

T.C.
AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
CERRAHİ ANABİLİM DALI YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DİYAFİZER FEMUR KIRIKLARINDA YENİ TASARIM S-PLAK
İLE DÜZ-PLAKLARIN BİYOMEKANİK YÖNDEN
KARŞILAŞTIRILMASI; EX-VİVO ÇALIŞMA**

Hazırlayan
Mehmet ÇATAKDERE

Danışman
Prof. Dr. İbrahim DEMİRKAN

AFYONKARAHİSAR

2022

**Bu tez çalışması; Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri
Koordinasyon Birimi (BAPK) Tarafından Desteklenmiştir. Proje No:
“20.SAĞ.BİL.19”**

KABUL VE ONAY SAYFASI

Afyon Kocatepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü **Cerrahi Anabilim Dalı**'nda Mehmet Çatakdereli tarafından hazırlanan “Diyafizer Femur Kırıklarında Yeni Tasarım S-Plak İle Düz-Plakların Biyomekanik Yönden Karşılaştırılması; Ex-Vivo Çalışma” başlıklı tez çalışması Afyon Kocatepe Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca . . / . . / . . . tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği / oy çokluğu** ile **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Başkan

İmza

Üye

Üye

İmza

İmza

Üye

Üye

İmza

İmza

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Sağlık Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
. . . . / / tarih ve
. sayılı kararıyla
onaylanmıştır.

Prof. Dr. Esmâ KOZAN
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİMİ

Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Bilimsel Yayın Etiği İlkeleri ve Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Bu tezin herhangi bir bölümünü Afyon Kocatepe Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı,

beyan ederim.

20/07/2022

İmza

Mehmet Çatakdere

ÖZET

Diyafizer Femur Kırıklarında Yeni Tasarım S-Plak ile Düz-Plakların Biyomekanik Yönden Karşılaştırılması: Ex Vivo Çalışma

Bu çalışmada tarafımızdan tasarlanan S-plak ile mevcut kullanılan düz plakların diyafizer femur kırıklarında biyomekanik yönden karşılaştırılması amaçlandı. Çalışmamızda plaklar ile uygulanan sağaltım yönteminde, mevcut kullanılan plak çeşitlerinden daha farklı bir anatomik yapıya sahip olan S plakların, düz plaklara göre üst ve alt fragmentlerin fiksasyonunda ve stabilizasyonunda biyomekanik yönden durumu gözlemlendi.

Çalışmada deney materyali olarak, kasaplardan elde edilen koyun femur kemikleri kullanıldı. Toplamda 12 kontrol grubu ve her grupta 6 adet deney materyali olmak üzere toplam 72 adet koyun femur kemiği değerlendirildi. Femur kemikleri diyafiz bölgesinden transversal bir şekilde kesilerek diyafizer kırık elde edildi. Kontrol gruplarındaki deney materyallerinin düz plak ve S plak ile stabilizasyonu sağlandıktan sonra Universal Test Cihazı (Shimadzu AG-IS-100KN, Japonya) ile biyomekanik testleri yapıldı. Testler sırasında deney materyallerine torsiyon, kompresyon, distraksiyon ve üç nokta bükme (bending) kuvvetleri uygulandı. Sonuçlar değerlendirildiğinde distraksiyon (gerilme) biyomekanik testinde düz plaklar ve S plaklar karşılaştırıldığında, osteosentez hattında S plakların düz plaklara göre daha tutucu ve dirençli bir şekilde etki ettiği görüldü. Femur diyafizer kırıklarında S plakların düz plaklara göre kırık hattında diğer kuvvetlerin yanında özellikle gerilme kuvvetlerini daha etkin düzeyde önlemesinden dolayı bir alternatif olabileceği kanaatine varıldı. İleride klinik vakalarda S plakların in vivo davranışının araştırılması yapılması öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Biyomekanik Test, Diyafizer, Düz Plak, Femur, Kırık, S Plak

SUMMARY

Biomechanical Comparison of New Design S-Plate and Flat-Plates in Diaphyseal Femur Fractures: Ex Vivo Study

In this study, it was aimed to compare the biomechanical aspects of the S-plate designed by us and the currently used flat plates in diaphyseal femur fractures. In our study, in the treatment method applied with plates, the biomechanical situation of the S plates, which have a different anatomical structure than the currently used plate types, was observed in the fixation and stabilization of the upper and lower fragments compared to the plain plates.

In the study, sheep femur bones obtained from butchers were used as experimental material. A total of 72 sheep femur bones, 12 in the control group and 6 experimental materials in each group, were evaluated. A diaphyseal fracture was obtained by transversal cutting of the femur bones from the diaphysis region. After stabilization of the experimental materials in the control groups with flat plate and S plate, biomechanical tests were performed with Universal Tester (Shimadzu AG-IS-100KN, Japan). Torsion, compression, distraction and three-point bending forces were applied to the experimental materials during the tests. When the results were evaluated, when flat plates and S plates were compared in the distraction biomechanical test, it was seen that S plates acted more conservatively and resistantly than flat plates in the osteosynthesis line. It was concluded that S plates could be an alternative to flat plates in femoral diaphyseal fractures, since they prevent tensile forces more effectively along with other forces at the fracture line. It is envisaged to investigate the in vivo behavior of S plate in clinical cases in the future.

Keywords: Biomechanical Test, Diaphyseal, Femur, Flat Plate, Fracture, S Plate

ÖNSÖZ

Diyafizer femur kırıkları, femur kırıklarının büyük bir çoğunluğunu oluşturmaktadır. Veteriner ortopedide, plaklar ile kırık fiksasyonu özellikle diyafizer kırıklar için oldukça uygundur. Kullanılan plaklarla hastaların hareket kabiliyetlerini daha kısa sürede kazanması ve operasyon sonrası karşılaşılabilecek komplikasyonların azaltılması amaçlanmaktadır. Bu düşünce neticesinde farklı tarzda birçok plak çeşidi tasarlanmıştır. Farklı tasarımlar aynı amaca hizmet etmektedir.

Bu tezin planlanması, projelendirilmesi ve bilimsel bir çalışma haline getirilmesi aşamasında ilgi ve desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım danışman hocam Sayın Prof. Dr. İbrahim DEMİRKAN' a ve aynı zamanda tezime katkılarından dolayı Afyon Kocatepe Üniversitesi Veteriner Fakültesi Cerrahi Anabilim Dalı Başkanı Sayın Prof. Dr. Z. Kadir SARITAŞ' a; Cerrahi Anabilim Dalı öğretim üyeleri Prof. Dr. Musa KORKMAZ, Prof. Dr. Kamuran PAMUK, Doç. Dr. M. Volkan YAPRAKÇI' ya teşekkür ederim. Ayrıca tez çalışmam süresince değerli zamanlarını esirgemeyerek bana her fırsatta yardımcı olan Arş. Gör. Dr. Fatma GÖRÜCÜ ve Arş. Gör. Yusuf KOÇ' a teşekkür ederim.

Tezimin biyomekanik testlerinde teknik destek ve bilgilerini esirgemeyen, değerli zamanlarını ayıran Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı öğretim üyeleri Doç. Dr. Aytekin HİTİT, Doç. Dr. Z. Özgür YAZICI ve Arş. Gör. Burcu KALYONCUOĞLU' na; Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Konstrüksiyon ve İmalat Anabilim Dalı Öğretim Üyesi Prof. Dr. Cemal MERAN ve Arş. Gör. Emre KORKMAZ' a teşekkür ederim.

Tezimin istatistiksel analizlerinin yapılmasında bana yol gösteren Afyon Kocatepe Üniversitesi Veteriner Fakültesi Biyoistatistik Anabilim Dalı Başkanı Prof. Dr. İbrahim KILIÇ' a teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasını “20.SAĞ.BİL.19” proje numarası ile destekleyen Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (BAPK)’ ne teşekkür ederim.

Çalışmamda kullanılan plakların teknik çizimlerini yapan değerli dostum tasarımcı Can ÖZHAN’ a teşekkür ederim.

Biyomekanik testler için kemik tutucu aparatları üreten Yıldız Makine firmasının sahibi Mehmet YILDIZ’ a teşekkür ederim.

Beni yetiştirip bu günlere getiren ve yaşamımın her anında desteklerini esirgemeyen sevgili annem N. Deniz ÇATAKDERE ve babam Halil ÇATAKDERE’ ye teşekkür ederim.

Bu uzun ve zor tez çalışma süresince manevi olarak desteğini ve eşsiz sabrını esirgemeyen, her zaman yanımda olan sevgili eşim Rümeysa ÇATAKDERE’ ye teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	SAYFA
KABUL VE ONAY SAYFASI	
BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI	
ÖZET	i
SUMMARY	ii
ÖNSÖZ SAYFASI	iii
İÇİNDEKİLER	v
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
ÇİZELGELER	xii
RESİMLER	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Uzun Kemiklerin Makroskopik ve Mikroskopik Yapısı	2
1.2. Femur Anatomisi	3
1.3. Kırığın Tanımı	4
1.3.1. Hazırlayıcı Nedenler	4
1.3.2. Yapıcı Nedenler	4
1.3.2.1. Direkt Etkilenmeler	5
1.3.2.2. İndirekt Etkilenmeler	5
1.4. Kırık Bulguları	5
1.4.1. Travmaya Bağlı Genel Bulgular	6
1.4.1.1. Ağrı	6
1.4.1.2. Hematom	6

1.4.1.3.Ekimoz	7
1.4.1.4.Fonksiyon Bozukluğu	7
1.4.2.Kırığın Asıl Bulguları	7
1.4.2.1.Anormal Hareket	7
1.4.2.2.Krepitasyon	8
1.4.2.3.Deformasyon	8
1.4.2.4.Palpasyon Belirtileri	8
1.4.2.5.Radyolojik Bulgular	8
1.4.3.Genel Belirtiler	9
1.5. Kırıkların Sınıflandırılması	9
1.5.1. Anatomik Olarak Kırıkların Sınıflandırılması	9
1.5.1.1. Epifizer Kırıklar	10
1.5.1.2. Diyafizer kırıklar	10
1.5.1.3. Suprakondüler Kırıklar	11
1.5.2. Derinin Yaralanmasına Göre Kırıkların Sınıflandırılması	12
1.5.2.1. Kapalı Kırıklar	12
1.5.2.2. Açık Kırıklar	12
1.5.2.2.1. Birinci Derece Açık Kırıklar (tipI)	13
1.5.2.2.2. İkinci Derece Açık Kırıklar (tipII)	13
1.5.2.2.3. Üçüncü Derece Açık Kırıklar (Tip III)	13
1.5.3. Kırık Hattına Göre Kırıkların Sınıflandırılması	14
1.5.3.1. Enlemesine (Transversal) Kırıklar	14
1.5.3.2. Eğrilemesine (Oblik) Kırıklar	14

1.5.3.3. Helezoni (Spiral) Kırıklar	14
1.5.3.4. Avülsiyon (Kopma) Kırıklar	15
1.5.3.5. Parçalı Kırıklar	15
1.6. Femur Kırıklarının Bölümleri	15
1.6.1. Proksimal Femoral Kırıklar	16
1.6.1.1. Caput Femorisin Avülsiyon Kırığı	16
1.6.1.2 Proksimal Femoral Epifizyoliz ve Ayrılması	17
1.6.1.3. Collum (Boyun) Femoris Kırıkları	18
1.6.1.4. Trochanter Major Kırıkları	19
1.6.1.5. Caput Femoris, Collum Femoris ve Trochanterin Femoral Şaftlı veya Şaftsız Kırıklarının Kombinasyonu	20
1.6.1.6. Subtrohanterik Kırıklar	20
1.6.2. Diyafizer Femur Kırıkları	21
1.6.2.1. Transversal ve Kısa Oblik Kırıklar	21
1.6.2.2. Uzun Oblik ve Spiral Kırıklar	22
1.6.2.2.1. Tamamlanmamış Kırık	22
1.6.2.2.2. Tamamlanmış Kırık	22
1.6.2.2.3. Çok Parçalı (Multifragmental) Kırıklar	23
1.6.3. Distal Femur Kırıkları	24
1.6.3.1. Suprakondüler (Metafizyal) Kırıklar	25
1.6.3.2. Fizeal Kırıklar	25
1.6.3.3. Kondüler (Epifizyal) Kırıklar	26
1.7. Kırığın Biyomekaniği	27

1.8. Kırık İyileşmesi	29
1.8.1. Kırık İyileşmesi Çeşitleri	30
1.8.1.1. Primer (Direkt) Kemik İyileşmesi	30
1.8.1.2. Sekunder (İndirekt) Kemik İyileşmesi	31
1.8.2. Kırık İyileşme Dönemleri	32
1.8.2.1. Yangısel Dönem	32
1.8.2.2. Tamir Dönemi	33
1.8.2.3. Yeniden Şekillenme (Remodelizasyon) Dönemi	33
1.9. Femur Kırıklarının Sağaltım Yöntemleri	34
1.9.1. Biyolojik Osteosentez	34
1.9.2. Anatomik Redüksiyon	35
1.9.3. Fiksasyon Materyalleri	35
1.9.3.1. İntramedüller Pinler	35
1.9.3.1.1. Steinmann Pini	36
1.9.3.1.2. Rush Pini	36
1.9.3.1.3. Küntscher Çivisi	37
1.9.3.1.4. Kilitli İntramedüller Pin	37
1.9.3.2. Kirschner Telleri	38
1.9.3.3. Plaklar	38
1.9.3.4. Eksternal Fiksatorlar	39
1.9.3.5. Eksternal Fiksator ve İntramedüller Pin	39
1.9.3.6. Serklaj Telleri	39
1.9.3.7. Lag Vidaları	39

1.10. Kemik Plakları	40
1.10.1. Kemik Plaklarının Tarihçesi	40
1.10.2. Plakların Fonksiyonu	40
1.10.2.1. Kompresyon Plağı	41
1.10.2.2. Nötralizasyon Plağı	41
1.10.2.3. Destek Plağı	41
1.10.2.4. Köprüleme (Buttress) Plakları	42
1.10.3. Plak Çeşitleri	43
1.10.3.1. Dinamik Kompresyon Plağı (DCP)	43
1.10.3.2. Kilitli Kompresyon Plağı (LCP)	44
1.10.3.3. Sınırlı Temaslı Dinamik Kompresyon Plağı (LC-DCP)	44
1.10.3.4. Rekonstrüksiyon Plakları (RP)	45
1.10.3.5. Zincir Plaklar (SOP)	45
1.10.3.6. Gelişmiş Kilitleme Plakası Sistemi (ALPS)	46
1.10.3.7. Özel Dizayn Edilmiş Plakalar	47
1.10.4. Plakların Uygulanmasında Temel Kurallar	47
1.11. Biyomekanik terminoloji	48
1.11.1. Kuvvet	48
1.11.2. Gerilme (Stress)	48
1.11.3. Gerinme (Strain)	48
1.11.4. Elastisite Modülü	49
1.11.5. Burulma Momenti	49

1.11.6. Katılık	49
1.11.7. Eylemsizlik Momenti	49
2. MATERYAL VE METOT	50
2.1. Araştırmanın Tipi, Yapıldığı Yer, Tarih	50
2.2. Örneklerin Hazırlığı ve Gruplar	50
2.2.1. Kullanılan Plakların Tasarımı ve Özellikleri	52
2.2.2. Tespit Yöntemi	54
2.3. Yüklenme Testleri ve Ölçüm	55
2.3.1. Aksiyel Kompresyon Testi	56
2.3.2. Distraksiyon (Gerilme) Testi	57
2.3.3. Üç Nokta Bükme (Bending) Testi	59
2.3.4. Burulma (Torsiyon) Testi	60
2.4. İstatistiksel Analiz Yöntemi	62
3.BULGULAR	64
3.1. Aksiyel Kompresyon Testleri Bulguları	64
3.2. Distraksiyon (Gerilme) Testi Bulguları	69
3.3. Üç Nokta Bükme (Bending) Testleri Bulguları	74
3.4. Burulma (Torsiyon) Testleri Bulguları	79
4. TARTIŞMA	85
5.SONUÇ VE ÖNERİLER	90
6.KAYNAKLAR	91
ÖZGEÇMİŞ	95

SİMGELER VE KISALTMALAR

ALPS: Gelişmiş Kilitleme Plakası Sistemi (Advanced Locking Plate System)

AO: Osteosentez Soruları Çalışma Grubu (Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen)

ASİF: İnternal Fiksasyon Çalışma Grubu (Association for the Study of İnternal Fixation)

DCP: Dinamik Kompresyon Plağı (Dynamic Compression Plate)

kN: Kilonewton

LC-DCP: Sınırlı Temaslı Dinamik Kompresyon Plağı (Limited Contact Dynamic Compression Plate)

LCP: Kilitli Kompresyon Plak (Locking Compression Plate)

MPa: Megapascal

p: Anlamlılık Düzeyi

PAUL: Proksimal Abdüksiyon Ulna Osteotomisi (Proksimal Abducting Ulna Osteotomy)

PC-Fix: Nokta Temaslı Fiksator (Point Contact Fixator)

RP: Rekonstrüksiyon Plakları (Reconstruction Plates)

SOP: Zincir Plaklar (String of Pearls)

SS: Standart Sapma

TPLO: Tibial Plato Seviyelendirme Osteotomisi (Tibial Plateau Leveling Osteotomy)

TPO: Üçlü Pelvik Osteotomi (Triple Pelvic Osteotomy)

%: Yüzde

°: Derece

[Pa]: Pascal

ÇİZELGELER DİZİNİ

	SAYFA
Çizelge 2.1: Gruplardaki örnek sayıları.	51
Çizelge 3.1: Düz Plak ile tespit edilmiş materyallerin Kompresyon testi verileri.	65
Çizelge 3.2: S Plak ile tespit edilmiş materyallerin Kompresyon testi verileri.	65
Çizelge 3.3: Plaksız-sağlam kemik materyallerin Kompresyon testi verileri.	65
Çizelge 3.4: Grup I, grup V ve grup IX' un kompresyon testi Stress (Mpa) değeri istatistiksel analiz verileri. SS: Standart sapma. P: Anlamlılık düzeyi.	68
Çizelge 3.5: Düz Plak ile tespit edilmiş materyallerin distraksiyon (gerilme) testi verileri.	70
Çizelge 3.6: S Plak ile tespit edilmiş materyallerin distraksiyon (gerilme) testi verileri.	70
Çizelge 3.7: Plaksız-sağlam kemik materyallerin distraksiyon (gerilme) testi verileri.	70
Çizelge 3.8: Grup II, grup VI ve grup X' un distraksiyon testi Stress (Mpa) değeri istatistiksel analiz verileri. SS: Standart sapma. P: Anlamlılık düzeyi. (a,b,c: Farklı harfler arasındaki fark istatistik bakımından anlamlıdır.)	73
Çizelge 3.9: Düz Plak ile tespit edilmiş materyallerin üç nokta eğme (bending) testi verileri.	75
Çizelge 3.10: S Plak ile tespit edilmiş materyallerin üç nokta eğme (bending) testi verileri.	75
Çizelge 3.11: Plaksız-sağlam kemik materyallerin üç nokta eğme (bending) testi verileri.	75

Çizelge 3.12: Grup III, grup VII ve grup XI' un üç nokta bükme (bending) testi Stress (Mpa) değeri istatistiksel analiz verileri. SS: Standart sapma.

P: Anlamlılık düzeyi. 78

Çizelge 3.13: Düz Plak ile tespit edilmiş materyallerin torsiyon (burulma) testi verileri. 80

Çizelge 3.14: S Plak ile tespit edilmiş materyallerin torsiyon (burulma) testi verileri. 80

Çizelge 3.15: Plaksız-sağlam kemik materyallerin torsiyon (burulma) testi verileri. 80

Çizelge 3.16: Grup IV, grup VIII ve grup XII' un üç nokta bükme (bending) testi Stress (Mpa) değeri istatistiksel analiz verileri. SS: Standart sapma.

P: Anlamlılık düzeyi. 83

RESİMLER DİZİNİ

	SAYFA
Resim 1.1: Femur'un makroskopik ve mikroskopik yapısı (Arıcan, 2020).	2
Resim 1.2: A: proksimal epifiz (1 ve 3), proksimal metafiz (2), diyafiz (5), distal metafiz (2 ve 4) ve distal epifiz (1). 1B: Kemiğin periost ve endostu.	3
Resim 1.3: Kemik üzerindeki anatomik yerleri göstermek için olgunlaşmamış bir köpeğin sağlam bir femurunun kraniodorsal radyografisi (Sylvestre, 2019).	11
Resim 1.4: Kemiksel olarak olgunlaşmamış hayvanlarda, proksimal femur kırıklarının büyük çoğunluğu asıl fizisi içerir. En sık görülen kırıklar, kaymış bir başlık olarak da bilinen Salter-Harris tip I'dir; Bununla birlikte, metafizeal bir fragman bazen kafaya (ok) bağlı kalır ve bir tip II kırığı ile sonuçlanır (DeCamp ve ark., 2015).	18
Resim 1.5: Diyafizer kırıkların gruplandırılması. A) Açık kırık B) Yaş ağaç kırığı C) Çatlak kırığı D) Transversal kırık E) Oblik kırık F) Spiral kırık G) Birleştirilebilir parçalı kırık H) birleştirilemeyen parçalı kırık I) Çoklu veya Segmental kırık (DeCamp ve ark., 2015).	24
Resim 1.6: Salter – Harris sınıflandırması	26
Resim 1.7: Femurun distal ucunun kırıklarının karşılık gelen kranioyokaudal ve lateral radyografileri. Her durumda, gastrocnemius, semitendinosus ve semimembranosus kaslarından kas çekilmesi distal kırık segmentinin kaudal yer değiştirmesine neden olur (Tobias ve Johnston, 2013).	27
Resim 1.8: Kuvvet çeşitlerine göre oluşan kırık şekilleri. A) Aksiyel kompresyon kuvvetine bağlı gelişen oblik kırık. B) Distraksiyon (gerilme) kuvvetine bağlı gelişen transversal kırık. C) Torsiyon kuvvetine bağlı gelişen spiral kırık. D) Bending (bükülme) kuvvetine bağlı gelişen transversal ve/veya kelebek kırığı.	29
Resim 1.9: İntramedüller pin çeşitleri. A) Yivleri Negatif Profilli Schanz pini. B) Steinmann pini, trokar uçlu. C) Steinmann pini, kalem uçlu. D) Rush pini. E) Kilitli intramedüller pin ve vidaların kemik ve pin içinden tam olarak geçmesini kolaylaştıran drill rehberi (Piermattei ve ark., 2006).	36
Resim 2.1: Düz Plak Tasarım Çizimi.	52
Resim 2.2: S Plak Tasarım Çizimi.	53

Resim 2.3: Düz plak ile S plak tasarımı görseli.	53
Resim 2.4: Sol tarafta düz plak ile sağ tarafta S plak ile kırık hattı oluşturulmuş ardından stabilizasyonu sağlanmış femur kemikleri.	54
Resim 2.5: Deneylerin yapıldığı test cihazı.	55
Resim 2.6: Aksiyel kompresyon testi için hazırlanmış olan materyalin görseli.	56
Resim 2.7: Aksiyel kompresyon testi için test cihazına tutturulmuş düz plak tespitli materyal.	57
Resim 2.8: Distraksiyon testi için özel üretilen kemik tutma aparatları.	58
Resim 2.9: Distraksiyon testi için cihaza tutturulmuş S plak tespitli materyal.	59
Resim 2.10: Bending testleri için cihaza tutturulmuş düz plak ile tespitli materyal.	60
Resim 2.11: Torsiyon (burulma) testleri için hazırlanmış aparat ve aparata test için tutturulmuş, düz plak ile tespiti yapılmış materyal.	61
Resim 2.12: Torsiyon (burulma) testleri için hazırlanmış aparatın deney sırasındaki görseli.	62
Resim 3.1: Aksiyel Kompresyon testi sırasında S plak ile tespiti sağlanmış materyal.	64
Resim 3.2: Düz plak ile tespit edilmiş materyallere (n=6) ait aksiyel kompresyon testi grafiği görseli.	66
Resim 3.3: S plak ile tespit edilmiş materyallere (n=6) ait aksiyel kompresyon testi grafiği görseli.	67
Resim 3.4: Distraksiyon (Gerilme) testi sırasında düz plak ile tespiti sağlanmış materyal.	69
Resim 3.5: Düz plak ile tespit edilmiş materyallere (n=6) ait distraksiyon (gerilme) testi grafiği görseli.	71
Resim 3.6: S plak ile tespit edilmiş materyallere (n=6) ait distraksiyon (gerilme) testi grafiği görseli.	72
Resim 3.7: Bending Testi sırasında S plak ile tespiti sağlanmış materyal.	74
Resim 3.8: Düz plak ile tespit edilmiş materyallere (n=6) ait üç nokta bükme (bending) testi grafiği görseli.	76
Resim 3.9: S plak ile tespit edilmiş materyallere (n=6) ait üç nokta bükme (bending) testi grafiği görseli.	77
Resim 3.10: Torsiyon testi sırasında S plak ile tespiti sağlanmış materyal.	79
Resim 3.11: Düz plak ile tespit edilmiş materyallere (n=6) ait torsiyon	81

(burulma) testi grafiği görseli.

Resim 3.12: S plak ile tespit edilmiş materyallere ($n=6$) ait torsiyon (burulma) testi grafiği görseli.

82



1. GİRİŞ

M.Ö. 4000 yılından beri kırıkları tedavi etmek için girişimlerde bulunulduğuna dair kanıtlar vardır. İlk tıp uygulayıcıları, desteklenmezse kırıkların iyileşmeyeceğini veya uzuvların gelecekteki kullanımını tehlikeye atacak önemli malünyonlar geliştireceğini öne sürdüler. Bu nedenle, kırık kemikleri yeniden hizalamak ve çeşitli atel ve bandaj biçimlerini kullanarak iyileşme döneminin azaltılmalarını sağlamak için girişimlerde bulunmuştur. Metal plakaların ve vidaların kullanımı ilk olarak 1886'da Hansmann tarafından insanlarda tanımlanmıştır. Vidaların uçları, basit bir şekilde çıkarılmasını sağlamak için deriden çıkıntı yapacak şekilde uzun bırakılmıştır. Lane (1907) tamamen cilt altında bulunan ve hasta bakımını basitleştiren bir sistem geliştirdi; bu plakaların kullanımı 1927'de Larsen tarafından köpeklerde tanımlanmıştır (Gemmil ve Clements, 2016).

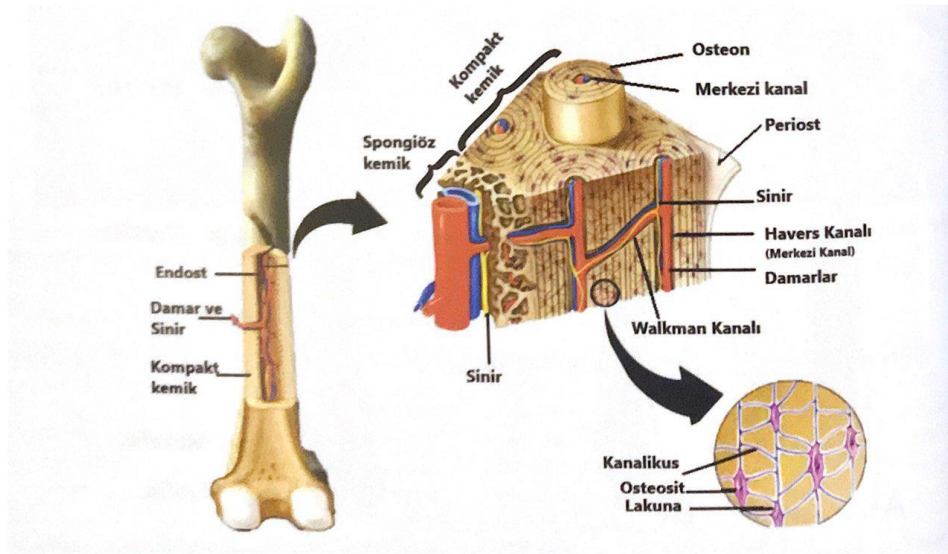
Diyafizer femur kırıkları ise femurun diyafizinde şekillenen kırıklardır. Bu tipteki kırıklar proksimal diyafizer, distal diyafizer ve orta diyafizer bölge kırıkları olarak gruplandırılır. Travmalar sonucunda meydana gelir ve çeşitlilik gösterirler. Genellikle transversal, oblik, spiral ve parçalı kırıklardır (Tercanlıoğlu, 2008).

Uzun kemiklerin kırıklarına kedi ve köpeklerde oldukça sık rastlanır. Genel olarak kırık sağaltımındaki hedef, en kısa sürede kırık hattında kaynama, erken fonksiyonel iyileşme ve postoperatif dönemde hayvanın rahatlığını sağlamak olmalıdır (Harasen, 2003).

1.1.Uzun Kemiklerin Makroskobik ve Mikroskobik Yapısı

Genç hayvanlarda epifiz ile diyafiz arasında osteojenik bir uzama bölgesi bulunur. Hayvanlar ergin yaşa gelince, bu bölgede tam anlamıyla bir kaynaşma gerçekleşir. Epifiz ile diyafiz arasındaki bu bölgeye metafiz adı verilir. Kemikler yapısal olarak iki farklı formdadırlar. Bu farklı formlardaki kemikler kompakt ve süngerimsi kemikler olarak gruplandırılır. Süngerimsi kemik, birbiri ile anastomozlaşan kemik trabeküllerinden oluşmuştur. Trabeküllerin arasında kemik iliği ile dolu şekilleri düzensiz boşluklar vardır. Kompakt kemikte ise gözle görülebilen boşluklar bulunmaz. Bunun yerine, kan damarlarını taşıyan, mikroskobik kanallar bulunur. Wolkman kanalları ise komşu Havers kanallarını birbirine bağlayan yan kollardır. Epifiz ile metafiz arasında Epifizeal büyüme plağı diye adlandırılan sınır bulunur (Aslanbey, 2002; İncesu, 2013; Arıcan, 2020).

Kırmızı kemik iliği, gelişiminin farklı dönemlerinde kan hücrelerinden, kan damarlarından ve kan hücre ve damarlarına destek sağlayan retikulum hücre ve ipliklerinden ibarettir (Dyce vd., 2002; Fuji vd.,2006; Arıcan, 2020).



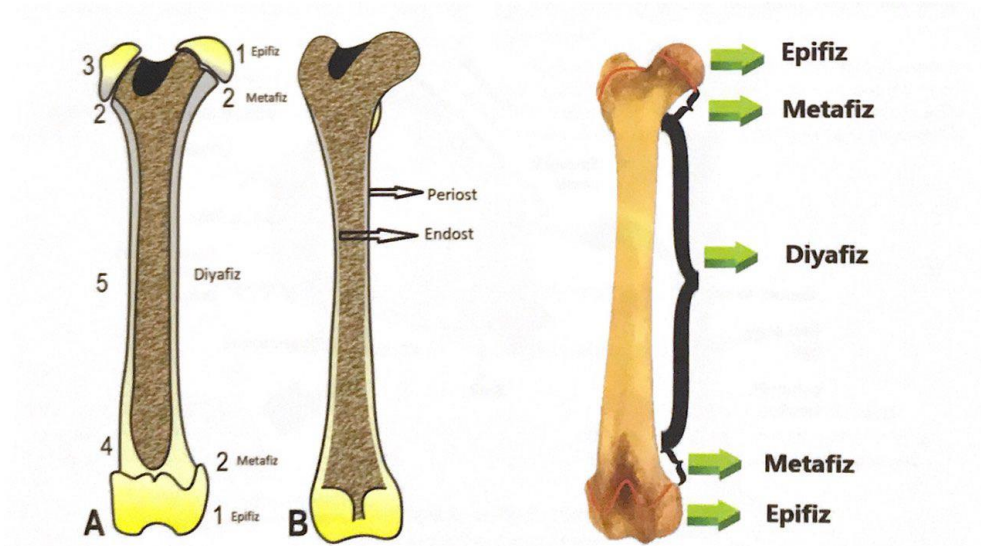
Resim 1.1: Femur'un makroskobik ve mikroskobik yapısı (Arıcan, 2020).

1.2. Femur Anatomisi

Femur (uyluk kemiği) iskelet sisteminin en uzun ve en kalın kemiklerinden biridir. Uzun kemiklerde, normal şartlar altında, özellikle kasların çekmesi ve canlı ağırlığa bağlı basma ve burma yüklenmeleri gibi fizyolojik yüklenmelerle birlikte, büyüme plaklarının kapanmasına kadar geçen süreçte kemikler uzunlamasına büyür ve enine genişleyerek, büyüme ve şekillenme sürecini devam ettirir. (Done vd., 1996; Dursun, 1996; Kilimci, 2012; Oral, 2017).

Femurun distalinde bulunan condylus femorisler tibia ve patella ile art. genuyu oluşturmaktadır (Dursun, 1996; Kilimci, 2012).

Facies poplitea'da, *n. tibialis* ve *n. peroneus (fibularis) communis* adıyla anılan iki kola ayrılarak sonlanır. *N. saphenous* ise *m. sartoriusun* gerisinde, *spatium femorale* de *a. femoralis* ve *v. femoralis* ile birlikte seyreder (Akgül, 2014). Femurun kaudo-distalinde *planum popliteum*a geçer ve *a. poplitea* adını alır (Akgül, 2014).



Resim 1.2: A: proksimal epifiz (1 ve 3), proksimal metafiz (2), diyafiz (5), distal metafiz (2 ve 4) ve distal epifiz (1). 1B: Kemiğin periost ve endostu (Arıcan, 2020)

1.3.Kırığın Tanımı

Bir veya birden fazla aşırı kuvvetin bir sonucudur ve milisaniyenin kesirleri gibi çok kısa bir sürede oluşur. Kırıkta, kan damarlarında dahil olmak üzere çevredeki yumuşak dokularda çeşitli derecelerde yaralanma ve lokomotor sistemin fonksiyon bozukluğuda görülür. Etiyolojisine bakıldığında birçok hazırlayıcı ve yapıcı nedenler yer almaktadır (Aslanbey, 2002; Şengöz, 2008; Görgül vd., 2012; Prieur, 2013; Akgül, 2014; DeCamp ve ark., 2015).

1.3.1.Hazırlayıcı Nedenler

Hazırlayıcı nedenler arasında yaşlılık, aşırı yorgunluk, mineral madde ve vitamin dengesizlikleri veya yetersizlikleri ile beraber hormonal bozukluklar; osteodistrophia fibrosa, osteogenesis imperfecta, çeşitli lokal lezyonlar; avasküler nekroz, osteocarcinoma, yangısal karaktere sahip hastalıklar; osteomiyelitis purulenta, metabolik hastalıklar; raşitizm, osteomalacia, osteoporosis gibi faktörler yer almaktadır (Aslanbey, 2002; Görgül vd., 2012; İncesu, 2013; Arıcan, 2020;).

1.3.2.Yapıcı Nedenler

Yapıcı nedenler arasında ise; kemik üzerine fazla ağırlık verilmesi, kemiğin uzunlamasına eksen etrafında dönme hareketi, trafik kazaları, ateşli silah yaralanmaları, ısırma ve aşırı kas kontraktürleri yer almaktadır. Yapıcı nedenlerde kendi arasında ikiye ayrılmaktadır. (Tercanlıoğlu, 2008; Görgül vd., 2012; İncesu, 2013).

1.3.2.1.Direkt Etkilenmeler

Veriler, tüm kırıkların yaklaşık %80'inin motorlu taşıtlara çarpmasından kaynaklandığını göstermektedir (Aslanbey, 2002; Tercanlıoğlu, 2008; Prieur, 2013; Arıcan, 2020;).

1.3.2.2.İndirekt Etkilenmeler

Kırıklara sebep olan hazırlayıcı nedenler bu indirekt etkilenmelere örnek gösterilebilir. Neoplazik, yangısal, metabolik, hormonal veya dejeneratif hastalıklarla sağlamlığı bozulan kemiğin çok basit bir zorlama veya herhangi bir travma olmaksızın kendiliğinden kırıldığı görülebilir. Stres ve yorgunluk kırıkları olarak adlandırılan olgular genellikle egzersiz yokluğu veya yetersizliği ile kas yorgunluklarından sonra, belirgin bir travma olmaksızın ortaya çıkabilir (Aslanbey, 2002; Tercanlıoğlu, 2008; İncesu, 2013; Arıcan, 2020).

1.4.Kırık Bulguları

Kemik kırıklarının klinik belirtileri; travmaya bağlı genel bulgular, asıl kırık bulguları ve genel belirtiler olmak üzere 3 grupta incelenirler (Tercanlıoğlu, 2008).

1.4.1.Travmaya Bağlı Genel Bulgular

Bunlar her travmada gözlenebilen fakat daha çok kırık olgularında söz konusu olan belirtileridir (Aslanbey, 2002; İncesu, 2013; Arıcan, 2020).

1.4.1.1. Ağrı

Herhangi bir travma sonunda gözlemlenebilir. Yumuşak doku yaralanmasındaki ağrıdan tamamen farklıdır. Ancak kırıklarda daha belirgin ve fazladır. Bazen kompresyon ile tam olmayan kırıklarda ağrı daha az hissedilir (Aslanbey, 2002; Tercanlıoğlu, 2008; İncesu, 2013; Arıcan, 2020).

Uzaktan uyarılan (indirekt) ağrı: ekstremitelerdeki kırıklarda hayvanın ayak tabanına vurulduğu zaman yukarı kısımlarda oluşmuş kırık bölgesinde bir ağrı ortaya çıkar (Aslanbey, 2002; Tercanlıoğlu, 2008; İncesu, 2013).

1.4.1.2. Hematom

Kırık hattındaki yumuşak dokuların kemik ve periost damarlarındaki yaralanma ya da kopmalardan sonra bölgede meydana gelen kanın toplanmasıdır. Bu durum dikkat çekici bir şişlik yapar. Yoğun kas tabakaları arasında kalan kemiklerin kırığında, hematoma bağlı şişlik her zaman belirgin değildir. Fakat karşı taraftaki ilgili bölge ile bir karşılaştırma yapmak yararlı olur (Aslanbey, 2002; Tercanlıoğlu, 2008; İncesu, 2013; Arıcan, 2020).

1.4.1.3.Ekimoz

Hayvanın kıllarının az olduğu bölgelerde veya traş edilmiş kısımlarda deri ve dokular arasına yayılan kanın pigmentlerinin koyu renkli görüntüsüdür (Aslanbey, 2002; Tercanlioğlu, 2008; İncesu, 2013; Arıcan, 2020).

1.4.1.4.Fonksiyon Bozukluğu

Kırıklarda kırık oluşan bacağın hiç fonksiyona iştirak edemediğı görülür. Fonksiyon bozukluğu daha çok bacakta meydana gelir. Bacaktaki odak yeri ortopedik bulgular sonucu tespit edilir ve tanıya gidilir. Spinal kırıklarda paralis, cranial travmalarda bilinçsizlik ya da mandibular kırıklarda çiğnemedede fonksiyonel bozukluk meydana gelir (Aslanbey, 2002; Tercanlioğlu, 2008; İncesu, 2013; Arıcan, 2020).

1.4.2.Kırığın Asıl Bulguları

1.4.2.1.Anormal Hareket

Anormal hareketlilik eklem bölgesine yakın ise bunun eklemin kendisinden kaynaklanan bir hareket mi yoksa oluşan kırık nedeniyle gelişen hareket mi olduğunu ayırt etmek zordur (Aslanbey, 2002; Tercanlioğlu, 2008; İncesu, 2013; Arıcan, 2020).

1.4.2.2.Krepitasyon

Kuvvetli palpasyon kapalı kırıklarda rutin olarak uygulanabilir ancak açık kırıklarda kontaminasyona neden olabilir. Fonksiyon bozukluğu görülen olgularda, anormal hareket ve krepitasyonu algılamak için uğraşmak yerine radyolojik muayeneler yapılabilir (Aslanbey, 2002; Tercanlıoğlu, 2008; İncesu, 2013; Arıcan, 2020).

1.4.2.3.Deformasyon

Kırık çevresinde hematoma, kontüzyon ve lacerasyon (yırtılma) görülebilir. Fakat lacerasyon açık kırıkta şekillenir. Normal anatomik yapının deviasyonu, kırık kemik deplasmanı deformasyonuna neden olabilir. (Aslanbey, 2002; Tercanlıoğlu, 2008; İncesu, 2013; Arıcan, 2020).

1.4.2.4.Palpasyon Belirtileri

Sağlam bacak ile kırık kemiğin yer aldığı bacak arasında karşılaştırmada uzunluk, genişlik ve deformitenin tespiti yapılır (Aslanbey, 2002; Tercanlıoğlu, 2008; İncesu, 2013; Arıcan, 2020).

1.4.2.5.Radyolojik Bulgular

Radyolojik bulgular; tanı, sağaltım ve olgunun prognozu açısından önemli verilerdir. Radyografide simetrik olarak yapılan karşılaştırma önemli bilgiler verir. Kırık olan kemiğin proksimal ve distalindeki eklemleri içeren radyografiler alınmalıdır (Aslanbey, 2002; Tercanlıoğlu, 2008; İncesu, 2013; Arıcan, 2020).

1.4.3.Genel Belirtiler

Kırığa bağlı olarak hayvanda bir durgunluk iştahsızlık gözlenir. Kırığın hareket alanında yarattığı ağrıya bağlı olarak, hayvanın yürümek ya da ayakları üzerinde doğrulmak istemediği ve dolayısıyla en rahat edebileceği pozisyonda kalmayı tercih ettiği dikkati çeker (Tercanlıoğlu, 2008; İncesu, 2013; Arıcan, 2020).

1.5. Kırıkların Sınıflandırılması

Kırıklar, hayvan sahipleri ve meslektaşlar arasında doğru iletişim sağlamak ve uygun tedavinin planlanmasına yardımcı olmak için sınıflandırılır. 1990 yılında Zürih Üniversitesi Veteriner Fakültesi'nde 1038 adet kedi ve köpek uzun kemik kırığı içeren radyografiler üzerinde yapılan incelemeler sonucunda, Unger ve arkadaşları, Müller tarafından yapılan AO (Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen) insan kırık sınıflandırma sistemini kedi ve köpeklere uyarlamayı başarmışlardır. Bu sınıflandırmalar; kırığın çevreye açık olup olmadığına, hasar derecesine ve parçaların yer değiştirmesine, kırığın tipine, kırık parçalarının yük taşıyacak şekilde yapılandırılmasına (redüksiyon olup-olmaması), göre hem hayvanın uzuvlarına hem de radyografilere bakılarak değerlendirilir (Şengöz, 2008; Fossum, 2013; Turan vd., 2018; Arıcan, 2020).

1.5.1. Anatomik Olarak Kırıkların Sınıflandırılması

Kırıklar anatomik olarak oluşma yerlerine göre epifizer kırıklar, diyafizer kırıklar ve suprakondiler kırıklar olarak sınıflandırılırlar (Aslanbey, 2002).

1.5.1.1. Epifizer Kırıklar

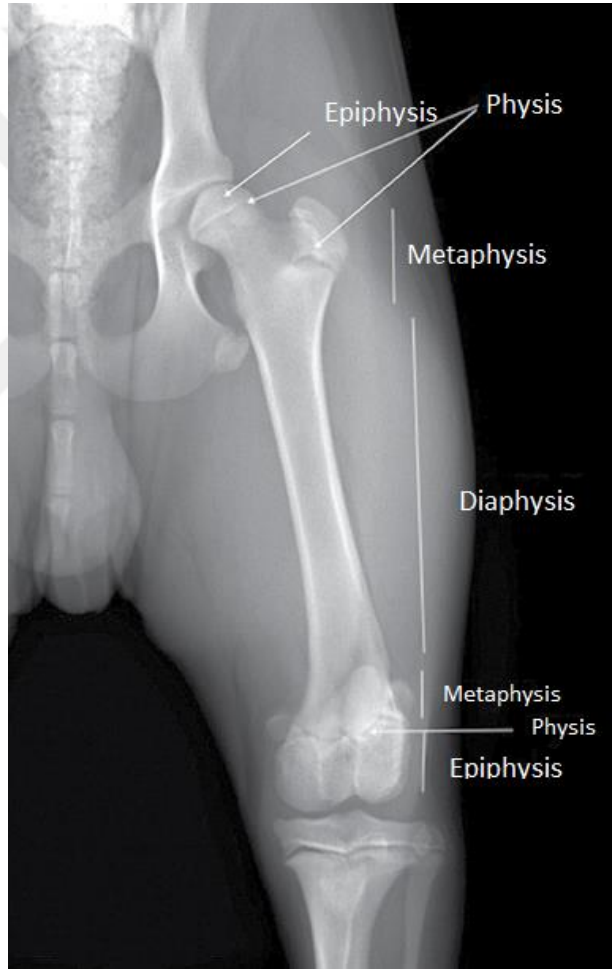
Epifiz, proksimal veya distal uzun bir kemiğin sonudur. Epifizer kırıklar genç hayvanlarda epifizyal plakların açık ve kıkırdak olduğu dönemde de şekillenir. Genç hayvanlarda proksimal ve distal epifizyal plak kırıkları olarak adlandırılır. Yetişkin hayvanlarda phseal ya da physis kırıkları olarak tarif edilebilir. Bu kırıklarda kırığın şekline ve büyüklüğüne göre doğru bir sınıflandırma yapılmıştır. Buna Salter-Harris sınıflandırması denir. Epifiz hattında şekillenen kırıklardır. Salter ve Haris tarafından epifizer kırıklar beş grupta sınıflandırılmıştır. Bu gruplar; tip I, tip II, tip III, tip IV ve tip V'tir. Tip I kırıkları epifiz hattında boydan boya oluşan, tip II kırıkları epifiz hattında boydan boya oluşan ve metafiz bölgesinden bir fragmentin bu kırığa bitişik olduğu, tip III kırıkları eklem yüzeyinden başlayıp epifiz hattındaki büyüme plağının periferine kadar devam eden, tip IV kırıkları eklem yüzeyinden başlayıp metafize kadar ilerleyen ve tip V kırıkları ise büyüme plağındaki şiddetli travmanın etkisi sonucu germinetif hücrelerde geri döndürülemez (irreversibl) harabiyet oluşması sonucu meydana gelen kırıklar olarak adlandırılabilir (Tercanlıoğlu, 2008; Prieur, 2013; Sylvestre, 2019).

1.5.1.2. Diyafizer kırıklar

Uzun kemiğin diyafizer bölümü, kemiğin orta bölümünü tanımlar. Proksimal ve distal metafiz arasında yer alır ve metafiz hattından daha kalın ve sert bir kortekse sahip olan kortikal kemikten oluşur; genellikle yağ dolu bir ilik boşluğuna sahiptir. Diyafizer kırıklar kemiğin diyafizer bölgesinde meydana gelen kırıklardır. Bu kırıklar proksimal diyafizer, distal diyafizer ve orta diyafizer bölge kırıkları olarak adlandırılır. Genellikle travma kaynaklı meydana gelir ve çeşitlilik gösterirler. Oluşum şekli olarak transversal, oblik, spiral ve parçalı kırıklardır. Travmayı takiben kırık meydana gelir ve bu durumda dikkatli olmak gerekir. Çünkü neoplaziler sonucu da patolojik kırıklar meydana gelebilir. Bu durum göz önünde bulundurulmalıdır (Tercanlıoğlu, 2008; Sylvestre, 2019).

1.5.1.3. Suprakondüler Kırıklar

Epifiz hattının birkaç santimetre proksimalinde şekillenen kırıklardır. Daha çok erişkin hayvanlarda meydana gelir. Bu kırıklar femurun distal metafiz bölgesinde tek bir kırık ya da femur korpusu veya kondüler kırıklarla birlikte bulunurlar. Bu tip kırıklar genelde parçalıdır ve anatomik redüksiyon ve stabilizasyonu zordur (Tercanlıoğlu, 2008).



Resim 1.3: Kemik üzerindeki anatomik yerleri göstermek için olgunlaşmamış bir köpeğin sağlam bir femurunun kraniodorsal radyografisi (Sylvestre, 2019).

1.5.2. Derinin Yaralanmasına Göre Kırıkların Sınıflandırılması

1.5.2.1. Kapalı Kırıklar

Kırık uçlarının etrafını çevreleyen deride travmaya bağlı olarak bütünlüğünde bir bozukluk olmamasıdır. Kırık uçları deri ile örtülüdür. Kırık uçlarının bu nedenle dış ortamla bir bağlantısı bulunmamaktadır. Bu tip kırıkların sağaltımında prognoz daha iyidir (Aslanbey, 2002; Tercanlıoğlu, 2008; Prieur, 2013).

1.5.2.2. Açık Kırıklar

Kırık uçlarının etrafını çevreleyen derinin travmaya bağlı olarak bütünlüğünün bozulduğu olgulardır. Kırık uçları dış ortamla ilişkili haldedir. Bu kırıklar genellikle direkt travma veya ateşli silahlarla yaralanmalar sonucu meydana gelir. Bazen sivri kırık kemik uçlarının çevresindeki dokuyu yırtarak dışarı çıkması şeklinde oluşur. Kırık hattındaki hematoma dışarı akar. Dışarıdan içeriye enfeksiyon etkenleri gireceğinden, bu kırıklar her zaman enfekte olarak kabul edilir ve iyileşmeleri de geç ve zor olmaktadır (Aslanbey, 2002; Tercanlıoğlu, 2008; Prieur, 2013).

Açık kırıkların başarılı yönetimi; hasta değerlendirmesi, kırık sınıflandırması, antibiyotik tedavisi, yara debridmanı, yara yönetimi, yumuşak doku restorasyonu ve kırık stabilizasyonunu içerir (Tobias ve Johnston, 2013).

Açık kırık sınıflandırma şemaları; yumuşak doku hasarının ilişkisini ve derecesini tanımlar. Ayrıca tedavi kılavuzları ve prognoz ile korelasyon gösterecek şekilde tasarlanmıştır. Kırığın şekline, doku hasarına ve bakteriyel kontaminasyona göre açık kırıklar da kendi arasında sınıflandırılır. Bu sınıflandırma yapılırken beşerî tıpta

kullanılan Gustilo-Anderson sınıflandırma yönteminden yararlanılır (Tobias ve Johnston, 2013).

1.5.2.2.1. Birinci Derece Açık Kırıklar (Tip I)

Sivri bir fragmentin bölgeyi örten yumuşak dokuya penetre olarak, içeriden dışarıya doğru delmesi, yırtması olarak kabul edilir. Ortalama 1 cm'den küçük bir yara ile açık halde bulunur. Bu tip kırıklar, kırığa sebep olan olayı takiben kırık hattının hareketlerinin kısıtlanmaması ve kontrol altına alınamaması nedeniyle oluşur. Laserasyon cildin bir kemik parçası tarafından nüfuz etmesiyle ilişkili olabilir. Yara temizdir ve en az doku hasarına sahiptir. Genellikle sınırlı yumuşak doku hasarı mevcuttur, kırık fragmentleri sağlamdır ve parçalanmamıştır. Kemik uçları deri seviyesinin altına başka bir ifade ile deri altına geri çekilir (Tercanlıoğlu, 2008; Prieur, 2013; Tobias ve Johnston, 2013).

1.5.2.2.2. İkinci Derece Açık Kırıklar (Tip II)

Yabancı bir cismin dışarıdan içeriye doğru penetrasyonu sonucu şekillenen açık kırık tipidir. Tip 1' e göre daha komplikedir. Kırıkla ilişkili olan yara hattı 1 cm' den daha büyüktür ve yumuşak dokularda, kaslarda daha fazla harabiyet vardır (Tercanlıoğlu, 2008; Prieur, 2013; Tobias ve Johnston, 2013).

1.5.2.2.3. Üçüncü Derece Açık Kırıklar (Tip III)

Açık kırıklar arasındaki en şiddetli form olarak kabul edilir. Yumuşak doku ve kemik avülsiyonu kırığın bir parçası olarak kabul edilir. Yumuşak doku ve kemik kaybı sıklıkla görülür. Dışarıdan bir yabancı cismin penetrasyonu sonucu şekillenir ve yumuşak doku kaybı ile birlikte görülür. Ateşli silah yaralanması ve trafik kazası gibi yüksek enerjili bir travmayı takiben oluşur. Üçüncü derece açık kırıklar da meydana

gelen hasar ve bu hasarların onarımı göz önünde bulundurularak üç grup altında incelenir. Birinci grup; yaranın büyüklüğüne bakılmaksızın geniş yumuşak doku hasarına, fleplere veya yüksek enerjili travmaya rağmen kırık kemiğin yeterli yumuşak doku ile kaplandığı açık kırıktır. İkinci grup; geniş bir yumuşak doku kaybı olan, periostal hasara maruz kalmış ve yüksek miktarda kontaminasyon ile ilişkili bir açık kırıktır. Üçüncü grup; onarım gerektiren arter yaralanması ile ilişkili bir açık kırıktır (Tercanlıoğlu, 2008; Prieur, 2013; Tobias ve Johnston, 2013).

1.5.3. Kırık Hattına Göre Kırıkların Sınıflandırılması

1.5.3.1. Enlemesine (Transversal) Kırıklar

Kırık çizgisi, kemiğin uzun eksenine diktir veya eğilme, açılanma kuvveti ile oluşur. En fazla 30 derecelik bir açı ile şekillenebilir. Uzun kemiklerin diyafizer bölgesinde sıklıkla oluşur. Transversal kırıklar çoğunlukla düzgün, pürüzsüz ya da pürüzlü veya kırık yüzeylerinde derin dişli şeklinde oluşabilir (Aslanbey, 2002; Prieur, 2013; Karahallı 2015).

1.5.3.2. Eğrilemesine (Oblik) Kırıklar

Bu tip kırıklara flüt ağzı kırıklar da denir. Bükülme kuvveti sonucu oluşan, kırık çizgisi eğri olan kırıktır. Kırık hattı kemiğin uzun eksenine 30 derecelik açıdan daha büyük bir açı ile şekillenir. Her bir fragmentin iki kortekside aynı ve düzdür. Oblik kırıkların kenarları çoğunlukla pürüzlüdür, nadiren de pürüzsüz olabilir. Kortikal kenarlar düz ve oldukça sivridir (Aslanbey, 2002; Prieur, 2013; Karahallı 2015).

1.5.3.3. Helezoni (Spiral) Kırıklar

Bükücü (torsiyon) veya döndürücü (rotasyon) kuvvetlerin etkisi ile meydana gelen kırık çeşididir. Kemik kendi eksenini etrafında dönerek kırık hattı spiral bir hal alır. Spiral kırıkların kenarları keskin ve uçları sivri olabilir. Kırık uçları kayar, kısalık ve duruma göre dirseklenme vardır. Bu tip kırıklarda, alttaki fragmentte distalde yer alanı kendi eksenini etrafında döner. Ortaya çıkan bu duruma *dislocatio ad peripheriam* denir (Aslanbey, 2002; Prieur, 2013; Karahallı 2015).

1.5.3.4. Avülsiyon (Kopma) Kırıklar

Kemiklere yapışan adele, tendo veya ligament gibi anatomik bağların şiddetli aktif kontraksiyonu veya pasif çekilmeleri ile bunların yapıştığı kemik çıkıntıları, esas kemik gövdesinden koparak ayrılır. Bu olgulara *diastase*'li kırık da denir (Aslanbey, 2002; Prieur, 2013; Karahallı 2015).

1.5.3.5. Parçalı Kırıklar

Çoğu kez direkt kuvvet etkisi ile oluşan parçalı (komünitif) kırıklardır. Bu kırıklarda ikiden fazla fragment bulunur. Genellikle humerus, tibia ve femur gibi kemiklerin kondiluslarında Y ve T şeklinde kırık çizgilerine rastlanır (Aslanbey, 2002; Prieur, 2013; Karahallı 2015).

1.6. Femur Kırıklarının Bölümleri

Femur kırıkları köpek ve kedilerde en sık görülen kırık türüdür ve tüm kırıkların %20 ila %26'sını oluşturur. Femur kırıkları genellikle doğrudan yüksek enerjili bir travmanın sonucudur. Bu travma kemiğin çok hızlı yüklenmesine neden olur. Viskoelastik özelliklerinden dolayı kemik, yüklenme hızıyla orantılı olarak enerjiyi emer. Böylece çok hızlı yükleme, kırılmadan önce yüksek enerji emilimine neden olur. Enerji, kemik

kırıldığında çevredeki yumuşak dokular aracılığıyla dağılır ve kaslarda ve nörovasküler yapılarda önemli yaralanmalara neden olabilir. Bu yüksek enerjili kırıklar tipik olarak çok parçalıdır ve oldukça kararsızdır. Femur ayrıca aşırı burulma ve eğilme yüklerinin bir sonucu olarak kırılabilir; bu tür yaralanmalar genellikle sırasıyla spiral veya enine kırıklara neden olur. Birçok femur kırığı, karmaşık yükleme modellerinin sonucudur ve ortaya çıkan kırık, genellikle bir dereceye kadar parçalanmayı eğik ve spiral kırık çizgileriyle birleştirir. Femur kırıkları eğilme (baskı ve gerilim), kesme ve burulma (rotasyonel) kuvvetlere maruz kalır. Kırık uçları, kas kuvvetleri nedeniyle serbest kalma ve dönme eğilimindedir. Kırık iyileşmesi, yumuşak doku yaralanması ve kan akışının azalması ile komplike hale gelir. Kırık uçlarına etki eden kuvvetlerin etkisiz hale getirilmemesi ve kan beslemesinde daha fazla hasarın önlenmesindeki başarısızlık, ilişkili kırık ile birlikte gecikmiş kaynama veya kaynamamaya neden olabilir (Whitehair ve Vasseur, 1992).

1.6.1. Proksimal Femoral Kırıklar

Proksimal bölge kırıkları, femurun proksimal bölgesinde şekillenen kırıklardır. Femur kırıklarının yaklaşık %25'ini oluşturur. Bu kırıklar *caput femoris*, *collum femoris* ve trochanterlerde şekillenen kırıkları kapsar. Proksimal femurdaki kırıkların onarımı çok daha zor olma eğilimindedir. Yaklaşım, kemiğin bu kısmına vaskülerizasyon ve kaslar nedeniyle daha zordur. Caput ve collum femoris kırıkları genç köpeklerde görülür. 10 – 12 aylık ve üzeri yaştaki köpeklerde koks-femoral dislokasyon da eşlik eder. Collum femoris kırıkları nadiren de yaşlı köpeklerde görülür. Kırıkların çoğu trafik kazaları ile ilgilidir. Bu şekilde kırıklar collum femorisin uzun eksenine doğru dikey olarak meydana gelir. Bu kırıkların çok azı cerrahi olmayan tedaviye yanıt verecektir (Tercanlıoğlu, 2008; İncesu, 2013; DeCamp ve ark., 2015; Gemmill ve Clements, 2016; Sylvestre, 2019).

1.6.1.1. Caput Femorisin Avülsiyon Kırığı

Bu kırıklarda ligament etrafında caput femoriste küçük bir parça kalır ve caput femoris kranio-dorsal yönde disloke olur. Caput femorisin avülsiyon kırıkları; tek başına, asıl fizeal veya femur boyun kırıkları ile birlikte ortaya çıkabilir. Kırık segmenti farklı ölçülerde ligament etrafında kalır ve radyo opak görüntü verir. Kırık segmentine ligament kas ve kas grupları bağlanır (Tercanlıoğlu, 2008; Sylvestre, 2019).

1.6.1.2 Proksimal Femoral Epifizyoliz ve Ayrılması

Bu durum genç hayvanlarda gözükmemektedir. Genelde 4-11 aylık yaşlar arasında oluşur. Olguların çoğunda epifizler ayrılma vardır (Salter-Harris Tip I ya da Tip II). Bunlarla birlikte aynı zamanda minör kırıklarda oluşabilir. Eklem kapsulası iyileşme sırasında çoğunlukla epifize yapışır. Olguların çoğunda bu yapışma vardır. Kapsula damarlarının *caput femoris* ve *collum femorise* dolaşarak tehlikeli trombozların önlenmesi için eğer redüksiyon ve fiksasyon yapılacaksa ilk 24 saat içinde operasyon gerçekleştirilmelidir. *Collum femoriste* aynı zamanda hızlı bir deminerilizasyon gerçekleştirilir ve bu değişiklik 7-10 günde radyografik olarak kanıtlanabilir. Geciken her gün başarı şansı düşer. İyi bir iyileşme tepkisi için hasta dört gün içinde tedavi edilmelidir. On gün içinde tedavi edilen hastalarda başarı sağlanabilir ama *collum femoriste* deminerilizasyon yüzünden rijit fiksasyonda zorluklar olabilir. Bu tip olguların tedavisinde temel amaç kalça eklemine korumaktır. Kranialateral ve dorsal yaklaşımla kalça eklemine girilir ve birçok otorite görüş alanının geniş olması nedeniyle bu yaklaşımları önermektedirler (Tercanlıoğlu, 2008; DeCamp ve ark., 2015).



Resim 1.4: Kemiksel olarak olgunlaşmamış hayvanlarda, proksimal femur kırıklarının büyük çoğunluğu asıl fizisi içerir. En sık görülen kırıklar, kaymış bir başlık olarak da bilinen Salter-Harris tip I'dir; Bununla birlikte, metafizeal bir fragman bazen kafaya (ok) bağlı kalır ve bir tip II kırığı ile sonuçlanır (DeCamp ve ark., 2015).

1.6.1.3. Collum (Boyun) Femoris Kırıkları

Collum femoris kırıkları, önemli travmalardan sonra her yaştan kediler ve köpeklerde ortaya çıkar. Çoğu collum femoris kırıkları nedeni travmalardır. Başlangıçta akut bir topallık görülür. Fiziki muayenede genellikle topallık, kalça eklemine ağrı ve krepitasyon semptomlarına rastlanır. Collum femoris kırığı tanısını doğrulamak için radyografik muayeneden yararlanılır. Sedasyon veya anestezi altında pelvisin lateral ve

ventrodorsal pozisyonda görünümü alınmalıdır. Bu tip kırıkların onarımı zor olabilir ve sıklıkla subtrochanteric femur kırıkları ile birlikte bulunur. Bazen collum femoris kırıkları, kırığa eklem bileşeni oluşturarak caput femoris boyunca uzanır. Bu tip kırıkların onarımı esnasında, osteoartrit olgularını önlemek için eklem yüzeyinin doğru anatomik redüksiyonu gerekmektedir. Büyüme plaklarında olan ve kemiğin uzaması beklenen genç hastalarda kırığı stabilize etmek için farklı K-telleri kullanılmalıdır, çünkü asıl fizeal hatta yerleştirilen bir lag vidası fizisin hızlı kapanmasına ve büyümenin durmasına neden olacaktır (Beale, 2004).

Bu tip kırıklarda kırık hattı farklıdır ve genellikle basittir veya multiple de olabilir. Orijinal yaralanmaya bağlı olarak femurun caput ve collum kısmında farklı derecelerde zedelenmeler oluşur. Çalışmalar gösteriyor ki erken cerrahi müdahale; kırık alanındaki kompresyonlu ve düzgün redüksiyon aralıksız rijit fiksasyon ve postoperatif bakım istenmeyen komplikasyon insidansını azaltır (Tercanlıoğlu, 2008).

1.6.1.4. Trochanter Major Kırıkları

Trochanteric kırıklar nadir olarak gelişir. Büyüme plağındaki erken kapanma ile meydana gelecek kısılma, ayaktaki diğer eklemlerin ekstensiyonu ile dengelenir (Özsoy ve Altunatmaz, 2003; Beale, 2004; Gemmill ve Clements, 2016).

Femurun proksimal metafizinde yer alan *trochanter* bölgesindeki kırıklar ister *intertrochanteric* ister *paratrochanteric* olsun rush ya da steinman çivileri ile fiksasyonu gerekli görülen olgularda bu çivilerin serklaj telleri ile sağlanacak gerdirme bandı vasıtası ile desteklenmesi gerekir. Trochanterin avülsiyon kırıklarında çivileme ve vidalama uygulamasının yanında tel ligatür uygulanarak fiksasyonun güvence altına alınması yararlı olur. Bazen *trochanter major*'un avülsiyon kırıkları sırasında *caput femoriste* dislokasyon şekillenebilir. Bu durumda trochanter tespit edildikten sonra *caput femoris acetabuluma* yerleştirilir (Tercanlıoğlu, 2008).

1.6.1.5. Caput Femoris, Collum Femoris ve Trochanterin Femoral Şaftlı veya Şaftsız Kırıklarının Kombinasyonu

Bu tip kırıklarda *caput femoris*, *collum femoris*, *trochanter major* ve proksimal metafizde multiple kırıklar oluşur. Bu tip kırıkların sağaltımında açık redüksiyon uygulanır. Kalça eklemine cranio-lateral yolla girilir. Ensizyonun ucu femurun uzun eksenini boyunca femura lateral yaklaşım sağlanacak şekilde uzatılır. Fragmentlerin fiksasyonu pin, vida, serklaj ve plaka uygulamaları ile sağlanır. Bacak iki ile dört hafta süre ile askılı bandaja alınır ve egzersiz altı hafta süre ile kısıtlanır. Bahsedilen açık kırık redüksiyon işlemleri dışında fragment uçları deplase olmamış tüm proksimal femur kırıklarının sağaltımında; kafes istirahati, destekli bandaj uygulamaları ve kapalı ortopedik sağaltım (kapalı redüksiyon ve splintlerle immobilizasyon, dıştan fiksasyon ve splintlerle immobilizasyon) yöntemleri ile de başarılı sonuçlar alınmaktadır (Tercanlıoğlu, 2008).

1.6.1.6. Subtrohanterik Kırıklar

Subtrohanterik kırıklar, femurun proksimal metafiz bölgesini içerir ve izole bir kırık olarak ortaya çıkabilir veya bir femur boynu veya diyafiz kırığı ile birlikte bulunabilir. Bu tip kırıklar genellikle çok parçalıdır. Bu tür bir kırığın anatomik olarak redüksiyonu ve yeterince stabilize edilmesi zor olabilir. Erken kemik iyileşmesi için önemli olan, kırık fragmentlerine bölgesel kan akışının zarar görme olasılığını azaltmak amacıyla minimal diseksiyon yapılmalıdır. Bu tip kırıklar anatomik olarak redükte ve stabilize edilebilir veya dolaylı olarak redükte ve minimal invaziv teknik kullanılarak biyolojik osteosentez ile tedavi edilebilir. Yaygın olarak kullanılan implant sistemleri arasında pin ve tel, lag vidaları, plaklar, kilitli pin ve pin-plak ile sabitleme bulunur. Eksternal fiksatörler ek olarak da uygulanabilir, ancak kemiği kaplayan ve hasta morbiditesini artıran büyük miktarda yumuşak doku nedeniyle femurda kullanımları daha az arzu edilir (Beale, 2004; Gemmill ve Clements, 2016).

1.6.2. Diyafizer Femur Kırıkları

Diyafizer femur kırıkları, tüm femur kırıklarının %56' sını teşkil eder. Kemiğin diyafizer bölgesinde şekillenen kırıklardır. Enine, kısa veya uzun eğik, spiral, kelebek, segmental ve parçalı dahil olmak üzere uzun kemikler için tanımlanan tüm kırık çeşitlerine, iskelet sistemi olarak olgun ve olgunlaşmamış hayvanların femoral diyafizinde karşılaşılabılır. Yetişkin hayvanların diyafizi birçok fiksasyon yöntemine uygun olmasına rağmen, bu kırıkların onarımı geçmişte yüksek komplikasyon insidansı ile ilişkilendirilmiştir. Benzer şekilde genç hayvanlarda diyafiz onarımı, esas olarak ince bir elastik korteksi çevreleyen kalın bir periosttan oluşan olgunlaşmamış kemiğin zayıf mekanik özellikleri nedeniyle zor olabilir. Bu konfigürasyon, hızlı kemik iyileşmesini güçlendirmesine rağmen, olgun kortikal kemik ile karşılaştırıldığında kemik gücünü azaltır. Bu nedenle sadece kırık modelinin değil, hastanın yaşının ve diyafiz kompozisyonunun da dikkate alınması, implant seçimi ve başarılı kırık onarımı için önemlidir (Lipowitz, 2010; Tobias ve Johnston, 2013).

1.6.2.1. Transversal ve Kısa Oblik Kırıklar

Transversal ve kısa oblik kırıklarda köpeklerde dinamik kompresyon plağı kullanılmaktadır. Plak uygulaması sonucunda ekstremité fonksiyonel açıdan kullanılabilir duruma olduğundan iyileşme daha hızlı olmaktadır. Çoğu transversal ve kısa oblik kırıkta kilitli intramedüller pin kullanımı da uygundur (Aslanbey, 2002; Akgül, 2014).

1.6.2.2. Uzun Oblik ve Spiral Kırıklar

Kırık kemiğin uzun eksenine 30 dereceden daha büyük bir açıyı tanımlar. İntramedullar pin ile kombine edilen çoklu serklaj uygulamaları diyafizer uzun oblik ve spiral kırıklarda başarılı sonuçlar vermektedir (Yardımcı ve Çetinkaya, 2007; DeCamp ve ark., 2015).

Spiral kırılma, kırık hattının diyafiz etrafında kıvrıldığı özel bir eğik kırılma durumudur. Hasarın boyutu şu şekilde açıklanabilir;

1.6.2.2.1. Tamamlanmamış Kırık

Çoğu zaman sadece korteksi bozan bir kırığı tanımlamak için kullanılır. Tamamlanmamış bir kırığa genç hayvanlarda kırılmamış korteksin bükülmesi nedeniyle yaş ağaç (greenstick) kırığı denir. Çatlak kırıkları, kortekse doğrusal veya spiral yönde nüfuz eden ince çatlaklar halinde görülür. İskelet olarak olgunlaşmamış hayvanlarda periosteum genellikle bozulmadan kalır (DeCamp ve ark., 2015).

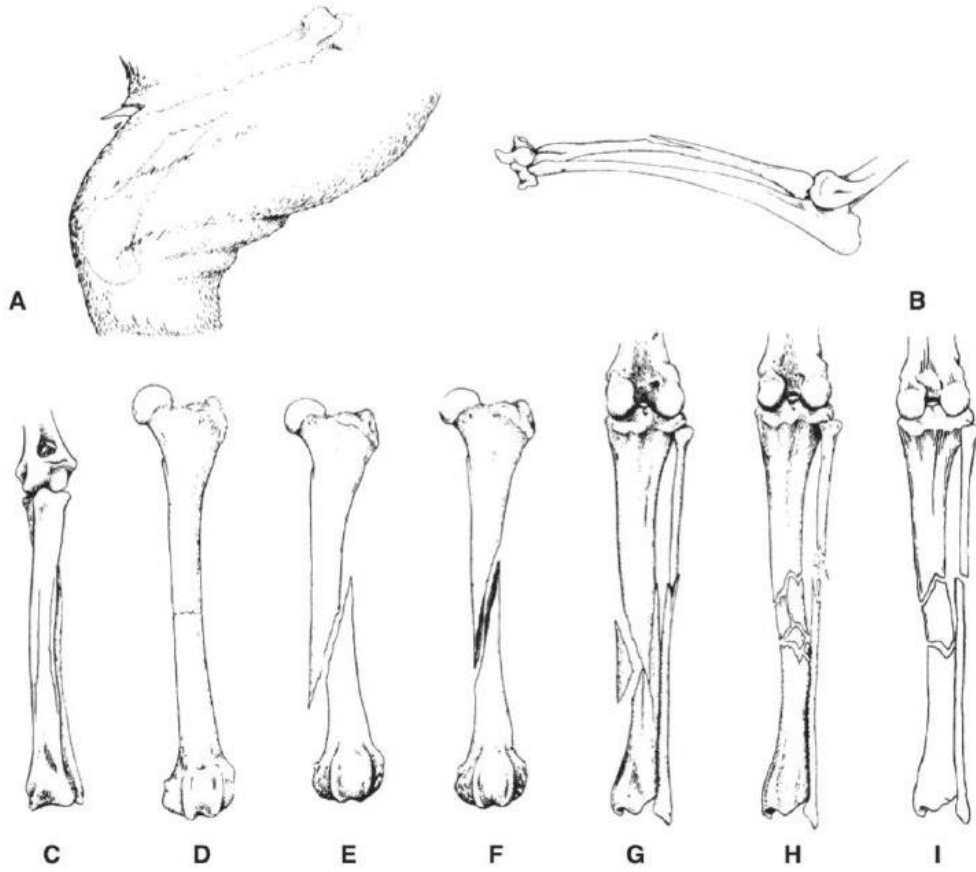
1.6.2.2.2. Tamamlanmış Kırık

Tam bir kırık, kemiğin çevresel bir şekilde bütünlüğünün bozulmasını tanımlar. Kırık bölgesinde bir kusurla sonuçlanan herhangi bir parçalanma, kırık redüksiyonundan sonra kemik çapının üçte birinden daha küçük olmalıdır (DeCamp ve ark., 2015).

1.6.2.2.3. Çok Parçalı (Multifragmental) Kırıklar

Parçalanmış kırıklar olarak da bilinen multifragmental kırıklar, orta hatta bir veya daha fazla tamamen ayrılmış parçaya sahiptir. Parçalı kırıklar da oluşum şekillerine göre birkaç gruba ayrılır (DeCamp ve ark., 2015).

Redüksiyondan sonra ana fragmentler arasında bir miktar temas olan multifragmental bir kırık olan parçalı kırıktır. Bir diğeri kemik çapının üçte birinden daha büyük uzunluk ve genişliğe sahip parçalardan oluşan çok parçalı ancak parçaların ana kırık fragmentlerine redüksiyonu ve stabilizasyonundan sonra basit bir kırık haline gelen birleştirilebilir parça kırıklarıdır. Yine bir diğeri; uzunluğu ve genişliği kemik çapının üçte birinden daha az olan ve çapın üçte birinden fazla küçültülmesinden sonra ana fragmanlar arasında bir hasar ile sonuçlanan birleştirilemeyen parçalı kırıklardır. Son olarak gruplanan kırık çeşidi çoklu veya segmental kırıktır. Bu kırıkta kemik üç veya daha fazla parçaya bölünür. Kırık çizgileri ortak bir noktada buluşmaz. Bu, birleştirilebilir parçalı kırığın özel bir durumudur (DeCamp ve ark., 2015).



Resim 1.5: Diyafizer kırıkların gruplandırılması. A) Açık kırık B) Yaş ağaç kırığı C) Çatlak kırığı D) Transversal kırık E) Oblik kırık F) Spiral kırık G) Birleştirilebilir parçalı kırık H) birleştirilemeyen parçalı kırık I) Çoklu veya Segmental kırık (DeCamp ve ark., 2015).

1.6.3. Distal Femur Kırıkları

Femurun distal bölgesi troklea ve kondüllerden oluşur. Femurun distal kırıkları; metafizeal, fizeal, epifizeal olarak gruplandırılmaktadır. Kondüler ve interkondüler terimleri; iskelet gelişimi tamamlanmış canlılarda (kedilerde) epifizi içeren kırıkların tanımlanmasında kullanılırlar (Whitehair ve Vasseur, 1992; Slatter, 2003).

Distal femur kırıkları, femurun tüm kırıklarının %20 ila %25'ini oluşturur. Herhangi bir femur kırığında olduğu gibi konservatif tedavi uygun değildir ve cerrahi tedavi zorunludur. Kırık konfigürasyonu, cerrahi seçenekler ve prognoz, kırığın distal femur

içindeki anatomik konumundan etkilenir, çünkü her bölge mekanik ve biyolojik özelliklerine göre birbirinden farklıdır (Tobias ve Johnston, 2013).

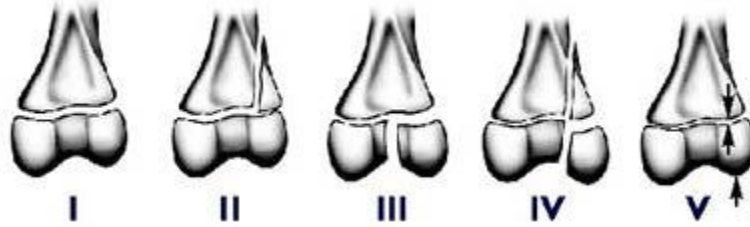
1.6.3.1. Suprakondüler (Metafizal) Kırıklar

Suprakondiler kırıklar köpeklerde nadirdir ve en çok iskelet sistemi olgunlaşmış hayvanlarda görülür. Tüm femur kırıklarının sadece %6' sını kapsayan distal femur kırıklarının %30' unu oluşturur. Kondrodistrofik ırklar farklı femur anatomilerinin bir sonucu olarak bu kırık tipine yatkın görünmektedir. Bu kırıklar, sinerjik eksenel yükleme ve varus veya valgus rotasyonunun bir sonucu olarak, diyafizin kortikal kemiği ile epifizin süngerimsi kemiği arasındaki geçiş bölgesinde meydana gelir. Suprakondiler kırıklar tipik olarak metafiz bölgesinde izole kalır. Bununla birlikte, diyafiz veya epifizi içerecek şekilde yayılabilirler. Kırıktan sonra, epifizin hattının kaudale doğru yer değiştirmesi genellikle kondüllerin şekli ve gastrocnemius kası tarafından oluşan kontraksiyonun bir sonucu olarak görülür. Fiksasyon için özellikle parçalı veya ilişkili epifiz kırıklarında, suprakondiler kırık redüksiyonu ve fiksasyonu oldukça zor olabilir. Erken kemik iyileşmesi için önemli olan, fragmentlerin bölgesel kan akımına zarar verme olasılığını azaltmak için minimal diseksiyon yapılmalıdır (Beale, 2004; Tobias ve Johnston, 2013).

1.6.3.2. Fizeal Kırıklar

Distal femoral fizeal kırıkları, iskelet sistemi olarak olgunlaşmamış 4-11 aylık hayvanlarda sıklıkla görülür. Bunlar tüm distal femur kırıklarının %60' ını oluşturur ve köpeklerde en sık görülen fiziksel yaralanmadır. Köpeklerde bu kırıklar genellikle kaudal metafizin bir kısmını içerecek şekilde proksimal olarak yayılır ve bu da Salter-Harris tip II kırığı ile sonuçlanır. Tersine, kedilerin muhtemelen kaudal fiziksel interdigitasyonları daha küçük olduğu için Salter-Harris tip I kırıkları için daha büyük

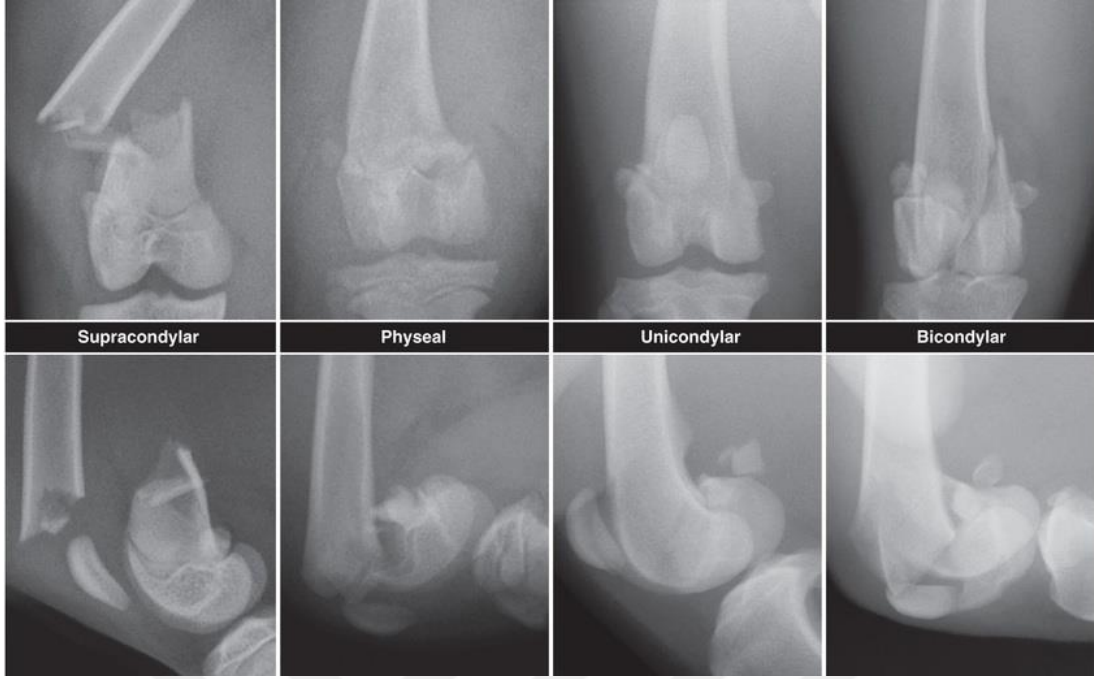
bir eğilimi vardır. Salter- Harris tip III veya IV kırıkları her iki türde de nadiren görülür (Sağlam ve ark., 1999; İncesu, 2013; Tobias ve Johnston, 2013).



Resim 1.6: Salter – Harris sınıflandırması (İncesu, 2013).

1.6.3.3. Kondüler (Epifizeal) Kırıklar

Distal femur epifizini içeren kırıklar hem genç hem de yetişkin hayvanlarda seyrek görülür ve tüm distal femur kırıklarının sadece %10 ile %15' ini oluşturur. Bir ya da her iki kondülü de içerebilirler ve bu nedenle genellikle ünikondüler veya bikondüler kırıklar olarak adlandırılırlar. Bu kırıklar bir eklem yüzeyini içerdiğinden, tedavi anatomik rekonstrüksiyon, rijit fiksasyon ve kontrollü aktiviteye erken dönüşü içermelidir. Özellikle bikondüler kırıklar ile birlikte kollateral ve çapraz bağlar gibi çevre yumuşak dokular ve ayrıca menisküsler de eşzamanlı travmaya maruz kaldığı için operasyondan önce ve sırasında dikkatlice değerlendirilmelidir (Tobias ve Johnston, 2013).



Resim 1.7: Femurun distal ucunun kırıklarının kranio-kaudal ve lateral radyografileri. Her durumda, gastroknemius, semitendinosus ve semimembranosus kaslarının kontraksiyonu distal kırık segmentinin kaudale yer değiştirmesine neden olur (Tobias ve Johnston, 2013).

1.7. Kırığın Biyomekaniği

Kemikler normal işlevi sırasında birçok ve birleşik kuvvete maruz kalır. Bu kuvvetlerin toplamının büyüklüğü kemiğin nihai gücünü aştığında, bir kırılma meydana gelir. Kuvvetlerin yüke maruz kalan kemiğe yönelimleri ile tanımlanması kavramsal olarak yararlıdır. Wolff yasasına göre kemik; az stresli alanlarda değil, yüksek stresli alanlarda şekillenerek kendisini optimize eder ve en az ağırlıkla en yüksek mukavemet için şekillendirilmiş bir kemikle sonuçlanır (Tobias ve Johnston, 2013; Akgül, 2014).

Uzun kemikler fizyolojik veya fizyolojik olmayan kuvvetlere maruz kalırlar. Fizyolojik olmayan kuvvetler; motorlu araç kazaları, silah ile yaralanmalar ve düşmeler gibi doğal olmayan durumlarda görülür. Bu baskılar kemiğe direkt olarak iletilirler ve kolaylıkla kemiğin toplam sağlamlığını aşarak kırığa yol açabilirler (Akgül, 2014).

Fizyolojik kuvvetler; genelde ağırlığın taşınması, kas kasılmaları ve bunlarla ilişkili fizyolojik aktiviteler tarafından oluşturulurlar. Bu kuvvetler kemiğe eklem yüzeylerinden ve kas kasılmalarından ulaştırılırlar. Fizyolojik kuvvetler tek eksensel (gerilme veya stres) olduğu gibi, torsiyonal ve eğilme momentlerine de neden olabilirler. Fizyolojik kuvvetler genelde kemiğin toplam sağlamlığını aşmazlar ve anormal durumlar dışında kırıklardan sorumlu değildirler (Akgül, 2014).

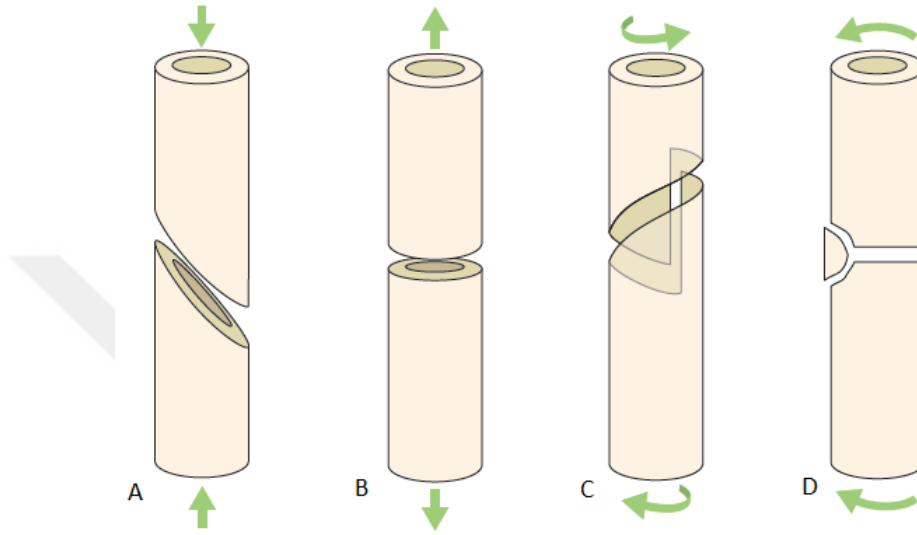
Kemiğe etki eden 4 ana fizyolojik kuvvet bulunmaktadır. Bunlar; aksiyal kompresyon, gerilme(distraksiyon), bükülme (bending) ve torsiyon (burkulma) kuvvetleridir. Bu farklı kuvvet tipleri farklı kırık çeşitlerinin meydana gelmesine sebep olur (Harari, 2002; Akgül, 2014).

Kemiğin aksiyal kompresyonu, kemiğin uzun eksenine paralel yönde meydana gelen yüklenmelerden oluşur. Direkt olarak hayvanın ağırlığı ve bacağı kullanması ile ilgilidir. Bu tür kuvvetler tek başına etkidiğinde daha çok oblik kırıklara neden olurlar (Tobias ve Johnston, 2013; Akgül, 2014).

Uzun kemiklerde, kemiğin bir tarafının dış bükey ve karşı tarafın iç bükey kuvvetlere maruz kalması ile bending (eğilme) kuvvetinin oluşmasına neden olur. Üç noktalı eğilme, her bir uça uygulanan eşit yükten ve uçlar arasında bir noktada uygulanan zıt yükten kaynaklanır. Bu durum, yük uygulama sahasında en yüksek olan ve bu sahadan uzaklaştıkça lineer olarak azalan bir eğilme momentine neden olur (Tobias ve Johnston, 2013; Akgül, 2014).

Gerilme (distraksiyon) kuvvetleri, kasların kemik ile bağlanma noktasında meydana gelen kas kasılmalarından oluşur. Bu tür bir kırıktan sonra kırık yüzeylerinin önemli ayrılma ve küçük hareketlerini önlemek için, ortaya çıkan germe veya çekme kuvvetine ortopedik implantlar ile karşı konulmalıdır (Akgül, 2014).

Torsiyon (burkulma), kemiğin uzun eksenı boyunca dönmesi ile meydana gelir. Bu, rotasyonel deformasyon ve kemik yüzeyinin laterale yer değiştirmesi ile sonuçlanır. Bu tür kuvvetler kemiğe etkidiğinde spiral kırıklar oluşur (Tobias ve Johnston, 2013; Akgül, 2014).



Resim 1.8: Kuvvet çeşitlerine göre oluşan kırık şekilleri. A) Aksiyel kompresyon kuvvetine bağlı gelişen oblik kırık. B) Distraksiyon (gerilme) kuvvetine bağlı gelişen transversal kırık. C) Torsiyon kuvvetine bağlı gelişen spiral kırık. D) Bending (bükölme) kuvvetine bağlı gelişen transversal ve/veya kelebek kırığı (Gemmill ve Clements, 2016).

1.8. Kırık İyileşmesi

Kırık iyileşmesi, kırıkta ve kemik yıkımından sonra fonksiyon için gerekli olan doku sürekliliğini geri kazandıran biyolojik süreçtir. Kırık kemiklerin çoğu cerrahi müdahale ve hatta dış koapitasyon olmadan iyileşir. Bununla birlikte iyileşmiş kemik nihayetinde eklem kırığı durumlarında ekstremitte hizalama anormallikleri (malunion), yumuşak doku kontraktürü veya sekonder osteoartrit nedeniyle yeterince işlev görmeyebilir. Bu nedenle kırık onarımının amacı, kırık öncesi fonksiyona eşdeğer ve işlevsel bir sonuç elde etmek olmalıdır. Bu sonucun elde edilme kolaylığı, kırılan kemiğe ve kırığın kendisinin koşullarına bağlı olarak büyük ölçüde değişir. Çeşitli kemik iyileşme

süreçlerini ve cerrahi müdahalenin bu süreçleri nasıl etkilediğini anlamak, belirli bir kırık kemik için uygun tedavi yöntemini seçmek için esastır. Kırık tedavisinin amaçları iyileşmeyi teşvik etmek, etkilenen kemiğe ve çevresindeki yumuşak dokuya işlevi geri kazandırmak ve kozmetik olarak kabul edilebilir bir görünüm elde etmektir (Fossum, 2013; Tobias ve Johnston, 2013).

1.8.1. Kırık İyileşmesi Çeşitleri

Kırık iyileşmesi, primer ve sekonder iyileşme olmak üzere iki şekilde olur. Primer kırık iyileşmesinde kırık fragmentleri arasında bağlayıcı doku olarak kemik şekillenirken, sekonder kırık iyileşmesinde önce kartilaginöz ya da fibröz doku oluşur (İncesu, 2013).

1.8.1.1. Primer (Direkt) Kemik İyileşmesi

Primer (direkt) kırık iyileşmesi, fragmentlerin tam stabilizasyonu sağlandığı takdirde gerçekleşir ve kırık hattında kırık dokusu oluşumu şekillenmeden kırık hattı direkt kemik dokusu ile doldurulur (Aslanbey, 2002).

Fragmentlerin uygun anatomik pozisyonu ve katı fiksasyonu oluşturulduğunda hiçbir kallus dokusu oluşmadan primer kırık iyileşmesi şekillenir. Havers sistemi hiçbir endokondral iyileşme süreci olmaksızın kırık hattına geçer ve direkt olarak kortikal kemiği onarır. Yeterli stabilite eşliğinde kansellöz kemikte de direkt olarak trabeküler rejenerasyon oluşumu muhtemeldir. Bu durumda ise defekt içinde şekillenen kollejen ve elastin fibrinlerinin oluşturduğu aksiyel büyüme sorumludur. Primer kırık iyileşmesi cerrahi müdahale olmaksızın gelişemez. İnternal Fiksasyon Çalışma Grubu (ASİF)' na göre ideal tedavi; tam anatomik redüksiyon, katı fiksasyon ve normal fonksiyona hızlıca ulaşma ile sağlanır (Arıcan, 2020).

Kemiği uzun eksenine paralel yönde ve korteksten kortekse lamellar kemik formasyonu ile oluşan ve hemen haversiyen kanalların gelişimi ile meydana gelen bu tip kırık iyileşmesinde, kırık aralığının mesafesi de büyük rol oynamaktadır. Bu tip kırık iyileşmesini ikiye ayırmak gerekir (Aslanbey, 2002).

Primer kemik iyileşmesinin ikinci çeşidi boşlukla (gap) iyileşmedir. Başlangınçta mevcut olan boşluk (gap) fibröz kemik ağı ile doldurulur. Mekanik olarak zayıf olan bu kemik 7-8 hafta içerisinde zamanla güçlenir ki buna gap iyileşmesi adı verilir. Primer iyileşmede anatomik redüksiyon ve stabil şartlarda kırık fragmentleri arasındaki mesafe 800 mikrometre-1 mm' den az ise boşluklu iyileşme görülür. İlk olarak kırık hattında lamellar kemik oluşumu uzun aksa enine olacak şekilde yönlenir ve kırık boşluğunda çok az bir stabilite sağlar. İyileşmenin üçüncü haftası civarında Haversiyen kanallarının yeniden şekillenmesi meydana gelir ve osteonlar boşluğu geçmeye başlar (Aslanbey, 2002; Sadak, 2007; Tobias ve Johnston, 2013; Arıcan, 2020).

1.8.1.2. Sekunder (İndirekt) Kemik İyileşmesi

Sekunder kemik iyileşmesi anatomik olarak yeniden yapılandırılmayan ve rijit iç fiksasyonla stabilize edilmeyen kırık iyileşme çeşididir. Dolaylı kemik iyileşmesi olarak da adlandırılan sekunder kemik iyileşmesi organize bir süreçle iyileşir. Sekunder kemik iyileşmesi aynı zamanda kırıkların cerrahi müdahale olmadan doğada iyileşmesini sağlayan mekanizmadır. Normal koşullarda bir kırık şekillendikten sonra, kemik uçlarında az da olsa instabilite şekillenir. Fragmentler arasında şekillenen hareketler yeni kemik formasyonunu engellerken, fragmentler arasında kemik doku formasyonunu bozan bir doku gelişir (Tobias ve Johnston, 2013; Arıcan, 2020).

İkincil kemik iyileşmesinin periost ve çevresindeki yumuşak doku alanının organize bir tepkisini içermesi nedeniyle ikincil kemik iyileşmesinin ayırt edici özelliği; periosteal ve endosteal yüzeylerin sınırlarının aksiyal ve aksiyal bölgenin ötesine uzanan kallus

oluşumu veya onarıcı hücrelerin ve hücre dışı matriksin birikmesidir. Dolaylı kemik iyileşmesi, kırık bölgesinde fibröz bağ dokusu ve kırıkta kallus oluşumu ile karakterizedir. İkincil kemik iyileşmesi iki temel yolla parçalar arası gerilimi azaltma işlevi görür. İlk olarak kırık bölgesindeki osteoklastlar, kırık kenarlarındaki ölü kemiği çıkararak kırık boşluğunun genişlemesine neden olur. Kırık boşluğunun genişlemesi, iyileşmenin ilk birkaç haftasında radyografik olarak tespit edilir. Kırık boşluğunda ölü kemiğin rezorpsiyonu; interfragmanter mesafeyi artırır ve gerilmeyi, granülasyon dokusunun kırık boşluğu içinde oluşabileceği ve hayatta kalabileceği yeterli bir seviyeye indirir. İkincisi; kemiğin eksen dışı yüzeyinde bir dış kallus oluşmaya başlar. Kallusun kırık kemikten uzadığı radyal mesafe ne kadar büyük olursa, iyileşme dokusunun eylemsizlik momenti alanındaki artışa bağlı stabilite o kadar büyük olur (Fossum, 2013; Tobias ve Johnston, 2013).

1.8.2. Kırık İyileşme Dönemleri

Kırık iyileşme dönemleri; Yangısal dönem (%10), Tamir dönemi (%40) ve Yeniden Yapılanma (remodeling) dönemi olmak üzere üç ana dönem içinde olur (Arıcan, 2020).

1.8.2.1. Yangısal Dönem

Hematom ilk 8-24 saatte artarak bölgede şişme, ağrı ve dolaşım bozukluğu yapar. Enflamasyon kırık anında başlar ve yumuşak kallus oluşumu başlayana kadar devam eder. İlk 24 saatten sonra kaslar ve fascialar arasındaki hematom ve eksudat rezorbe olmaya başlar. Bu aşamada doku elastikiyeti kalmaz. O nedenle fragmentlerin redüksiyonu güçleşir. Kırık uçlarda 1-5 mm arasında nekroz gelişir. Yangısal hücreler nekrotik dokuları rezorbe ederken fibroblastlar bölgeye gelerek tamir dönemini başlatır (Aslanbey, 2002; Tobias ve Johnston, 2013; Arıcan, 2020).

1.8.2.2. Tamir Dönemi

Bu dönemde ilk 48 saat içinde periost, endeost ve kırığa yakın yerlerdeki Havers kanallarının tabakalarından hücre proliferasyonu başlar. Sağlam ve olgun bir granülasyon dokusu yatağının ortaya çıkması, inflamasyonun sonunu ve yumuşak kallus oluşumunun başlangıcını gösterir. Granülasyon dokusu endotel hücreleri; fibroblastlar, lökositler ve esas olarak fibrinden oluşan geçici hücre dışı matristen oluşur. Başlangıçta oluşan bu kallus yumuşaktır. Radyografik olarak gözlenmez. Daha sonra osteoblastlardan osteosit üretilir ve kondroblastlar da osteoblastlara dönüşür. Kırığın sertliğini arttırmaya devam etmek için yumuşak kallus içindeki kondrositler hipertrofiye uğrar ve bitişik hücre dışı matrisi mineralize etmeye başlar. Mineralize kıkırdak; fibrokartilagenöz kallus çevresindeki istilacı vasküler ağlara bitişik olarak ilerleyen osteoklastların ve osteoblastların hayatta kalmasını sağlamak ve baskıyı kabul edilebilir seviyelere sınırlamak için yapısal mukavemete ve sertliğe sahiptir. Bu hücreler ilerledikçe, osteoklastlar mineralize fibrokartilagenöz dokuyu uzaklaştırır ve osteoblastlar dokuma oluşturmak için osteoid biriktirir. Aynı zamanda periost ve endost kökenli osteoblastlar kemik matriksi olan osteositin yapımına başlar. Ön kallusun yerini yavaş yavaş kemik (ossöz) kallus alır. Ossöz kallus meydana gelmiştir ve kemik kaynaması oluşmuştur. Sert kallusun yapısal mukavemeti ve sertliği, işleve geri dönüş için yeterlidir. Radyografik olarak iyileşmiş kemiğin çapı normalden daha büyüktür ve genellikle şekilsizdir. Bu aşamaya 4-6 haftada ulaşır (Aslanbey 2002; Arıcan, 2020).

1.8.2.3. Yeniden Şekillenme (Remodelizasyon) Dönemi

Wolff kanunlarına göre olur. Kemiğin yeniden şekillenmesi, sırasıyla osteoklastlar ve osteoblastlar tarafından örülmüş kemiğin koordineli rezorpsiyonunu ve lameller kemiğin oluşumunu içerir. Eksternal kallus dokusu lamellar kemiğe; internal kallus medullar kaviteye dönüşür. Onarım fazında oluşan örgü kemik, lamellar kemikle yer değiştirir ve iyileşme süreci tamamlanır. Başarılı yeniden şekillenme süreci için yeterli kanlanma ve mekanik stabilitede dengeli artış, kritik bir role sahiptir. Kemikte kaliteli

iyileşme elde edebilmek için birbiriyle ilişkili anatomik, biyomekanik ve biyokimyasal süreçlerin iyi yönetilmesi gerekmektedir (Tobias ve Johnston, 2013; Arıcan, 2020).

1.9.Femur Kırıklarının Sağaltım Yöntemleri

Femur kırıkları biyolojik osteosentez prensipleri kullanılarak veya anatomik redüksiyon ve stabilizasyon ile tedavi edilebilir. Cerrahi yaklaşım seçilen tekniğe bağlı olarak değişecektir. Femur kırıklarının sağaltımında çeşitli fiksasyon yöntemlerinden faydalanılır. İnternal olarak intramedüller ve ekstramedüller yöntemlerden yararlanılır (Beale, 2004; Hulse vd., 2005).

1.9.1. Biyolojik Osteosentez

Biyolojik osteosentez, kemik fragmentlerinin minimum düzeyde işleme maruz kalmasını içerir. İndirekt redüksiyon, kırık hattının minimum manipülasyonunu gerektirir. Kırık hematomunun uzaklaştırılması veya tahrip edilmesi gerekmez. Parçalanmış fragmentler anatomik olarak küçültülmez ve yumuşak dokulara bağlı bırakılır. Kemik uzunluğuna göre uzamsal hizalanma sağlanır. Bu şekilde tedavi edilen kırıkları stabilize etmek için kullanılan yaygın implant sistemleri arasında intramedüller pin, plak, pin-plak kombinasyonu, kilitli intramedüller pin, pin-plak-eksternal fiksator kombinasyonu bulunur. Serklaj telleri kullanılmamalıdır. Biyolojik osteosentez tekniği, kırık parçalarına kan akışının korunması sonucu oluşan hızlı iyileşme nedeniyle karmaşık ve parçalı kırıklar için idealdir. Erken kemik kallusu geliştikçe, implanta daha az yük biner ve kemik sütununa daha fazla yük biner (Beale, 2004).

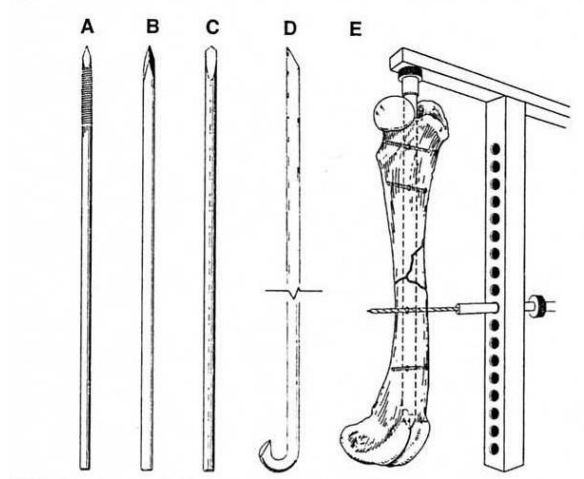
1.9.2. Anatomik Redüksiyon

Anatomik redüksiyon, stabiliteyi sağlamak için kemik sütununun yeniden yapılandırılmasını içerir. Femurun etkilenen bölgesine geleneksel bir açık cerrahi yaklaşım yapılır. Çoğu kırık lateral bir yaklaşımı gerektirir. Kırık parçaları redükte edilir ve pimler, teller ve vidalar kullanılarak ayrı ayrı stabilize edilir. Tüm kemik daha sonra kemik plakları, pin ve serklaj telleri, eksternal fiksatörler, pin-plak yapıları ve kilitli pinler dahil olmak üzere implant sistemlerinden biri veya bir kombinasyonu kullanılarak desteklenir. Bu teknikler uygulanırken kemik parçalarına ve yumuşak dokuları korumak için çaba gösterilmelidir, ancak bu yapıların bir miktar bozulması yaygındır (Beale, 2004).

1.9.3. Fiksasyon Materyalleri

1.9.3.1. İntramedüller Pinler

İntramedüller pinlerin çok sayıda çeşitleri vardır. Bunlar; Steinmann pini, Rush pini, Schanz pini, Kilitli İntramedüller Pinler, Küntscher çivisidir (Rudy, 1975).



Resim 1.9: İntramedüller pin çeşitleri. A) Yivleri Negatif Profilli Schanz pini. B) Steinmann pini, trokar uçlu. C) Steinmann pini, kalem uçlu. D) Rush pini. E) Kilitli intramedüller pin ve vidaların kemik ve pin içinden tam olarak geçmesini kolaylaştıran drill rehberi (Piermattei ve ark., 2006).

Diyafizer oblik kırıklarda tek başına kullanılabileceği gibi serklaj teli ile birlikte de uygulanabilir (Sağlıyan ve Han, 2016).

Kırık olgusunun klinik ve radyolojik yönlerden dikkatlice değerlendirilmesi ve olgunun durumuna göre, en uygun olan osteosentez materyali ve tekniğinin seçilmesi gerekir. Medullar kanala göre kalın çaplı bir pin, korteksin yarılmasına neden olur. İnce çaplı olanlar ise fragmentlerin hareketlerini önleyemez ve kırık kaynamasının gecikmesine ve hatta hiç olmamasına neden olur (Aslanbey, 2002).

1.9.3.1.1. Steinmann Pini

Silindirik gövdeli ve kompakt yapıdadırlar. Veteriner hekimlikte, osteosentez materyali olarak en çok tercih edilen pin çeşitidir. Silindirik gövdeli ve kompakt yapıdadırlar. Her iki ucu da trokar ucu şeklinde sivritilmiştir. Genellikle kemiklerin diyafizer kırıklarda fiksasyon materyali olarak tercih edilirler. (Aslanbey, 2002; Piermattei ve ark., 2006).

1.9.3.1.2. Rush Pini

Rush pinlerinin bir ucu kanca gibi kıvrık ve kemiğe çakılan diğer ucu şiv tarzında kesik olan pinlerdir (Aslanbey, 2002).

Medial ve lateral kondüllerden, kırılma çizgisi boyunca yönlendirilen farklı rush pinleri; diyafizin karşı korteksinden saptırılabilir ve proksimal metafize yerleştirilebilir. Bu pin yerleştirme yöntemi genellikle rush pin tekniği olarak adlandırılır. Bu teknik nispeten basit suprakondüler veya distal diyafiz kırıklarında iyi çalışır (Beale, 2004).

1.9.3.1.3. Küntscher Çivisi

Kesiti yonca yaprağı veya “V” şeklindedir. Bu çivilerin bir yanı açık ve içi boş olduğundan içinden tel kılavuz tel geçirilebilir. Çivi kesitinin gösterdiği özellik, fragmentlerin dönmesine engel olur. Ayrıca çivinin ucuna yakın yerde bulunan oval delikler kanca takılarak çivinin kolayca çıkarılması imkânını sağlar (Aslanbey, 2002).

1.9.3.1.4. Kilitli İntramedullar Pin

Kilitli intramedullar pin sistemi köpeklerde ve kedilerde parçalı kırıkların biyolojik veya anatomik kırık yönetimi için başka bir etkili implant sistemidir. Kilitli intramedullar pin, vidaları veya cıvataları yerleştirmek için tasarlanmış enine deliklere sahip modifiye edilmiş bir Steinmann pinidir. Vidaların veya cıvataların eklenmesi, pinin kırık bölgesindeki rotasyon ve kompresyon kuvvetlerine direnme kabiliyetini artırır. Kilitli intramedullar pin sistemi, humerus, femur ve tibia kırıklarının onarımı için köpeklerde ve kedilerde kullanılır. Kilitli intramedullar pin sistemi; kemik plağı

sisteminden daha ucuzdur, ancak benzer biyomekanik özelliklere sahiptir. Kilitli intramedullar pin uygulanması kolaydır ve kemik plağı sistemine yatırım yapmak istemeyen pratisyen hekimler için iyi bir seçenektir. Kilitli intramedullar pin, biyolojik osteosentez veya anatomik redüksiyon prensipleri ile yönetilen kırıklar için etkin bir şekilde kullanılabilir (Bernard vd., 2001, Beale, 2004).

1.9.3.2. Kirschner Telleri

İntramedüller fiksasyon için oldukça ince ve yetersizdirler. Daha çok oblik kırıklarda ek fiksasyon yöntemi olarak kullanılırlar. Silindirik gövdelidirler. Kirschner telleri distal fizeal kırıklarda çapraz pin tekniği uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır (McLaughlin, 1999; Aslanbey, 2002).

1.9.3.3. Plaklar

Veteriner ortopedide kullanılan kemik plaklarının değişik amaç, kalınlık, ağırlık ve boyutta olan tipleri bulunmaktadır. Plak fiksasyonunu güçlendirici alternatif metod plak-rod kombinasyonu olarak tanımlanan intramedüller pinle birlikte plak uygulamasıdır. Plağın tek başına kullanımıyla bu kombinasyon kıyaslanacak olursa; bu kombinasyonla birlikte dayanıklılık kayda değer oranda arttırılmış olur (Johnson vd., 1998; Aslanbey, 2002; İncesu, 2013).

1.9.3.4. Eksternal Fiksatorler

Eksternal fiksatorler uzun kemik kırıklarında osteotomiler, eklem artrodezi ve geçici eklem immobilizasyonu için çok yönlü ve uygun fiyatlı bir tedavidir. Eklem kırıkları için endike değildirler ve nadiren pelvik ve omurga kırıkları için kullanılırlar. Eksternal fiksatorler, uflanmış kırıkların kapalı redüksiyonundan sonra stabilizasyon için çok uygundur (Fossum, 2013).

1.9.3.5. Eksternal Fiksator ve İntramedüller Pin

Eksternal fiksator intramedüller pin fiksasyonuna ek olarak kullanılabilir ve kırık bölgesindeki hareketi ve rotasyonu azaltarak stabilitenin artırılmasına yardımcı olur. Aynı zamanda bacak uzunluğunun korunmasına da yardım eder (Piermattei vd., 2006).

1.9.3.6. Serklaj Telleri

Serklaj telleri daima ek fiksasyon yöntemi olarak kullanılırlar ve diyafizer kırıklarda primer fiksasyon yöntemi olamazlar. Tel geçirici kullanmanın serklaj teli uygulanması sırasında oldukça faydası olmaktadır (McLaughlin, 1999; Piermattei vd., 2006).

1.9.3.7. Lag Vidaları

İnterfragmental kompresyon avantajlarından dolayı oblik, spiral ve bazı parçalı kırıklarda bir diğer fiksasyon metoduyla kombine olarak kullanılabilirler (Bernard ve ark., 2001).

1.10. Kemik Plakları

1.10.1. Kemik Plaklarının Tarihçesi

ASİF klasik plak uygulama yöntemi kemik-implant ara yüzeyindeki sürtünme kuvveti ile plağın kemik üzerine stabil bir yapı oluşturmak için uyguladığı kompresif güce dayanmaktadır. İdeal olarak rijit fiksasyon ile bu yöntem kallus oluşmadan primer kemik iyileşmesine izin vermiştir. ASİF yönteminin başlıca amaçları arasında; atravmatik cerrahi teknik uygulamak, özellikle intra artiküler kırıklar başta olmak üzere; tam anatomik redüksiyon, rijit internal fiksasyon, yumuşak dokularda gereksiz hasar yaratmamak ve kırık hastalıkları diye tanımlanan eklem sertliği, kas distrofisi ve erken hareketlerden oluşan osteoporozdan kaçınmak vardır (Aslanbey, 2002; Altunatmaz, 2004; Şengöz, 2008; Gürger, 2009; Akgül, 2014).

1.10.2. Plakların Fonksiyonu

Kemik plakaları, işlevleri veya kemik plakası ile vida arasındaki bağlantı sistemi ile farklılaşan dahili implantlardır. Plaklar; kompresyon, nötralizasyon, köprüleme veya destek (butress) plakaları olarak isimlendirilir. Bu isimler plakaların fiziki karakteristiklerini değil sadece fonksiyonunu belirtir. Plak boyutlarının seçimi, fonksiyonuna ve kemiğin boyutuna bağlı olmaktadır (Arıcan, 2020; Piermattei vd., 2006; Şengöz 2008; Gemmill ve Clements, 2016).

1.10.2.1. Kompresyon Plağı

Bu plaklar kırığa aksiyal kompresyon uygulamak için kullanılır. Gerilim veya kırık fragmentlerini kompresyon altında olduğu bir plak uygulandığında bu plak, kompresyon plağı veya germe bandı plağı olarak isimlendirilir. Çoğu zaman bu yalnızca basit transversal kırıklarda mümkün olur. Bir plakayı kompresyon plakası olarak uygulamak için plaka kırık çizgisinde kemik yüzeyinin hafifçe uzağında (1-2mm) kalacak şekilde plakaya şekil verilmelidir. Plakanın uçlarının kemiğin üzerine oturduğundan emin olunmalıdır (Piermattei vd., 2006; Şengöz, 2008; Arıcan, 2020).

1.10.2.2. Nötralizasyon Plağı

Bir kırık, lag vidaları veya serklaj telleri kullanılarak anatomik olarak yeniden yapılandırıldığında, bu sabitleme tek başına yıkıcı kuvvetlere dayanamaz. Diyafizer bir kırığın bir lag vidası ya da vidalarla, lag vidasının sabitleme özelliğini koruyan bir plak ile kombine edilip internal fiksasyonun sağlandığında plak koruma ya da nötralizasyon fonksiyonunda işlev görür. Plaka, lag vidası ile elde edilen interfragmental kompresyonu tüm rotasyonel bükülme ve makaslama kuvvetlerine karşı korur (Şengöz, 2008; Gemmill ve Clements, 2016; Arıcan, 2020).

1.10.2.3. Destek Plağı

Metafizer kırıklarda, kompresyon kuvvetleri komşu eklem yüzeyini çökertme eğilimindedir. Destek plağının işlevi basitçe bu çöküşü önlemektir. Metafizer kırıklara intraartiküler bir kırığın eşlik ettiği durumlarda, bu kırık lag vidaları ile onarılmalıdır. Destek plakası bitişik artiküler yüzeyin kollapsını önler (Arıcan, 2020).

1.10.2.4. Köprüleme (Buttress) Plakları

Plaka, kemiğin doğru uzunluğunu korumak için bir splint görevi görür ve kırıklara proksimal ve distal eklemlerin normal hizalanmasıymış gibi davranır. Bir köprüleme plağının işlevi basitçe kayma ya da bükme kuvvetlerinin sonucu olarak ortaya çıkan aksiyal deformasyonu önlemektir. Her iki plaka ucu da kemiğin karşılık gelen parçalarına en az üç vidayla sağlam bir şekilde sabitlenmelidir. Plak-rod kombinasyonu, sinerjik mekanik özelliklerden dolayı özellikle büyük parçalı kırıkların redüksiyonunda etkilidir. İntramedüller pin kırılmanın eğilme kuvvetlerinden korunmasında, plak ise kırığı aksiyal sıkıştırma ve dönme kuvvetlerinden korumada etkilidir. Plaka boyutunu arttırmak, geniş bir uzatma plakası veya plaka-pin kombinasyonu kullanmak implantı güçlendirir veya yorulma kırılması riskini azaltmaya yetecek kadar gerilmeyi hafifletir. Plaka ile vida arasındaki kilit mekanizması kırık fiksasyonunu sağladığından plakaya hassas bir şekilde kontur verilmesi gerekmez. Dezavantajı vidaların kilitlenebilmesi için plakaya dik açılı olarak yerleştirilmesi gerekir. Kilitli plakalar indirekt redüksiyonu ve minimal invazif cerrahi tekniklerle etkin bir şekilde kullanılabilir. Bir plakanın perkutan olarak yerleştirilip kırığı üstüne ve altına tespit edildiği minimal invazif plaka osteosentezi biyolojik hasarı en aza indirir. Plak, köprüleme plağı olarak kullanılacaksa parçalı kırıklarda kırık alan uzunluğunun 2-3 katı uzunluğunda olmalıdır (Şengöz, 2008; Arıcan, 2020).

1.10.3. Plak Çeşitleri

İnternal fiksasyonda kullanılan plak çeşitlerinin başlıcaları; Dinamik Kompresyon Plağı (DCP), Sınırlı Temaslı Dinamik Kompresyon Plağı (LC-DCP), Kilitli Kompresyon Plağı (LCP), Rekonstrüksiyon Plağı (RP), Zincir Plaklar (SOP), Gelişmiş Kilitleme Plakası Sistemi (ALPS) ve özel dizayn edilen plaklar (T, L, Y şekilli plaklar, TPLO plağı, DPO plağı) dır (Arıcan, 2020).

1.10.3.1. Dinamik Kompresyon Plağı (DCP)

Dinamik kompresyon plağı (Dynamic compression plates-DCP), özel delik tasarımı ile ilk kez 1969’ da kullanılmaya başlandı. Bu özellik, özel vida girişi ile aksiyal kompresyon yaratmasına izin vermesidir. Vida deliği en iyi eğilimli ve açılı silindirin bir parçası olarak tanımlanmaktadır. Vida deliği, sıkma sırasında vida başının aynı anda aşağı ve yatay hareketine izin verir. Bir top gibi vida kafası silindirin eğik boynuna doğru kayar. Uygulama sırasında, vida yerleştirildiğinde ve sıkıştırıldığında, kemik parçası plağa göre hareket eder ve sonuç olarak kırığın kompresyonu sağlanır. Bir kompresyon vidası yerleştirildikten sonra, birincil vida kilitli hale getirilmeden önce ikinci bir konvansiyonel vida kullanılarak ek kompresyon da mümkündür. Deliklerin oval şekli, uzunlamasına düzlemde vidaların 25° eğimine ve enine düzlemde 7° eğimine izin verir (Gemmil ve Clements, 2016; Arıcan, 2020).

1.10.3.2. Kilitli Kompresyon Plağı (LCP)

Kilitli kompresyon plağında yenilik kombinasyon plak delikleridir. Bu delikler konvansiyonel bir vida ya da konik dişli kafasına sahip olan yeni kilit başlı vidasına uyum sağlayabilir. Kilitli kompresyon plağı başı iki formda şekillendirilmiştir. Kendinden kılavuzlu kilitli kompresyon plağı başı, vida boyutunun kesin ölçümünün gerekli olduğu metafiz gibi alanlarda kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Kendiliğinden delen ve kendinden klavuzlu kilitli kompresyon plağı başı yalnızca monokortikal kullanım içindir. Yeni kombine delik iki parçaya sahiptir. İlk bölüm, aksiyal kompresyona izin veren konvansiyonel bir vidayı veya plak boyunca açılı bir lag vidasını yerleştirmeyi sağlayabilen standart DCP/LC-DCP kompresyon deliğinin tasarımına sahiptir. Diğer bölüm ise konik ve dişlidir. Kilitli vidanın yerleşmesini sağlar ve böylece açısal stabilite sağlanır. İstenilen fonksiyona bağlı olarak, LCP iki farklı şekilde uygulanabilir. Bunlardan ilki; rijit fiksasyon için klasik bir dinamik kompresyon plağı olarak uygulanmasıdır. İkincisi ise unikortikal kilitli vidalar ile bir internal fiksator olarak kullanılmasıdır. Dolayısıyla plağın kusursuz şekillendirilmesine olan ihtiyaç ortadan kalkar ve hızlı, indirekt kemik iyileşmesi beklenir. LCP, paslanmaz çelik veya titanyum olarak mevcuttur. Kedi ve köpeklerde internal fiksasyon için kullanılan setler 2,0; 2,4; 2,7 ve 3,5 mm sistemleri içerir (Gauiter ve Sommer, 2003; Şengöz, 2008; Gemmill ve Clements, 2016; Arıcan, 2020).

1.10.3.3. Sınırlı Temaslı Dinamik Kompresyon Plağı (LC-DCP)

Sınırlı Temaslı Kompresyon Plağı (Limited Contact Dynamic Compression Plate-LC-DCP) DCP' nin daha da geliştirilmiş halini temsil eder. Tasarımında çeşitli öğeler değiştirilmiş olup plak hem paslanmaz çelik hemde saf titanyum olarak piyasada bulunmaktadır. DCP' ye kıyasla, LC-DCP' nin plak-kemik temas alanı büyük ölçüde azaltılmaktadır. Sonuç olarak, plağın altındaki periostun kılcal damar ağı korunur. Bu da kortikal perfüzyonda göreceli bir düzelmeye yol açar. Böylelikle plağın altındaki porozite değişiklikleri azaltılmış olur. LC-DCP' nin plak delikleri simetrik olup, her iki

yönde de vidanın yerleştirilmesine olanak tanır. Vidalar maksimum enine düzlemde 7° ve uzunlamasına düzlemde 40° (DCP için 25°) eğime izin verir (Gemmill ve Clements, 2016; Arıcan, 2020).

1.10.3.4. Rekonstrüksiyon Plakları (RP)

Rekonstrüksiyon plakları (Reconstruction Plates-RP), delikler arasında derin çentikler ile karakterizedir. Bu durum, normal plakalara göre mümkün olandan daha fazla bir düzlemde şekillendirilmeye olanak sağlar. Kompresyon plakları kadar dayanıklı değildir. Delikler dinamik sıkıştırmaya izin vermek için ovaldir. Bu plaklar özellikle pelvis, asetabular bölge ve distal humerus gibi karmaşık 3 boyutlu geometrili kemik kırıklarının onarımı için kullanışlıdır. Vida delikleri boyutu 2,7 mm veya 3,5 mm' dir (Gemmill ve Clements, 2016; Arıcan, 2020).

1.10.3.5. Zincir Plaklar (SOP)

Zincir Plaklar (String Of Pearls-SOP) veteriner kullanım için özel olarak geliştirilen bir veteriner kilitleme plakası sistemidir. SOP sistemi, 2,0; 2,7; ve 3,5 mm (kortikal kemik vida boyutuna karşılık gelen) olmak üzere üç boyutta üretilir. SOP sistemi ile kırığı sıkıştıramayız. Bu kasıtlı bir tasarım özelliğidir. Kilitli plaka sistemleri destek fiksasyonu olarak hareket eder ve bu senaryoda, interfragmenter sıkıştırma yoluyla yük paylaşımı önemsizdir. SOP sistemi femur, humerus, antebrachium ve tibia-fibula diyafizer kırıklarıda dahil olmak üzere çok çeşitli ortopedik koşullarındaki metafizik kırıklar, özellikle distal humerusun Y ve T kırığı maksilla veya mandibula ve pelvis kırıklarının iliac ve asetabuler yaralanmalar başta gelir. SOP sadece omuz değil; aynı zamanda patella, genu ve calcaneus arthrodezinde etkili olduğunu kanıtlamıştır ve sıklıkla revizyon kırığı cerrahisinde komplikasyonları gidermek için kullanılır. Ayrıca SOP medulla spinalis kırık onarımları ve stabilizasyonlarında da kullanılır. Son olarak özel olarak geliştirilen SOP implantları Columna Vertebralis, TPO (Triple Pelvic

Osteotomy) ve TPLO (Tibial Plateau Leveling Osteotomy) cerrahisinde genel olarak kullanılmaktadır (Arıcan, 2020).

SOP' un iki ana avantajı vardır. Bunlar 6° uygulama kabiliyeti ve diğer sistemlerde kullanılan kilitleme vidalarından önemli ölçüde daha ucuz olan standart kortikal vidaları kullanma kabiliyetidir. Dezavantajlar, vida deliklerinin uygulama sırasında deforme olma eğilimini ve kortikal vidaların kilitleme başlı vidalara kıyasla nispeten daha zayıf kesme mukavemetini içerir (Gemmill ve Clements, 2016).

1.10.3.6. Gelişmiş Kilitleme Plakası Sistemi (ALPS)

Gelişmiş Kilitleme Plakası Sistemi (Advanced locking plate system-ALPS) plaka ile kemik arasında minimum temas için, plakanın alt kısmını şekillendirilmiş ve endosteal kan akışını korumak için sadece monokortikal vidalar kullanılmıştır. Plakanın şekli plaka uzunluğu boyunca düzgün bükme mukavemeti sağlamak ve tüm düzlemlere yerleşmesine izin vermek için tasarlanmıştır. Vida deliklerine hem kilitli vidalar hemde kilitli olmayan vidalar yerleştirilir. Kilitlenmeyen vidalar uzunlamasına düzlemde 30° ve enine düzlemde 5° açılabilirken, kilitleme vidaları plakaya dik açı ile yerleştirilmelidir. Ayrıca kilitlenmeyen vidaların, sıkıştırma veya nötralizasyon fonksiyonları plakayı konumlandırmak için kullanılabilir. Gerekirse sabitleme elde edildikten sonra, aynı plaka deliklerini kullanarak büyük çaplı kilitleme vidalar ile kilitlenmeyen vidalar değiştirilebilir. ALPS, birden fazla düzlemde şekillendirmeye izin veren bir yeniden yapılandırma tasarımına sahiptir ve yalnızca nokta teması oluşturan kemikle temas halinde olan yontulmuş bir yüzeye sahiptir. Bu, alttaki kemiğe verilen vasküler hasarı en aza indirir. Sistemin klinik uygulaması genel olarak iyi bir sonuç ve iyi kullanım özellikleri gösterdiği bildirilmiştir. Özel ALPS plakalarında sırasıyla cranial çapraz bağ kopukları ve dirsek medial bölme hastalığı tedavi etmek için yapılan TPLO ve PAUL operasyonlarını gerçekleştirmek için kullanılır (Gemmill ve Clements, 2016; Arıcan, 2020).

1.10.3.7. Özel Dizayn Edilmiş Plakalar

Hayvanların tek biçimli boyutlarda olmamasından dolayı, çeşitli anatomik yapılara ve operatif işlemlere uygun kullanılmak üzere çeşitli özel dizayn edilmiş plaklar geliştirilmiştir. Diğer plaklardan farklı olduğu ve anatomik bölge ve biyolojik iyileşme kriterleri dikkate alınarak dizayn edilmiş plakalardır. Asetabular plaklar 2,0 ve 2,7 boyutlarındadır. Veteriner Y, T ve L plakları 2,0 ile 3,5 arası farklı boyutlarda mevcuttur. Femurun proksimal kırıklarında ve intertrohanteric osteotomilerde çift kancalı plaklar kullanılır. Sağ ve sol triple pelvic osteotomi plakları farklı açılarda döndürülerek 2,7 ve 3,5 versiyonlarında mevcuttur. Tubuler plaklar; olecranon, ulnanın distali veya malleus gibi minimal yumuşak doku bulunan alanlarda yararlıdır. Skapula kırıklarında tubuler plak, dış bükey yüzeyi skapulaya karşı yerleştirilerek uygulanabilir (Arıcan, 2020).

1.10.4. Plakların Uygulanmasında Temel Kurallar

Ağırlıkları farklı olan hayvanlara uygun implantın seçimi cerrahların karşılaştığı problemlerden biridir. İmplant seçimi yapılırken kırık bölgesi ve kırık tipi, hastanın yaşı, aktivite durumu, kemiğin büyüklüğü, hayvanın vücut ağırlığı ve yumuşak dokudaki hasarın durumu dikkate alınır. Bunlarla birlikte, implant uygulamasının temel ilkelerine bağlı olarak plak büyüklüğünün seçilmesinde en tutarlı faktör hayvanın vücut ağırlığıdır. Hayvanın ağırlığı ve kemiğin çapına göre farklı boyutlarda plaklara (2,0 mm, 2,7 mm, 3,5 mm, 4,5 mm) ihtiyaç duyulur (Şengöz, 2008).

Klinik ve deneysel verilere göre kırık hattı ile vida delikleri arasındaki uzaklık en az 4–5 mm ya da en az kullanılan vidanın çapına eşit olmalıdır (Piermattei vd., 2006; Ağuş ve Reisoğlu, 2012).

Plakların uzunluğu ve kalınlığı, plak ile beraber kullanılacak vidanın büyüklüğu ile orantılıdır. Kırık kemiğe uygulanan kuvvetleri nötralize etmek için uzun plaklar kısa plaklardan çok daha etkilidir. Bunun sebebi plağın çalışan kısmının (kaldıraç kısmı) artmış olmasıdır. Bu destabilizasyon kuvvetlerinin daha geniş bir yüzeye dağılmasını sağlar (şengöz, 2008).

1.11. Biyomekanik Terminoloji

1.11.1. Kuvvet

Bir cisme veya vücuda dışarıdan uygulanan yüktür. Uygulanan kuvvet cisimde deformasyona yol açabilir, hareketlendirebilir veya hareket aksını değiştirebilir (Gürger, 2009).

1.11.2. Gerilme (Stress)

Bir cisme uygulanan kuvvetin o cisimde yaptığı etki olarak tanımlanabilir. Bedenin üzerine etki eden kuvvete karşı gösterdiği dirençtir. Yüklene sonucu ortaya çıkan stres kompresif, tensil, makaslama, eğilme, torsiyon ve kombine olmak üzere altı eşitir (Gürger, 2009; Türken, 2009).

1.11.3. Gerinme (Strain)

Gerilim doğrultusunda kemik boyu azalırsa, gerilim kompresif ve negatiftir. Gerinim bir orantı olduğundan birimi yoktur. Yüzde şeklinde ifade edilebilir. Kemikteki gerilim, kemiğin lokalize deformasyonunun, orijinal boyuna bölümüdür (Gürger, 2009; Türken, 2009).

1.11.4. Elastisite Modülü

Stres/gerilim eğrisi olarak tanımlanır. Young modüllüsü olarak da bilinir. Materyalin katılığını belirtir. Elastisite; bir cisme uygulanan kuvvetler kaldırıldıktan sonra cismin orijinal boyutuna ve şekline dönebilme kabiliyetidir (Gürger, 2009).

1.11.5. Burulma Momenti (Tork)

Bir rotasyon merkezine belirli uzaklıktan uygulanan kuvveti belirtir. Rotasyon merkezine olan uzaklık arttıkça tork miktarı artar (Gürger, 2009).

1.11.6. Katılık

Bir cismin deformasyona karşı koyabilme kabiliyetidir. Yük / Deformasyon veya Tork / Rotasyon eğrisidir. Rijitite ile aynı anlamda kullanılır (Gürger, 2009).

1.11.7. Eylemsizlik Momenti

Bir cismin mevcut konumunun değişmesine gösterdiği dirençtir. Yüksek eylemsizlik momenti cismin yapısal olarak güçlü olduğunu gösterir (Gürger, 2009).

2.MATERYAL VE METOT

2.1. Araştırmanın Tipi, Yapıldığı Yer, Tarih

Bu çalışma femurda diyafizer kırık tipinin iki farklı plak tipi (Düz plak ve S plak) ile stabilizasyonunun biyomekanik olarak karşılaştırıldığı deneysel bir çalışmadır. Ocak 2021 ile Mart 2022 tarihleri arasında Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı Metalik Malzemeler Laboratuvarı'nda gerçekleştirildi.

2.2. Örneklerin Hazırlığı ve Gruplar

Çalışmamızda yerel kasaplardan toplanan 72 adet üzerinden etleri temizlenmiş, taze, 2-3 yaşlı koyun femuru kullanıldı. Kemiklerin ölçülerinin birbiri ile aynı olabilmesi için belli bir yaşa ulaşmış hayvanların femurları toplandı. Kemiklerin boyları 22 – 23 cm, çapı 18 – 20 mm ölçülerinde olanlar deney materyali olarak seçildi. Bu toplanan femurlar toplamda 12 gruba ayrılıp her grupta 6 adet deney materyali (femur) kullanıldı. Kemikler kullanım aşamasına kadar +4°C de maksimum 12 saat saklandı. İlk 8 gruptaki 6 adet femur diyafiz bölgesinden kıl testere yardımı ile kesilerek transversal bir şekilde diyafizer kırık elde edildi. Dört gruptaki kemikler düz plaklar ile stabilize edildi. Diğer 4 grup ise S plaklar ile stabilize edildi. Stabilizasyon işlemi sırasında plakların her iki fragmente eş sayıda vida ile stabilizasyonu sağlanacak şekilde örnekler hazırlandı. Proksimal fragmente ve distal fragmente üçer adet vida ile plaklar kemiklere stabilize edildi. Son 4 grup ise kırık oluşturulmayan (kontrol-sağlam) femur kemiklerini içerirdi. Tüm gruptaki kemiklere gruplara göre aynı mekanik işlemler uygulandı. Bu işlemler Aksiyel Kompresyon Testi, Üç Nokta Eğme (bending) Testi, Burulma (Torsiyon) Testi ve Gerilme (Distraksiyon) Testi şeklinde tatbik edildi. Gruplara ait bilgiler çizelge 2.1'de verilmiştir.

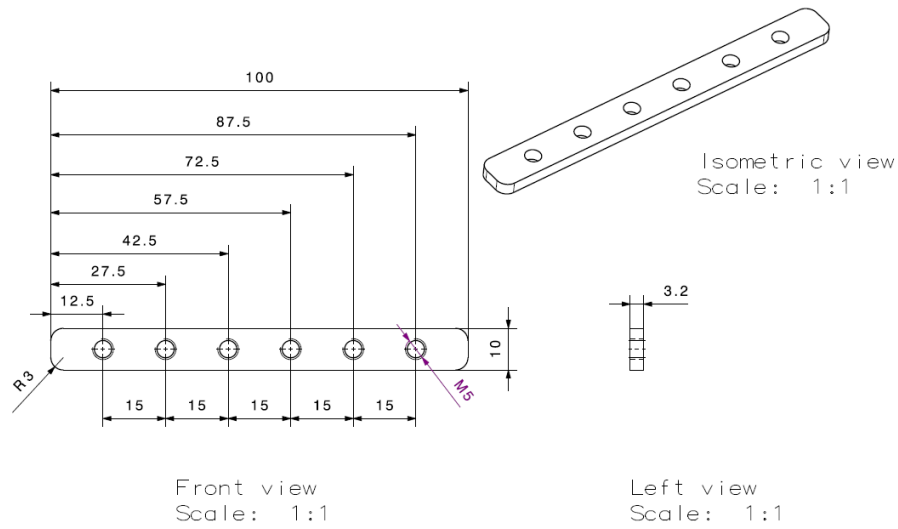
Çizelge 2.1: Çalışmada kullanılan kemiklere ait grupların özellikleri.

Deney ve Kontrol Grupları	Grup Başına Kemik Adedi	Tekrar Sayısı	Kullanılan Toplam Kemik Sayısı/Grup
S Plak (Grup-I)			
Kompresyon Testi	6	1	6
S Plak (Grup-II)			
Distraksiyon Testi	6	1	6
S Plak (Grup-III)			
Bükme (Bending) Testi	6	1	6
S Plak (Grup-IV)			
Burulma (Torsiyon) Testi	6	1	6
Düz Plak (Grup-V)			
Kompresyon Testi	6	1	6
Düz Plak (Grup-VI)			
Distraksiyon Testi	6	1	6
Düz Plak (Grup-VII)			
Bükme (Bending) Testi	6	1	6
Düz Plak (Grup-VIII)			
Burulma (Torsiyon) Testi	6	1	6
Plaksız-Sağlam Kemik (Grup-IX) Kompresyon Testi	6	1	6
Plaksız-Sağlam Kemik (Grup-X) Distraksiyon Testi	6	1	6
Plaksız-Sağlam Kemik (Grup-XI) Bükme (Bending) Testi	6	1	6
Plaksız-Sağlam Kemik (Grup-XII) Burulma (Torsiyon) Testi	6	1	6

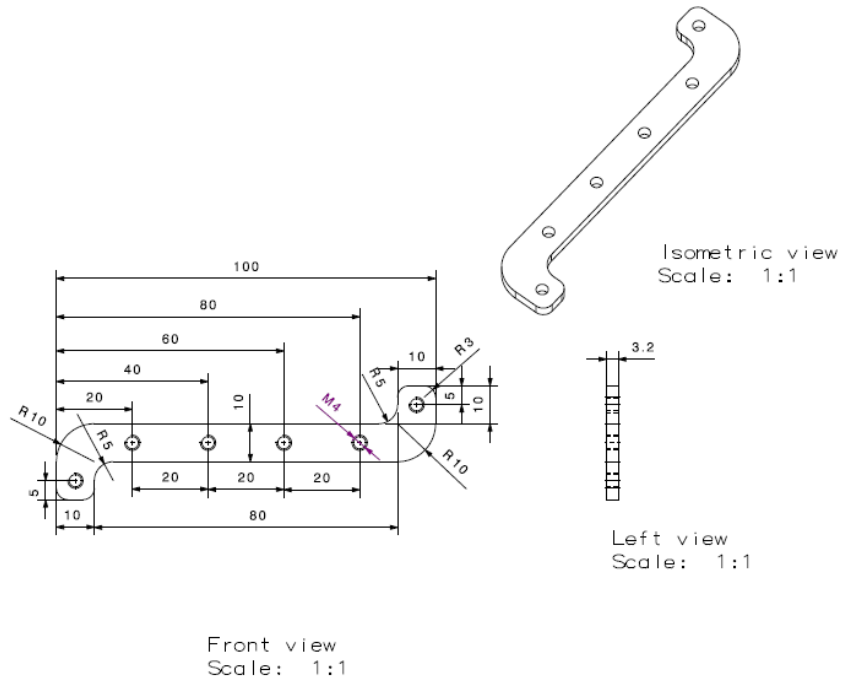
2.2.1. Kullanılan Plakların Tasarımı ve Özellikleri

Plakların tasarımı Travmavet (Ankara, Türkiye) ve Safir Cerrahi Aletler Laboratuvarları (Antalya, Türkiye) ve üretim tesislerinde yapılmıştır. Plaklarda malzeme olarak korozyon direnci ve mukavemeti yüksek, mekanik özelliklerinin iyi oluşu yönünden titanyum (Grade V) alaşım tercih edildi ve kullanıldı.

Plakların ölçülendirmeleri koyun femurunun ölçüleri baz alınarak yapıldı. Düz plakların boyutları 10 cm uzunluğunda, 3,2 mm kalınlığında ve 1 cm eninde şeklinde hazırlandı (Resim 2.1). Delikler eşit aralıklarda 3,5 mm kortikal vidalar ile uyumlu olacak şekilde ve 6 adet vida deliği olacak şekilde yapıldı. S plaklar yine aynı şekilde hazırlandı ancak uç kısımlarından S yapacak tarzda birisi sağa (proksimal), diğeri sola (distal) doğru hafif kavis verildi (Resim 2.2). Uç kısımlardaki çıkıntılara birer vida deliği gelecek şekilde plağın tasarımı tamamlandı (Resim 2.2 ve 2.3).



Resim 2.1: Düz Plak Tasarım Çizimi.



Resim 2.2: S Plak Tasarım Çizimi.



Resim 2.3: Düz plak ile S plakların görüntüsü.

2.2.2. Tespit Yöntemi

Kırık hatları oluşturulduktan sonra kemiklere, düz plaklar ve S plaklar her iki fragmente aynı sayıda ve simetrik olacak şekilde 3,5 mm'lik kortikal vidalar ile tespit edildi. Vidalar 3,2 mm çapında dril kullanılarak yiv açıldıktan sonra eşit tork gücünde sıkılarak yerleştirildi. Plakların tespiti sırasında vidalar kemik korteksini hem giriş kısmından hemde diğer uçtaki korteksten vidaların en az 1 yivi tamamen geçecek şekilde tespit edildi (Resim 2.4).



Resim 2.4: Sol tarafta düz plak ile sağ tarafta S plak ile kırık hattı oluşturulmuş, ardından stabilizasyonu sağlanmış femur kemikleri.

2.3. Yüklenme Testleri ve lm

Deneylerde test cihazı olarak SHİMADZU Autograph AG-X 50 kN universal test (ekme, kompresyon,  nokta eğme) cihazı (Shimadzu Corp, Tokyo, Japon) kullanıldı. lmler Shimadzu TRAPEZIUM X versiyon 1.1.2 (Shimadzu Corp, Tokyo, Japon) programı kullanılarak yapıldı.



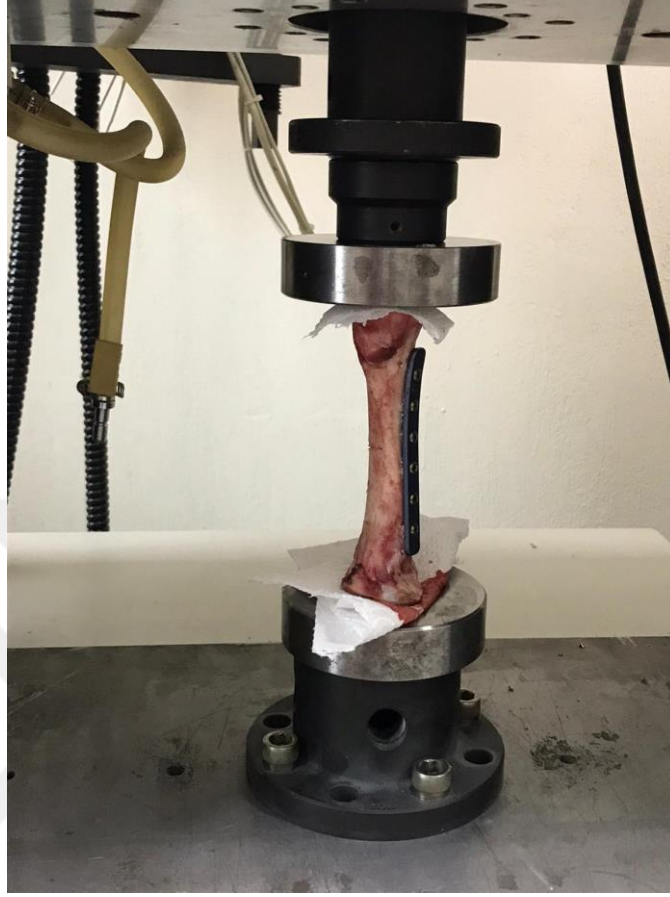
Resim 2.5: Deneylerin yapıldığı test cihazı.

2.3.1. Aksiyel Kompresyon Testi

Aksiyel kompresyon testleri için kırık hattı oluşturulduktan sonra düz ve S plaklar ile stabilizasyonu sağlanan materyallerin hepsi platforma dik bir şekilde yerleştirilmek için diyafize tam dik olacak şekilde kesildi (Resim 2.6). Test cihazın kendisine ait kompresyon için özel aparatlar ile materyaller cihaza tutturuldu. Testlere başlamadan önce cihaz her deney için kalibre edildi. Hızı 1 mm/dk olacak şekilde sürekli artan kompresyon kuvveti uygulandı. Kompresyon kuvveti 50 Newton'a kadar sürekli artan bir şekilde uygulandı. Materyallerde oluşabilecek ani deformasyon ve çökmeler eş zamanlı olarak oluşan veriler üzerinden kontrol edildi. Ölçümler sonrası yük (kN)-şekil değiştirme (mm) verileri elde edildi (Resim 2.7).



Resim 2.6: Aksiyel kompresyon testi için hazırlanmış olan materyalin görseli.



Resim 2.7: Aksiyel kompresyon testi için test cihazına tutturulmuş düz plak tespitli materyal.

2.3.2. Gerilme (Distraksiyon) Testi

Distraksiyon testleri için hazırlanmış Düz ve S Plaklar ile stabilizasyonu yapılmış materyallerin, test cihazına mümkün olduğunca tam ve oynamaz bir şekilde tutturulabilmesi için tarafımızca özel bir tutucu aparat (çene) tasarlandı ve üretildi (Yıldız Makine, İzmir, Türkiye; Resim 2.8). Bu özel aparat sayesinde test için hazırlanmış olan materyaller (femur kemikleri), üst fragmentte femurun boyun (collum) bölgesinden alt fragmentte ise femurun kondülllerinden (condylus) tutacak şekilde test cihazına bağlandı.



Resim 2.8: Distraksiyon testi için özel üretilen kemik tutma aparatları.

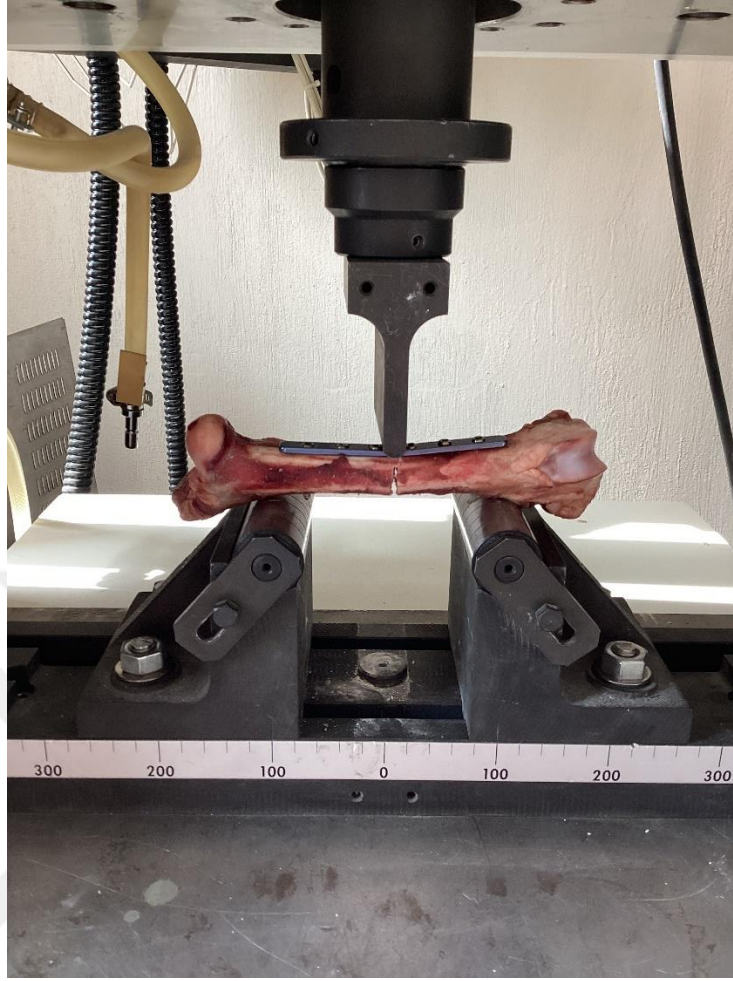
Testlere başlamadan önce cihaz her deney için kalibre edildi. Hızı 1 mm/dk olacak şekilde sürekli artan distraksiyon (gerilme) kuvveti uygulandı. Distraksiyon kuvveti 50 Newton'a kadar sürekli artan bir şekilde uygulandı. Materyallerde oluşabilecek ani deformasyonlar eş zamanlı olarak oluşan veriler üzerinden kontrol edildi. Ölçümler sonrası yük (kN)-şekil değiştirme (mm) verileri elde edildi (Resim 2.9).



Resim 2.9: Distraksiyon testi için cihaza tutturulmuş S plak tespitli materyal.

2.3.3. Üç Nokta Bükme (Bending) Testi

Bending testleri için kırık hattı oluşturulduktan sonra düz ve S plaklar ile stabilizasyonu sağlanan materyallerin yerleştirildiği platformun taban genişliği bütün denekler için eşit (200 mm) olarak ayarlandı. Deneyler yapılırken örnekler yük verilmeden önce her deney için test cihazı kalibre edildi. Materyaller platforma yerleştirildikten sonra test cihazı ile 50 Newton' a kadar basma hızı 1mm/dk olacak şekilde sürekli artan kompresyon uygulandı. Materyallerde oluşabilecek ani deformasyonlar eş zamanlı olarak oluşan veriler üzerinden kontrol edildi. Ölçümler sonrası yük (kN)-şekil değiştirme (mm) verileri elde edildi (Resim 2.10).



Resim 2.10: Bending testleri için cihaza tutturulmuş düz plak ile tespitli materyal.

2.3.4. Burulma (Torsiyon) Testi

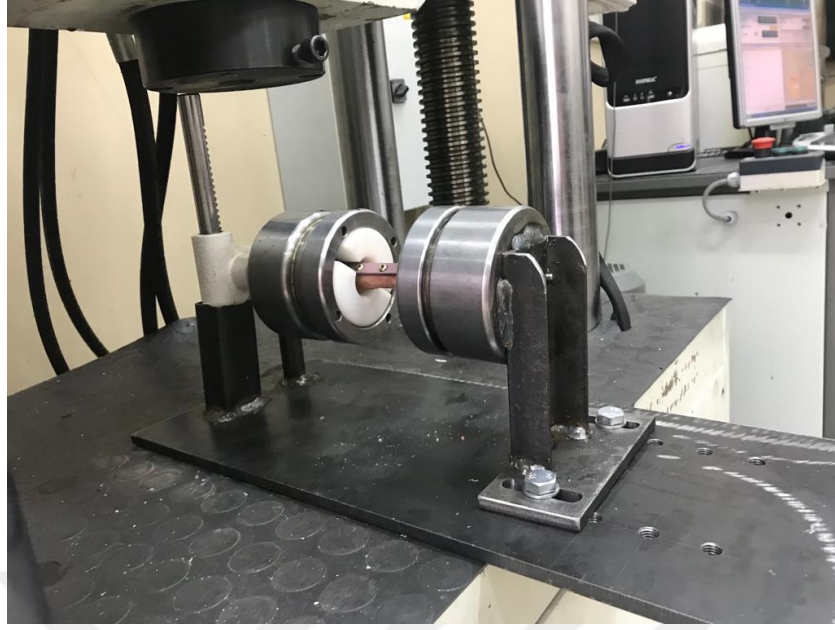
Sadece aksiyel yüklenme sağlayan test cihazında torsiyon testlerini yapabilmek için ek burulma mekanizması tasarlanıp imal edildi. Burulma mekanizması üç ana parçadan oluştu; gövde, sabitleme kafası ve torsiyon kafası. Gövde, sabitleme kafasının eksenel doğrultuda torsiyon kafasına doğru serbest hareketine izin vermemektedir. Sabitleme kafası için U profil üzerine, önceden distraksiyon testlerinde kullanılan kemik tutuculardan bir tanesi revize edilerek tutturuldu. Torsiyon kafası ise dairesel harekete olanak sağlayan dişli kramayer mekanizmasına sahip bir aparata revize edilerek tutturuldu. Test cihazının basma kafasından gelen doğrusal hareketi alan kramayer,

hareketi düz dişliye ilettiler ve mile sabitlenmiş olan düz dişli, aldığı doğrusal hareketi dairesel harekete çevirerek mile sabitlenmiş olan torsiyon kafasını döndürdü. Tasarlanan mekanizmada farklı uzunluklara ait kemiklerin test için tutturulmasına olanak sağlamak amacıyla sabitleme kafasının gövde üzerinde ileri-geri hareketine imkân sağlayan bir şekilde işlev görmesi sağlandı.

Deneyler yapılırken materyallere yük verilmeden önce test cihazı, her deney için kalibre edildi. Bütün örneklerle test cihazı ile 50 Newton' a kadar yükleme hızı 5mm/dk olacak şekilde sürekli artan yükler uygulandı. Materyallerde oluşabilecek ani deformasyonlar, eş zamanlı olarak oluşan veriler üzerinden kontrol edildi. Ölçümler sonrası yük(kN)-şekil değiştirme (mm) verileri elde edildi (Resim 2.11 – 2.12).



Resim 2.11: Torsiyon (burulma) testleri için hazırlanmış aparat ve aparata test için tutturulmuş, düz plak ile tespiti yapılmış materyal.



Resim 2.12: Torsiyon (burulma) testleri için hazırlanmış aparatın deney sırasındaki görseli.

2.4. İstatistiksel Analiz Yöntemi

Aksiyel kompresyon, distraksiyon (gerilme), üç nokta eğme (bending) ve torsiyon (burulma) testlerinden elde edilen verilerin istatistiksel analizi SPSS (SPSS-21 for Windows) paket programı kullanılarak yapıldı. Betimsel istatistiklerin (frekans, yüzde, ortalama, standart sapma, vb.) yanı sıra gruplar arası karşılaştırılmada bağımsız örneklem için T- Testi (Independent Sample T-Test) kullanıldı. İstatistiksel anlamlılık düzeyi 0,05 olarak dikkate alındı ve p değeri 0.05'ten küçük olan veriler istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi.

Grupların ikili karşılaştırılması şu şekilde yapıldı;

- Kompresyon testi uygulanan plaksız-sağlam kemik, düz plak ve S plaklar ile tespit edilmiş materyaller karşılaştırıldı (Grup I, Grup V ve Grup IX).
- Distraksiyon (Gerilme) testi uygulanan plaksız-sağlam kemik, düz plak ve S plaklar tespit edilmiş materyaller karşılaştırıldı (Grup II, Grup VI ve Grup X).

- Üç nokta bükme (Bending) testi uygulanan plaksız-sağlam kemik, düz plak ve S plaklar ile tespit edilmiş materyaller karşılaştırıldı (Grup III, Grup VII ve Grup XI).
- Burulma (Torsiyon) testi uygulanan plaksız-sağlam kemik, düz plak ve S plaklar ile tespit edilmiş materyaller karşılaştırıldı (Grup IV, Grup VIII ve Grup XII).



3. BULGULAR

3.1. Aksiyel Kompresyon Testleri Bulguları

Aksiyel kompresyon testleri sırasında; kompresyon kuvveti altında düz plaklar ve S plaklar ile tespit edilmiş materyaller ve plaksız, kırık hattı olmayan sağlam kemikler için ayrı maksimum kuvvet, maksimum gerilme (stress), maksimum gerinme (strain) ve maksimum şekil değıştirme verileri elde edildi (Resim 3.1; Çizelgeler 3.1 – 3.3).



Resim 3.1: Aksiyel Kompresyon testi sırasında S plak ile tespiti sağlanmış materyal.

Çizelge 3.1: Düz plak ile tespit edilmiş materyallerin kompresyon testi verileri.

	MAKSİMUM KUVVET	MAKSİMUM ŞEKİL DEĞİŞİKLİĞİ	MAKSİMUM GERİLME	MAKSİMUM GERİNME
	kN	Mm	MPa	%
1	4,87344	5,11800	15,5126	2,84333
2	4,38438	2,20200	13,9559	1,22333
3	7,79375	5,98300	13,8083	3,32389
4	5,45267	4,98500	16,7395	3,02438
5	5,52732	5,16400	18,4397	2,19527
6	6,07158	3,15500	19,0976	2,17091

Çizelge 3.2: S plak ile tespit edilmiş materyallerin kompresyon testi verileri.

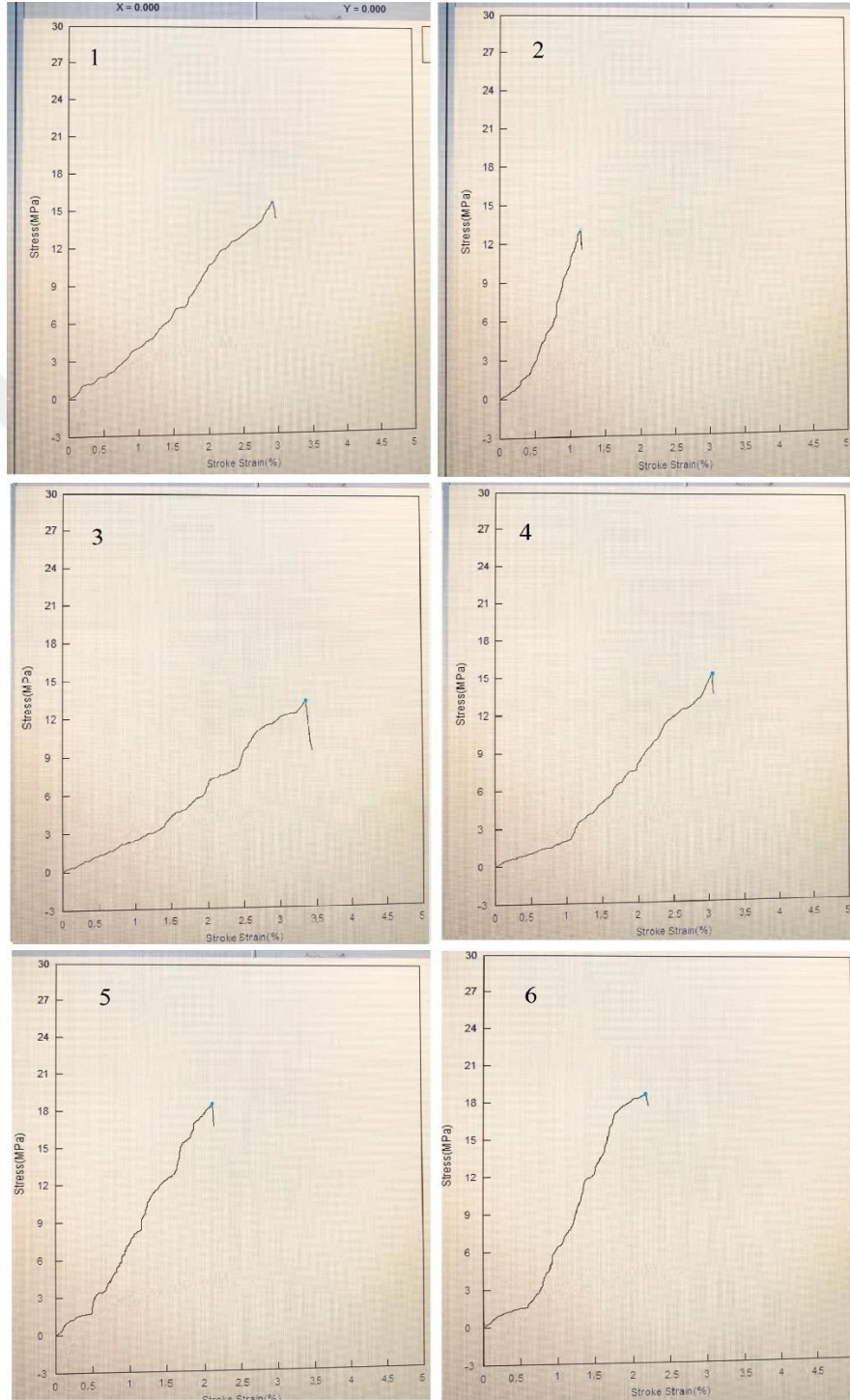
	MAKSİMUM KUVVET	MAKSİMUM ŞEKİL DEĞİŞİKLİĞİ	MAKSİMUM GERİLME	MAKSİMUM GERİNME
	kN	Mm	MPa	%
1	5,51094	5,91000	17,5419	3,28333
2	4,70156	5,34200	14,9655	2,96778
3	4,26719	10,20600	13,5829	5,67000
4	4,48613	6,73500	15,1674	3,96671
5	5,37195	8,13400	16,1895	4,37465
6	4,62161	6,58900	14,7334	4,23176

Çizelge 3.3: Plaksız sağlam kemik materyallerinin kompresyon testi verileri.

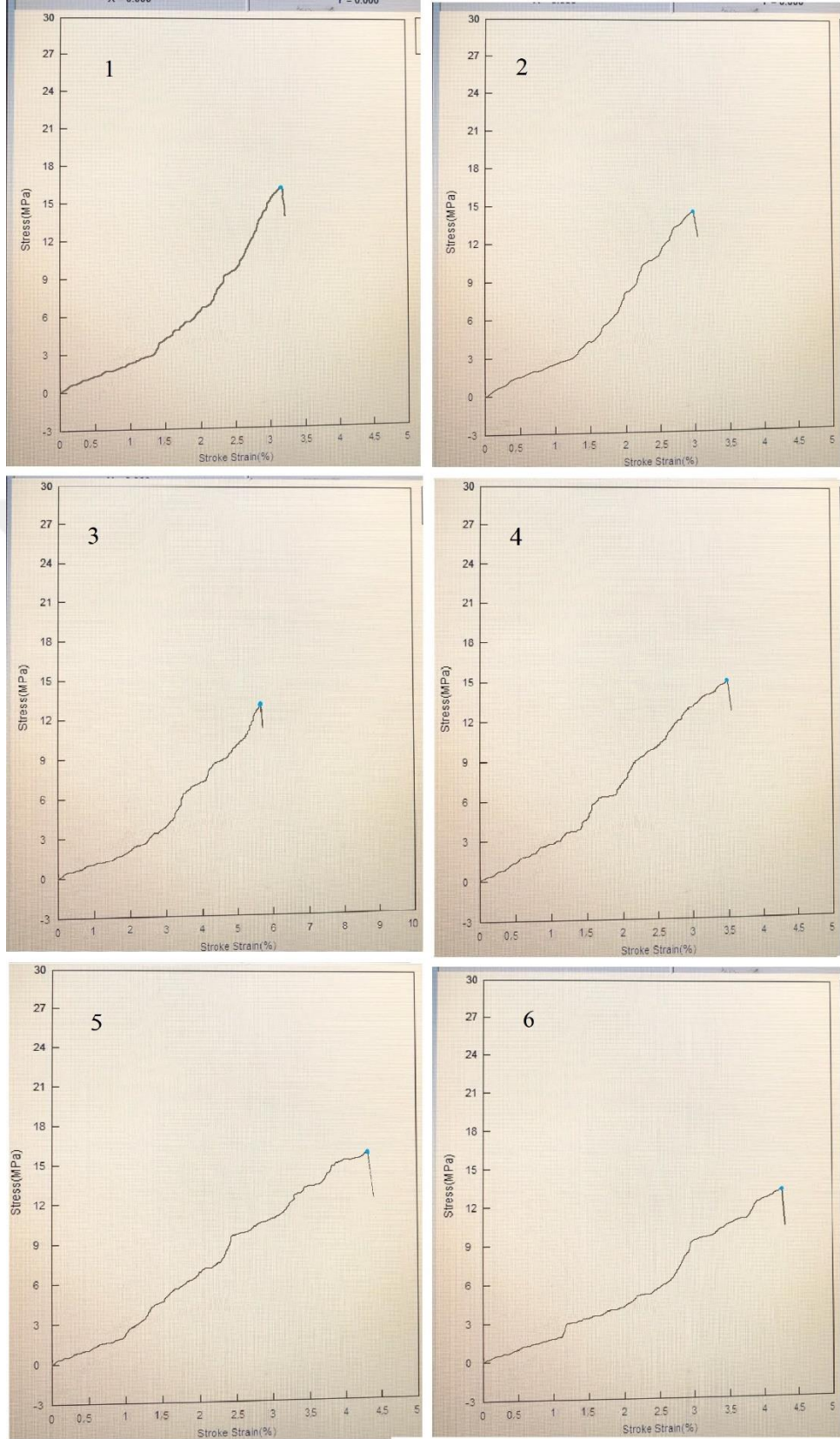
	MAKSİMUM KUVVET	MAKSİMUM ŞEKİL DEĞİŞİKLİĞİ	MAKSİMUM GERİLME	MAKSİMUM GERİNME
	kN	Mm	MPa	%
1	4,32862	4,98400	15,2106	2,10455
2	4,59243	5,01405	15,4338	2,11621
3	4,96042	5,16428	16,2690	1,97691
4	4,39508	4,87322	15,3194	2,05432
5	3,36821	5,29531	17,1975	2,41573
6	4,53846	4,93730	14,4668	2,18504



Ayrıca deneyler sırasında elde edilen maksimum gerilme (stress) ve maksimum gerinme (strain) grafikleri kaydedildi (Resimler 3.2 ve 3.3).



Resim 3.2: Düz plak ile tespit edilmiş materyallere (n=6) ait aksiyel kompresyon testi grafiği görseli.



Resim 3.3: S plak ile tespit edilmiş materyallere (n=6) ait aksiyel kompresyon testi grafiği görseli.

Grupların aksiyel kompresyon testinden elde edilen verilerin maksimum, minimum, ortalama ve standart sapma değerleri elde edildi (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4: Grup I, grup V ve grup IX' un kompresyon testi stress (Mpa) değeri istatistiksel analiz verileri.

Grup	Minimum	Maksimum	Ortalama	SS	P
Düz plak	13,8	19,9	16,2	2,23	0,621
S plak	13,5	17,5	15,3	1,35	
Plaksız kemik	14,4	17,1	15,6	0,95	

SS: Standart sapma. P: Anlamlılık düzeyi.

Aksiyel kompresyon testleri sırasında uygulanan teknikler, beşerî tıpta yapılan Gürger (2009)' e ait çalışma verileri göz önünde bulundurularak yapıldı. Testlerde düz plaklar ve S plaklar ile tespit edilmiş materyaller ve plaksız, kırık hattı olmayan sağlam kemikler için ayrı maksimum kuvvet, maksimum gerilme (stress), maksimum gerinme (strain) ve maksimum şekil değiştirme verileri elde edildi (Çizelgeler 3.1 – 3.3). Elde edilen verilerin istatistiksel analizi SPSS (SPSS-21 for Windows) paket programı kullanılarak yapıldı. Gruplar (Grup I-Grup V-Grup IX) arasındaki karşılaştırmaların istatistiksel anlamlılık değerleri hesaplandı (Çizelge 3.4). Düz plaklar ile tespit edilmiş materyallerin maruz kaldığı minimum stress değeri 13,8 Mpa (megapaskal), maksimum stress değeri 19,9 Mpa, ortalama stress değeri 16,2 Mpa olarak hesaplandı. Standart sapma (SS) değeri 2,23 olarak bulundu. S plaklar ile tespit edilmiş materyallerin maruz kaldığı minimum stress değeri 13,5 Mpa (megapaskal), maksimum stress değeri 17,5 Mpa, ortalama stress değeri 15,3 Mpa olarak hesaplanırken SS değeri 1,35 olarak elde edildi. Kırık hattı oluşturulmamış sağlam materyallerin maruz kaldığı

minimum stress değeri 14,4 Mpa (megapaskal), maksimum stress değeri 17,1 Mpa, ortalama stress değeri 15,6 Mpa olarak ve SS değeri 0,95 olarak hesaplandı. Her bir grubun minimum ve maksimum stress (gerilme) değerleri, belirlenen grupların (Grup I, grup V ve grup IX) arasında karşılaştırıldığında istatistiksel olarak anlamlı değildi. Anlamlılık düzeyi 0,621 olarak bulundu ($p > 0,05$) (Çizelge 3.4).

3.2. Distraksiyon (Gerilme) Testi Bulguları

Distraksiyon (Gerilme) testleri sırasında distraksiyon kuvveti uygulanan düz plaklar ve S plaklar ile tespit edilmiş materyaller ve plaksız, kırık hattı olmayan sağlam kemikler için ayrı maksimum kuvvet, maksimum gerilme (stress), maksimum gerinme (strain) ve maksimum şekil değiştirme verileri elde edildi (Resim 3.4; Çizelgeler 3.5 – 3.7).



Resim 3.4: Distraksiyon (Gerilme) testi sırasında düz plak ile tespiti sağlanmış materyal.

Çizelge 3.5: Düz plak ile tespit edilmiş materyallerin distraksiyon (gerilme) testi verileri.

	MAKSİMUM KUVVET	MAKSİMUM ŞEKİL DEĞİŞİKLİĞİ	MAKSİMUM GERİLME	MAKSİMUM GERİNME
	kN	Mm	MPa	%
1	0,93594	4,52600	3,67800	6,34783
2	0,81875	7,17500	3,21748	10,0631
3	1,70000	18,8480	3,68058	26,4348
4	1,00937	16,3860	3,96659	22,9818
5	0,81406	19,3670	3,19906	27,1627
6	0,91250	12,1070	3,58590	16,9804

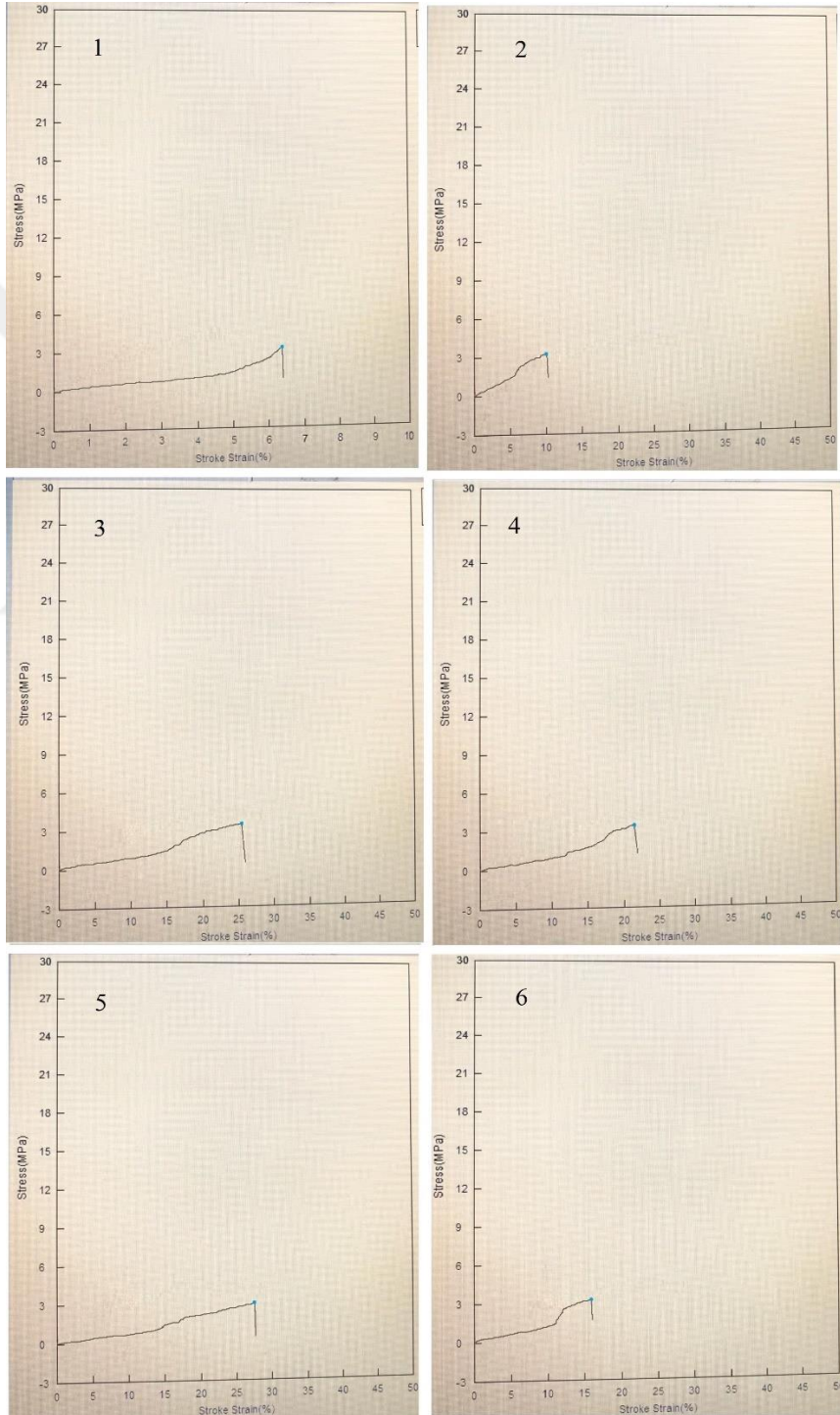
Çizelge 3.6: S plak ile tespit edilmiş materyallerin distraksiyon (gerilme) testi verileri.

	MAKSİMUM KUVVET	MAKSİMUM ŞEKİL DEĞİŞİKLİĞİ	MAKSİMUM GERİLME	MAKSİMUM GERİNME
	kN	Mm	MPa	%
1	2,27031	11,0940	8,92177	15,5596
2	2,41848	12,4371	9,13729	16,4324
3	2,57188	13,0900	10,1068	18,3590
4	0,63750	14,1120	7,50522	19,7924
5	1,36250	8,84500	9,35429	12,4053
6	0,98125	13,2350	8,85607	18,5624

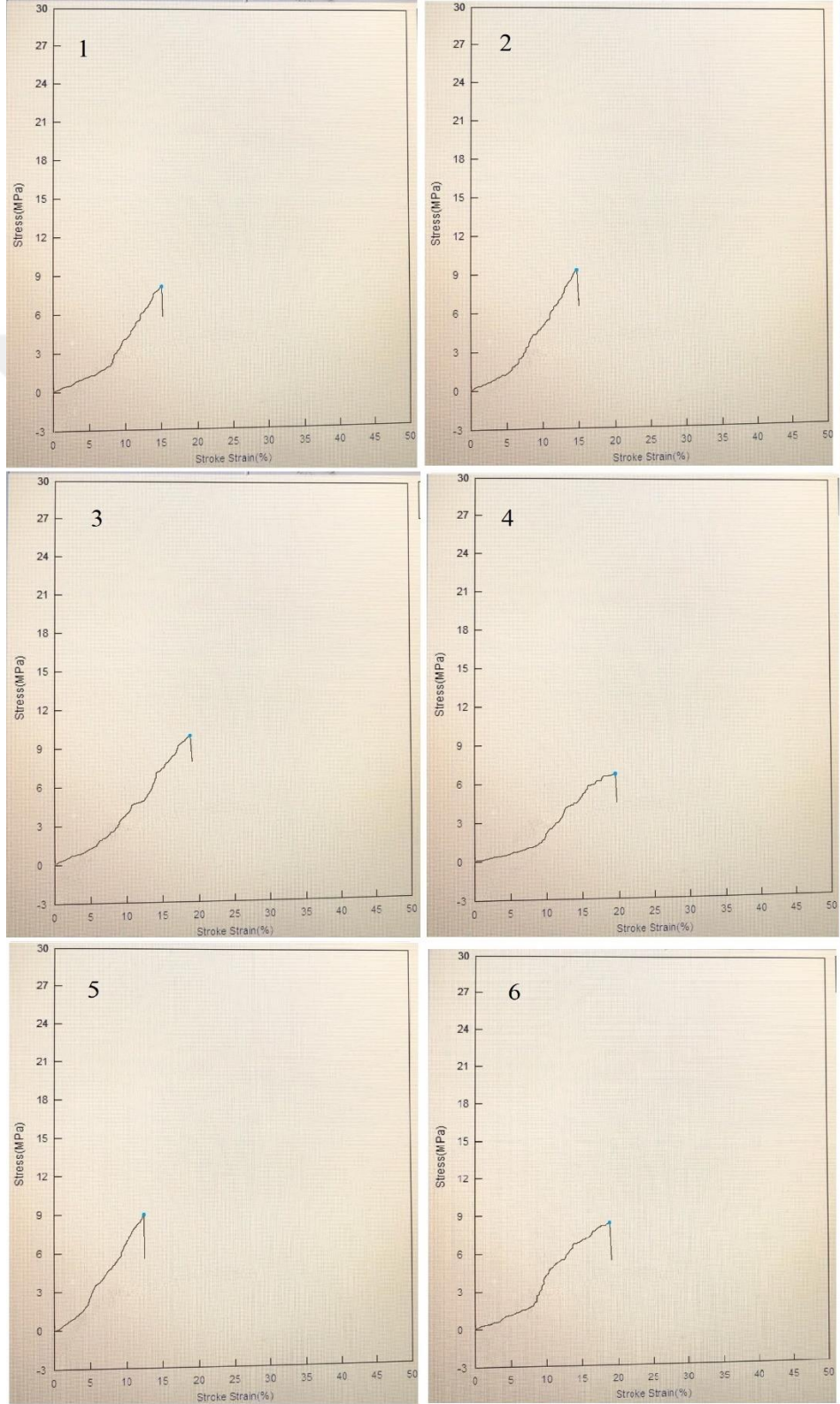
Çizelge 3.7: Plaksız sağlam kemik materyallerinin distraksiyon (gerilme) testi verileri.

	MAKSİMUM KUVVET	MAKSİMUM ŞEKİL DEĞİŞİKLİĞİ	MAKSİMUM GERİLME	MAKSİMUM GERİNME
	kN	Mm	MPa	%
1	1,27813	10,0030	5,02272	14,0295
2	1,45246	12,5642	6,43654	14,5473
3	1,29149	11,9854	5,16836	13,4573
4	1,36985	12,2948	6,22653	12,4952
5	1,44952	11,0985	7,02654	14,8410

Ayrıca deneyler sırasında elde edilen maksimum gerilme (stress) ve maksimum gerinme (strain) grafikleri kaydedildi (Resimler 3.5 ve 3.6).



Resim 3.5: Düz plak ile tespit edilmiş materyallere (n=6) ait distraksiyon (gerilme) testi grafiği görseli.



Resim 3.6: S plak ile tespit edilmiş materyallere (n=6) ait distraksiyon (gerilme) testi grafiği görseli.

Grupların distraksiyon (gerilme) testinden elde edilen verilerin maksimum, minimum, ortalama ve standart sapma değerleri elde edildi (Çizelge 3.8).

Çizelge 3.8: Grup II, grup VI ve grup X' un distraksiyon testi Stress (Mpa) değeri istatistiksel analiz verileri.

Grup	Minimum	Maksimum	Ortalama	SS	P
Düz plak	3,19	3,96	3,5	0,29 ^a	0,0001
S plak	7,50	10,1	8,9	0,85 ^b	
Plaksız kemik	5,02	7,02	6,0	0,78 ^c	

SS: Standart sapma. P: Anlamlılık düzeyi. (a, b, c: Farklı harfler arasındaki fark istatistik bakımdan anlamlıdır.)

Distraksiyon (Gerilme) testlerinde düz plaklar ve S plaklar ile tespit edilmiş materyaller ve plaksız, kırık hattı olmayan sağlam kemikler için ayrı maksimum kuvvet, maksimum gerilme (stress), maksimum gerinme (strain) ve maksimum şekil değiştirme verileri elde edildi (Çizelgeler 3.5 – 3.7). Düz plaklar ile tespit edilmiş materyallerin maruz kaldığı minimum stress değeri 3,19 Mpa (megapaskal), maksimum stress değeri 3,96 Mpa, ortalama stress değeri 3,50 Mpa ve SS değeri 0,29 olarak hesaplandı. S plaklar ile tespit edilmiş materyallerin maruz kaldığı minimum stress değeri 7,50 Mpa (megapaskal), maksimum stress değeri 10,1 Mpa, ortalama stress değeri 8,9 Mpa olarak ve SS değeri 0,85 bulundu. Kırık hattı oluşturulmamış sağlam materyallerin maruz kaldığı kaldığı minimum stress değeri 5,02 Mpa (megapaskal), maksimum stress değeri 7,02 Mpa, ortalama stress değeri 6,0 Mpa olarak ve SS değeri 0,78 olarak hesaplandı. Her bir

grubun minimum ve maksimum stress (gerilme) değerleri, belirlenen grupların (Grup II, grup VI ve grup X) arasında karşılaştırıldığında istatistiksel olarak anlamlıydı. Anlamlılık düzeyi 0,0001 olarak bulunmuştur ($p < 0,05$) (Çizelge 3.8).

3.3. Üç Nokta Bükme (Bending) Testleri Bulguları

Üç nokta bükme (bending) testleri sırasında kompresyon kuvveti uygulanan düz plaklar ve S plaklar ile tespit edilmiş materyaller ve plaksız, kırık hattı olmayan sağlam kemikler için ayrı maksimum kuvvet, maksimum gerilme (stress) ve maksimum gerinme (strain) verileri elde edildi (Resim 3.7; Çizelgeler 3.9 – 3.11).



Resim 3.7: Bending Testi sırasında S plak ile tespiti sağlanmış materyal.

Çizelge 3.9: Düz plak ile tespit edilmiş materyallerin üç nokta eğme (bending) testi verileri.

	MAKSİMUM KUVVET	MAKSİMUM GERİLME	MAKSİMUM GERİNME
	kN	MPa	%
1	1,20313	42,0265	13,2081
2	1,18438	41,3716	14,1387
3	0,53125	32,4750	4,81509
4	1,13750	39,7342	17,4960
5	1,27813	44,6464	17,5635
6	0,57500	35,1068	12,0452

Çizelge 3.10: S plak ile tespit edilmiş materyallerin üç nokta eğme (bending) testi verileri.

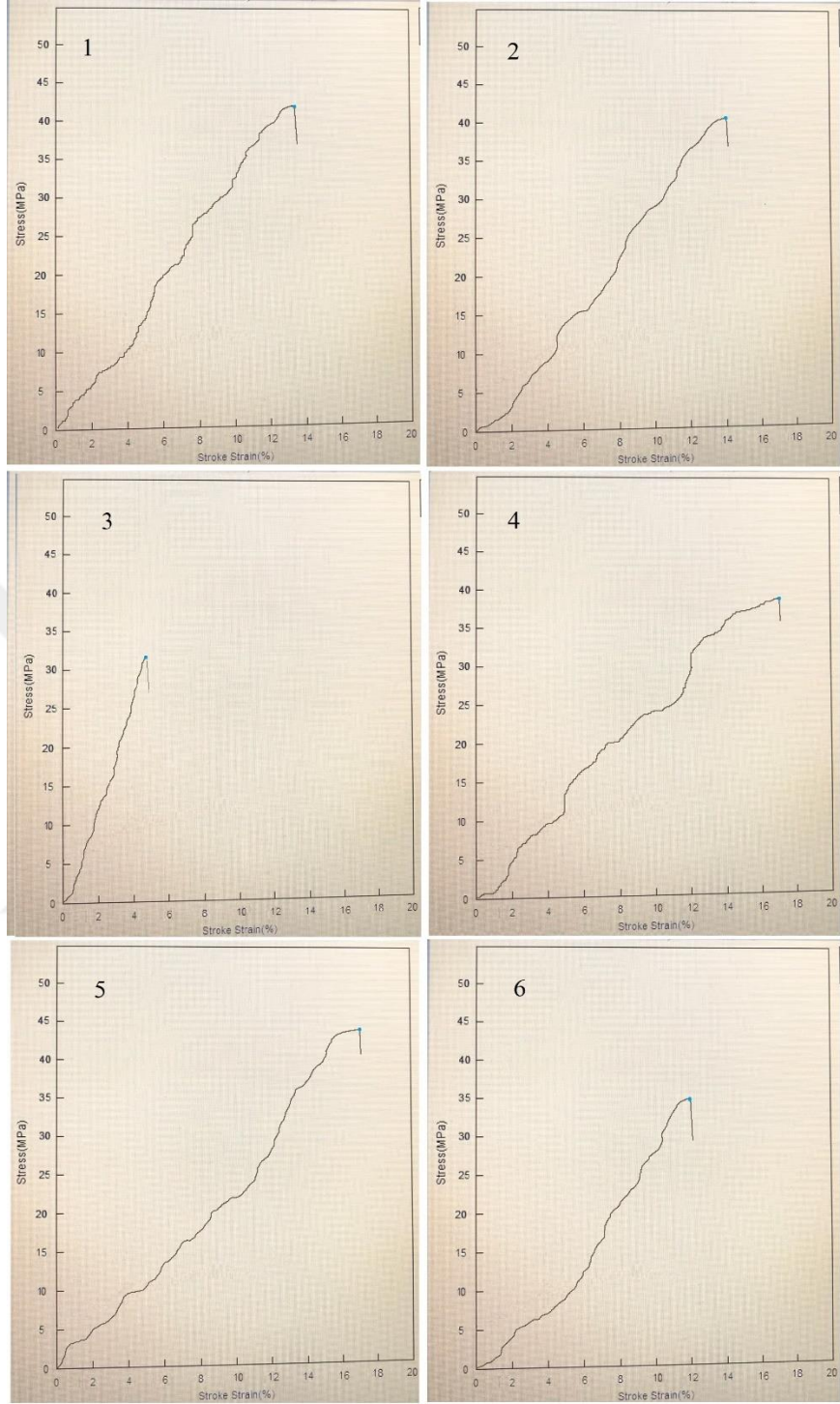
	MAKSİMUM KUVVET	MAKSİMUM GERİLME	MAKSİMUM GERİNME
	kN	MPa	%
1	0,69063	30,1554	15,8479
2	0,84688	36,9779	21,1345
3	1,16875	40,8258	10,7848
4	0,88125	36,7831	8,59444
5	1,29062	45,0830	11,1628
6	1,00000	34,9311	4,44825

Çizelge 3.11: Plaksız sağlam kemik materyallerinin üç nokta eğme (bending) testi verileri.

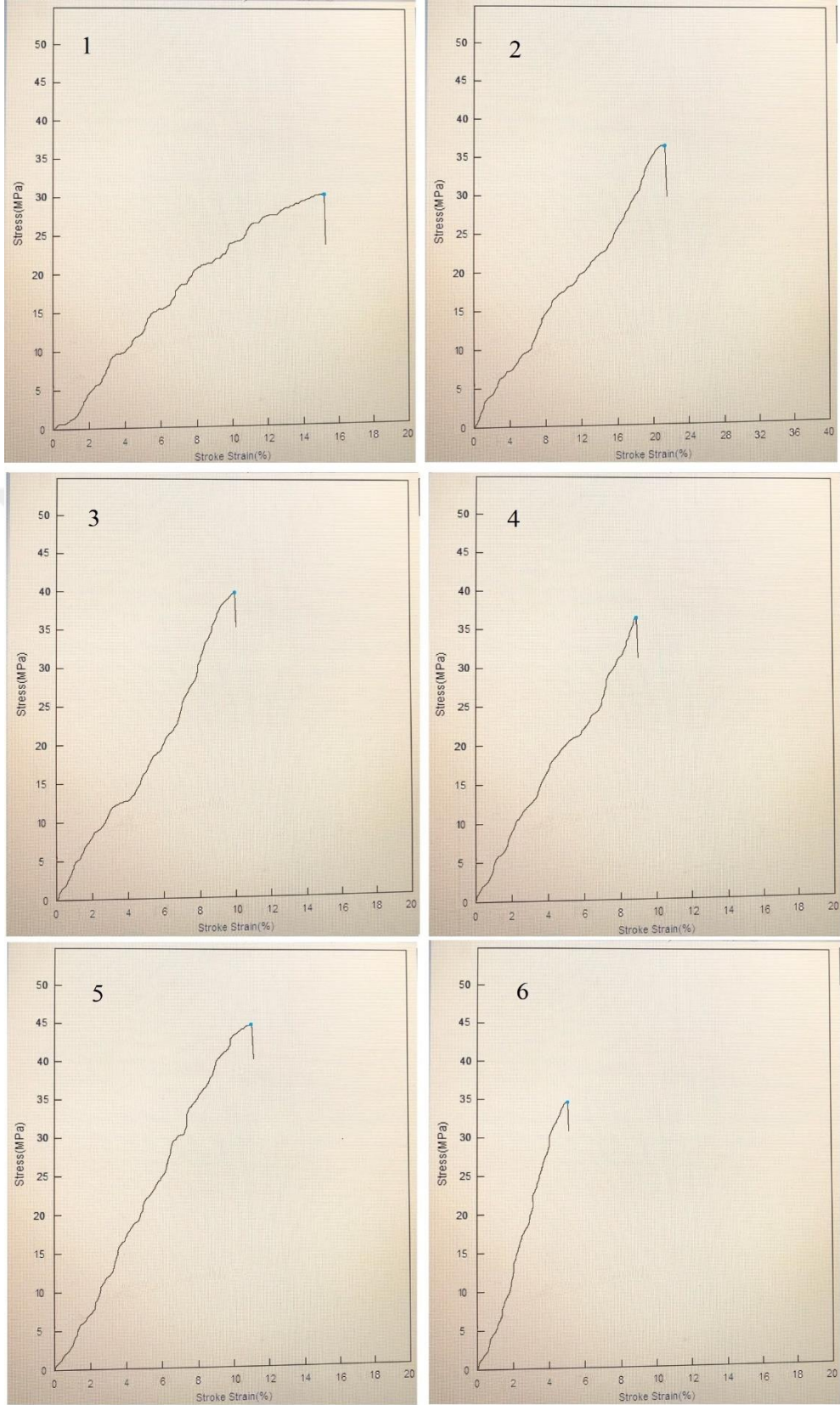
	MAKSİMUM KUVVET	MAKSİMUM GERİLME	MAKSİMUM GERİNME
	kN	MPa	%
1	1,18543	41,7123	10,5510
2	1,14745	40,2453	10,2616
3	1,04362	36,4125	9,8933
4	1,83941	42,3422	10,7643
5	1,15732	38,2324	10,4359
6	1,12873	37,1693	10,9482

Ayrıca deneyler sırasında elde edilen maksimum gerilme(stress) ve maksimum gerinme (strain) grafikleri kaydedildi (Resimler 3.8 ve 3.9).





Resim 3.8: Düz plak ile tespit edilmiş materyallere (n=6) ait üç nokta bükme (bending) testi grafiği görseli.



Resim 3.9: S plak ile tespit edilmiş materyallere (n=6) ait üç nokta bükme (bending) testi grafiği görseli.

Grupların üç nokta bükme (bending) testinden elde edilen verilerin maksimum, minimum, ortalama ve standart sapma değerleri elde edildi (Çizelge 3.12).

Çizelge 3.12: Grup III, grup VII ve grup XI' un üç nokta bükme (bending) testi Stress (Mpa) değeri istatistiksel analiz verileri.

Grup	Minimum	Maksimum	Ortalama	SS	P
Düz plak	32,47	44,64	39,2	4,5	0,691
S plak	30,16	45,08	37,4	5,1	
Plaksız kemik	36,41	42,34	39,3	2,4	

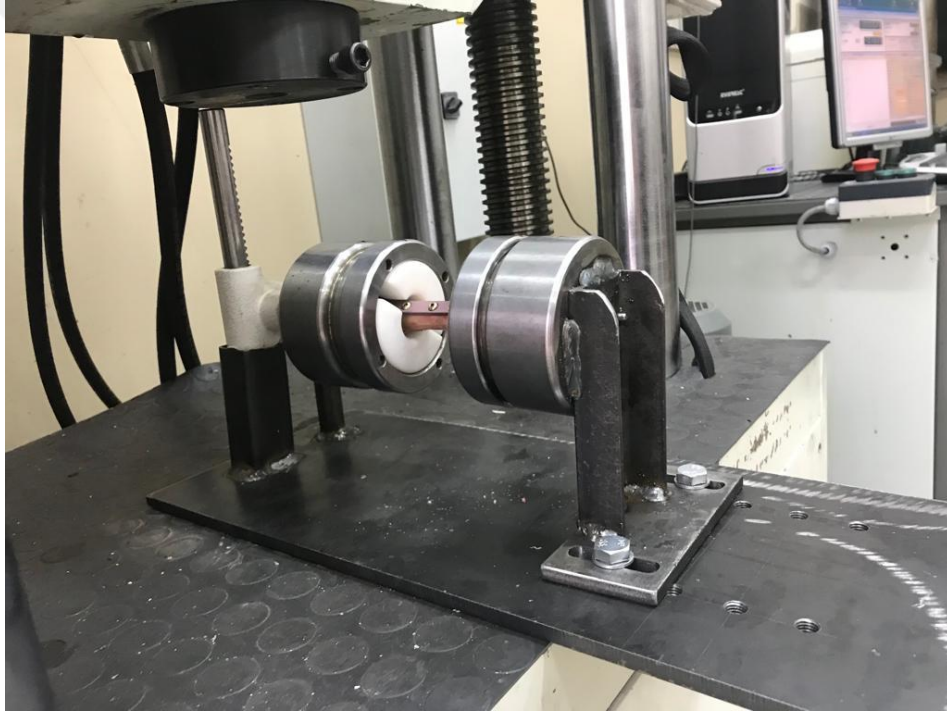
SS: Standart sapma. P: Anlamlılık düzeyi.

Üç nokta bükme (bending) testlerinde düz plaklar ve S plaklar ile tespit edilmiş materyaller ve plaksız, kırık hattı olmayan sağlam kemikler için ayrı maksimum kuvvet, maksimum gerilme (stress), maksimum gerinme (strain) ve maksimum şekil değiştirme verileri elde edildi (Çizelgeler 3.9 – 3.11). Düz plaklar ile tespit edilmiş materyallerin maruz kaldığı minimum stress değeri 32,47 Mpa (megapaskal), maksimum stress değeri 44,64 Mpa, ortalama stress değeri 39,2 Mpa ve SS değeri 4,5 olarak hesaplanırken S plaklar ile tespit edilmiş materyallerin maruz kaldığı minimum stress değeri 30,16 Mpa (megapaskal), maksimum stress değeri 45,08 Mpa, ortalama stress değeri 37,4 Mpa ve SS değeri 5,1 olarak hesaplandı. Kırık hattı oluşturulmamış sağlam materyallerin maruz kaldığı minimum stress değeri 36,41 Mpa (megapaskal), maksimum stress değeri 42,34 Mpa, ortalama stress değeri 39,3 Mpa ve SS değeri 2,4 olarak bulundu. Her bir grubun minimum ve maksimum stress (gerilme) değerleri, belirlenen grupların (Grup III, grup VII ve grup XI) içerisinde karşılaştırıldığında

istatistiksel olarak anlamlı değildi. Anlamlılık düzeyi 0,691 olarak bulunmuştur ($p > 0,05$). (Çizelge 3.12).

3.4. Burulma (Torsiyon) Testleri Bulguları

Torsiyon (burulma) testleri sırasında kompresyon kuvveti; geliştirilen aparat ile uygulanarak düz plaklar ve S plaklar ile tespit edilmiş materyaller ve plaksız, kırık hattı olmayan sağlam kemikler için ayrı maksimum kuvvet, maksimum gerilme (stress) ve maksimum gerinme (strain) verileri elde edildi (Resim 3.10; Çizelgeler 3.13 – 3.15).



Resim 3.10: Torsiyon testi sırasında S plak ile tespiti sağlanmış materyal.

Çizelge 3.13: Düz plak ile tespit edilmiş materyallerin torsiyon (burulma) testi verileri.

	MAKSİMUM KUVVET	MAKSİMUM GERİLME	MAKSİMUM GERİNME
	kN	MPa	%
1	3,14956	12,1754	24,2743
2	2,2373	9,0948	14,1387
3	3,3639	10,6959	15,8675
4	2,8369	9,7842	16,7440
5	3,4829	11,9873	13,6744
6	3,7693	10,1379	12,8365

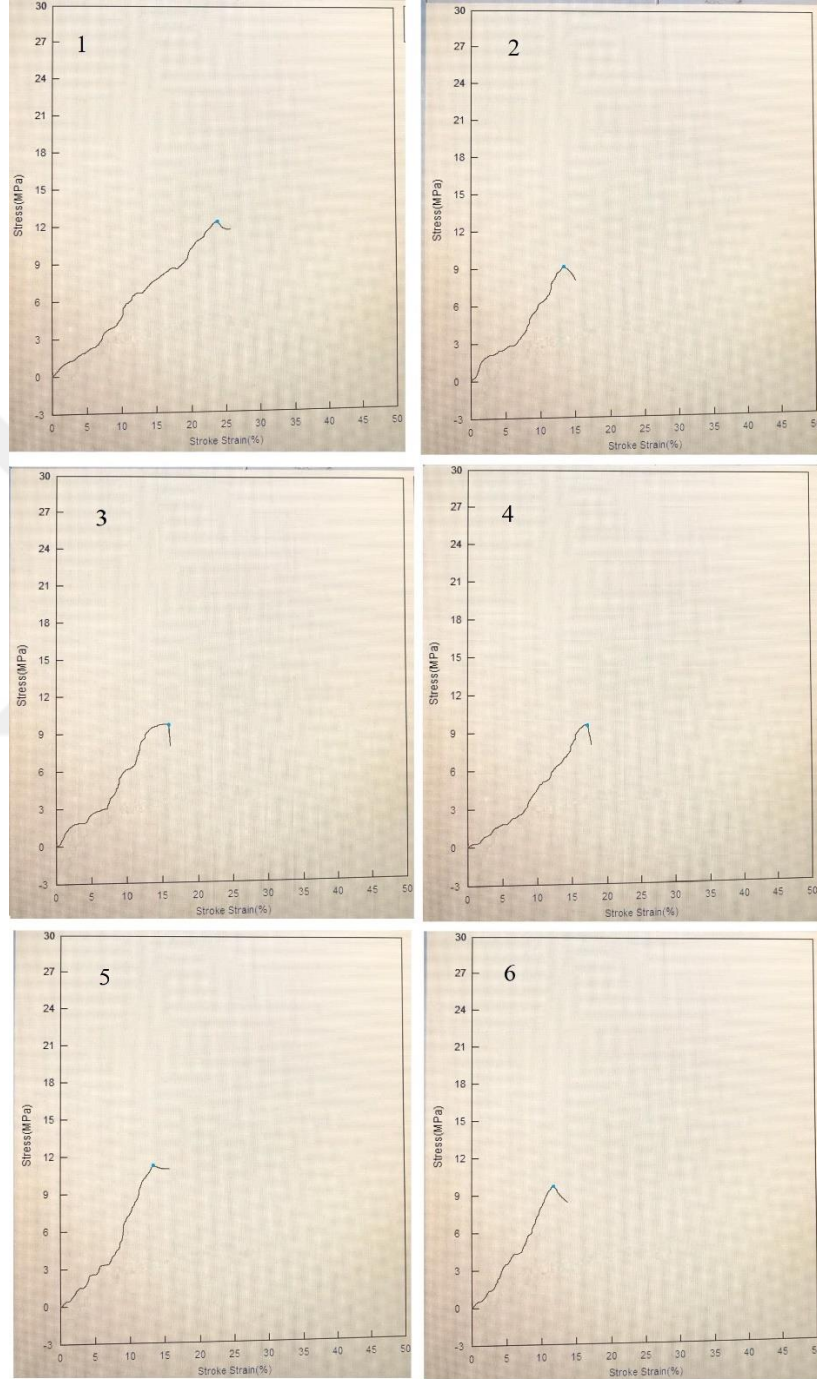
Çizelge 3.14: S plak ile tespit edilmiş materyallerin torsiyon (burulma) testi verileri.

	MAKSİMUM KUVVET	MAKSİMUM GERİLME	MAKSİMUM GERİNME
	kN	MPa	%
1	4,0264	12,8194	15,6482
2	3,3273	10,2319	14,3251
3	3,6594	11,6147	15,2794
4	3,1647	12,0392	14,4525
5	2,9825	13,2935	13,8352
6	3,8209	11,8309	15,9167

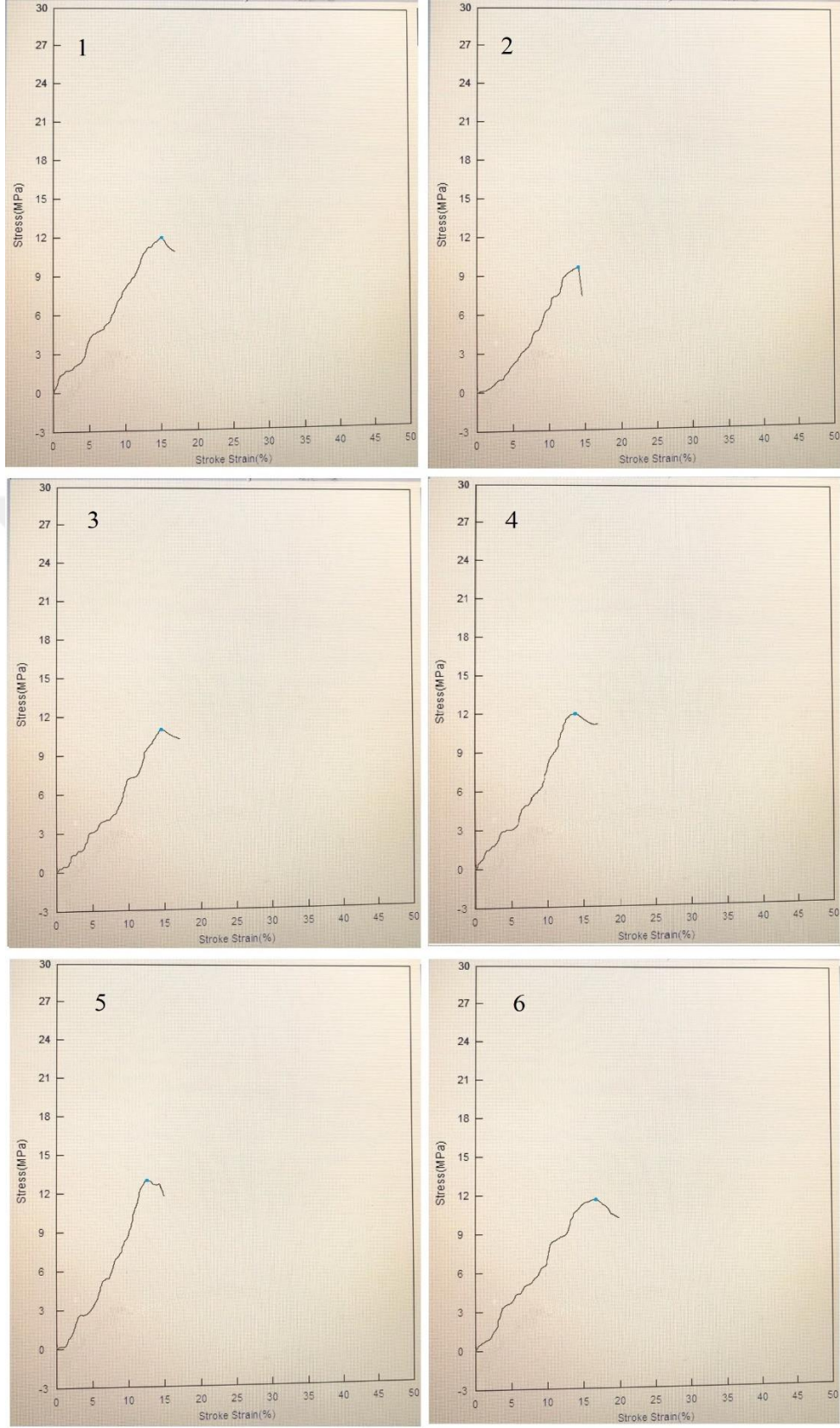
Çizelge 3.15: Plaksız sağlam kemik materyallerinin torsiyon (burulma) testi verileri.

	MAKSİMUM KUVVET	MAKSİMUM GERİLME	MAKSİMUM GERİNME
	kN	MPa	%
1	4,1564	13,2134	22,7487
2	3,8454	12,4734	21,2452
3	3,7307	11,2362	20,8923
4	3,9562	10,3788	21,8328
5	3,8950	12,4332	22,5819
6	3,7946	11,4971	21,7498

Ayrıca deneyler sırasında elde edilen maksimum gerilme (stress) ve maksimum gerinme (strain) grafikleri kaydedildi (Resimler 3.11 ve 3.12).



Resim 3.11: Düz plak ile tespit edilmiş materyallere (n=6) ait torsiyon (burulma) testi grafiği görseli.



Resim 3.12: S plak ile tespit edilmiş materyallere (n=6) ait torsiyon (burulma) testi grafiği görseli.

Grupların torsiyon (burulma) testinden elde edilen verilerin maksimum, minimum, ortalama ve standart sapma değerleri elde edildi (Çizelge 3.16).

Çizelge 3.16: Grup IV, grup VIII ve grup XII' un torsiyon (burulma) testi Stress (Mpa) değeri istatistiksel analiz verileri.

Grup	Minimum	Maksimum	Ortalama	SS	P
Düz plak	9,09	12,17	10,6	1,22	0,102
S plak	10,23	13,29	11,9	1,06	
Plaksız kemik	10,37	13,21	11,8	1,02	

SS: Standart sapma. P: Anlamlılık düzeyi.

Her bir grubun minimum ve maksimum stress (gerilme) değerleri, belirlenen grupların (Grup IV, grup VIII ve grup XII) içerisinde karşılaştırıldığında bulunan fark anlamlı değildi ($p > 0,05$).

Testlerde düz plaklar ve S plaklar ile tespit edilmiş materyaller ve plaksız, kırık hattı olmayan sağlam kemikler için ayrı maksimum kuvvet, maksimum gerilme (stress), maksimum gerinme (strain) ve maksimum şekil değiştirme verileri elde edildi (Çizelgeler 3.13 – 3.15). Düz plaklar ile tespit edilmiş materyallerin maruz kaldığı minimum stress değeri 9,09 Mpa (megapaskal), maksimum stress değeri 12,17 Mpa, ortalama stress değeri 10,6Mpa ve SS değeri 1,22 olarak hesaplandı. S plaklar ile tespit edilmiş materyallerin maruz kaldığı minimum stress değeri 10,23 Mpa (megapaskal), maksimum stress değeri 13,29 Mpa, ortalama stress değeri 11,9 Mpa ve SS değeri 1,06 olarak bulunurken kırık hattı oluşturulmamış sağlam materyallerin

maruz kaldığı kaldığı minimum stress değeri 10,37 Mpa (megapaskal), maksimum stress değeri 13,21 Mpa, ortalama stress değeri 11,8 Mpa ve SS değeri 1,02 olarak hesaplanmıştır. Her bir grubun minimum ve maksimum stress (gerilme) değerleri, belirlenen grupların (Grup IV, grup VIII ve grup XII) içerisinde karşılaştırıldığında istatistiksel olarak anlamlı değildi. Anlamlılık düzeyi 0,102 olarak bulunmuştur ($p > 0,05$) (Çizelge 3.16).



4. TARTIŞMA

Femur (uyluk kemiği) iskelet sisteminin en uzun ve en kalın kemiklerindendir. Femur kırıkları köpek ve kedilerde en sık görülen kırık türüdür ve tüm kırıkların %20 ila %26'sını oluşturur. Femurda meydana gelen kırıklar eğilme (baskı ve gerilim), kesme ve burulma (rotasyonel) kuvvetlerine maruziyet sonrası şekillenebilir (Whitehair ve Vasseur, 1992; Dursun, 1996).

Diyafizer femur kırıkları, tüm femur kırıklarının %56' sını teşkil eder. Kemiğin diyafizer bölgesinde şekillenen kırıklardır. Yetişkin hayvanların diyafizi birçok fiksasyon yöntemine uygun olmasına rağmen, bu kırıkların onarımı geçmişte yüksek komplikasyon insidansı ile ilişkilendirilmiştir. Benzer şekilde genç hayvanlarda diyafiz onarımı, esas olarak ince bir elastik korteksi çevreleyen kalın bir periosttan oluşan olgunlaşmamış kemiğin zayıf mekanik özellikleri nedeniyle kısmen zordur (Tobias ve Johnston, 2013).

Femur kırıkları biyolojik osteosentez prensipleri kullanılarak veya anatomik redüksiyon ve stabilizasyon ile tedavi edilebilir. İnternal olarak, intramedüller ve ekstramedüller yöntemlerden yararlanılır (Beale, 2004; Hulse ve ark., 2005).

Plak ile osteosentez, operatörün tercih edebileceği en stabil fiksasyon şekillerinden biridir. Büyük ırk köpeklerde çoğu olguda kemik plakları tercih edilen bir fiksasyondur (Schwarz vd., 1991; Hulse vd., 2005; Şengöz, 2008).

Geliştirilen implantlarda ve tespit yöntemlerinin birbiriyle karşılaştırılmasında *in-vitro* biyomekanik testler kullanılmaktadır. Biyomekanik testlerde amaç vücut ortamındaki yük değişimlerini simüle ederek oluşturulan sistemlerin nasıl davranış göstereceğini deneysel verilerle ortaya çıkarmaktır. Bu amaçla insan kadavra kemikleri, hayvan

kadavra kemikleri ya da kemiğin mekanik özelliklerini simüle eden ve geometrik olarak düzgün materyaller kullanılabilir (Yang, 2005).

Titanyum plakların; inert özellikte olması, nontoksik yapısı, antimagnetik özelliği, hafif ve boyutlarının küçük olması, biyokompatibilitesinin yüksek olması, korozyona karşı dayanıklı olması, elastikiyet modülüsünün kemiğinkine çok yakın olması gibi özellikleri ortopedik cerrahide tercih edilen bir materyal olma özelliğini sağladığı vurgulanmaktadır (Bilgili, 2002).

Metalik implant ile tespit edilen kemiklerde osteoporoz görülmektedir. Osteoporoz genel olarak iki temel nedene bağlanmaktadır. Birinci neden; kırık bir kemiği iyileştirmek için kullanılan implant materyallerinin, kemiği kendini yenileyebilmesi için gerekli olan fizyolojik yüklerden uzak bırakması, ikinci neden ise; plakları yerleştirirken yapılan geniş cerrahi açılım ve plağın, kemiğe yaptığı baskı nedeniyle kemik kanlanmasında büyük önemi olan periosta zarar vermesidir (Klaue vd., 2000; Perren, 2002; Uhthoff vd., 2006).

Düz plaklar ve S plakların biyomekanik olarak karşılaştırıldığı bu çalışmamızda kullanılan plaklar, son dönemlerde veteriner literatürde sıkça kullanılan titanyum (Grade V) alaşımdan yapılmıştır. Kullanılan hayvan kadavra kemiklerinde ise mümkün olduğunca biyomekanik deneysel standardizasyon sağlanmıştır.

Diyafizer femur kırıklarında sağaltım yöntemleri kırığın oblik ya da transversal olmasına göre farklılık göstermektedir. Transversal kırıklarda plak uygulaması, intrameduller kilitli pin uygulaması ve eksternal fikzatorlerin tek başına ya da intrameduller pinlerle birlikte kullanılması gibi tekniklerde kullanılmaktadır (Akgül, 2014).

Bu çalışmamızda Akgül (2014)' ün çalışmasında uyguladığı femur kemiğinde diyafizer transversal basit bir kırık tipini tercih ettik. Böylelikle daha hafif ve dayanıklı materyallerle gerçekleştirilen osteosentez için bir avantaj oluşturabileceği düşünüldü.

Plak uygulamalarında dikkat edilecek noktalardan biri; özellikle femur gibi kemiklerin düzgün bir anatomik yüzeye sahip olmamalarından dolayı plağın kemiğe tam adaptasyonu için plağın, kemik yüzeyine göre bükülme zorunluluğudur. Bu işlem yapılmadığında plak-kemik ve plak-vida arasındaki adaptasyon bozulur ve çeşitli komplikasyonlar ortaya çıkar (Johnston vd., 1991; McDuffee vd., 1997).

Bu çalışmada kullanılan düz plak ve S plaklar kolayca femur yüzeyine kolay uyum sağlayacak şekilde tasarlandı.

Çalışmamızda gerçekleştirilen biyomekanik testler, beşerî tıpta Gürger (2009), Türken (2009) ve Binbaş (2007)'ın çalışmaları doğrultusunda Shimadzu Autograph AG-5kNG Universal test cihazı kullanılarak yapıldı.

Stoffel ve arkadaşları (2003), kompozit kemik silindirleri kullanılarak yaptıkları in-vitro çalışmalarının ve diyafiziyer kırıklar için LCP kullanılarak yapılan sonlu eleman analizlerinin sonuçlarını paylaşmışlar ve klinik uygulamalar için öneriler yapmışlardır. Bu çalışmaya göre aksiyel sertlik ve torsiyonel sertlik temel olarak plağın uzunluğundan etkilenmektedir. Vida sayısının sağlamlığı arttırdığını; ancak parça başına üçten fazla vidanın, aksiyel kompresyon dayanımını çok az arttırdığı gibi dörtten fazla vidanın ise torsiyonel dayanımı çok arttırmadığını bulmuşlardır (Stoffel vd., 2003).

Konuyla ilgili literatür çalışmaları gözden geçirildiğinde, S plakların düz plaklar ile biyomekanik olarak karşılaştırıldığı kapsamlı deneysel bir çalışmanın henüz yapılmadığı görülmüştür.

Aksiyel kompresyon testlerimizde plaklarımızın mikro harekete izin vermemesinden dolayı Binbaş (2007)'ın deneylerinde elde edilen bulgularla test bulgularımız bire bir kıyaslanamadı. Aksiyel kompresyon testleri sırasında S plaklar ile tespit edilmiş kemikler, düz plaklar ile tespit edilmiş kemiklere göre daha kolay deforme olup stabilizasyon yeteneğini daha düşük kuvvetlerde kaybetmesine neden oldu. Yapılan önceki çalışmalar dikkate alındığında aksiyel kompresyon testlerinde kullanılan plaklar düz hatta sahip ve plakların kemiklere tespit hattı dik ekseninde bakıldığında tek bir hatta bulunmaktadır. S plakların stabilizasyonu sırasında vidalar kemikleri hem lateral hattan, hemde kraniyel ve kaudal hattan tutacak şekilde sabitlendi. Bu işlemin kemik üzerinde birden fazla hatta oluşturduğu deformasyon nedeniyle S plakların ortalama değerlerinin düşük çıktığı düşünülmektedir.

Distraksiyon (Gerilme) testlerinde düz plaklarla stabilizasyonu sağlanmış kemikler, S plaklar ile stabilizasyonu gerçekleştirilen kemiklere göre daha düşük kuvvetlerde bütünlüğünü kaybedip, deformasyona uğradılar. Robert (2003), vida yerleştirilmesi üzerine gerçekleştirdiği bir çalışmada, vida açısının değiştirilmesinin sıyrılma direncini azalttığını, ancak plağın kemiğe fiksasyonunun dayanıklılığını arttırdığını göstermişti. Deformasyon bölgeleri düz plaklarda, plağın stabilize edildiği hattın tam karşı tarafındaki kemik korteksinde meydana geldi. S plaklarda deformasyonlar daha yüksek kuvvetlerde ve farklı kemik noktalarında gerçekleşti. S plaklar tasarım yönünden kemik hattına hem lateral hattan, hemde kraniyel ve kaudal hattan tutacak şekilde stabilize edildiği için farklı açılardan kemiği tuttuğu gözlemlendi. Bu nedenle yukarı doğru oluşan bu gerilme kuvvetine S plaklar, düz plaklara oranla vida açısı avantajı ile daha fazla karşı koyarak yüksek kuvvetlere kadar stabilizasyonu sağladığı düşünülmektedir.

Üç nokta bükme (bending) testlerinde Leppänen ve arkadaşları (2006)'nın çalışmalarında uyguladıkları teknikler baz alındı. Femurlar bükme aparatının alt destekleri üzerindeki yan yüzeylere yerleştirildi. Her kemik için bu destekler, biri

trokanter majör altında, diğeri distal femur altında olacak şekilde ayrı ayrı yerleştirildi (Leppänen vd., 2006).

Üç nokta bükme (bending) testlerinde kuvvetin uygulanma hattı nedeniyle her iki plak tipinde aynı noktalardan sürekli artan kompresyon kuvvetine maruz kaldı. Yük miktarındaki artışa bağlı olarak yer değiştirme miktarları da arttı. Grupların karşılaştırılmalarında istatistiksel anlamlı bir fark bulunamamıştır. Binbaş (2007) çalışmasında üç nokta bükme testlerinde gruplar arasındaki temel farkın fiksasyon için kullanılan vida sayısı olduğunu belirtmiştir. Aynı sayıda vida ile stabilize edilmiş olan S plak ve düz plakların, üç nokta bükme (bending) testlerinde anlamlı bir fark oluşturmaması bu durum ile açıklanabilir.

Torsiyon (burulma) testlerinde çalışmamızda S plaklar ortalama değer ve maksimum değerde düz plaklara göre daha yüksek verilere ulaştı. Grup arası karşılaştırılmada istatistiksel olarak bulunan fark anlamlı değildi. Binbaş (2007) çalışmasında yüklenme değerlerinde, 4 vidayla tespit edilen çalışma grubu ile 6 vidayla tespit edilen nötral plak grubu arasında anlamlı bir fark ortaya çıktığını belirtmiştir. Bu farkın yine bilindiği üzere kullanılan vida sayısından kaynaklandığını belirtmiştir. Çalışmamızda bu nedenle vida sayısını 6 vidalı plaklar olacak şekilde seçilmiştir. Türken (2009) yaptığı çalışmada burulma kuvvetinin, yer değiştirme miktarları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmadığını belirtmiştir. Bu durum burulma testlerinde anlamlı fark oluşmamasını açıklayabilir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sonuçlar değerlendirildiğinde; distraksiyon (gerilme) biyomekanik testinde, düz plaklar ve S plaklar karşılaştırıldığında S plakların düz plaklara göre daha tutucu ve dirençli bir şekilde osteosentez hattında ayrılmalara veya deplasmana minimum düzeyde etki ettiği görüldü. Femur diyafizer kırıklarında; S plakların düz plaklara göre kırık hattında diğer kuvvetlerin yanı sıra, özellikle gerilme kuvvetlerini daha etkin düzeyde önlemesinden dolayı bir alternatif olabileceği kanaatine varıldı. İleride klinik vakalarda S plakların in vivo davranışının araştırılması yapılması öngörülmektedir.

Ayrıca yerli üretim olan bu plakların ithalat noktasında dışa bağımlılığı azaltacağı düşünülmektedir.

İleride bu çalışmada tasarlanan S plakların, diğer hayvan türlerinde in vivo davranışının araştırılması ve klinik çalışmalarının yapılması öngörülmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Ağuş, H., Reisoğlu, A. Kilitli plakların temel özellikleri, farklılıkları ve kilitli plakla tespit yöntemleri. *TOTBİD Dergisi* 2012;11(1):15-19
- Akgül, M. B. (2014). Kedilerde femur'un orta diyafizer transversal kırıklarının biyoçözünebilir ve titanyum mini plaka ile osteosentezi sonrası kırık iyileşmelerinin klinik ve radyolojik olarak karşılaştırmalı değerlendirilmesi.
- Altunatmaz, k. (2004). Kırık iyileşmesinin biyolojisi ve biyolojik osteosentez. *İstanbul Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 30(1), 141-147.
- Arıcan, M. (2020). Kedi ve Köpek Ortopedi ve Travmatoloji. 1.Baskı, Anka Promosyon Matbaa, Konya, s:17, 29-30
- Aslanbey, D. (2002). Veteriner Ortopedi ve Travmatoloji. Medisan Yayınevi, Ankara.
- Beale, B. (2004). Orthopedic clinical techniques femur fracture repair. *Clinical Techniques in Small Animal Practice*, 19(3), 134-150.
- Bernarde, A., Diop, A., Maurel, N., Viguier, E. (2001). An in vitro biomechanical study of bone plate and interlocking nail in a canine diaphyseal femoral fracture model. *Veterinary surgery*, 30(5), 397-408.
- Bilgili, H. (2002). Kedi ve köpeklerin ekleme yakın ekstremité kemikleri kırıklarında osteosentez amacıyla mini-titanyum plakların kullanımı. *Turk J Vet Anim Sci*, 26, 1289-1295.
- Brinker, O., Piermattei, D. L., Flo, G. L. (2006). Small animals orthopedics and fracture repair. Great Britain.
- DeCamp, C. E. (2015). Brinker, Piermattei and Flo's handbook of small animal orthopedics and fracture repair. Elsevier Health Sciences. S:531
- Done Sh, Goody Pc, Evans Sa, Stickland Nc (1996). Colour Atlas of Veterinary Anatomy, volume 3. 2th edition, Mosby, United Kingdom, page 10- 18.
- Dursun, N. (1996). Veteriner Anatomi I. 12. Baskı, Medisan Yayınevi, Ankara, s: 51-52.
- Dyce, Km., Sack, Wo., Wensing Cjg.(2002). Some Basic Facts and Concepts In:Textbook of Veterinary Anatomy. 3th Ed. ElsevierUSA P:1-31.
- Fujii, T., Ueno, T., Kagawa, T., Sakata, Y., Sugahara, T. (2006). Comparison of bone formation ingrafted periosteum harvested from tibia and calvaria. *Microscopy research and technique*, 69(7), 580-584.
- Gautier, E., Sommer, C. (2003). Guidelines for the clinical application of the LCP. *Injury*, 34, 63-76.
- Gemmill, T., Clements, D. (2016). BSAVA Manual of Canine and Feline Fracture Repair and Management. BSAVA.
- Görgül, o.s. (2012). Veteriner Genel Cerrahi. Medipres Matbaacılık, Malatya, s:399
- Gürger, m. (2009). Helikal plak ve düz plakların biyomekanik karşılaştırılması/The biomechanical comparison of helical plate and straight plates.

- Harari, J. (2002). Treatments for feline long bone fractures. *Veterinary Clinics: Small Animal Practice*, 32(4), 927-947.
- Harasen, g. (2003). Common Long Bone Fractures in Small Animal Practice. Part 1 *Canadian Veterinary Journal*. 44: 333-334.
- Hulse, D., Kerin, S., Mertens, D., Johnson, A. L., Houlton, J. E. F., Vannini, R. (2005). Fractures of the femoral diaphysis. JOHNSON, AL; HOULTON, JEF; VANNINI, R. AO principles of fracture management in the dog and cat. Davos: AO Publishing, 286-296.
- İncesu, Ç. (2013). Köpeklerde femurun suprakondiler ve distal epifiz kırıklarının eğri plak ile sağaltımı (Master's thesis, Sağlık Bilimleri Enstitüsü).
- Johnson, A. L., Smith, C. W., Schaeffer, D. J. (1998). Fragment reconstruction and bone plate fixation versus bridging plate fixation for treating highly comminuted femoral fractures in dogs: 35 cases (1987-1997). *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 213(8), 1157-1161.
- Johnston, s. A., Lancaster, r. L., Hubbard, r. P., Probst, c. W. (1991). A biomechanical comparison of 7-hole 3.5 mm broad and 5-hole 4.5 mm narrow dynamic compression plates. *Veterinary Surgery*, 20(4), 235-239.
- Karahalli, A. (2015). Köpeklerde uzun kemik kırıklarının kilitli Küntscher çivisi ile sağaltımı, Adnan Menderes Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, yüksek lisans tezi, s: 5, Aydın
- Klaue, K., Fengels, I., Perren, S. M. (2000). Long-term effects of plate osteosynthesis: comparison of four different plates. *Injury*, 31, 51-86.
- Leppänen, O., Sievänen, H., Jokihaara, J., Pajamäki, I., Järvinen, T. L. (2006). Three-point bending of rat femur in the mediolateral direction: introduction and validation of a novel biomechanical testing protocol. *Journal of Bone and Mineral Research*, 21(8), 1231-1237.
- Lipowitz, A. J. (2010). Bimechanical considerations of fractures and methods of fracture repair. Diplomate, American College of Veterinary Surgeons.
- McDuffee, L. A., Stover, S. M., Taylor, K. T. (1997). An in vitro biomechanical investigation of the mechanical properties of dynamic compression plated osteotomized adult equine tibiae. *Veterinary Surgery*, 26(2), 126-136.
- McLaughlin, R. (1999). Internal fixation: intramedullary pins, cerclage wires, and interlocking nails. *Veterinary clinics of North America: small animal practice*, 29(5), 1097-1116.
- Olçay, B. T. D., Şengöz, Ö. Y.(2008). Köpeklerin Femur Ve Tibia Kırıklarının Sağaltımında Kilitli Kompresyon Plağı (LCP) Uygulamalarının Klinik Ve Radyolojik Değerlendirmeleri Üzerine Çalışmalar, Ankara Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 98s, Ankara.
- Oral, S. (2017). Köpeklerde corpus femur ve corpus tibianın geometrik özellikleri (Master's thesis, Sağlık Bilimleri Enstitüsü).
- Özsoy, S., Altunatmaz, K. (2003). Kedi Ve Köpeklerde Trochanter Major Kırıklarının Değerlendirilmesi (1992-2002). *İstanbul Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 29(2), 185-193.
- Perren, S. M. (2002). Evolution of the internal fixation of long bone fractures: the scientific basis of biological internal fixation: choosing a new balance between stability and biology. *The Journal of bone and joint surgery. British volume*, 84(8), 1093-1110.

- Prieur, W. D. (2013). Manual of internal fixation in small animals. Springer.
- Robert III, K. Q., Chandler, R., Baratta, R. V., Thomas, K. A., Harris, M. B. (2003). The effect of divergent screw placement on the initial strength of plate-to-bone fixation. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*, 55(6), 1139-1144.
- Rudy, R. L. (1975). Principles of intramedullary pinning. *The Veterinary Clinics of North America*, 5(2), 209-228.
- Sadak, S. (2007). Köpeklerde ve Kedilerde Distal Ekstraartiküler Tibia Kırıklarının Sağaltımında Transartiküler Yöntem ve Ucu Yivli Pinlerin İntramedullar Uygulama-larında Alınan Sonuçlarının Klinik ve Radyolojik Değerlendirmesi. Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Sağlam, M., Özba, B., Kaya, Ü., Bilgili, H. (1999). Köpeklerde femur'un distal salter-Harris tip I ve tip II kırıklarının çarpaz pin tekniği ile osteosentezi üzerine klinik çalışmalar. *Veteriner Cerrahi Dergisi*, 5(3-4), 66-71.
- Sağlıyan, A., Han, M. C. (2016). Kedi ve Köpeklerde Uzun Kemik Kırıklarının Sağaltımında Akrilik Eksternal Fiksasyon ve İntramedullar Pin Uygulama. *Fırat Üniversitesi Sağlık Bilimleri Veteriner Dergisi*, 30(1), 45-54.
- Schwarz, P. D., Bruecker, K. A., Palmer, J. L., Powers, B. E., Histan, M. B. (1991). A Mechanical and Histological Comparison of Bone Healing Using Titanium Bone Plates with Porous Surfaced Titanium Screws versus Smooth Surfaced Titanium Screws. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*, 4(01), 1-10.
- Sevil Kilimci, F. (2012). Köpek femurunun iki ve üç boyutlu görüntülerinde geometrik özelliklerin değerlendirilmesi ve sonlu elemanlar yöntemi ile biyomekanik analizi.
- Slatter, D. H. (Ed.). (2003). Textbook of small animal surgery (Vol. 1). Elsevier health sciences. Syf: 2078- 2080.
- Stoffel, K., Dieter, U., Stachowiak, G., Gächter, A., Kuster, M. S. (2003). Biomechanical testing of the LCP--how can stability in locked internal fixators be controlled?. *Injury*, 34, B11-9.
- Sylvestre, A. M. (Ed.). (2019). Fracture Management for the Small Animal Practitioner. John Wiley Sons.
- Tercanlıoğlu, H. (2008). Kliniğimize getirilen köpeklerde femur kırıkları ve sağaltım olanakları (Master's thesis, Adnan Menderes Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü).
- Tobias, K. M., Johnston, S. A. (2013). Veterinary surgery: small animal-E-BOOK: 2-volume set. Elsevier Health Sciences.
- Turan, A., Katı, Y. A., Yüksel, H. Y (2018). Distal femur kırıklarında plak ile minimal invaziv osteosentez uygulamaları.
- Türken, M. A. (2009). Medial kelebek fragmanlı humerus cisim kırıklarında farklı internal tespit yöntemlerinin biyomekanik değerlendirilmesi (Biyomekanik çalışma) (Doctoral dissertation, Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi).
- Uthoff, H. K., Poitras, P., Backman, D. S. (2006). Internal plate fixation of fractures: short history and recent developments. *Journal of Orthopaedic Science*, 11(2), 118-126.
- Welch Fossum, T. (2013). Small animal surgery. s: 572. (No. 636.0897 W4S6 2013).
- Whitehair, J. G., Vasseur, P. B. (1992). Fractures of the femur. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, 22(1), 149-159.

Yang, K. H. (2005). Helical plate fixation for treatment of comminuted fractures of the proximal and middle one-third of the humerus. *Injury*, 36(1), 75-80.

Yardımcı, C., Çetinkaya, M. A. (2007). Kedilerde diyafizer segmental ve parçalı femur kırıklarının intrameduller pin ve serklaj kombinasyonu ile sağaltımı: 17 olgu. *Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 54(1), 11-16.

