ise genellikle klinik kaynamadan sonra görülür. Radyolojik

belirteç, düz radyografide kemik trabeküllerinin ya da kortikal kemiğin kırık bölgesini köprülemesidir. Bununla birlikte, bu dönemde iyileşme süreci henüz tamamlanmamıştır, çünkü olgunlaşmamış kırık kallusu, normal kemikten daha zayıftır ve tam dayanma gücüne ancak remodelizasyon dönemi boyunca ulaşabilir(26).Onarımın son evrelerinde, lamellar kemik ve istenmeyen kallusun rezorbsiyonu ile örgümsü kemik, tamir dokusu ile yer değiştirerek remodelizasyon başlar.

#### **2.4.2. Stabil kırıklarda remodelizasyon**

Kırık uçları, birbirleriyle temas halinde fikse edildiğinde, kallus oluşumu görülmeden kemikte kaynama gerçekleşir. Söz konusu bu kaynamanın gerçekleşmesi için kırık hareketinin engellendiği mekanize stabil bir ortam ve kırıklar arası yaklaşık 150-300 µm'lık çok küçük bir aralık olması gerekmektedir. Bu tip kırık iyileşmelere primer kırık iyileşmesi denir. Bu süreç içerisinde gözle görülebilen bir kallus değişimi veya oluşumu olmadan meydana gelir (14, 26).

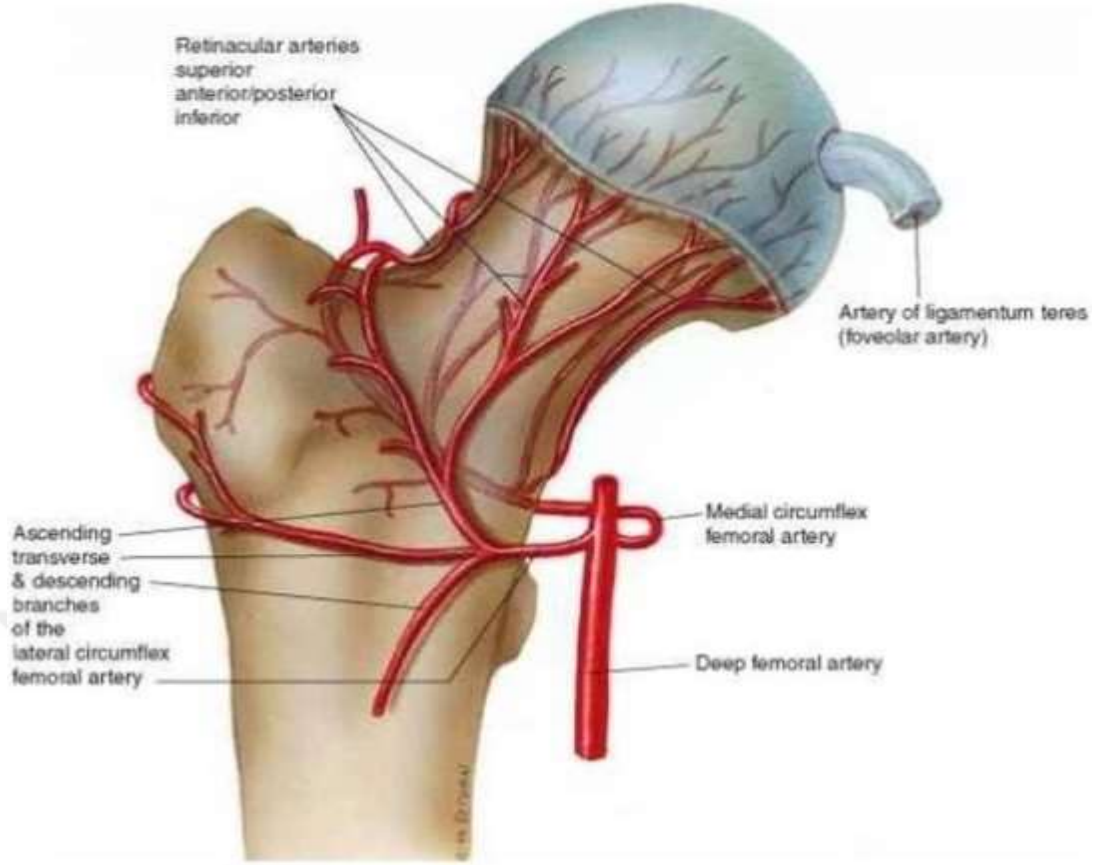
Kırık uçlarının fikse edildiği birçok kırıkta, kemik uçlarının temasta olduğu bölgelerin yanısıra diğer küçük boşlukların bulunduğu başka alanlar da vardır. Bu alanlarda iyileşme eş zamanlı olarak meydana gelir. Kemik uçlarında lameller kemik kırık çizgisi üzerinde osteon uzaması ile doğrudan oluşabilir. Bu temas iyileşmesinde, osteoklastlar kırık hattını boydan boya geçer ve beraberinde osteoblastlar yeni kemiği oluştururlar. Osteoblastlar ise kan damarları için güçlü uyaranlar salgılar. Oluşan yeni kan damarları ve kemik matriksi haversian sistemlerini oluşturur. Bununla birlikte, osteonların kırık bölge boyunca uzayarak yeni kemik oluşumunu önleyen boşluklar bulunursa, osteoblastlar öncelikle bu boşlukları örgülü kemik üreterek doldurur ve daha sonra haversian remodelizasyonu başlar. Böylelikle normal kortikal kemik yapısı oluşur.Osteoblastlar, osteoklastlar ve kan damarları kolonileri, kırık bölgesinde kallus oluşmadan kan akışını yeniden sağlayıp lameller kemiği oluşturarak kırık boşluğundaki örgülü kemiğin içinden ilerlerler. Bu iyileşme ise boşluk iyileşmesi olarak tanımlanır. Eğer kortikal kemikte nekrotik alanlar varsa, osteonların doğrudan uzantıları tarafından iyileştirilen boşluk daha yavaş iyileşir (18) ve nekrotik alanlar remodelize olmadan uzunca bir süre kemik içerisinde kalabilir (şekil 5) (26).



Şekil 5. Tespit edilen kırıklarda boşluk ve tam temas tipte primer kırık iyileşmesi.

## 2.5. Femur Boyun Anatomisi ve Biyomekanikleri

Geniş bir değişkenlik olmasına rağmen, ortalama femur boynu şaft açısı  $127^\circ$ 'dir ve ortalama femur boynu anteversiyonu  $13^\circ$ 'dir (37, 38). Femur başına birincil kan beslemesi, mediyal femoral sirkumfleks arterin derin dalı ile olur (39). Önde lateral femoral sirkumfleks arter dalları ve obturator arter dalları ile anastomoz yapar. Üst ve alt gluteal arterler ve internal pudendal arter ile ek anastomozlar oluşur (Şekil 6)(40). Femur boyunda tensil ve kompresif trabeküller bulunur. Bu trabeküllerin kesişim noktasına Ward üçgeni adı verilir. Bu üçgenin superiorunu tensil lifler, inferomedialini kompresif lifler oluşturur. Bu bölge düşük trabeküler yoğunluklu bir bölgedir (41). Yapılan son çalışmalarda bu bölgedeki trabekül dejenerasyonunun femur boyun kırıklarıyla ilişkili olduğu, Ward üçgenindeki genişlemenin intertrokanterik kırıklarla ilişkili olduğu gösterilmiştir (41).



**Şekil 6.** Femur üst uç vasküler anatomisi.

Yerçekimi ve kalça abdükör kuvvet vektörleri, femur boynuna etki eden iki baskın kuvvet ile sonuçlanır. Femur'un uzun eksenine paralel olan kuvvet, uzun düzlem boyunca kayma gerilimi yaratır. Diğer kuvvet ise femur boyununun uzun eksenine paraleldir (42). Amerika Birleşik Devletleri'nde yılda 250.000'den fazla kalça kırığı meydana gelmektedir ve bu sayı femur boynu ve intertrokanterik kırıklar arasında eşit olarak bölünür. Bu sayının 2050(1) yılına kadar iki katına çıkacağı tahmin edilmektedir. Kalça kırıklarının yüzde yetmiş beşi kadınlarda görülmektedir(2). Genç hastalarda görülme oranı çok düşüktür ve esas olarak yüksek enerjili travma ile ilişkilidir.

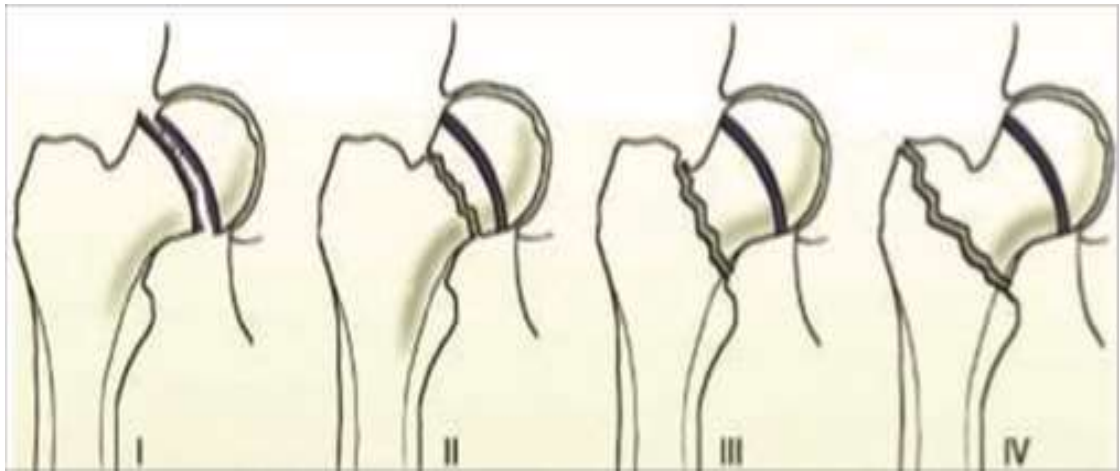
## **2.6. Çocuklarda Femur Boyun Kırıkları**

Çocuklarda femur boyun kırıkları nadir görülen yaralanmalardır. Çocuklardaki tüm kırıkların %1'den azını oluşturur(43). Çoğu kırık motorlu araç kazaları ve yüksekten düşmeye bağlı yüksek enerjili travmalar nedeniyle oluşur. Hindistan'da yayınlanan iki çalışmada, dünyanın diğer bölgelerinde yapılan çalışmalarla kıyaslandığında, yüksekten düşme önemli bir neden olarak öne çıkmaktadır(44). Patolojik kırıklar yüksek enerjili

travma ve nadiren koşmak ve zıplamak gibi tekrarlayan aktivitelerinyol açtığı stres kırıkları nedeniyle oluşabilir. Nadir görölen bir kırık olmasına rağmen, çocuklarda zayıf kanlanma ve kemik anatomisi nedeniyle uzun süreli komplikasyonlar ve morbidite ile ilişkilidir. Rapor edilen AVN oranları %0 ile %92 arasında değişmektedir(10). Çocuklarda femur boyun kırıklarının tedavisi zordur ve komplikasyon olarak büyüme anormallikleri, kaynamama, AVN ve koksa vara ortaya çıkabilir.

### **2.6.1. Delbet sınıflaması**

Pediyatrik kalça kırıkları ilk olarak Delbet tarafından dört tipe ayrılabilir (Şekil 7) (4). Diğer faktörlerle birlikte bu sınıflandırma, ameliyatlı ve ameliyatsız tedavi şeklinin belirlenmesine yardımcı olur ve femur başı AVN riskinin tahmininde kullanılır. Tip I: Transepifizyal ayrılma. Proksimal femur epifizindeki kırıklardır ve proksimal femurun Salter-Harris tip I kırıklarını temsil eder (<%10). Bu grubun Alt tipleri IA (çıkıksız) ve IB'dir (çıkıklı). Tip II: Transservikal kırık. Bu tip, en sık görölen pediyatrik kalça kırığıdır (%40-50). Femur boynunun orta kısmından uzanır. Tip III: Servikotrokanterik kırık. Bu kırık femur boynunun tabanında (%25-35) olur. Tip IV: İntertrokanterik kırık. Büyük ve küçük trokanterler arasındaki bu kırık, tüm pediyatrik kalça kırıklarının %6-15'ini oluşturur ve en iyi sonuç alınan tiptir (5).



**Şekil 7.** Delbet sınıflaması.

Kliniğe getirilen çocuğun, herhangi bir pasif hareketten korktuğu ve aktif olarak hareket edemediği görölr. Pediyatrik femur kırıklarında ilk ağrı kesici olarak femoral sinir blokları ve faysa bloğu tanımlanmıştır(6). Kırık tanısı ise iki düzlemde grafilerle doğrulanır. Deneyimli bir radyolog, şüpheli vakalarda kırık hattını ve kırık hematomunu

tespit edebilir. Yakın zamanda yapılan bir çalışmada, çocuklarda, ipsilateral femur şaft kırıklarına eşlik eden femur boyun kırıklarının değerlendirilmesinde rutin bilgisayarlı tomografi taraması yapmak yoğun radyasyon riski nedeniyle uygun görülmemiştir(7). Manyetik rezonans görüntüleme, stres kırığını tespit etmek için özel durumlarda kullanılabilir (8).

## **2.7. Özel Durumlar**

### **2.7.1. Stres ve patolojik kırıkları**

Femur boynundaki stres kırıklarını, hem nadir görülmesi hem de kas gerginliği, geçici sinovit, Perthes hastalığı ve displazi görülmesi nedeniyle çocuklarda teşhis etmek zor olabilir(45). Bulgular belirsiz olabilir ve düz radyografide tanı koymak zordur. Sıklıkla kemik ödemi oluşturan gizli lezyonları saptamak için MRG gerekir. Spesifik olarak, “kadın atlet triadı” (yeme bozukluğu, amenore ve azalmış kemik mineral yoğunluğu) olan hastalarda, bu yaralanmayı gözden kaçırmamak için kapsamlı bir inceleme yapılmalıdır (8).

Patolojik kırıklar, nispeten minör travma ve düşük enerjinin neden olduğu kırık türleridir. Bu tip kırıklar; kist, kullanmama osteopenisi gibi patolojik bir durumun veya nadiren Sjogren Larsson sendromu gibi kalıtsal bir nöro-kutanöz hastalığın göstergesi olabilir(46). Pediatrik ortopedi cerrahlarının sık karşılaştığı bir sorun olup, komplikasyon riski ve uzun kaynama süresi bakımından risk oluşturmaktadır.

## **2.8. Tedavi**

Cerrahi tekniklerdeki ilerlemeler ve daha enerjik tedaviler çocuklardaki kalça kırıklarının da daha iyi sonuçlar alınabilmesini sağlamıştır.

Tedaviye başlamadan önce göz önünde bulundurulması gereken en önemli faktörler; çocuğun yaşı, kalça kırığının tipi, kırık deplasmanının miktarı ve kırık hattının açısıdır. Deplase bir tip 1 veya tip 2 kırığı olan büyük çocuklara nazaran deplase kırık veya tip 3 veya tip 4 kırık olan küçük çocuklarda (<8 yaş) sonuçlar daha iyidir (47).

Çocuklarda kalça kırıklarının tedavi amacı, anatomik redüksiyon elde etmek, redüksiyonu devam ettirmek ve tam kırık iyileşmesine imkân tanımak için kırık fragmanlarının stabilitesini sağlamaktır. Genel olarak bu amaçlar en iyi,

ameliyathanede floroskopi kontrolü altında yapılan kırık redüksiyonu ve rijid internal fiksasyon ile sağlanabilir.

Ekstremiteyi tespit etmek ve tam ve solid kırık iyileşmesine imkân tanımak için çocuklardaki kalça kırıklarının çoğunda internal fiksasyona ek olarak pelvipedal alçıda uygulanmalıdır. Pelvipedal alçı küçük çocuklarda minimal deplase servikotrokanterik ve intertrokanterik kırıklarda ve femur boynu stres kırıklarında kesin tedavi olarak da kullanılır.

### **2.8.1. Tip 1 kırık tedavisi**

Minimal deplase Delbet tip 1 kırıkların tedavisinde kapalı redüksiyon kullanılabilir ve 2 yaş altındaki çocuklarda immobilizasyon için postoperatif dönemde pelvipedal alçı uygulanabilir. 2-9 yaş arası hastalarda iki adet düz kirschner teli ile kırık stabilizasyonunda kullanılabilir ve ameliyat sonrası süreçte pelvipedal alçı ile immobilize edilmelidir. 10 yaş ve üzerindeki hastalardaki kırık fiksasyonunda transfizyal kırık fiksasyonu önerilmektedir. Kalça çıkığı ile beraber olan kırıklarda açık redüksiyon internal fiksasyon gereklidir. İnsizyonun yeri direkt anterior, posterior ,çıkığın yönü ve cerrahın tecrübesine bağlıdır(48).

### **2.8.2. Tip 2 ve Tip 3 kırıklar**

Deplase boyun kırıkları geç komplikasyonların önlenmesi amacıyla her zaman anatomik redüksiyon ve internal tespit ile tedavi edilmelidir. İki büyük prospektif çalışmada, internal tespit yapılmadan alçı ile immobilize edilen deplase kırıklarda, koksa vara ve kaynamama oranlarını yüksek oranda rapor etmişlerdir(49). Anatomik kapalı veya açık redüksiyonu takiben internal tespit yapılanlarda ise bu iki komplikasyon çok daha az görülür(50). Birçok yazar deplase olmamış femur boyun kırıklarında internal tespit önerir(51) çünkü özellikle küçük çocuklarda geç dönemde deplasmanın yol açacağı zarar her zaman internal tespitin vereceği zarardan fazladır. Beş yaşın altında deplase olmamış tip 2 kırıklarda pelvipedal alçı ve yakın takip uygulanabilir(52), ancak tespit tercih edilmelidir. Tespit sonrasında varus deplasman açısından yakın takip gerektirmektedir.

Deplase kırıklarda longitudinal traksiyon, abduksiyon ve iç rotasyon uygulanarak kapalı redüksiyon denenebilir. Deplase kırıklar için sıklıkla açık redüksiyon gerekir ve Watson- Jones yaklaşımı ile yapılmalıdır. Kanüllü vidalar ile

internal tespit küçük lateral bir cilt kesisinden yapılır. Bir vida aşağıda kalkara paralel konurken, iki vida bunun üstüne mümkün olduğunca aralıklı olacak şekilde yerleştirilmelidir (53). Çocuklarda ince femur boynu olduğu için iki vida da kullanılabilir. Subtrokanterik bölgede matkap deliklerinin geniş olmaması bu bölgede kırık riskinin azaltılması açısından önemlidir. Tip 3 kırıklarda tespit için büyüme plağını geçmek gerekiyor ise bundan kaçınılmamalıdır. Erken büyüme durması ve trokanterik aşırı büyüme riski, kaynamama, pin kırılması ve osteonekroz riski ile karşılaştırıldığında çok azdır. Kırığın düzgün tedavisi önceliklidir, büyüme durması ve uzunluk farkı gibi komplikasyonlar ise sonradan düşünülür.

Deplase olmamış tip 3 kırıklarda abduksiyonda pelvipedal alçı ve yakın takip ile yeterli tedavi mümkün olabilir. Genellikle tip 3 kırıklarda tespitin büyüme plağını geçmesi gerekmez. Distal servikotrokanterik kırıklarda 5 yaşın üzerinde çocuklarda, daha sağlam tespit amacıyla pediatrik kayan kalça çivileri kullanılabilir. Cerrahi sırasında eklem kapsülünün açılması veya eklem içindeki kanın aspire edilmesi düşünülmelidir. Büyük koopere çocuklar hariç pelvipedal alçı rutin uygulanır(54). Kırık kaynamasından 6-12 ay sonra implant çıkarılabilir.

### **2.8.3. Tip 4 kırık tedavisi**

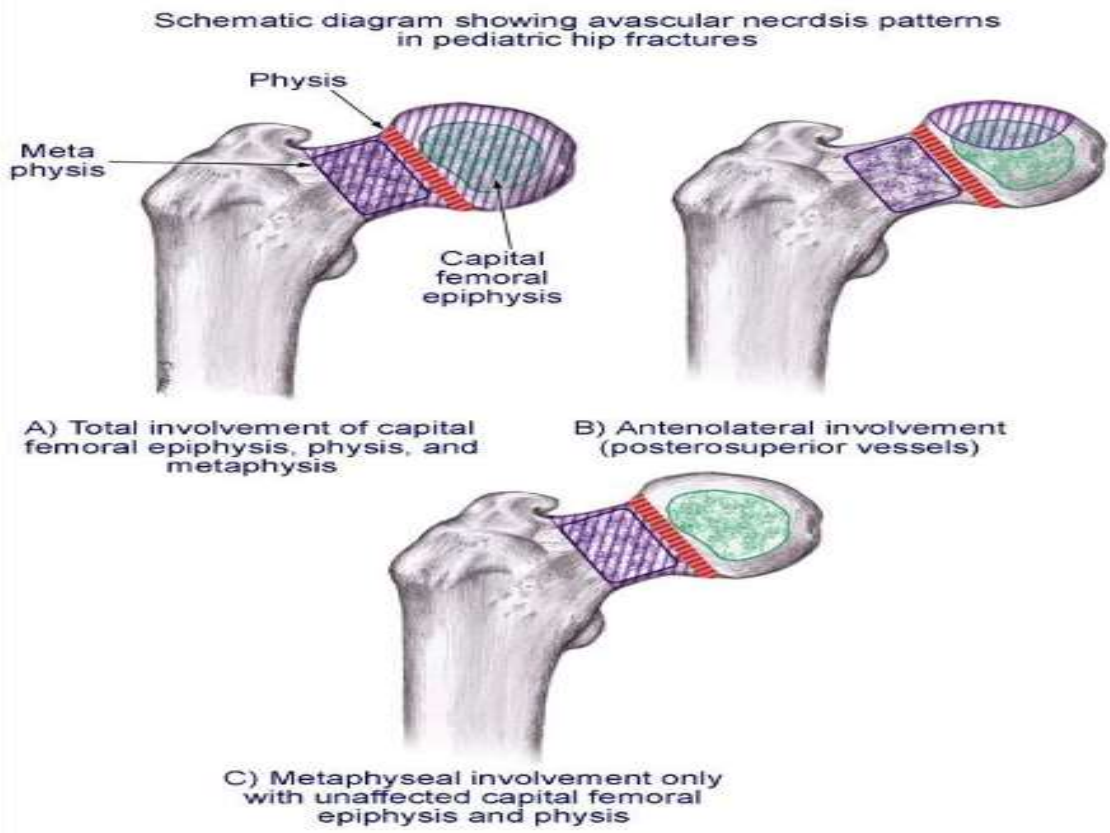
Deplasmandan bağımsız olarak kapalı redüksiyon sonuçları tatmin edilebilir. Traksiyon ve alçı immobilizasyonu etkilidir. Politravma hastalarında veya yeterli redüksiyon sağlanmıyorsa internal tespit gerekir. Koltuk değneği kullanılabilecek kadar büyük çocuklarda veya çoklu yaralanması olanlarda açık redüksiyon internal tespit gerekir. Bu amaçla pediatrik kalça çivisi en sağlam tespittir.

## **2.9. Komplikasyonlar**

### **2.9.1. Femurbaşı avasküler nekrozu**

En sık görülen komplikasyon femur başı AVN (%20-30)'dir. Tip 1b, Tip 2 ve Tip 3'de AVN gelişme riski daha yüksektir. Canale ve Bourland AVN riskinin Tip 1'de %100, Tip 2'de % 90, Tip 3'de % 27, Tip 4'de %14 olduğunu bildirmişlerdir(49).Kırık oluşmasıyla damarlanmanın hasar görmesinin yanı sıra, kırık hematomu ve yer değiştirmiş kırık hattının bası yoluyla kanlanmayı engellemesinin de yer aldığı ifade edilmektedir. Moon ve ark. ayrılmış kırıkların % 26'sında,ayrışmamış kırıkların % 5'inde AVN olduğunu bildirmişlerdir(10).Bu ayrışmamış kırıklarda % 5 olarak tespit

edildiğinden kırık ayrışma miktarının istatistiksel olarak anlamlı şekilde AVN ile bağlantılı olduğunu ileri sürülmüştür. Ancak bu teori ayrışmamış kırıklarda görülen AVN olgularını açıklamamaktadır. Başlangıçtaki kırık ayrışması AVN gelişmesi açısından neden kabul edilse de kırık kemik keskin uç veya parçalarının eklem kapsülünü delip, hematoma boşaltarak eklem kapsülü içindeki basıncı azaltabileceği de ileri sürülmüştür(55). Tip 4’de az görülme nedeni Tip 4 kırıkların eklem kapsülü dışında bulunması olarak ileri sürülmüştür(56). AVN gelişmesinde kırık yerleşimi ve ayrışma miktarı yanı sıra yaralanma sırasında olguların yaşı da femur başı beslenmesinin tekrar kazanılması ve yeniden şekillenmesi açısından önemlidir(12). Çocuk yaşı arttıkça AVN gelişme olasılığının arttığı bildirilmiştir. Pforringer ve Rosemeyer femur boyun kırığı sonrasında AVN gelişme oranını çocuklarda % 19, adolesan çağda % 30 olarak bildirmişlerdir. Ratliff femur başı AVN’ unu üç tip altında sınıflamıştır(57). Tip 1: Bütün baş tutulmuştur. Tip 2: Başın bir kısmı tutulmuştur. Tip 3: Kırık hattından fiz’e kadar tutulma vardır(Şekil 8) (58).



**Şekil 8.** Proksimal Femur Avasküler Nekroz Sınıflandırılması.

### **2.9.2. Koksa vara**

Koksa vara dört ana nedene bağılı olabilir: kırığın varus pozisyonunda kaldığı yetersiz redüksiyon; genelde yalnızca eksternal tespit kullanıldığında yetersiz kırık stabilizasyonuna bağılı redüksiyon kaybı; geç kaynama veya kaynamamaya bağılı varus deformitesi gelişimi ve proksimal femur fizin erken kapanması sonrasında trokanter majörün aşırı büyümesidir. Uygulanan tedavi tipine bağılı olarak olguların %10-32' sinde oluşur(59).Koksa vara deformitesinin önlenmesi için en iyi yol, anatomik redüksiyon ve rijid internal fiksasyon sonrasında çoğu olguda eksternal tespittir. Doğumda 135° olan femur boyun-cisim açısı 1-3 yaşlarda 145°, iskelet olgunlaşınca ise 130° olur. Femur başı anteversiyonu yeni doğanda 30° iken zamanla 10,4°' ye düşer.

Kapalı redüksiyon ve abduksiyon alçısı ile eksternal tespit uygulanan olgularda koksa vara görülme sıklığı en yüksektir; bunun da en sık nedeni redüksiyon kaybıdır. Kapalı redüksiyon ve internal fiksasyon da koksa varaya yol açabilmekle beraber, kapalı redüksiyon ve alçı ile tedavi edilen hastalarla karşılaştırıldığında, varus deformitesi daha az olma eğilimindedir. Canale ve Bourland, 13 hastada koksa vara bildirmiştir(60).

### **2.9.3. Kaynama gecikmesi ve kaynamama**

Kaynamama görülme sıklığı %6,5-12,5 oranında değişmektedir ve tedavi yöntemi ile ilişkili görünmektedir (60). Hastaların büyük kısmının eksternal tespit ile tedavi edilmiş olduğu çalışmalarda (53) internal fiksasyon kullanılan daha yeni çalışmalara (60) göre daha yüksek oranlarda kaynamama bildirilmiştir. Kaynamamaya neden olabilen diğer faktörler arasında, kötü redüksiyon, internal fiksasyon sırasında kırık fragmanlarının distraksiyonu ve Pauwels açısının 60 dereceden fazla olması sayılabilir. Kaynamama koksa varaya yol açabilir ve AVN ve erken fiz kapanması gibi diğer komplikasyonlara yatkınlık yaratıp sonunda kötü sonuçlara neden olabilir. Bu nedenle anatomik redüksiyon, rijid internal fiksasyon ve eksternal tespit yapılarak önlem alınması önem taşır.

Daha başka komplikasyonlara neden olmasını önlemek için kaynamama tanısı konduğunda hemen tedaviye başlanmalıdır. On yaşından küçük çocuklarda kırık bölgesinde kompresyon sağlamak için çekirme tipi vidalarla rijid internal fiksasyonu ve otojen kemik greftlemesi yapılmalıdır.

#### **2.9.4. Erken fizis kapanması**

Erken fiz kapanmasının bildirilen görülme sıklığı % 10- 62 arasında değişmektedir(61). Erken kapanmaya katkıda bulunan faktörler arasında yaralanma sırasındaki deplasman miktarı (fazla deplasman potansiyel olarak fize daha fazla hasar verir ve redüksiyon için daha fazla manipülasyon gerektirir), AVN gelişimi ve internal tespit materyallerinin fizi geçmesi sayılabilir. Çoğu erken fiz kapanması olgusunda eşlik eden femur başı AVN 'u da vardır. AVN sonucundaki kollapsın da erken fiz kapanmasına yol açabilmesine rağmen, bu kırıkların yaralanma sırasında hem AVN' a yol açacak şekilde epifizin, hem de fizin kapanmasına yol açacak şekilde fizin kan damarlarını zedeleyecek şekilde deplase olma olasılığı daha yüksektir. Rattlif(58), erken fiz kapanması olan 9 hastanın 8'inde AVN' un da eşlik ettiğini bildirirken Heiser ve Oppenheim 9 olgunun 5'inde AVN bildirmiştir(62).

Erken fiz kapanmasını önlemek için deplase tip 1 kalça kırıklarında fizde daha fazla yaralanmayı önlemek için nazik bir kapalı redüksiyon uygulanmalıdır. Daha sonra, yivleri fizi geçmeyecek şekilde, küçük çocuklarda yivli k telleri, büyük çocuklarda ise kanüllü vidalarla tespit yapılmalıdır. Diğer tüm kırıklarda internal fiksasyon materyalleri kırık stabilitesini bozulmadığı sürece fizden kısa tutulmalıdır.

#### **2.9.5. Enfeksiyon**

Kalça kırığı sonrasında çocuklarda ve adolesanlarda enfeksiyon nispeten nadirdir; bildirilen görülme sıklığı yaklaşık %1' dir(58, 60). Enfeksiyon genelde AVN ile birlikte ve ağrı ve deformite nedeniyle sonuçlar genellikle kötüdür. Tedavi makroskopik enfeksiyon temizlenene dek kalça eklemine debritleme, ardından intravenöz antibiyotik kullanımından ibarettir. İntravenöz antibiyotik uygulama süresi etken organizmanın virulansına ve hastanın klinik seyrine bağlıdır. Genellikle 2-3 hafta intravenöz antibiyotik ve ardından 2-3 hafta oral antibiyotik organizmaları eradike etmekle birlikte metisiline dirençli Staphylococcus aureus için 6-8 hafta vankomisin tedavisi gerekir.

### 3. GEREÇ VE YÖNTEM

KSÜ Tıp Fakültesi Hayvan Deneyleleri Yerel Etik Kurulundan bu çalışma için onay alındıktan sonra, ÜSKİM laboratuvarında çalışmaya başlandı (Başvuru tarihi: 15.02.2021 Protokol No: 03 Oturum No: 2021-01 Karar No: 03 Tarih: 03.03.2021). Çalışmamızda, Yenice bizim et ürünleri kombinasyonu şubesinde elde edilen, 6 aylık Ovis aries türünden ivesi cinsi aynı çiftlikte yetişen erkek 28 adet sağ- sol taze femur kemiği kullanılmıştır. Kemikler her grupta 7 tane olmak üzere 4 gruba ayrıldı (n=7) (Tablo 3.1). Kemik alındıktan sonra üzerinde kalan kaslar 15 numara bistüri ile sıyırıldı. Sırasıyla 4 ardışık günde her grup için 7 adet femur kemiği temin edildikten sonra işlemler her gruba aynı sıralama ile uygulandı. Kaslardan sıyrılan femur kemikleri için pediatrik femur boyun kırıklarından Delbet-Colonnas sınıflamasına göre tip 3 tipi kırık modeli için osteotomi planlandı. Osteotomiler de standardizasyonu sağlayabilmek için alçıdan bir adet kalıp yapıldı.

#### 3.1. Deney Grupları

Deney sırasında kullanılan kuzu femurları randomize 7'li dört gruba ayrılmıştır (Tablo 1). Grup 1'de delbet tip 3 femur boyun kırığı modelinde fizisi geçen 1 adet ve 1 adet fizisi geçmeyen 4.5 mm'lik kanüllü vida toplamda 2 adet 4,5 mm'lik kanüllü vida ile tespit edilmiştir. Grup 2'de delbet tip 3 femur boyun kırığı modelinde fizisi geçmeyen 2 adet 4.5 mm'lik kanüllü vida ile tespit edilmiştir. Grup 3'te, delbet tip 3 femur boyun kırığı modelinde fizisi geçen 1 adet 3.5 mm'lik kilitli vida fizisi geçmeyen 1 adet 3.5 mm'lik kilitli vida ve 3,5 mm'lik proksimal femur anatomik plak ve 3 adet plağın distalini tespit için kullanılan 3.5 mm'lik toplamda 5 adet vida ile tespit edilmiştir. Son olarak, grup 4'de delbet tip 3 femur boyun kırığı fizisi geçmeyen 2 adet 3.5 mm'lik kilitli vida 1 adet 3,5 mm'lik proksimal femur anatomik plak ve 3 adet plağın distalini tespit için kullanılan 3 adet 3.5 mm'lik toplamda 5 adet vida ile tespit edilmiştir (Tablo 1).

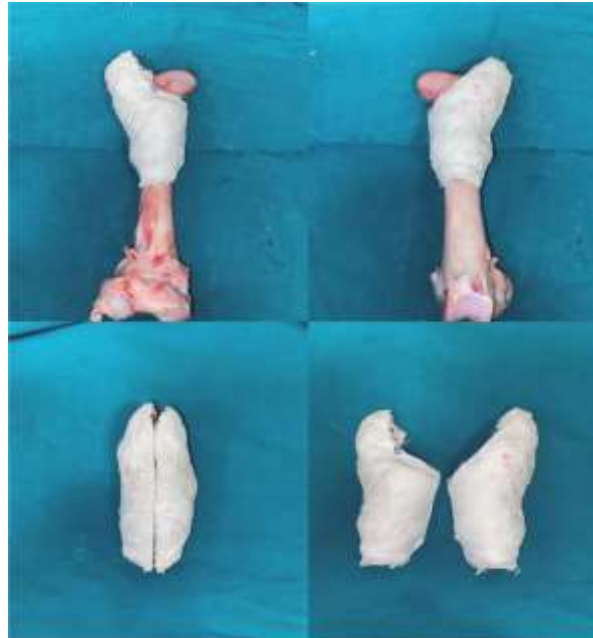
**Tablo 1.** Grup dizaynı.

Gruplar	N	Fiz geeme durumu	Vida tipi
Grup 1	7	1 adet fizi geçen	2 adet kanüllü vida- 4,5 mm
Grup 2	7	2 adet fizi geçmeyen	2 adet kanüllü vida- 4,5 mm
Grup 3	7	1 adet fizi geçen	1 adet anatomik plak- 3,5 mm, 5 adet 3.5 mm vida ile tespit
Grup 4	7	2 adet fizi geçmeyen	1 adet anatomik plak- 3,5 mm, 5 adet 3.5 mm vida ile tespit

Tablo 1’de grup dizaynı ve uygulanan deney prosedürü gösterilmiştir.

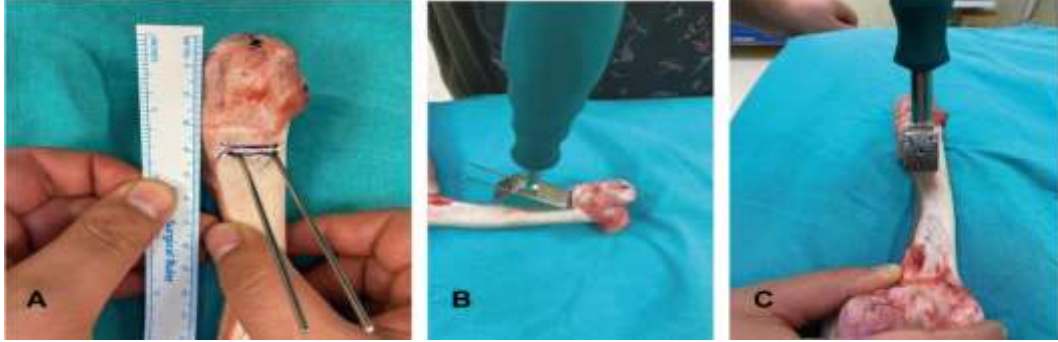
### 3.2. Deney Prosedürü

Pediyatrik femur boyun kırıklarından delbet tip 3 tipi kırık modeli oluşturmak için osteotomi planlandı. Osteotomiler de standardizasyon için alçıdan bir adet kalıp yapıldı (Resim 1). Osteotomi açısı olarak trokanter majorden trokanter minöre uzanan çizgi ile trokanter minörden geçen transvers çizgi arasındaki açı gonyometre ile 45° olarak ölçüldü.



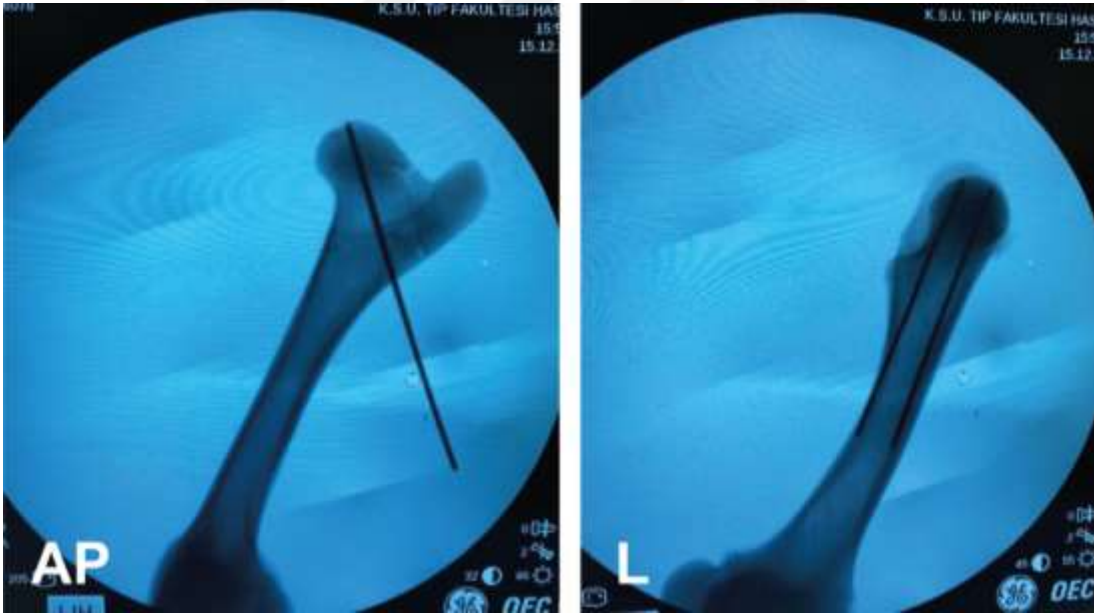
**Resim 1.** Osteotomi standardizasyonu için alçıdan oluşturulan kalıp.

Osteotomi öncesi her femur modelinde trokanter majörün en tepe noktasından 4 cm distali standart olarak kabul edildi ve işaretlendi. 2 adet kirschner teli ile vida tespit yerleri rehber (guide) kullanarak belirlendi(Resim2).



**Resim 2.** Kirschner teli ile vida tespit yerlerinin belirlenmesi.

İlk olarak, 1.8 mm'lik kirschner teli ile delik açıldı, ardından 1.2 mm'lik kirschner teli geçirildi ve 3.5 mm'lik drillile delme işlemi yapıldı (Resim 3).



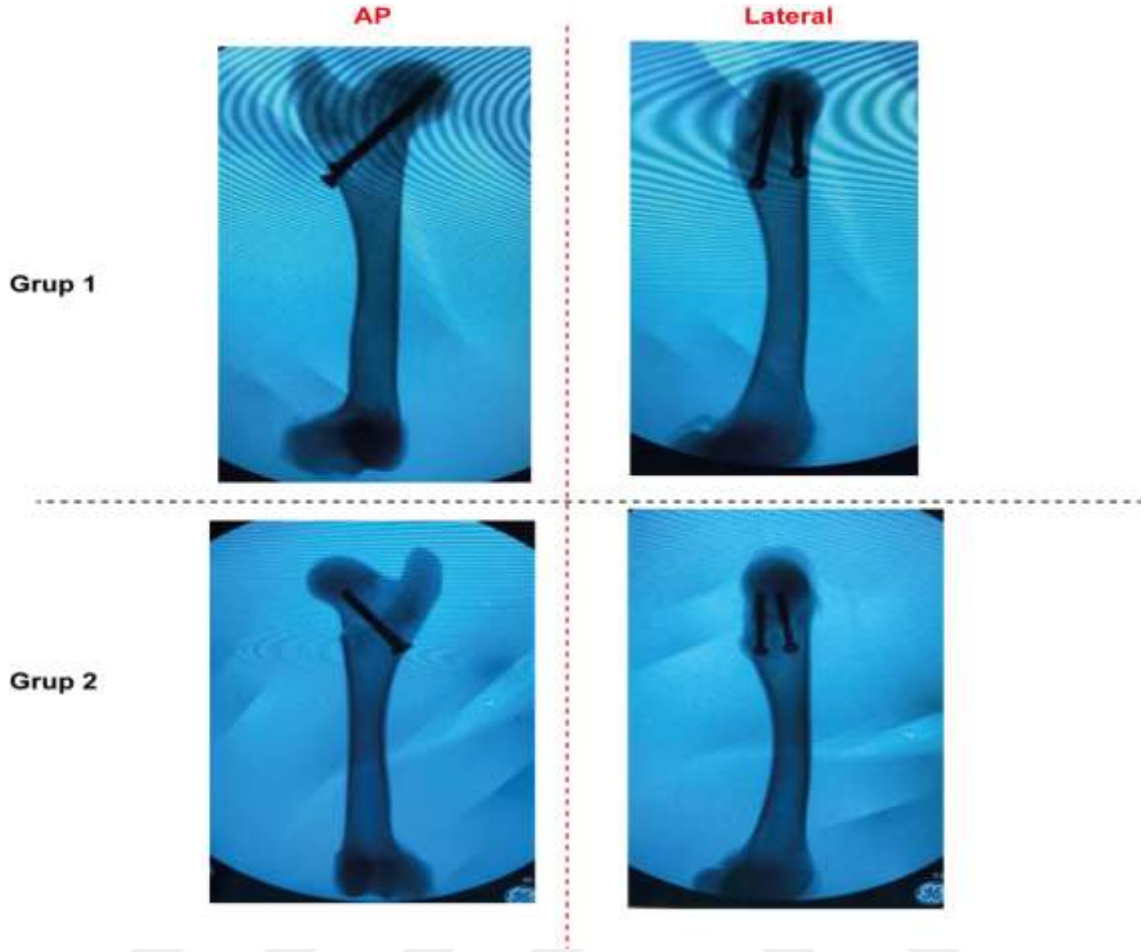
**Resim 3.** K tellerinin AP skopi ve lateralskopi görüntüsü.

Drilleme işlemi sonrası alçıdan oluşturulan kalıp ile osteotomi yeri planlandı ve osteotomi kıl testere (Knitex marka KTX-629 )ile yapıldı (Resim 4).



**Resim 4.** Osteotomi sonrası görünüm.

Osteotomi yapıldıktan sonra redüksiyon sağlandı. Daha sonra, 2 adet 4,5 mm'lik kanüllü vida Grup 1 için skopi görüntüsündeki fiz (büyüme hattı) hattını geçecek şekilde tespit edilirken, Grup 2 için skopi görüntüsündeki fiz (büyüme hattı) hattını geçmeyecek şekilde tespit yapıldı. Grup 1, 1 adet 4,5 mm çapında ve 52 mm uzunluğunda (büyüme hattını geçen) kanüllü kompresyon vidası, 1 adet 38 mm uzunluğunda (büyüme hattını geçmeyen) kanüllü kompresyon vidası ile tespit edildi. Grup 2, 2 adet 4.5 mm 38 mm uzunluğunda (büyüme hattını geçmeyen) kanüllü kompresyon vidası ile tespit edildi (Resim 5).



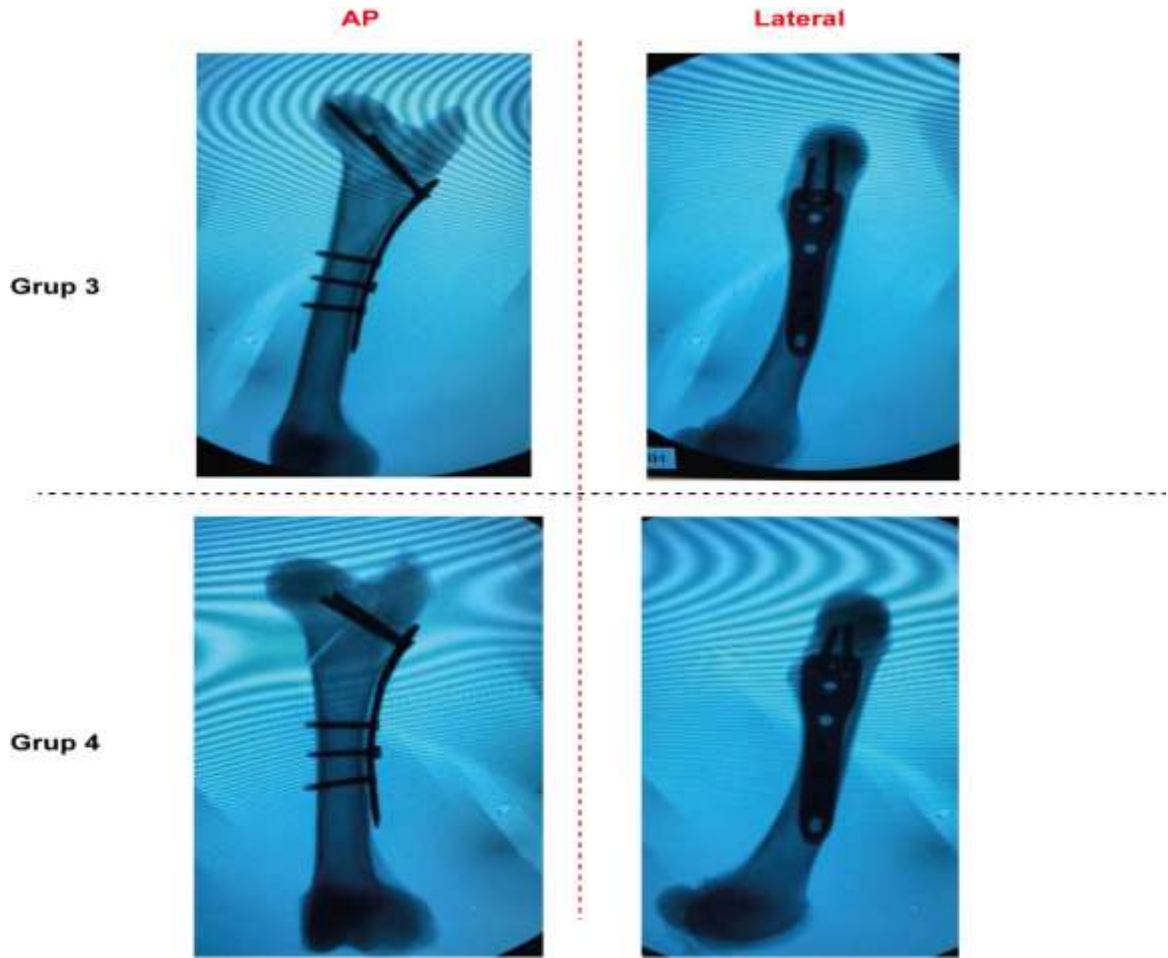
**Resim 5.** Grup 1 ve 2'nin AP ve lateralskopi görüntüleri.

Grup 3 ve Grup 4'te kirschner teli ile yer belirlenip proksimal ve distal uç 2,7 mm'lik drill ile oyuldu. Daha sonra redüksiyon sağlandı ve 3,5 mm'lik pediatrik femur proksimal anatomik plağı yerleştirildi (Resim 6).



**Resim 6.** 3.5 mm'lik pediatrik proksimal anatomik femur plakları.

Grup 3'te proksimalde ki 2 vidadan 1 adet 3.5mm'lik kilitli vida fiz (büyüme hattı) hattını geçecek diğer vida fiz (büyüme hattı) hattını geçmeyecek şekilde , Grup 4'te fiz (büyüme hattı) hattını geçmeyecek proksimalde 2 adet 3.5mm'lik kilitli vida olmak üzere ,Grup 3'te, 1 adet 52 mm uzunluğunda (büyüme hattını geçen), 1 adet 38 mm uzunluğunda (büyüme hattını geçmeyen) ve 3,5 mm'lik 2 adet kilitli vida kullanıldı. Distal, 1 adet 26 mm uzunluğunda kortikal vida 2 adet 28 mm uzunluğunda kilitli vida ile tespit edildi. Grup 4'de, 2 adet 38 mm uzunluğunda (büyüme hattını geçmeyen) 3,5 mm'lik 2 adet kilitli vida kullanıldı. Distal, 1 adet 26 mm uzunluğunda kortikal vida 2 adet 28 mm uzunluğunda kilitli vida ile tespit edildi (Resim 7).



**Resim 7.** Grup 3 ve 4'ün AP ve lateralskopi görüntüleri.

Tespit işlemleri bittikten sonra standart bir ölçüm elde edebilmek için femur kemikleri femur distal metafiz ve diafiz bileşkesinden , trokanter majörün en yüksek noktasından 13 cm distale cetvel ile ölçüm yapılarak işaretlendi. Ardından işaretlenen yerden kıl testere ile kesi yapıldı test aşamasına geçilmesi planlandı.

### 3.3. Biyomekanik Testler

Çalışmanın biyomekanik testleri statik ve kırma testleri olmak üzere iki aşamada gerçekleştirildi. Bu aşamalar sırasında aksiyal sertlik, aksiyal başarısızlık yükü, deplasman miktarı ve bozulma enerjisi her bir grup için değerlendirildi. Statik test, 50N ön yüklenme ile 5 mm/dakika deplasman oluşturacak kuvvet artışı ile gerçekleştirilmiştir. Testler sırasında; kırık hattının üst uç ayrışması, deplasman miktarı ve statik sertlik ölçümleri yapıldı.

Biyomekanik çalışması, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Üniversite-Sanayi-Kamu İş birliği Geliştirme Uygulama ve Araştırma Merkezi (ÜSKİM) laboratuvarında ki Zwick/RoellAllroundLine100 kN marka cihaz kullanarak yapıldı (Resim 8). Testler boyunca gömülü sistem yazılımları kullanılmıştır.



**Resim 8.** Zwick/RoellAllroundLine 100 kN.

#### **3.3.1. Statik ve kırma testi uygulaması**

Biyomekanik değerlendirmeye statik test ile başlandı. Ortalama olarak 70 kilogram insan ağırlığı baz alındı, ayakta dururken oluşan yüklenme modellendi (63). Statik teste 50N 'luk ön yüklenme ile başlandı. 5 mm/dakika deplasman oluşturacak kuvvet artışı hızında artarak yuvarlak bir yüzey aracılığı (asetabulum) ile femur başına uygulandı.





**Resim 10.** Aksiyal kompresyon testleri sonrası failure görüntüleri.

### 3.4. İstatistiksel Yöntem

Çalışma boyunca elde edilen veriler SPSS 28.0 (IBM, USA) paket programında değerlendirilmiştir. Çalışma verileri değerlendirilirken tanımlayıcı istatistiksel metodlar (ortalama, standart sapma, medyan, frekans, yüzde, minimum, maksimum) kullanıldı. Sürekli değişkenlerin dağılımı ile normal dağılım arasında fark olup olmadığı Shapiro-Wilk ve Kolmogorov Smirnov testleri ve Skewness ve Kurtosis istatistikleri ile araştırıldı. Dağılımı normal dağılımdan farklı olmayan sürekli değişken ortalamalarının ikiden fazla bağımsız grupta kıyaslanmasında One-Way ANOVA testi kullanılmıştır. Anlamlı farklılık bulunan gruplarda farklılığın hangi grupta olduğunu araştırmak için varyansların homojenliği varsayımı karşılandığında post-hoc LSD yöntemi tercih edilmiştir.  $p < .05$  istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir.

#### 4. BULGULAR

Sürekli değişkenlerin dağılımı ile normal dağılım arasında fark olup olmadığı Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro-Wilk testleriyle araştırılmıştır (Tablo 3).

**Tablo 2.** Normallik analizi.

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	İstatistik	SD	p	İstatistik	SD	p
ABY	.128	28	.200	.942	28	.124
ABD	.098	28	.200	.948	28	.172
AS	.146	28	.131	.921	28	.037
ABE	.182	28	.058	.879	28	.004

Tablo 2'ye göre, çalışma sırasında kaydedilen sürekli değişkenler olan aksiyal başarısızlık yükü (ABY), aksiyal başarısızlık deplasmanı (ABD), aksiyal sertlik (AS) ve aksiyal bozulma enerjisinin (ABE) dağılımı ile normal dağılım arasında anlamlı fark bulunmamaktadır,  $p > .05$ . Buna göre, bağımsız gruplar arası kıyaslamalarda parametrik test yöntemleri tercih edilmiştir.

**Tablo 3.** Betimleyici istatistikler.

		Ortalama	Standart sapma	Minimum	Maksimum
Grup 1	ABY	1299	456	728	1896
	ABD	15.9	4.9	9.9	22.9
	AS	191.43	53.81	125.49	270.65
	ABE	22313.2	12943.6	7326.0	43418.0
Grup 2	ABY	805	303	547	1434
	ABD	19.0	5.4	10.0	25.8
	AS	150.82	38.25	114.94	232.20
	ABE	16208.9	9990.2	5480.0	36136.0
Grup 3	ABY	1675	410	1179	2392
	ABD	15.1	8.0	8.7	28.2
	AS	235.09	49.93	160.18	298.63
	ABE	26634.2	18670.5	10257.0	58604.0
Grup 4	ABY	1076	298	743	1576
	ABD	17.7	4.5	13.6	25.1
	AS	189.21	49.42	132.20	257.08
	ABE	20089.9	10702.9	10104.0	39557.0

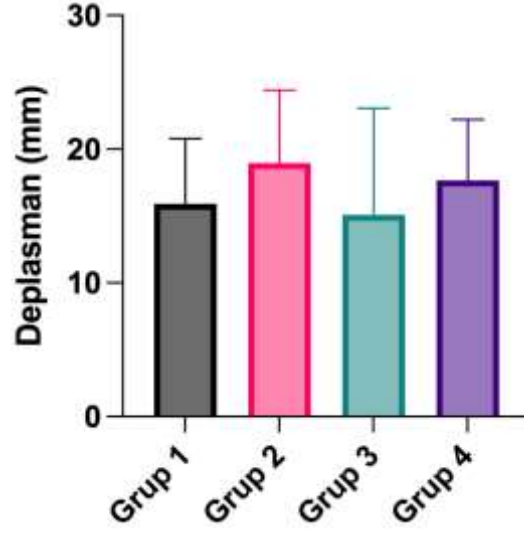
Tablo 3'te sürekli değişkenlerin betimleyici istatistikleri gösterilmektedir. Bu kapsamda, gruplarda kaydedilen sürekli değişkenlerin ortalama, standart sapma, minimum ve maksimum değerleri gösterilmiştir.

**Tablo 4.** Gruplar arası kıyaslamalar.

	Ortalama	Standart sapma	Standart hata	95% GA		F	p
				Alt	Üst		
ABY	Grup 1	1298.71	455.574	172.191	877.38		
	Grup 2	804.86	303.126	114.571	524.51		
	Grup 3	1675.14	409.638	154.829	1296.29	6.819	.002
	Grup 4	1075.86	298.111	112.675	800.15		
	Total	1213.64	478.455	90.419	1028.12		
ABD	Grup 1	15.916	4.8705	1.8409	11.411		
	Grup 2	18.974	5.4482	2.0592	13.936		
	Grup 3	15.086	7.9725	3.0133	7.712	.622	.608
	Grup 4	17.671	4.5291	1.7118	13.483		
	Total	16.912	5.7380	1.0844	14.687		
AS	Grup 1	191.4257	53.80905	20.33791	141.6606		
	Grup 2	150.8157	38.24696	14.45599	115.4432		
	Grup 3	235.0943	49.93108	18.87218	188.9157	3.576	.029
	Grup 4	189.2100	49.41598	18.67748	143.5078		
	Total	191.6364	54.66589	10.33088	170.4392		
ABE	Grup 1	22313.214	12943.6468	4892.2386	10342.338		
	Grup 2	16208.857	9990.1959	3775.9391	6969.467		
	Grup 3	26634.186	18670.5341	7056.7986	9366.822	.727	.546
	Grup 4	20089.857	10702.8531	4045.2982	10191.369		
	Total	21311.529	13306.8320	2514.7549	16151.678		

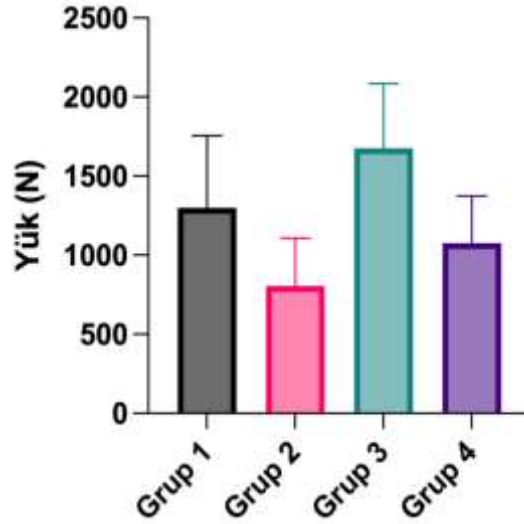
Tablo 5'de ABY, ABD, AS ve ABE değişkenleri bağımsız gruplar arası kıyaslaması gösterilmiştir. Test sonucuna göre, ABY,  $F=6.819$ ,  $p<.05$ ,  $d=.46$ , ve AS,  $F=3.576$ ,  $p<.05$ ,  $d=.30$ , bağımsız tedavi grupları arasında istatistiksel açıdan anlamlı farklılık gösterirken, ABD,  $F=.622$ ,  $p>.05$ , ve ABE,  $F=.727$ ,  $p>.05$ , bağımsız gruplar arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir şekilde farklılaşmamıştır. Anlamlı bir biçimde

farklılaşan ABY ve AS değişkenlerinin sırasıyla kaydedilen etki büyüklükleri 0.46 ve 0.30 olup, orta seviye klinik etki gözlenmiştir.



**Şekil 9.** Gruplar arası aksiyal deplasman miktarının karşılaştırılması.

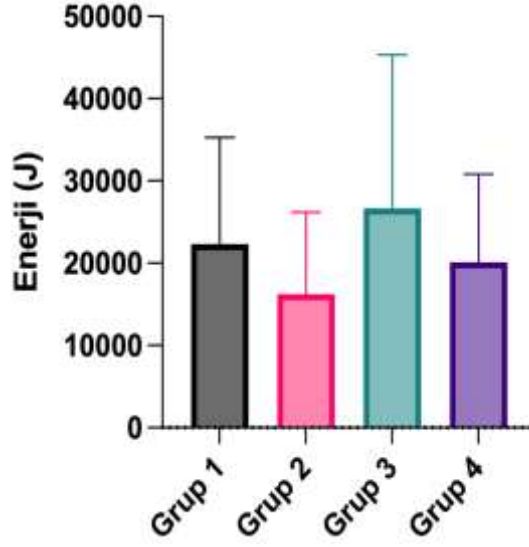
Şekil 9’da farklı gruplarda kaydedilen aksiyal deplasman miktarı gösterilmiştir. Buna göre, kaydedilen en büyük deplasman miktarı grup 2’te iken en az deplase olan grup 3’te kaydedilmiştir. Sırasıyla deplasman miktarları büyükten küçüğe 2-4-1-3 şeklindedir.



**Şekil 10.** Gruplar arası aksiyal bozulma yükünün karşılaştırılması.

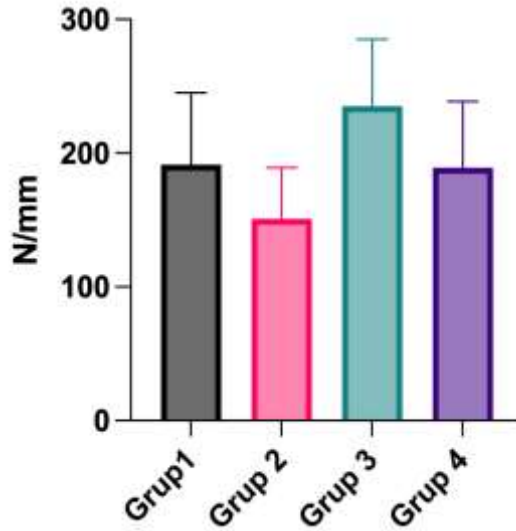
Şekil 10’de farklı gruplarda kaydedilen aksiyal bozulma yükü gösterilmiştir. Buna göre, kaydedilen en büyük aksiyal bozulma yükü grup 3’te iken en az bozulma

yükü olan grup 2’de kaydedilmiştir. Sırasıyla aksiyal bozulma yükleri büyükten küçüğe 3-1-4-2 şeklindedir.



**Şekil 11.** Gruplar arası aksiyal bozulma enerjisi karşılaştırması.

Şekil 11’te farklı gruplarda kaydedilen aksiyal bozulma enerjisi gösterilmiştir. Buna göre, kaydedilen en büyük aksiyal bozulma enerjisi grup 3’te iken en az aksiyal bozulma enerjisi grup 2’de kaydedilmiştir. Sırasıyla aksiyal bozulma enerjileri büyükten küçüğe 3-1-4-2 şeklindedir.



**Şekil 12.** Gruplar arası aksiyal sertlik karşılaştırması.

Şekil 12’da farklı gruplarda kaydedilen aksiyal sertlik gösterilmiştir. Buna göre, kaydedilen en büyük aksiyal sertlik grup 3’te iken en az aksiyal sertlik grup 2’de kaydedilmiştir. Sırasıyla aksiyal sertlikler büyükten küçüğe 3-1-4-2 şeklindedir.

**Tablo 5.** Gruplar arası post-hoc çoklu kıyaslamalar.

Bağımlı değişken	(I) Gruplar	(J) Gruplar	Ortalama fark (I-J)	Standart hata	P	95% GA	
						Alt	Üst
ABY	Grup 1	Grup 2	493.857	199.303	<b>.021</b>	82.52	905.20
		Grup 3	-376.429	199.303	.071	-787.77	34.91
		Grup 4	222.857	199.303	.275	-188.48	634.20
	Grup 2	Grup 1	-493.857	199.303	.021	-905.20	-82.52
		Grup 3	-870.286	199.303	<b>&lt;.001</b>	-1281.63	-458.94
		Grup 4	-271.000	199.303	.187	-682.34	140.34
	Grup 3	Grup 1	376.429	199.303	.071	-34.91	787.77
		Grup 2	870.286	199.303	<b>&lt;.001</b>	458.94	1281.63
		Grup 4	599.286	199.303	<b>.006</b>	187.94	1010.63
	Grup 4	Grup 1	-222.857	199.303	.275	-634.20	188.48
		Grup 2	271.000	199.303	.187	-140.34	682.34
		Grup 3	-599.286	199.303	.006	-1010.63	-187.94
AS	Grup 1	Grup 2	40.61000	25.76445	.128	-12.5652	93.7852
		Grup 3	-43.66857	25.76445	.103	-96.8438	9.5066
		Grup 4	2.21571	25.76445	.932	-50.9595	55.3909
	Grup 2	Grup 1	-40.61000	25.76445	.128	-93.7852	12.5652
		Grup 3	-84.27857	25.76445	<b>.003</b>	-137.453	-31.1034
		Grup 4	-38.39429	25.76445	.149	-91.5695	14.7809
	Grup 3	Grup 1	43.66857	25.76445	.103	-9.5066	96.8438
		Grup 2	84.27857	25.76445	<b>.003</b>	31.1034	137.4538
		Grup 4	45.88429	25.76445	.088	-7.2909	99.0595
	Grup 4	Grup 1	-2.21571	25.76445	.932	-55.3909	50.9595
		Grup 2	38.39429	25.76445	.149	-14.7809	91.5695
			Grup 3	-45.88429	25.76445	.088	-99.0595

ABY ve AS'de bulunan istatistiksel farklılığın hangi iki grup arasında olduğunu tespit etmek için post-hoc LSD testi yapılmıştır. Test sonucunda elde edilen bulguya göre, grup 1'in kaydedilen aksiyal başarısızlık yükü grup 2'den,  $p<.05$ , grup 3'de kaydedilen aksiyal başarısızlık yükü grup 4'den,  $p<.05$ , ve son olarak grup 3'de kaydedilen aksiyal başarısızlık yükü grup 1'den,  $p<.05$ , istatistiksel olarak daha yüksek bulunmuştur. Diğer taraftan, grup 3'te bulunan aksiyal sertlik düzeyi grup 2'de kaydedilen aksiyal sertlik ölçümüne göre istatistiksel düzeyde daha yüksek bulunmuştur,  $p<.05$ .



## 5. TARTIŞMA

Çocuklarda deplase femur boyun kırıkları nadiren görülür. En ciddi komplikasyonlardan birisi AVN'dir(12). Literatürde, mevcut tedavi yöntemlerinin deplase femur boyun kırık tedavilerinde komplikasyon oranını arttırıp arttırmadığı net değildir. Ayrıca, pediatrik femur boyun kırıklarında erişkinden farklı olarak büyüme hatları açıktır. Bu grupta, ortopedik cerrahi girişimin uygulandığı ekstremitede büyüme hattını geçen ve geçmeyen tespit modellerinden en iyi stabiliteyi oluşturan yöntemi araştıran kontrollü deney bulunmamaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada, taze kuzu femur kemiğinde oluşturulan delbet tip 3 femur boyun kırık modelinde en iyi stabiliteyi sağlayan, ekonomik ve sosyal yan etkileri görece az olan cerrahi uygulamanın belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, iki farklı teknik ve implant kıyaslanmıştır.

Pediatrik femur boyun kırıkları, ciddi komplikasyon ve uzun süreli sakatlık riski taşımaktadır. Üçüncü basamak akademik bir merkezden alınan verilere göre, yılda 1,2-2 vakalık pediatrik femur boyun kırığı insidans oranları bildirilmiştir ve bu oran, çocuklarda görülen bütün kırıkların %0,3-0,5'ini oluşturmaktadır. Erkek çocuklarda, kızlara göre, 1,3-1,7 kat daha fazla görülmekte olup, en yüksek insidans 10-13 yaşları arasında raporlanmıştır(64, 65). Uzun süreli takipte, vakaların %20-%50'sinde osteonekroz, koksa vara, proksimal femoral fiz kapanması ve kaynamamaya bağlı ağrı bildirilmiştir (59, 66). Hasta popülasyonlarının optimizasyonu için, klinisyenler mevcut tanı, tedavi, prospektif bakım ve komplikasyonların yönetimi hakkındaki temel prensiplerde standardizasyon sağlamalıdır. Amerikan Ortopedik Cerrahlar Akademisi (AAOS), pediatrik femur boyun kırıklarının tedavisi için rehber yayınlamamıştır. Bununla birlikte, AAOS, pediatrik diyafiz femur kırıklarının tedavisi için klinik uygulama kılavuzları yayınlamıştır(67), ancak bu kılavuzlar femur boyun kırıklarına uygulanabilir nitelikte değildir.

Erişkin kalça kırıklarının erken redüksiyonunda iyi sonuçlar elde edilmesine rağmen, erken kırık redüksiyonu uygulamasında çocuklarda elde edilecek sonuçlar hala belirsizliğini korumaktadır. 935 hasta içeren 30 çalışmanın sistematik bir derlemesinde, tedaviyi geciktiren hastalarda osteonekroz oranının, yaralanmadan sonraki 24 saat içinde tedavi görenlere göre 4,2 kat daha yüksek olduğu gösterilmiştir(59). Fiksasyonun yaralanmadan 24 saat sonraya ertelenmesi, hastaların %64'ünde erken fizyal kapanma ve %55'inde osteonekroza yol açmıştır (68). Bununla birlikte, son çalışmalar,

redüksiyon süresini kısaltmanın (<12 saat) osteonekroz oranını düşürmediğini, tersine arttırdığı gösterilmiştir (69, 70). Literatürde fiksasyon zamanlaması ile ilgili sınırlı ve çelişkili kanıtlar olmasına rağmen, Spence ve ark.(69) ve Gopinathan ve ark.(71) kalçanın anatomik redüksiyonunun mümkün olan en kısa sürede gerçekleşmesi gerektiğini önermiştir.

Kapalı veya açık redüksiyonun seçimi, mevcut kırık deplasmanının miktarına ve cerrahın kapalı bir şekilde anatomik veya anatomiye yakın redüksiyon elde etme yeteneğine bağlıdır. Hastalar, radyolüsent bir ameliyat masasına ya da kırık masasına sırtüstü yatırılır ve redüksiyon intraoperatif floroskopi ile değerlendirilir. Hastaya kırık masasında kapalı redüksiyon yapıldığında kalça abduksiyon ve iç rotasyon ile hiper ekstansiyondadır ve hafif diz fleksiyonu korunur. Yavaşça longitudinal traksiyon uygulanarak kalça “spika alçıya” alınır veya perkütan fiksasyon yapılır. Bu yollarla anatomik redüksiyonun sağlanamadığı durumlarda, açık redüksiyonun kullanılması önerilmektedir.

Delbet tip II ve tip III kırıklar, pediatrik femur boyun kırığının en sık görülen tipidir ve sıklıkla deplasedir. Küçük çocuklarda (<6 yaş) deplase olmayan kırıklar, kapalı redüksiyon ve “spica cast immobilizasyonu” ile tedavi edilebilir. Alçı içinde yer değiştirmeyi önlemek için 2 yaşın üzerindeki hastalarda ek fiksasyon araçları kullanılabilir. Kaynamama ve yanlış kaynamadan dolayı femur baş-boyun kayması riski nedeniyle, tip II kırıklarda kabul edilebilir redüksiyon, <5° angulasyon ve <2 mm kortikal translasyondan oluşur. Tip III kırıklarda kabul edilebilir redüksiyon, en yaygın olan varus dizilimi ile birlikte <10° angulasyondan oluşur. Kapalı redüksiyonla tedavi edilemeyen deplase kırıklar, 4 yaş altı hastalarda düz kirschner telleri, 4-9 yaş arası hastalarda fizisi koruyucu kanüllü vidalar veya >10 yaş hastalarda transfizyel kanüllü vidalar kullanılarak açık redüksiyon ve internal fiksasyon ile tedavi edilir. Yetersiz tespit stabilitesinden kaynaklanan küçük metafiz fragmanlı kırıklarda transfizyel vida ile tespit önerilmiştir. Stabil olmayan kırık paterni olan hastalar, tek başına vidalı tespitin yüksek başarısızlık oranı ve travma sonrası koksa vara riski nedeniyle alternatif tespit yöntemleri (yani proksimal femoral plaklar) gerektirir (72). Literatürdeki bu farklı cerrahi öneriler fiksasyon başarıları açısından kıyaslanmamıştır. Bu nedenle, çalışmamızda kuzu femurunda modellenen delbet tip 3 femur boyun kırıklarında kanüllü kompresyon vidası ve anatomik plağın biyomekanik başarısı karşılaştırılmıştır.

Biyomekanik testlerde kaydedilen ABY, AS ve ABE skorlarındaki artış ve ABD skorundaki azalma tespit başarısındaki artışı göstermektedir.

Çalışmamızda elde edilen bulgulara göre, ABY,  $F=6.819$ ,  $p<.05$ ,  $d=.46$ , ve AS,  $F=3.576$ ,  $p<.05$ ,  $d=.30$ , bağımsız tedavi grupları arasında istatistiksel açıdan anlamlı farklılık gösterirken, ABD,  $F=.622$ ,  $p>.05$ , ve ABE,  $F=.727$ ,  $p>.05$ , bağımsız gruplar arasında istatistiksel açıdan anlamlı farklılık göstermemiştir. Anlamlı bir biçimde farklılaşan ABY ve AS değişkenlerinin sırasıyla kaydedilen etki büyüklükleri  $0.46$  ve  $0.30$  olup, orta seviye klinik etki gözlenmiştir. Diğer bir deyişle, uygulanan tekniklerin klinik başarıları arasındaki farklılık orta seviyededir. ABY ve AS'de bulunan istatistiksel farklılığın hangi iki grup arasında olduğunu tespit etmek için post-hoc LSD testi yapılmıştır. Test sonucunda elde edilen bulguya göre, ABY'nin fiz büyüme hattını geçen 1 adet 4,5 mm'lik kanüllü kompresyon vidasıyla elde edilen tespit, büyüme hattını geçmeyen kompresyon vidalarıyla sağlanan tespitteki ölçüme göre istatistiksel olarak anlamlı bir biçimde daha yüksek olduğu bulunmuştur (Tespit başarısı Grup1>Grup2),  $p<.05$ . Grup 3 ve Grup 4'te kirschner teli ile vida yerleri belirlendi, 2,7 mm drill ile drillendi ve redüksiyon sağlanıp femura 3,5 mm'lik proksimal anatomik plak yerleştirildi. Grup 3'te fiz hattını geçen 1 adet 3.5 mm'lik kilitli vida ile proksimalde fiz hattını geçmeyen 1 adet 3.5 mm'lik kilitli vida distalde 3 adet 3.5 mm'lik vida olmak üzere toplamda 5 adet vida ile tespit edildi, Grup 4'de fiz hattını proksimalde geçmeyen distalde 3 adet 3.5 mm'lik vida olmak üzere toplamda 5 adet vida ile vidalama işlemi yapıldı. Proksimal femur anatomik plak ve fiz hattını geçen 5 adet kilitli vida (Grup3) ile elde edilen ABY, büyüme hattını geçmeyen 4,5 mm'lik kanüllü kompresyon vidalarıyla (Grup2) elde edilen ABY'den anlamlı bir biçimde daha yüksektir,  $p<.05$ . Son olarak, kilitli vidaların fiz hattını geçmesiyle birlikte (Grup 3), geçmediği deney dizaynı olan grup 4'te elde edilen skora göre anlamlı bir biçimde daha fazla ABY elde edilmiştir,  $p<.05$ . Buna ek olarak, anatomik plak ve fiz hattını geçen kilitli vida uygulanan grupta elde edilen AS, fiz hattını geçmeyen 4.5 mm'lik kanüllü kompresyon vidasının uygulandığı grupta elde edilen AS'ye göre anlamlı bir biçimde daha yüksek bulunmuştur,  $p<.05$ . Çalışmamızda elde edilen bu bulgular literatür çalışmaları ile uyumludur.

Talebi ve ark. (73), bir trafik kazası nedeniyle sol femur boynunda Delbet tip 1B kırığı ve epifizden femur başı kopmasıyla acil servise getirilen 14 yaşında bir erkek vakası raporu sunmuştur. Redüksiyon için kılavuz pimler kullanılmış ve fizi geçen iki

adet kanüllü kompresyon vidasıyla sabitlenmiştir. Talebi ve ark. yüksek enerjili hareketlerin daha oluşabileceği genç erkek hastada fizi geç kanüllü kompresyon vidası tercih etmiş ve başarıyla uygulanmıştır. Cerrahi sonrası sekiz aylık takipte AVN görülmesine karşın fiksasyon başarısı korunmuştur. Çalışmamızda grup 1'e aynı protokol uygulanmış ve Talebi ve ark.'larının klinik bulgularıyla örtüşen biyomekanik bulgular elde edilmiştir. Buna göre, grup 1'de, fizi geçmeyen (grup 2) kanüllü vida kompresyonuna göre daha yüksek ABY, ABE ve AS elde edilmiştir.

Çocuklarda görülen femur boyun kırıklarında karşılaşılan en önemli komplikasyon AVN'dir. AVN insidansı; kırık tipi, cerrahinin zamanlaması ve çocuğun yaşından etkilenir (9). Moon ES ve Mehlman CT (10), AVN oranını Delbet tip I'de %38, Delbet tip II'de %28, Delbet tip III'te %18 ve Delbet tip IV'te %5 olarak raporlamıştır. Diğer bir yaygın komplikasyon, femur boyun ile shaftındaki açının azalsına bağlı olarak ortaya çıkan koksa varadır. Koksa vara, femur boyun ile shaft açısı 120°'den az olduğunda ortaya çıkar. Kalça abdükörünün gücünü azaltabilir ve ekstremiteleri kısaltabilir (11). Tedavi yöntemiyle ilişkili komplikasyonlardan bir diğeri de kaynamamadır. Fiksasyon veya redüksiyonun düzgün yapılmaması, kaynamada bozukluğa yol açar. Erken fiz kapanması ise, fiksasyon için kullanılan araç gereçlerin bir sonucu olabilir(11). Dolayısıyla hem biyomekanik hem de klinik açıdan en verimli implant ve cerrahi yönteminin seçimi, çocuk femur boyun kırık yönetimi için önemlidir. Henüz bir neden sonuç ilişkisi kurulmamasına rağmen, kanüllü vida kullanılan çocuklarda, cerrahi sonrası AVN görülme oranı yüksek olduğu görülmüştür.

Ratilff ve ark. (58), 1962'de ilk kez pediatrik femur boyun kırığından sonra farklı AVN tipleri tanımlamıştır. Ratilff'ten sonra, 1969'da Stougard ve ark. femur boyun travması ile başvuran iki çocukta AVN gözlemlediklerini bildirmiştir (73). 2002 yılında Mohammad ve ark. (74) femur boynunun transepifizyal kırığı ile başvuran hastada kanüllü kompresyon vidası kullanmış ve 24 aylık takip süresi içerisinde AVN görmüştür. 2006 yılında, Akahane ve ark. (75) femur boyununda Delbet tip I kırık ile başvuran bir çocukta kanüllü vida ile fiksasyonu sağlamıştır. Devam eden 6 aylık kemik taraması takibinde literatürde görülen benzer AVN bulgularına rastlamıştır. Abbas ve ark. (76) üç çocukta yürüttükleri femur boyun kırığı cerrahisi sonunda benzer bulgular raporlamıştır. Venkatadass ve ark. (77) bir çocukta Delbet tip II olarak sınıflandırılan bilateral femur boyun kırığı, Kim ve ark. (78) 2018 yılında bir çocukta Delbet tip II femur boyun kırığı, 2021 yılında Naik ve ark. (79) bir çocukta iki taraflı Delbet tip II

femur boyun kırığı ve son olarak 2021 yılında Rinatve ark. (80) bir çocukta Delbet tip II ve tip III olarak sınıflandırılan femur boyun kırığı raporlamıştır.



## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tartışılan çalışmalarda, femur boyun kırıkları fiz'i geçmeyen kanüllü kompresyon vidalarıyla fikse edilmiştir. Bu cerrahi tercih biyomekanik açıdan yeterli fiksasyon sağlamasına karşın, üç çalışmada takip süresi içerisinde AVN bulgusu bildirilmiştir. Bizim çalışmamızda, kullanılan implant ve yöntemlerin biyomekanik başarısı ABY, ABD, AS ve ABE skorları ölçülerek değerlendirilmiştir. Test sonucunda, ABY, AS ve ABE değişkenleri açısından biyomekanik başarısı en yüksek bulunan grup, 1 adet 3.5 mm'lik proksimal femoral anatomik plak ve proksimalde 1 adet fizi geçen 3,5 mm'lik kilitli vida ve 1 adet fizi geçmeyen 3.5 mm'lik kilitli vida olmak üzere distalde 3 adet 3.5 mm'lik vida ile toplamda 5 adet vida ile tespit işleminin uygulandığı grup 3'tür. Bununla birlikte, bu çalışmada test edilen söz konusu implant ve yöntemlerin, klinik etkileri değerlendirilmediğinden literatürde sıklıkla bildirilen yan etkiler açısından başarıları bilinmemektedir.

Sonuç olarak, bu çalışmada 1 adet fizi geçen ve 2 adet fizi geçmeyen 4,5 mm'lik kanüllü kompresyon vidaları ve 3.5 mm'lik proksimal femoral anatomik plak ile birlikte uygulanan 1 adet fizi geçen ve 2 adet fizi geçmeyen 3,5 mm'lik vida uygulamasının tespit başarıları kıyaslanmıştır. 3.5 mm'lik proksimal femoral anatomik plak ve proksimalde 1 adet fiz'i geçen 3,5 mm'lik kilitli vida ve 1 adet fizi geçmeyen 3.5 mm'lik kilitli vida olmak üzere distalde 3 adet 3.5 mm'lik vida ile toplamda 5 adet vida ile tespit işleminin biyomekanik tespit başarısının en yüksek olduğu bulunmuştur. Bu çalışma biyomekanik bir çalışma olup, elde edilen sonuçların klinik üzerine etkisinin nasıl olacağı bilinmemektedir. Bu yüzden çalışmanın eksik tarafı olan klinik faydasının, prospektif ve randomize çalışmalar ile değerlendirilmesi gereklidir.

## 7. KAYNAKLAR

1. Gullberg B, Johnell O, Kanis J. World-wide projections for hip fracture. *Osteoporosis international* 1997; 7:407-13.
2. Jordan K, Cooper C. Epidemiology of osteoporosis. *Best practice & research Clinical rheumatology* 2002; 16:795-806.
3. Dubey A, Koval K, Zuckerman J. Hip fracture epidemiology: a review. *American journal of orthopedics (Belle Mead, NJ)* 1999; 28:497-506.
4. Lasanianos N, Kanakaris N. Chondral lesions. *Trauma and Orthopaedic Classifications*. London: Springer; 2015.
5. Palocaren T. Femoral neck fractures in children: a review. *Indian journal of orthopaedics* 2018; 52:501-06.
6. Black KJ, Bevan CA, Murphy NG, Howard JJ. Nerve blocks for initial pain management of femoral fractures in children. *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2013.
7. Caldwell L, Chan CM, Sanders JO, Gorczyca JT. Detection of femoral neck fractures in pediatric patients with femoral shaft fractures. *Journal of Pediatric Orthopaedics* 2017; 37:e164-e67.
8. Haddad F, Bann S, Hill R, Jones D. Displaced stress fracture of the femoral neck in an active amenorrhoeic adolescent. *British Journal of Sports Medicine* 1997; 31:70.
9. Rocha DFB, Horwitz DS, Sintenie JB. Femoral neck fractures in children: Issues, challenges, and solutions. *Journal of Orthopaedic Trauma* 2019; 33:S27-S32.
10. Moon ES, Mehlman CT. Risk factors for avascular necrosis after femoral neck fractures in children: 25 Cincinnati cases and meta-analysis of 360 cases. *Journal of Orthopaedic Trauma* 2006; 20:323-29.
11. Dial BL, Lark RK. Pediatric proximal femur fractures. *Journal of orthopaedics* 2018; 15:529-35.
12. Flynn J, Wong K, Yeh G, Meyer J, Davidson R. Displaced fractures of the hip in children: management by early operation and immobilisation in a hip spica cast.

- The Journal of bone and joint surgery British volume 2002; 84:108-12.
13. Aslanbey D. Veteriner Ortopedi ve Travmatoloji. Medipres Yayınevi, Ankara 2002.
  14. Weinstein SL, Buckwalter JA. Turek's Orthopaedics: Principles and their application: Lippincott Williams & Wilkins; 2005.
  15. Pierce MC, Bertocci GE, Vogeley E, Moreland MS. Evaluating long bone fractures in children: a biomechanical approach with illustrative cases. Child abuse & neglect 2004; 28:505-24.
  16. Bucholz RW, Heckman JD, Tornetta P, McQueen MM, Ricci WM. Rockwood and Green's fractures in adults. Rockwood and Green's fractures in adults 2010. p. 1275-75.
  17. Gürgül S, Coşar U, ERDAL N. Kemik biyomekaniği. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi 2016; 8:18-34.
  18. Johnson AL, Hulse DA. Fundamentals of orthopedic surgery and fracture management. Fossum TW Small Animal Surgery 4th ed St Louis: Elsevier Mosby 2013:1086-92.
  19. Piermattei D, Flo G, DeCamp C. Fractures: classification, diagnosis, and treatment. Handbook of small animal orthopedics and fracture repair 2006; 1:25-159.
  20. Newton CD, Nunamaker DM. Textbook of small animal orthopaedics. 1985.
  21. Koval J, DJ Z. Hareket sistemi kırıkları ve çıkıkları el kitabı. Ankara: Güneş Kitabevi 2004:182-88.
  22. Bernstein ML, Chung KC. Hand fractures and their management: an international view. Injury 2006; 37:1043-48.
  23. Wu H, Ma D, Spearing A, Zhao G. Fracture response and mechanisms of brittle rock with different numbers of openings under uniaxial loading. Geomechanics and Engineering 2021; 25:481-93.
  24. Iannotti J, Parker R. The Netter collection of medical illustrations: Musculoskeletal System, Volume 6, Part III-Biology and Systemic Diseases: Elsevier Health Sciences; 2013.

25. Levine RH, Foris LA, Nezwek TA, Waseem M. Salter Harris Fractures. StatPearls [Internet] 2021.
26. Tanrıku S, Gönen E. Kırık iyileşmesi. TOTBİD Dergisi 2017; 16:455-75.
27. Altunatmaz K. Kırık iyileşmesinin biyolojisi ve biyolojik osteosentez. İstanbul Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi 2004; 30:141-47.
28. Balcı V. Alt ekstremite kırıklarının plak ile biyolojik tespiti. Uzmanlık Tezi, ğiĒli Etfal Eğitim ve AraĒtırma Hastanesi, Ēstanbul 2005.
29. Dimitriou R, Tsiridis E, Giannoudis PV. Current concepts of molecular aspects of bone healing. Injury 2005; 36:1392-404.
30. Loi F, Córdova LA, Pajarinen J, Lin T-h, Yao Z, Goodman SB. Inflammation, fracture and bone repair. Bone 2016; 86:119-30.
31. Kabak Ő, Balkar F, Duygulu F. Kırık iyileşmesinde kırık hematomunun önemi Hematomun tekrar kırık hattına yerleştirilmesi: Deneysel çalışma. Acta Orthop Traumatol Turc 2001; 35.
32. Marsell R, Einhorn TA. The biology of fracture healing. Injury 2011; 42:551-55.
33. Kılıçoğlu SS. Mikroskobi düzeyinde kırık iyileşmesi. Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Mecmuası 2002; 55.
34. Stiffler KS. Internal fracture fixation. Clinical Techniques in Small Animal Practice 2004; 19:105-13.
35. Kolar P, Gaber T, Perka C, Duda GN, Buttgerit F. Human early fracture hematoma is characterized by inflammation and hypoxia. Clin Orthop Relat Res 2011; 469:3118-26.
36. Ozaki A, Tsunoda M, Kinoshita S, Saura R. Role of fracture hematoma and periosteum during fracture healing in rats: interaction of fracture hematoma and the periosteum in the initial step of the healing process. J Orthop Sci 2000; 5:64-70.
37. Gilligan I, Chandraphak S, Mahakkanukrauh P. Femoral neck-shaft angle in humans: variation relating to climate, clothing, lifestyle, sex, age and side. Journal of anatomy 2013; 223:133-51.
38. Reikeråls O, Bjerkreim I, Kolbenstvedt A. Anteversion of the acetabulum and

- femoral neck in normals and in patients with osteoarthritis of the hip. *Acta Orthopaedica Scandinavica* 1983; 54:18-23.
39. Gautier E, Ganz K, Krügel N, Gill T, Ganz R. Anatomy of the medial femoral circumflex artery and its surgical implications. *The Journal of bone and joint surgery British volume* 2000; 82:679-83.
  40. Lu Y, Uppal HS. Hip fractures: relevant anatomy, classification, and biomechanics of fracture and fixation. *Geriatric orthopaedic surgery & rehabilitation* 2019; 10:2151459319859139.
  41. Lu Y, Wang L, Hao Y, Wang Z, Wang M, Ge S. Analysis of trabecular distribution of the proximal femur in patients with fragility fractures. *BMC musculoskeletal disorders* 2013; 14:1-8.
  42. Crowninshield R, Johnston R, Andrews J, Brand R. A biomechanical investigation of the human hip. *Journal of biomechanics* 1978; 11:75-85.
  43. Beaty JH, Kasser JR. Rockwood and wilkin's fractures in children. *Rockwood and Wilkin's fractures in children* 2010. p. 1076-76.
  44. Bali K, Sudesh P, Patel S, Kumar V, Saini U, Dhillon M. Pediatric femoral neck fractures: our 10 years of experience. *Clinics in orthopedic surgery* 2011; 3:302-08.
  45. Boyle MJ, Hogue GD, Heyworth BE, Ackerman K, Quinn B, Yen Y-M. Femoral neck stress fractures in children younger than 10 years of age. *Journal of Pediatric Orthopaedics* 2017; 37:e96-e99.
  46. Balakumar B, Arora S, Palocaren T. Sjögren–Larsson syndrome–unusual presentation with pathological femoral neck fracture: a case report. *Journal of Pediatric Orthopaedics B* 2012; 21:583-86.
  47. Dendane M, Amrani A, El Alami Z, El Medhi T, Gourinda H. Displaced femoral neck fractures in children: are complications predictable? *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research* 2010; 96:161-65.
  48. Patterson JT, Tangtiphaibontana J, Pandya NK. Management of pediatric femoral neck fracture. *JAAOS-Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons* 2018; 26:411-19.

49. Cheng JC, Tang N. Decompression and stable internal fixation of femoral neck fractures in children can affect the outcome. *Journal of Pediatric Orthopaedics* 1999; 19:338-43.
50. Song KS, Kim YS, Sohn SW, Ogden JA. Arthrotomy and open reduction of the displaced fracture of the femoral neck in children. *Journal of Pediatric Orthopaedics Part B* 2001; 10:205-10.
51. Dhar SA, Ali MF, Dar TA, Sultan A, Butt MF, Kawoosa AA, et al. Delayed fixation of the transcervical fracture of the neck of the femur in the pediatric population: results and complications. *Journal of children's orthopaedics* 2009; 3:473-77.
52. Öztürk R, Gençoğlu MY, Ateş ÖF, Aytekin MN, Toktaş O. Pediatri Polikliniğinden Ortopedi Bölümüne Danışılan 0-3 Yaş Arası Ardışık 100 Hastanın Analizi. *Zeynep Kamil Tıp Bülteni*; 50:39-43.
53. Ingram AJ, Bachynski B. Fractures of the hip in children: treatment and results. *JBJS* 1953; 35:867-87.
54. Chong K, Chacha P, Lee B. Fractures of the neck of the femur in childhood and adolescence. *Injury* 1975; 7:111-19.
55. Berger PE, Ofstein RA, Jackson DW, Morrison DS, Silvino N, Amador R. MRI demonstration of radiographically occult fractures: what have we been missing? *Radiographics* 1989; 9:407-36.
56. Hoekstra HJ, Lichtendahl D. Pertrochanteric fractures in children and adolescents. *Journal of pediatric orthopaedics* 1983; 3:587-91.
57. Maeda S, Kita A, Fujii G, Funayama K, Yamada N, Kokubun S. Avascular necrosis associated with fractures of the femoral neck in children: histological evaluation of core biopsies of the femoral head. *Injury* 2003; 34:283-86.
58. Ratliff A, Dixon J, Magnussen P, Young S. Hip Fractures in Children. *Selected References in Orthopaedic Trauma*: Springer; 1989. p. 88-88.
59. Yeranorian M, Horneff J, Baldwin K, Hosalkar H. Factors affecting the outcome of fractures of the femoral neck in children and adolescents: a systematic review. *The bone & joint journal* 2013; 95:135-42.

60. Canale ST, Bourland W. Fracture of the neck and intertrochanteric region of the femur in children. *JBJS* 1977; 59:431-43.
61. Togrul E, Bayram H, Gulsen M, Kalacı A, Özbarlas S. Fractures of the femoral neck in children: long-term follow-up in 62 hip fractures. *Injury* 2005; 36:123-30.
62. Heiser JM, Oppenheim WL. Fractures of the hip in children: a review of forty cases. *Clinical orthopaedics and related research* 1980:177-84.
63. Bergmann G, Deuretzbacher G, Heller M, Graichen F, Rohlmann A, Strauss J, et al. Hip contact forces and gait patterns from routine activities. *Journal of biomechanics* 2001; 34:859-71.
64. Mirdad T. Fractures of the neck of femur in children: an experience at the Aseer Central Hospital, Abha, Saudi Arabia. *Injury* 2002; 33:823-27.
65. Azouz E, Karamitsos C, Reed M, Baker L, Kozlowski K, Hoeffel J-C. Types and complications of femoral neck fractures in children. *Pediatric radiology* 1993; 23:415-20.
66. Shrader MW, Jacofsky DJ, Stans AA, Shaughnessy WJ, Haidukewych GJ. Femoral neck fractures in pediatric patients: 30 years experience at a level 1 trauma center. *Clinical Orthopaedics and Related Research (1976-2007)* 2007; 454:169-73.
67. Kocher MS, Sink EL, Blasier DR, Luhmann SJ, Mehlman CT, Scher DM, et al. Treatment of pediatric diaphyseal femur fractures. *JAAOS-Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons* 2009; 17:718-25.
68. Bombaci H, Centel T, Babay A, Türkmen IM. Evaluation of complications of femoral neck fractures in children operated on at least 24 hours after initial trauma. *Acta Orthop Traumatol Turc* 2006; 40:6-14.
69. Spence D, DiMauro J-P, Miller PE, Glotzbecker MP, Hedequist DJ, Shore BJ. Osteonecrosis after femoral neck fractures in children and adolescents: analysis of risk factors. *Journal of Pediatric Orthopaedics* 2016; 36:111-16.
70. Riley Jr PM, Morscher MA, Gothard MD, Riley Sr PM. Earlier time to reduction did not reduce rates of femoral head osteonecrosis in pediatric hip fractures. *Journal of Orthopaedic Trauma* 2015; 29:231-38.

71. Gopinathan NR, Chouhan D, Akkina N, Behera P. Case report: Bilateral femoral neck fractures in a child and a rare complication of slipped capital epiphysis after internal fixation. *Clinical Orthopaedics and Related Research*® 2012; 470:2941-45.
72. Fullerton JR LR, Snowdy HA. Femoral neck stress fractures. *The American journal of sports medicine* 1988; 16:365-77.
73. Talebi S, Sheibani S, Hassani P, Ghadiri A. Avascular Necrosis due to Delbet Type I Femoral Neck Fracture in an Adolescent: A Case Report and Literature Review. *Case Reports in Orthopedic Research* 2022; 5:24-30.
74. Mohammad S, Port A, Montgomery R. Transepiphyseal fracture of the femoral neck with dislocation of the femoral head and fracture of the posterior column of the acetabulum in a child. *The Journal of bone and joint surgery British volume* 2002; 84:113-15.
75. Akahane T, Fujioka F, Shiozawa R. A transepiphyseal fracture of the proximal femur combined with a fracture of the mid-shaft of ipsilateral femur in a child: a case report and literature review. *Archives of orthopaedic and trauma surgery* 2006; 126:330-34.
76. Abbas AA, Yoon TR, Lee JH, Hur CI. Posttraumatic avascular necrosis of the femoral head in teenagers treated by a modified transtrochanteric rotational osteotomy: a report of three cases. *Journal of Orthopaedic Trauma* 2008; 22:63-69.
77. Venkatadass K, Avinash M, Rajasekaran S. Bilateral avascular necrosis of the femoral head following asynchronous postictal femoral neck fractures: a case report and review of the literature. *Journal of Pediatric Orthopaedics B* 2018; 27:274-78.
78. Kim HY, Cha YH, Choy WS, Jeung SW, Min YS. Femoral head wedge resection for the treatment of avascular necrosis of the femoral head after pediatric femoral neck fracture: a case report. *Journal of Pediatric Orthopedics Part B* 2018; 27:283.
79. Naik P, Mantri N, Tank P, Bhesaniya R. Bilateral Fracture Neck Femur in Child with Bilateral Delayed Union and Bilateral AVN: A Rare Occurrence and Literature Review. *Indian journal of orthopaedics* 2021; 55:501-07.

80. Rinat B, Bor N, Dujovny E, Rozen N, Rubin G. Pediatric femoral neck fractures after sliding in a water slide: a case report of two patients. *Journal of orthopaedic case reports* 2021; 11:68.



## 8. ŞEKİLLER VE RESİMLER DİZİNİ

<b>Şekiller</b>	<b><u>Sayfa No</u></b>
<b>Şekil 1.</b> Kırık tipleri.....	6
<b>Şekil 2.</b> Salter-Harris kırık tipleri.....	6
<b>Şekil 3.</b> Sekonder kırık iyileşmesinin aşamaları.....	7
<b>Şekil 4.</b> Kırık kallus ile intramembranöz ve enkondral kemikleşme.....	9
<b>Şekil 5.</b> Tespit edilen kırıklarda boşluk ve tam temas tipte primer kırık iyileşmesi.....	11
<b>Şekil 6.</b> Femur üst uç vasküler anatomisi.....	12
<b>Şekil 7.</b> Delbet sınıflaması.....	13
<b>Şekil 8.</b> Proksimal Femur Avasküler Nekroz Sınıflandırılması.....	17
<b>Şekil 9.</b> Gruplar arası aksiyal deplasman miktarının karşılaştırılması.....	31
<b>Şekil 10.</b> Gruplar arası aksiyal bozulma yükünün karşılaştırılması.....	31
<b>Şekil 11.</b> Gruplar arası aksiyal bozulma enerjisi karşılaştırması.....	32
<b>Şekil 12.</b> Gruplar arası aksiyal sertlik karşılaştırması.....	32

<b>Resimler</b>	<b><u>Sayfa No</u></b>
<b>Resim 1.</b> Osteotomi standardizasyonu için alçıdan oluşturulan kalıp.....	21
<b>Resim 2.</b> Kirschner teli ile vida tespit yerlerinin belirlenmesi.....	22
<b>Resim 3.</b> K tellerinin AP skopi ve lateral skopi görüntüsü.....	22
<b>Resim 4.</b> Osteotomi sonrası görünüm.....	23
<b>Resim 5.</b> Grup 1 ve 2'nin AP ve lateral skopi görüntüleri.....	24
<b>Resim 6.</b> 3.5 mm'lik pediatrik proksimal anatomik femur plakları.....	24
<b>Resim 7.</b> Grup 3 ve 4'ün AP ve lateral skopi görüntüleri.....	25
<b>Resim 8.</b> Zwick/Roell AllroundLine 100 kN.....	26
<b>Resim 9.</b> Axial Kompresyon testi öncesi hazırlık ve kompresyon testi.....	27
<b>Resim 10.</b> Aksiyal kompresyon testleri sonrası failure görüntüleri.....	28

## 9. TABLO DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
<b>Tablo 1.</b> Grup dizaynı. ....	21
<b>Tablo 2.</b> Normallik analizi. ....	29
<b>Tablo 3.</b> Betimleyici istatistikler. ....	29
<b>Tablo 4.</b> Gruplar arası kıyaslamalar. ....	30
<b>Tablo 5.</b> Gruplar arası post-hoc çoklu kıyaslamalar. ....	33



## 10. EKLER DİZİNİ

<b>EK 1:</b> Etik Kurul Karar Formu.....	52
<b>EK 2:</b> Benzerlik Raporu .....	53

