

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
ANTROPOLOJİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İNSANIN BİYOMEKANİK ADAPTASYONU:
RESULOĞLU YERLEŞİMİNE AİT UZUN
KEMİKLERİN KESİTSEL GEOMETRİK
ANALİZİ**

Belkıs ABUFAUR

2501160010

TEZ DANIŞMANI

Prof. Dr. Derya ATAMTÜRK DUYAR

İSTANBUL – 2019

Bu alışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon
Birimi Tarafından Desteklenmiştir. Proje numarası: 29130.



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ



YÜKSEK LİSANS
TEZ ONAYI

ÖĞRENCİNİN;

Adı ve Soyadı : BELKIS ABUFAUR Numarası : 2501160010
Anabilim Dalı / Anasanat Dalı / Programı : ANTROPOLOJİ / YÜKSEK LİSANS Danışmanı : PROF. DR. DERYA ATAMTÜRK DUYAR
Tez Savunma Tarihi : 29.05.2019 Saati : 13.00
Tez Başlığı : * İnsanın Biyomekanik Adaptasyonu: Resuloğlu Yerleşimine Ait Uzun Kemiklerin Kesitsel Geometrik Analizi *

TEZ SAVUNMA SINAVI, İÜ Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliği'nin 50. Maddesi uyarınca yapılmış, sorulan sorulara alınan cevaplar sonunda adayın tezinin KABULÜNE OYBİRLİĞİ / OYÇOKLUĞUYLA karar verilmiştir.

JÜRİ ÜYESİ	İMZA	KANAATİ (KABUL / RED / DÜZELTME)
1- PROF. DR. DERYA ATAMTÜRK DUYAR		- KABUL -
2- PROF. DR. ECEVİT BARIŞ ÖZENER		- Kabul -
3- PROF. DR. MUSTAFA TUNAYA KALKAN		- KABUL -

YEDEK JÜRİ ÜYESİ	İMZA	KANAATİ (KABUL / RED / DÜZELTME)
1- DOÇ. DR. MEHMET ÖZTÜRK		
2- DOÇ. DR. GÜL ÖZSAN		

ÖZ

İNSANIN BİYOMEKANİK ADAPTASYONU: RESULOĞLU YERLEŞİMİNE AİT UZUN KEMİKLERİN KESİTSEL GEOMETRİK ANALİZİ

BELKIS ABUFAUR

Bin dokuz yüz seksenlerden bu yana arkeolojik alanlardan elde edilen insan kalıntılarının davranış ve yaşam örüntülerini ortaya çıkarmak antropolojinin başlıca çalışma konularından biri olmuştur. Bu alanda çalışan araştırmacılar özellikle iskeletlerde biyomekanik analizler yaparak, osteoartrit ve travma belirtilerine bakarak, kas-kemik bağlantılarında stres izleri arayarak ya da entesopati ve osteofit gibi vücut kemiklerinde birtakım patoloji etkenini hesaplayarak insanın yaşam şekli ve davranış örüntüleriyle ilgili bilgilere ulaşmaya çalışmaktadır.

Dünyada eski insan topluluklarının yaşam biçimi tespitinde kemik kesitlerinin geometrik analiz yöntemi kullanılarak incelenmesi yaygın iken, Eski Anadolu topluluklarında bu tür çalışmaların eksik olduğu görülmektedir. Bu çalışma, Resuloğlu Erken Tunç topluluğuna ait uzun kemikleri kesitsel geometrik analiz yöntemiyle incelemektedir. Bu dönemde yaşayan insanların maruz kaldığı yükün bedeninin hangi bölgesinde yoğunluk gösterdiği, cinsiyetler arası iş yükünün farklılık gösterip göstermediği, çoğunlukla hangi fiziksel aktivitelere daha fazla yoğunlaşıldığı konularında bilgiye ulaşılması amaçlanmıştır. Bunun yanında elde edilen bilgiler farklı topluluklarla karşılaştırılarak Resuloğlu Erken Tunç dönemi insanların detaylı hareket örüntü bilgisi ortaya konulmaya çalışılmaktadır.

Resuloğlu arkeolojik yerleşimine ait seçilen 13 femur, 19 humerus ve 4 tibia olmak üzere toplamda 36 uzun kemik kesitsel geometrik analiz yöntemiyle incelenmiştir. Uzun kemik diafizlerinin bilgisayarlı tomografi yardımıyla kesit görüntüleri İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (BAP) desteğiyle alınmıştır. Kesitlerin çekme-basma ve eğilme-burulmaya karşı

gösterdikleri dayanıklılıkları hesaplanmıştır. Kemiklere ait elde edilen matematiksel veriler cinsiyet dağılımına göre ayrılmış, cinsiyetler arası maruz kalınan kuvvet farkının olup olmadığı, dolayısıyla cinsiyetler arası iş dağılımının farklı olup olmadığı sorgulanmıştır. Ayrıca elde edilen verilere dayanarak Resuloğlu insanların çoğunlukla hangi fiziksel aktiviteleri yaptığı ve sağ/sol- kol/bacak (bilateral asimetri) kullanımına dair bilgiler elde edilmiştir.

Çalışma sonunda, Resuloğlu Erken Tunç dönemine ait insanların kemiklerine binen yükün alt ekstremitelerde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Bu durum Resuloğlu insanların yaşadıkları bölgenin arazi özellikleri, uzun mesafe yolculuklarını içeren bir yaşam şekli ve geçim ekonomisine sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca Resuloğlu bireylerinin sahip oldukları yaşam şeklinin CA verisi haricinde incelenen parametrelerde genel olarak cinsiyetler arası iş bölümü dağılımı ve sağ-sol kol/bacak kullanımında belirgin farklılık göstermediği anlaşılmaktadır.

Resuloğlu bireylerine ait bulgular diğer çalışmaların sonuçlarıyla karşılaştırıldığında üst ekstremitelerde irilik ve dayanıklılığının dünyada görülen temporal değişimle orantılı olarak azaldığı tespit edilmiştir. Alt ekstremitelerde ise irilik ve dayanıklılığın karşılaştırılan gruplara göre daha yüksek olması, bu topluluğun yükün alt ekstremitelere daha fazla uygulayan hareketleri yaptığını ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: kesitsel geometrik analiz, uzun kemikler, hareket örüntüsü, paleoantropoloji, Resuloğlu iskelet topluluğu

ABSTRACT

HUMAN BIOMECHANICAL ADAPTATION: CROSS-SECTIONAL GEOMETRIC ANALYSES OF LONG BONES IN RESULOĞLU POPULATION

BELKIS ABUFAUR

Reconstructing human life and behaviour patterns from skeletal samples which unearthed from archaeological sites has been one of the main research topics of anthropology since 1980s. Researchers who work in this field try to reach as much information as they can about past human life history and behaviour pattern by analyzing biomechanical approaches, by looking at the osteoarthritis and trauma agent or looking for the traces of stress in the muscle-bone connections and calculating several pathological factors.

Estimating cross-sectional characters of a bone diaphysis has been associated with differences in body size, bilateral asymmetry in limb use, sexual division of labour in archaeological skeletal samples, physical activity-related to subsistence strategy. Unfortunately these studies are clearly inadequate for ancient Anatolian populations. This study examines the cross-sectional geometric properties of long bones in Resuloğlu Early Bronze Age people and aimed to reach habitual behaviour, sexual division of labour and bilateral asymmetry. On the other hand, comparisons with other archaeological skeletal samples will reveal Resuloğlu people's detailed physical activity pattern.

Cross-sectional analysis method was applied to 13 femora, 19 humeri and 4 tibiae selected among Early Bronze Age human skeletons unearthed from Resuloğlu, Çorum, Turkey. Cross-sectional CT images were taken from selected among long bone diaphyses. From images, cross-sectional ability to resist compression-tension and bending-torsion loading strain was calculated. The data obtained from the

selected bones were separated according to the gender for questioning differences in the relative mobility of males and females. Furthermore, we examined the data in terms of specific behavioural characteristics like left/right usage of Resuloğlu people.

The results of this study emphasize that mechanical loading mostly located in sections in mid-femur and mid-tibia in Resuloğlu people. Lower limb bone ratios are consistent with the predicted mechanical consequences of travelling through rugged terrain and subsistence strategy. Distribution of the division of labour between gender and the use of right/left arm-leg show no significant difference in Resuloğlu people.

The comparisons of Resuloğlu people's cross-sectional geometric properties of humeri comparison with other relevant studies indicated a significant reduction in diaphyseal robusticity and strength. Femur and tibia values suggested that Resuloğlu people had high levels of mechanical stress, probably reflecting the effects of travelling, walking.

This study was supported by Scientific Research Project Coordination Unit of Istanbul University. Project number: 29130.

Keywords: cross-sectional geometric analysis, long bones, behaviour pattern, paleoanthropology, Resuloğlu people

ÖNSÖZ

Resuloğlu topluluğunun Erken Tunç Dönemi'ne ait uzun kemik diafizlerinin kesitsel geometrik özelliklerine bakarak, bu dönemin hareket örüntüsünün bedenin hangi bölgesinde yoğunluk gösterdiği, cinsiyetler arası iş yükü dağılımı ve sağ-sol kullanımında farklılık olup olmadığı bilgisine ulaşmayı amaçlayan bu çalışma, ülkemizde bir Tunç Dönemi insan topluluğuna uygulanan ilk kesitsel analiz çalışması olma özelliğini taşımaktadır. Nitekim araştırma bulguları, Anadolu'daki eski insan topluluklarının hareket örüntüsü ve yaşam stilini ne derecede aydınlatılacağını göstermesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Bu konuyu çalışmamda bana sonsuz destek veren, yoğunluğu arasında sorularımı her zaman cevaplamaya vakit bulan, benden sabrını ve bilgisini esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. Derya ATAMTÜRK DUYAR'a; deneyimleri ve değerli bilgisiyle çalışmaya katkı sağlayan Prof. Dr. İzzet DUYAR'a, sonsuz teşekkür ederim.

Kazı alanından ele geçirilen iskelet materyallerini çalışmamıza imkân sağlayan Resuloğlu kazı başkanı Prof. Dr. Tayfun YILDIRIM'a, kemik çekimlerinin gerçekleştirilmesine destek olan tüm Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Radyoloji Bölümü çalışanları ve teknik ekibe, iskelet materyallerini incelemem esnasında benden manevi desteklerini ve önerilerini esirgemeyen Araş. Gör. A. Yeşim DEMİR ÖZDEM ve Araş. Gör. Ayşegül ŞAHİN'e; tezi yazdığım sırada her daim yanımda olan sevgili dostlarım Gizem Sema GÜNHAN, Sema YILMAZ ve Ezgi KAPLAN'a; motivasyonum düştüğü anda desteğini ve ilgisini benden esirgemeyen Fulya ALTAN'a teşekkürü bir borç bilirim. Akademik yolda yürümemde bana olan inancı ve desteği için sevgili anneme, her daim yanımda olan ablama ve varlığıyla en büyük destekçim olan sevgili babama bana verdikleri emek ve sevgi için çok minnettarım.

BELKIS ABUFAUR
İSTANBUL, 2019

İÇİNDEKİLER

ÖZ.....	iii
ABSTRACT	V
ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
TABLolar LİSTESİ.....	Xi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xiii
FOTOĞRAFLAR LİSTESİ	XV
KISALTMALAR LİSTESİ.....	XVi
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM İNSANIN KEMİK YAPISI

1.1. KEMİK DOKUSU.....	4
1.1.1. Kemik Bileşimi	5
1.1.2. Kemik Matriksi ve Hücreleri	7
1.1.3. Kemiğin Mikroyapısı	8
1.2. UZUN KEMİKLERİN YAPISI.....	12
1.3. KEMİK YAPIMI VE YENİDEN BİÇİMLENMESİ.....	13
1.3.1. Kemiklerin Biçimlenmesi	14
1.3.2. Kemiklerin Yeniden Biçimlenmesi	16
1.3.3. Kemiğin Yeniden Biçimlenmesini Etkileyen Mekanik Faktörler.....	18

İKİNCİ BÖLÜM KEMİK BİYOMEKANİĞİ

2.1. KATI CİSİM MEKANİĞİNİN TEMELLERİ	21
2.1.1. Yük-Deformasyon Eğrisi.....	22
2.1.2. Gerilme- Zorlanma Kavramları	25
2.1.3. Elastik Modülü ve Poisson Oranı	28

2.2. KORTİKAL KEMİĞİN DİRENCİNİ BELİRLEYEN MEKANİK FAKTÖRLER	31
2.2.1. Kortikal Kemik Kütlesi ve Yapısı	31
2.2.2. Kemik Direnci ve Mekanik Yüklenmeler	32
2.3. İNSAN İSKELETİNİN MEKANİK ADAPTASYONU: WOLFF KANUNLARI	33
2.3.1. Wolff Kanunu ve Tarihsel Süreçteki Temelleri	34

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

TARİHSEL, KURAMSAL ÇERÇEVE

3.1. ANTROPOLOJİ ALANINDA KEMİĞİN KESİTSEL ÖZELLİKLERİNİ KONUSALAN ÇALIŞMALAR	38
3.2. ANTROPOLOJİ ALANINDA BİYOMEKANİK ANALİZİ KONUSALAN ÇALIŞMALAR	40

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

YÖNTEM

4.1. AMAÇ	44
4.2. MATERYAL.....	44
4.3. METOT	51
4.3.1. Biyomekanik Analiz.....	54

BEŞİNCİ BÖLÜM

BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

5.1. BİYOMEKANİK ANALİZLER	59
5.1.1. Humerus Kemiklerinin Kesitsel Geometrik Özellik Bulguları.....	64
5.1.2. Alt Ekstremiteler Kemiklerinin Kesitsel Geometrik Özellik Bulguları	66
5.1.3. Diafizyal Yüklenme ve İrilik	67
5.1.5. Uzun Kemik Kesitlerinde Seksüel Dimorfizm.....	68
5.1.6. Uzun Kemik Kesitlerinde Bilateral Asimetri	70

ALTINCI BÖLÜM

TARTIŞMA

6.1 TARTIŞMA VE SINIRLILIKLAR	72
--	-----------

SONUÇ.....	80
KAYNAKÇA	83
EKLER.....	94



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1.1 : Kemiğin biçimlenme ve yeniden biçimlenme süreçlerinin ana özellikleri.	17
Tablo 4.1 : Kemikten elde edilecek kesitsel geometrik karakterler.	54
Tablo 5.1 : Resuloğlu bireylerinin femur kemiklerinin %50 ve %80 noktalarına ait kesit ölçüleri.	59
Tablo 5.2 : Resuloğlu bireylerinin humerus kemiklerinin %35 noktasına ait kesit ölçüleri.	60
Tablo 5.3 : Resuloğlu bireylerinin tibia kemiklerinin %50 noktasına ait kesit ölçüleri.	60
Tablo 5.4 : Resuloğlu topluluğuna ait kemiklerden alınan ölçümleri standardize etmek için kullanılan formüller ve elde edilen sonuçlar.	62
Tablo 5.5 : Resuloğlu topluluğuna ait femur kemiklerinin standardize edilmiş ölçüleri.	63
Tablo 5.6 : Resuloğlu topluluğuna ait humerus kemiklerinin standardize edilmiş ölçüleri.	63
Tablo 5.7 : Resuloğlu topluluğuna ait tibia kemiklerinin standardize edilmiş ölçüleri.	64
Tablo 5.8 : Humerus kemiklerinde cinsiyete göre TA, J ve I_{max}/I_{min} ortalamaları.	65
Tablo 5.9 : Alt ekstremitelerde cinsiyete göre TA, J, I_{max}/I_{min} , Zp ve CA ortalamaları.	66
Tablo 5.10 : Humerus kemiğinin TA, CA, J ve I_{max}/I_{min} değerleri için %SD (seksüel dimorfizm yüzdesi) oranları.	69
Tablo 5.11 : Femur ve tibia kemiklerinin TA, J, I_{max}/I_{min} ve Zp değerleri için %SD (seksüel dimorfizm yüzdesi) oranları.	70
Tablo 5.12 : Cinsiyetler arası bilateral asimetrisinin yüzdelik dağılımları.	71
Tablo 6.1 : Karşılaştırmalı humerus kemiği istatistikleri.	75
Tablo 6.2 : Karşılaştırmalı örnekler arasında femur kemiğinin orta kesitine ait eğilme dayanıklılığı ve toplam dayanıklılığının istatistikî özeti.	77

Tablo 6.3 : Merkez Avrupa bölgesinde Geç Eneolitik ve Erken Tunç Çağı toplulukları ile Resuloğlu topluluğu tibia kemiği I_{max}/I_{min} , CA ve J karşılaştırmalı ortalama değerleri..... 78



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 : Kemğin mikro kesiti.....	9
Şekil 1.2 : A. Sarmal kontrplak benzeri lamel tabakalanması. B. Sarmal tabakalanan lamellerin tabakalı kesiti	10
Şekil 1.3 : Birincil osteon ve birincil havers sistemi.	11
Şekil 1.4 : Uzun kemik yapısı.....	13
Şekil 1.5 : A) Büyüme plağının altını metafizin diafiz bölgesini biçimlendirmek üzere uzaklaştırılan ve dolayısıyla çapı azaltan biçimlendirme şekli. B) Diafizi hem kemik yapımı hem de yıkımı gerçekleştirerek biçimlendirme. C) Sola doğru diafizin eğim yaparak biçimlenmesi.....	15
Şekil 1.6 : Yeniden biçimlenme sürecinde temel kemik birimlerini meydana getiren ARF sürecinin kompakt kemikte aktivasyon ve yıkım aşamaları.....	16
Şekil 1.7 : Frost'un önerdiği MES modeli.....	19
Şekil 2.1 : Resuloğlu arkeolojik kazı alanında 171(2) nolu mezardan elde edilen sağ kol kemiği üzerinde gösterilen 5 temel yüklenme çeşidi.	22
Şekil 2.2 : Yük-deformasyon ve gerilme-zorlanma grafiği.	24
Şekil 2.3 : Materyale uygulanan basma yüklenmesinde gerilmenin hesaplanması... ..	26
Şekil 2.4 : Üç eksenli gerilme.....	26
Şekil 2.5 : Normal ve makaslama zorlanması	27
Şekil 2.6 : Çekme yüklenmesi altında lateral gerinmenin eksenel zorlanmaya oranı (ϵ_y / ϵ_x).	30
Şekil 2.7 : Kemik doku dağılımının eğilme yüklenmesinde gösterdiği direncin rolü gösterilmektedir	32
Şekil 4.1 : Çalışma için ayrılan Resuloğlu topluluğuna ait bireylerin femur, humerus ve tibia kemiklerinin toplam içerisindeki yüzdelik dağılımları.	48
Şekil 4.2 : Resuloğlu topluluğunda incelenen uzun kemiklerin cinsiyet dağılımı. ...	48
Şekil 4.3 : Resuloğlu topluluğunda incelenen uzun kemiklerin yaş dağılımı.....	49
Şekil 4.4 : İncelenen uzun kemiklerin sağ-sol ayrımlarının yüzdelik dağılımları.	49
Şekil 4.5 : İncelenen sağ-sol femur, humerus ve tibia kemiklerinin cinsiyet dağılımı.	50

Şekil 4.6 : İncelenen sağ-sol femur, humerus ve tibia kemiklerinin yaş dağılımı.....	50
Şekil 4.7 : Çekim öncesi kemiklerin eksenlerinin ve osteometrik noktalarının belirlenme işleminin, M149'a ait sol femur ve ebts 3 bireyine ait sol tibia kemiği üzerinde şematik gösterimi tespiti.....	53
Şekil 4.8 : Kesit eksenlerine göre EBTS 3 no'lu bireye ait eğilme zorlanmasının şematik görünümü.....	55
Şekil 5.1 : Çalışılan femur ve tibia kemiklerinin beden boyut değerleri.	61



FOTOĞRAFLAR İSTESİ

Fotoğraf 1.1 : 2 aylık bir bebeğe ait 6. kaburga kemiğinin trabeküler yüzeyindeki kolajen fibrillerin elektron mikrofisi.....	5
Fotoğraf 1.2 : Kemiğin transvers kesit görüntüleri.....	12



KISALTMALAR LİSTESİ

v.d.: ve diğerleri

BT: Bilgisayarlı tomografi

A-P: Anteroposterior

M-L: Mediolateral

CA: Kortikal alan

TA: Subperiostal alan

MA: Medüller boşluk

I_x : A-P eğilme değişmezliği

I_y : M-L eğilme değişmezliği

I_{max} : Maksimum eğilme değişmezliği

I_{min} : Minimum eğilme değişmezliği

J: Polar atalet momenti

Θ : Maksimum eğilme değişmezliği yönü

Z_x : A-P eğilme dayanıklılığı

Z_y : M-L eğilme dayanıklılığı

Z_{max} : Maksimum eğilme dayanıklılığı

Z_{min} : Minimum eğilme dayanıklılığı

Z_p : Kesit modülü

Vb: ve benzeri

K: Kadın

E: Erkek

BK: Baş- kuyruk

BMU: Temel kemik birimi

ARF: Aktivasyon-yıkım-yapım

GİRİŞ

Tarih öncesi insan topluluklarına ait iskelet materyalini inceleyerek, insanların hareket örüntüsü ve yaşam şeklini ortaya çıkarmak paleoantropolojinin birincil amacı olagelmektedir. Araştırmacılar çeşitli yöntemler kullanarak bu alana katkı sağlamaktadır. Ancak iskelet materyalini inceleyerek canlıların sahip olduğu form ve işlevsel özelliklerin çeşitliliğini ortaya çıkarmak paleoantropoloji alanı dışında da merak uyandıran bir konu olmuştur. Doktor Julius Wolff iskelet sistemini detaylı bir şekilde incelediği *The Law of Bone Remodeling* adlı kitabında erişkinlik döneminde maruz kalınan fiziksel etkenlerin morfojenetik gelişimi etkilediği ve bunun sonucunda da iskelet sisteminin yapı ve şeklini değiştirdiğini belirtmektedir. Wolff'un canlılarının gelişimi sırasında maruz kaldığı mekanik etkilerin gelişen bazı fiziksel özellik, yenilenme ve yaşlanmasında etkisi olduğu fikri günümüzde “kemiğin fonksiyonel adaptasyonu” olarak kullanılmaktadır (Carter ve Beaupre, 2001). Kemiğin fonksiyonel adaptasyon prensibi basit olarak mekanik yük altında kalan kemiğin bu yüke karşı yapısını uyarlaması olarak açıklanabilir. Diğer bir ifadeyle kemik, artan zorlanma (strain) karşı, gerilmeyi (stress) normal düzeye indirmek ve dayanıklılığı arttırmak için yeni kemik doku oluşumunu uyarmaktadır. Bu durumda egzersiz ya da hareket, doku oluşumunu tetikleme suretiyle kemiği kuvvetlendirmektedir.

Kemik üzerinde gerçekleşen uyarlanmalar sıklıkla biyomekanik yöntemlere başvurularak incelenmektedir. Mekanik bilim dalının organik malzemelere uygulanmasını konu edinen biyomekanik yöntemler, cisimlerin belli bir kuvvet altındaki değişimlerini inceler. Bu yöntemlere göre mekaniğin gerilme, iç kuvvet ve dayanıklılığı tahmin etmeye yarayan ‘kiriş modeli’ veya ‘ince bir eleman üzerine binen kuvvete, elemanın gösterdiği dayanıklılık’ ile uzun kemik diafizlerinin (gövde) gün içerisinde maruz kaldığı kuvvetlere karşı gösterdiği tepkiler benzerdir (Timoshenko ve Gere, 1972; Shighley, 1976). Dolayısıyla dışarıdan incelenen materyale uygulanan kuvvet, kirişin **kesitsel geometrik** (şekil, boyut, kemik kütlelerinin dağılımı) özellikleri kullanılarak ölçülebilir (Larsen, 1995; Ruff ve Hayes, 1983; Ruff, 2000).

Antropoloji alanında eski insan topluluklarının uzun kemik diafizlerinden alınan kesit ve derinlik ölçülerinin yanı sıra kemiğin toplam subperiostal alanı, kortikal alanı ve kemik iliği kanalının alanı ölçülerek incelenen topluluğun hareket örüntüsü, yaşam şekli ve büyüme örüntüleri hakkında bilgi edinilmektedir (Ruff ve Hayes, 1983; Ruff, 1984; Dobson ve Trinkaus, 2002; Marchi ve diğ., 2006). Kemik ölçülerinden yaşam biçimi ve hareket örüntüleri hakkında bilgi edinilen çalışmalar 1970’li yıllardan itibaren dünya çapında çeşitli dönemlere ait arkeolojik toplulukların uzun kemiklerine uygulanmıştır. Öte yandan eski insan topluluklarına ait çok sayıda kalıntı bulunan ülkemizde, bu alanda yapılmış çalışmalar yok denecek kadar azdır. Dolayısıyla Eski Anadolu toplulukları kemiklerinin kesitsel geometrik analizleri literatüre yeni bilgiler sağlayacağı açıktır.

BİRİNCİ BÖLÜM

İNSANIN KEMİK YAPISI

Vücudun temel şeklini verip hareketi sağlayan, organları dış etkenlerden koruyan yapı, iskelet sistemi olarak adlandırılmaktadır. Bu sistemin öğelerinden olan kemikler, mikroskobik bileşenlerin yanında makro yapıları da bünyesinde barındıran dokulardır.

Kemiğin mekanik güçleri ayarlamayı sağlayan temel hücre-doku mekanizmasının incelenmesi görece yakın tarihlere dayanır. İlk çalışmalar 1960'lı yıllarda gerçekleştirilmiştir. Bu yüzyıl boyunca araştırmacılar laboratuvar çalışmalarını kalsifiye olmamış kemik üzerinde gerçekleştirmiştir. Kemiğin biyokimyasal yapısı incelendikçe sert dokuya sahip bir iskelet, sistem elemanı olmasının yanında vücudun geri kalan bölgeleri için kalsiyum ve fosfor sağlayan bir depo olduğu ancak 1970'li yıllarda fark edilmiştir. McLean ve Urist (1968), iskelet sisteminin kalsiyum-fosfor deposu olarak gelişme sebebini canlıların denizlerden karalara çıkışıyla ilişkilendirmiştir. Bu araştırmacılara göre kara yaşamına geçişte, iskelet sisteminin maruz kaldığı tuz-kalsiyum homeostasis mekanizmasındaki değişim bunda etkili olmuştur. Değişen kalsiyum yoğunluğu ve beden sıvılarının kimyasal bileşimi, vücutta iyon yoğunluğunu düzenleyici yeni bir mekanizmaya ihtiyaç doğurmuştur. McLean ve Urist (1968) amfibi, sürüngen ve kuşların fosillerinden elde edilen kemiklerin mineral yapısını inceleyerek bu canlıların iyon yoğunluğunu düzenleyen mekanizma boşluğunu kalsiyum-fosfor deposu olan iskelet sistemine sahip olarak doldurduğunu savunmaktadır. Yine 1970'li yıllarda çeşitli minerallerin, *osteoclast* ve *osteoblast* adı verilen kemik hücreleri tarafından iskelet sisteminden uzaklaştırılıp geri kazandırılmasında rolü açığa çıkarılmıştır (Martin v.d., 1998). Basitçe bu düşüncüyü açıklamak gerekirse paratiroid hormonunun salgılanması *osteoclast*ları harekete geçirerek kemik rezorbsiyonu yoluyla mevcut kalsiyumun kana girişini sağlarken, kalsitonin hormonunun salgılanması bunun tam tersi etki yaratmaktadır. Hormonal sistemlerin doğru çalışmadığı durumlarda ise kemik kaybı ve osteoporoz oluşmaktadır.

Mineral yapıya odaklanan iskelet biyolojisi çalışmaları ancak 20. yy'ın ikinci yarısında kemiğin mekanik özelliklerine odaklanarak çalışılmaya başlanmıştır. Bu dönemde özellikle ortopedi uzmanı Harold Frost'un (1985) kemiğin histolojik kesitlerinde yaptığı araştırma günümüz iskelet biyolojisi çalışmalarına büyük katkı sağlamıştır. Sözü edilen araştırmacının 1966 basımlı *The Bone Dynamics in Osteoporosis and Osteomalacia* adlı kitabında, osteoclast ve osteoblastların birlikte çalışarak rezorbe edilen kemiğin hemen yenilendiğini keşfettiğini ve kemik hücrelerinin ilk defa **çok hücreli birimler** olarak tanımlandığını görmek mümkündür (Frost, 1985). Döneminde anlaşılmayan ve reddedilen bu görüş günümüz iskelet biyolojisinin temelini oluşturmaktadır. McLean ve Urist ile Frost'un çalışmaları ışığında kemiğin sadece mineral deposu değil aynı zamanda kimyasal yollarla birbirleriyle iletişim kuran hücre birimlerinden meydana geldiği, mekanik bütünlüğü sağlayan dinamik bir organ olduğu ortaya çıkmıştır (Martin v.d., 1998).

1.1. KEMİK DOKUSU

Kemik, yapısal ve metabolik fonksiyonları olan dinamik bir bağ dokusudur. Kan hücrelerinin üretilmesi, kalsiyum, yağ ve mineral tuzların depolanması gibi metabolik fonksiyonlarının yanı sıra hayati önem taşıyan organları korumak, bedeni yer çekimine karşı desteklemek, hareket için kaldırma kuvveti oluşturma gibi yapısal fonksiyonları da bulunmaktadır (Wescott, 2001). Erişkin bir bireyin iskeleti kısa, uzun, yassı, sesamoid ya da düzensiz şeklinde gruplandırılan 206 kemikten meydana gelmektedir.

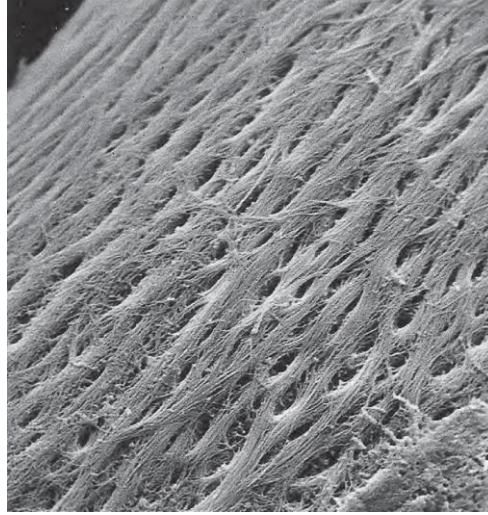
Kabaca şekline göre gruplanan kemikleri kısaca tanımlarsak sternum ve bazı kafatası kemikleri **yassı kemikler**dir. Bu kemik çeşidi kalın kemik katmanlarının, trabeküler (süngerimsi, kanselöz) adı verilen iğnemsî, gözenekli içyapıyla birleşmesiyle oluşurlar (Carter ve Beaupre, 2001). Trabeküler kemiğin sahip olduğu süngerimsi yapının içi ise kırmızı ve/veya sarı ilikle doludur. El-ayak parmak ve bilek kemikleri **kısa kemikler** olarak tanımlanır ki bu kemikler trabeküler kemiğin

ince kompakt kemikle çevrilmesiyle oluşmaktadır. Uzunluğu çapından büyük olan **uzun kemikleri** ise kaslarla birlikte hareket ve kavrama sağlayan kol, bacak vb kemikleri oluşturur. Patella gibi **sesamoid** kemikler ise tendonla kaplı kemiklerdir.

1.1.1. Kemik Bileşimi

Kemik, %25 su, %43 hidroksiapatit minerali, %32 oranında organik maddeyi oluşturan kolajen ile kolajen kaynaklı olmayan protein ve az oranda proteoglikandan meydana gelmektedir.

Kolajen, insanların yanı sıra yüksek oranda hayvan dokusunda bulunan lifli bir protein çeşididir (Fotoğraf 1.1). Birden çok kolajen çeşidi vardır; tendon, ligament, deride en çok karşılaşılan çeşidi tip I olarak adlandırılmaktadır. Kemiğe esneklik ve gerilme direnci sağlamaktadır. Aynı zamanda kemiğe sertlik ve basma yüklenmesine karşı direnç sağlayan kemik mineral kristallerinin çekirdeklenmesinde de rol almaktadır (Martin v.d., 1998; Standring, 2008).



Fotoğraf 1.1 : 2 aylık bir bebeğe ait 6. kaburga kemiğinin trabeküler yüzeyindeki kolajen fibrillerin elektron mikrofrafisi (Standring, 2008'den alınmıştır).

Kemikte bulunan **minerallerin** neredeyse hepsi $\text{Ca}_{10}(\text{P}_0_4)_6(\text{OH})_2$ bileşimli hidroksiapatit kristallerinden meydana gelmektedir (Martin v.d., 1998). Kristaller

küçük ancak yüzey alanları geniştir. Tek bir kristal 50x50x400 angström¹ boyutlarında simetrik altıgen şeklindeki çubuk ya da katmanlardan oluşmaktadır. Kristaller arasındaki boşluklar organik makromoleküllerle doldurulmaktadır (Standring, 2008). Kemik mineralleri florür, karbonat, sitrat gibi maddeler içermektedir. Bu maddeler vücut sıvılarınca kontrol edilip kemik minerallerine çözünürlük özelliği katmaktadır (Martin v.d., 1998). Kemik minerali içerisinde sodyum, potasyum, magnezyum, klorür, demir, çinko, bakır, alüminyum ve stronsiyum gibi elementler eser miktarlarda bulunmaktadır (Standring, 2008). Bahsi geçen tüm bu mineraller, hem kemik matriksinin inorganik materyalini oluşturmakta hem de kemiğe sertlik, değişmezlik özelliği sağlamaktadır.

Kemiğin temel maddesi ise **proteoglikan** olan biglikan ve dekorindir. Kemiğin kalsiyum bağlama özelliğinin yeri ve oranlarını düzenlediği bilinmektedir (Martin v.d., 1998). Kemiğin bileşiminde yer alan bir diğer madde ise osteoblastların salgıladığı ve yeni kemik yapımında önemli rol oynayan osteokalsin ise **kolajen kaynaklı olmayan** bir proteindir. Kemik matriksinde bulunan diğer kolajen kaynaklı olmayan proteinler osteopontin ve osteonektindir.

Görüldüğü üzere çok bileşenli bir yapıya sahip olan kemik dokusu Julian Vincent'in (1982) dediği gibi "tahta kadar hafif, dökme demir kadar kuvvetli" dir.

Kemiğin bileşimi dışarıdan gelen kuvvetlere karşı direnç sağlamakla birlikte iskelet materyali yaşa, zamana ve dışarıdan gelen kuvvetlere karşı kemik dokusunun direncini düşürmektedir (Carter ve Beaupre, 2001; Martin v.d., 1998). Yukarıda da bahsedildiği gibi kemiğin sahip olduğu direnç yüksek oranda bileşiminde bulunan kolajenler (organik) ve hidroksiapatit (inorganik) ile ilişkilidir. Ancak bir protein çeşidi olan kolajeni kontrol eden gende meydana gelen mutasyonlar kemiğin kırılma riskini yükseltebilmektedir (Rubin ve Rubin, 2006). Bir kolajen çeşidi olan tip I proteinde meydana gelen mutasyon osteogenezis imperfektaya sebebiyet verirken, kolajende oluşan düzensizlikten dolayı *fibrogenesis impercta ossium* oluşmaktadır

¹ 1 micrometre [μm] = 10,000 angstroms [$\text{\AA}$].

(Carr v.d., 1995). Çok nadir görülen ve yetersiz kolajen dokusunun düzensiz dizilenmesinden dolayı kemiğin aşırı kırılabilir hale gelmesiyle oluşan bu hastalık kırıkların kaynaşmamasına neden olmaktadır (Carr v.d., 1995).

1.1.2. Kemik Matriksi ve Hücreleri

Kemik matriksi diğer bağ dokular gibi mineralize olmuş hücre dışı materyaldir. Genelde dallanan paralel diziler halinde bulunur ve temel maddesini kolajen fibriller meydana getirmektedir (Şekil 1.1). Erişkin birey kemiklerinin matriksi %10- 20 oranında su içermektedir. Matriksin su dışı ağırlığını ise, %60-70'i inorganik maddeler, mineraller (kalsiyum mikrokristalleri, hidroksit fosfat, hidroksiapatit), %30'u kolajen, geri kalan kısmını kolajen kaynaklı olmayan protein ve karbonhidrat oluşturmaktadır. Bu maddeler yaş, yer ve metabolik duruma bağlı olarak değişmektedir (Standring, 2008).

Matriksi oluşturan osteoklast, osteoblast ve osteosit olarak isimlendirilen üç osteojenik hücre, kemik yapım ve yıkımında (rezorbe) görev almaktadırlar.

Osteoklastlar, medüller kanalın (ilik boşluğu) hemotopoetik kısmından meydana gelen monositlerin birleşmesinden oluşan çok çekirdekli hücrelerdir. Temel olarak periferik kemik yüzeyinde mühürlenmiş hücreleri süpürme ve dalgalanmış sınırlar boyunca yıkımının oluşmasından sorumludur. Osteoklastlar, yakındaki kemiği önce asitle demineralize edip sonra enzim yardımıyla kolajen yapıyı çözerek her gün onlarca mikrometre kemiği aşındırmaktadır (Martin v.d., 1998). Kullanılan yıkıcı kimyasallar hücre tarafından meydana getirilir ve salgı kesecikleri olarak adlandırılan taşınabilir hücre içi bölmelerde sınırlara taşınır.

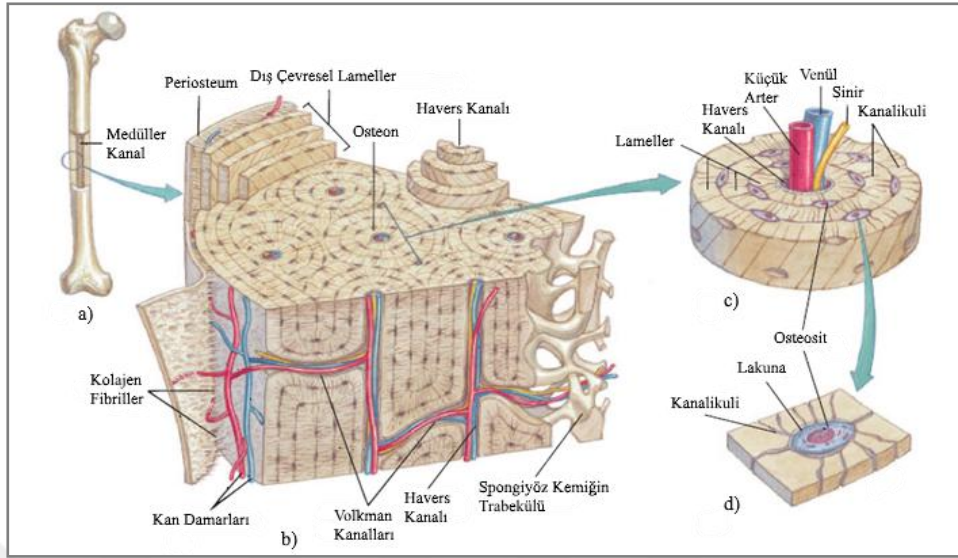
Mezenkimal kökenli osteoprogenitör hücrelerden meydana **osteoblastlar**, kemik iliği ve bağ dokularda bulunmaktadır (Standring, 2008). Osteoblastlar kemik matriksinin organik bölümü olan osteoid yapımından sorumlu tek çekirdekli küboidal hücrelerdir (Martin v.d., 1998). *Osteoidler* kolajen, kolajen kaynaklı olmayan

protein, su ve proteoglikandan oluşmaktadır. Bu nedenle osteoblastların tip I kolajen, tip V kolajen ve diğer kemik yapım/yıkımında görev alan makromolekülleri sentezleyip salgıladıkları söylenebilir (Standring, 2008). Osteoid ve kalsifike olmuş kemik arasındaki sınıra ‘kalsifikasyon cephesi’ adı verilmektedir. Kolajen öncülleri ve diğer organik matriks molekülleri osteoblastın endoplazmik retikulumunda üretilir. Osteoblastlar kemik oluşumunun gerçekleştiği kemik iliğinin stromal dokusunda bulunan mezenkimal hücrelerden farklılaşarak meydana gelirler. Mezenkimal hücrelerin osteoblastlara dönüşümü mekanik yüklenme yoluyla başlayan, 2-3 gün süren çok evreli bir süreci kapsamaktadır. Osteoblastlar günde yaklaşık 1µm ölçüde oluşturdukları osteoidlerde bulunurlar.

Osteositler, lakün adı verilen boşluklarda bulunarak kanalikül adı verilen tüneller yardımıyla osteoblast ve diğer osteositlerle iletişim kurarlar (Şekil 1.1). Erişkin kemikte bulunan temel hücre tipidir. Yeni matriks sentezi yapmazlar. Erişkin bireylerdeki aktif olmayan osteositler, elipsoit hücre gövdelerine sahiptir (Standring, 2008). Osteositler kemiğin devamlılığında önemli rol oynamaktadır. Ölü osteositler osteoklast aktivitesini tetikleyerek kemik matriksinin yıkımına sebebiyet vermektedir (Standring, 2008). Mineralize halde bulunmalarının yanı sıra paratiroid hormonu ve kalsitriol D vitaminine duyarlı kalarak, kemik yüzeylerindeki mineral değişimlerinde de görev almaktadır.

1.1.3. Kemiğin Mikroyapısı

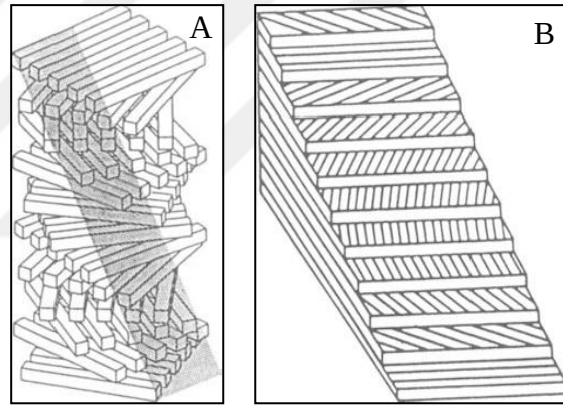
Mineralize olmayan kemik dokusu damar, sinir ve çeşitli hücreleri barındıran *medüller kanaldan* (ilik boşluğu) meydana gelmektedir (Martin v.d., 1998). Medüller kanalın birincil görevi kanda bulunan hücreleri üretmektir. Herhangi bir şekilde bir kemiği ortadan bölüp medüller kanalda bulunan ilik temizlendiğinde iç yüzeyini kaplar şekilde görülen tabaka *endosteum* olarak adlandırılmaktadır. Kemiğin en dış yüzeyini kaplayan yoğun damar ağlarından meydana gelen ve osteojenik hücreleri içeren yapıya da *periosteum* adı verilmektedir. Ortadan bölünmüş kemik incelendiğinde gözenekli yapısına bağlı olarak iki farklı kemik yapısı gözlemlenebilir. Bunlar kompakt ve trabeküler kemiklerdir.



Şekil 1.1 : Kemiğin mikro kesiti.

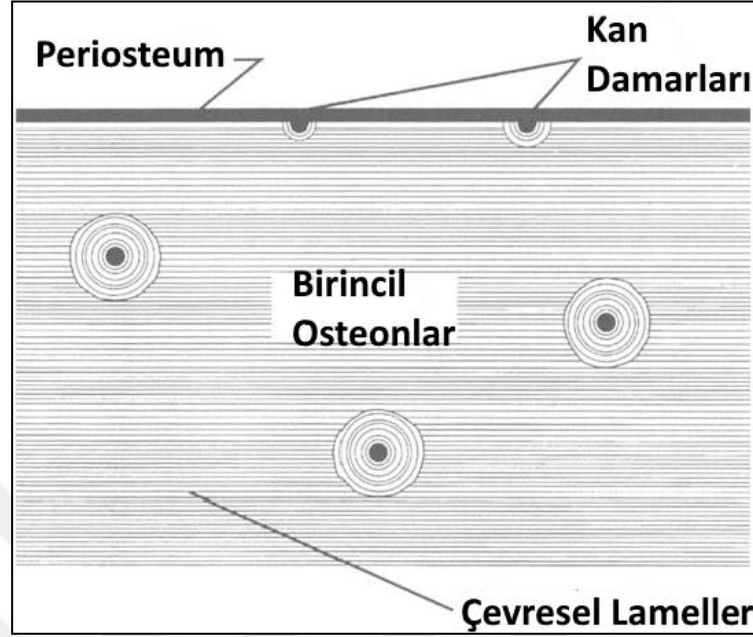
Trabeküller kemik aynı zamanda spongiyöz ya da kanselöz kemik olarak da adlandırılmaktadır. Gözenekli yapıya sahip olan bu kemik türü vertebralarda, yassı kemiklerin iç bölgesinde ve uzun kemiklerin bitimlerinde bulunmaktadır. Sahip olunan gözenekler arası medüller kanal kemik iliğiyle dolu olmasıyla yapısal bütünlük kazanmaktadır. Bu kemik her biri 200µm kalınlığındaki trabeküllerden oluşmaktadır. *Kompakt* ya da bir diğer adıyla kortikal kemik, uzun kemiklerin gövdelerinde, vertebra ve diğer spongiyöz kemiklerin dış yüzeyinde bulunmaktadır. Bu kemik türü %5- 10 gözenekli yapı sergilemekte olup bu boşluklar sinir ve damarları barındıran sayısız kanalla doludur (Martin v.d., 1998; Carter ve Beaupre, 2001). Bu kanallardan biri sinir ve kılcal damarları barındıran yaklaşık 50µm çapındaki *Havers kanalları*dır. Havers kanalları kemiğin uzun eksenini boyunca uzanmaktadır. Havers kanallarını birbirine ve kemiğin dış yüzeyine bağlayan, kısa transvers kanallara da *Volkman kanalları* denmektedir. Bu kanalların da damar ve büyük ihtimal sinirlere ev sahipliği yaptığı düşünülmektedir (Martin v.d., 1998). Kompakt kemikte yer alan boşluklardan sonuncusu osteoklastlar tarafından geçici süreliğine yaratılan yaklaşık 200µm çapında olan *rezorbsiyon çukurları*dır. Martin ve arkadaşları (1998) kemiklerin gözenekli yapılarının patolojik durumlara ya da fizyolojik/mekanik uyarılara adaptif cevaplar verdiğini belirtmektedir.

Trabeküler ve kompakt kemik mikroskop altında incelendiğinde iki farklı kemik dokusuyla karşılaşmaktadır. Bunlar lameller ve woven (örgü) kemiktir. Eşyönlü olmayan mineral kristaller ve kolajen fibrillerden meydana gelen *lameller* yavaş şekillenen paralel katmanlardan oluşmaktadır. Lameller iki temel şekilde dizilim göstermektedir. Birinci klasik görünümde kolajen fibriller her lamele paralel, ikinci görünümde ise lamel ara yüzeylerinde normal görünümün 90^0 yön değiştirmesiyle dizilim göstermektedir (Şekil 1.2). Lameller bir sonraki lamelle sıralanmaya başlarken bir önceki kolajen yönelimine doğru açı yapacak şekilde değişerek kuvvetlenmektedir (Şekil 1.2). Kolajen fibrillerin bu şekilde dizilenmesi farklı yönlerden gelen yüklenmelere karşı kemiğin dirençli olmasını sağlamaktadır (Rubin ve Rubin, 2006).



Şekil 1.2 : A. Sarmal kontrplak benzeri lamel tabakalanması.
B. Sarmal tabakalanan lamellerin tabakalı kesiti (Carter ve Beaupre, 2001’den alınmıştır).

Kolajen fibriller ve mineral kristallerinin rastgele dizilenmesi ve hızlı şekillenmesiyle *woven* (örgü) kemik oluşmaktadır. Lameller kemiğe göre daha mineralize olan *woven* kemik, lameller kemiğe göre daha zayıftır. Hızlı büyüyen hayvanların periosteum yüzeylerinde $70'$ den $200\mu\text{m}$ ye değişen kalınlıklardaki damar boşluklarıyla birlikte birikim gösterir (Carter ve Beaupre, 2001). Damar boşluklarının azalma göstermesiyle oluşan lameller kemik alanı *birincil osteon* ya da *birincil havers sistemi* olarak adlandırılır (Şekil 1.3).

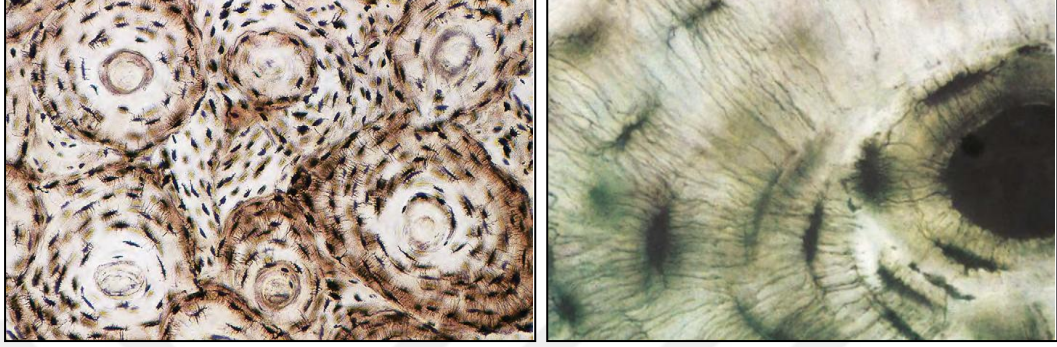


Şekil 1.3 : Birincil osteon ve birincil havers sistemi
(Carter ve Beaupre, 2001’den uyarlanarak hazırlanmıştır).

Çevresel lameller kemik, periosteumun altında lamellerin kemik yüzeyine paralel dizilmesiyle meydana gelmektedir. Bu tabakada bulunan kan damarları birkaç çevresel lamelle çevrelenerek *birincil havers sistemlerini* içeren *birincil osteonları* meydana getirmektedir (Şekil 1.3).

Var olan kemiğin rezorbsiyonu yeni lameller kemik yapımını tetikler, oluşan yapıya *ikincil kemik* adı verilmektedir. Kompakt kemikte meydana gelen ikincil kemik dokusu, *ikincil osteon* ya da *ikincil havers sistemi* adı verilen silindirik yapıları barındırmaktadır. Bu yapılar, 200µm çapında, merkezinde havers kanalının yaklaşık 16 silindirik lamelle çevrilmesiyle oluşmaktadır. Şu ana kadar bahsi geçen mikroyapıların içerisinde en fazla lamelleri bulunduran birimler Havers kanalları olarak adlandırılan tek merkezli nörovasküler kanallar ile osteonlardır. Bunlar aynı zamanda kemiğin en temel birimini de meydana getirir (Standring, 2008). Erişkin bir bireyin kemiğinde ortalama 21 milyon osteon bulunduğu düşünülmektedir (Standring, 2008). Transvers kesitleri yuvarlak ya da elips olup çapları 100 ile 400µm arasında değişmektedir. Orta büyüklükteki bir osteon 3µm çapındaki lamellerden 30 adet içerebilmektedir (Stranding, 2008). Her osteon osteositlerin

bulunduğu damar yolları ile osteositler arasında gaz ve besin alışverişine yarayan kanalikulilerle iç içe görülebılır (Fotoğraf 1.2).



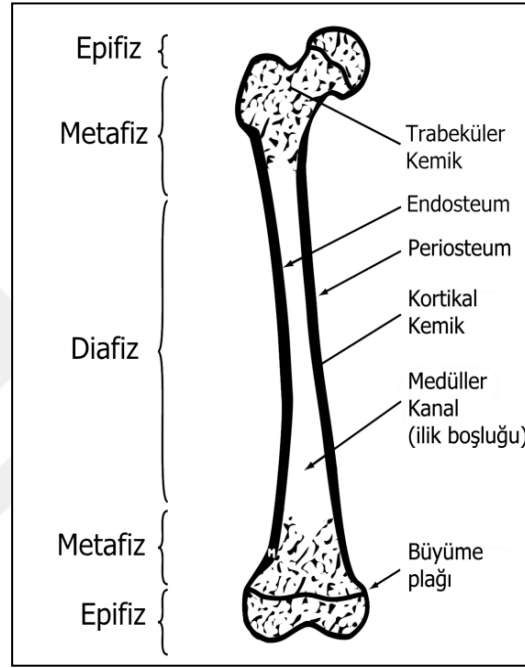
Fotoğraf 1.2 : Kemiğın transvers kesit görüntüleri (Stranding, 2008’den alınmıştır).

Osteon ve çevrelenen kemiğı birbirinden ayıran çizgiye *sement çizgisi* adı verilmektedir. Morfolojik olarak, ikincil osteonlar birincillerden daha ince, az mineralize olmuş ve lamelleden *sement çizgiyle* ayrılmasıyla ayırt edilir. Birincil osteonlar osteoklastlar tarafından yapılmadığından, sadece sement çizgisi ikincil osteonlarda görülmektedir. Birincil osteonlar silindirik olmasının yanında düzensiz ya da çok kanallı lameller kemik içerirken, ikincil osteonlar düzenli silindirik görünüme sahiptir. Anlatılan tüm bu mikroyapı düzenlenmesi ve kolajen kalitesi, kemiğın tüm yapısal kalitesini belirlemektedir (Rubin ve Rubin, 2006).

1.2. UZUN KEMİKLERİN YAPISI

İskelet sisteminde bulunan kemik türlerinden biri olan uzun kemikler genel olarak boru şeklinde gövdeye sahip olup merkezden dışarı doğru uzayarak diğerk kemiklerle eklem yapmaya yarayan uçlara sahiptirler. Uzun kemiklerin uç kısımları rahat hareket etmeyi sağlayan esnek kıkırdak dokuyla kaplıdır. Eklem kıkırdak epifizin trabeküler kemiğıyle kıkırdak arasında ince bir tabaka halinde sınır oluşturan subkondral plak ile desteklenmektedir. Şekil 1.4’te görülen epifiz ve diafiz bölgesinin birleştiğı, kompakt ve trabeküler kemikten meydana gelen bölge metafiz adını almaktadır. Metafiz ve epifiz bölgeleri erişkin olmayan bireylerde boy

uzamasından sorumlu büyüme plaklarıyla ayrılırlar. Erişkin bireylerde büyümenin sonlanmasıyla bu bölge kemikleşir. Uzun kemiklerin gövdesini oluşturan diafiz bölgesi ise medüller boşluk ve kompakt kemikten meydana gelmektedir. Diafizin iç yüzeyi endosteumla kaplıyken, dış yüzeyi osteojenik hücreleri barındıran yüksek oranda kan damarları ve fibröz membranla kaplı olan periosteum bulunmaktadır.



Şekil 1.4 : Uzun kemik yapısı.

1.3. KEMİK YAPIMI VE YENİDEN BİÇİMLENMESİ

Normal büyüyen kemikler yapılarını farklı yöntem ve değişik biyolojik mekanizmalar yoluyla tekrarlı yoğun yüklenme ve azalan gerilmelere karşı kendini adapte edebilmektedir (Frost, 1990). Kemiğin gelişiminden sorumlu olan intramembranöz ve endokondral kemikleşme süreçleri ise kemiğin boyut ve yapısının oluşmasında tek başına sorumlu değildirler. Kemiğin boyut, şekil ve bileşim oranının ise büyük miktarda kemiğin biçimlenme ve yeniden biçimlenme süreçleri meydana getirmektedir (Martin v.d., 1998). Bu süreçler, kemiğin bazı yerlerden uzaklaştırılırken bazı yerlere de eklenmesi anlamına gelmektedir (Martin v.d., 1998). 1966'da ele alınan biçimlenme (modeling) terimi, “kemikler de dâhil olmak üzere tüm büyüyen organları, bazı durumlarda büyümeyi geciktirerek diğer

durumlarda büyümeyi hızlandırarak şekillendirmeyi” anlatan biyolojik “heykeltıraşlı”ğı ifade etmektedir (Frost, 1985) (Tablo 1.1). Böylesi bir ‘heykeltıraşlık’ osteoklastik (kemik yıkımı) ve osteoblastik (kemik yapımı) aktivitelerden meydana gelmektedir (Martin v.d., 1998).

1.3.1. Kemiklerin Biçimlenmesi

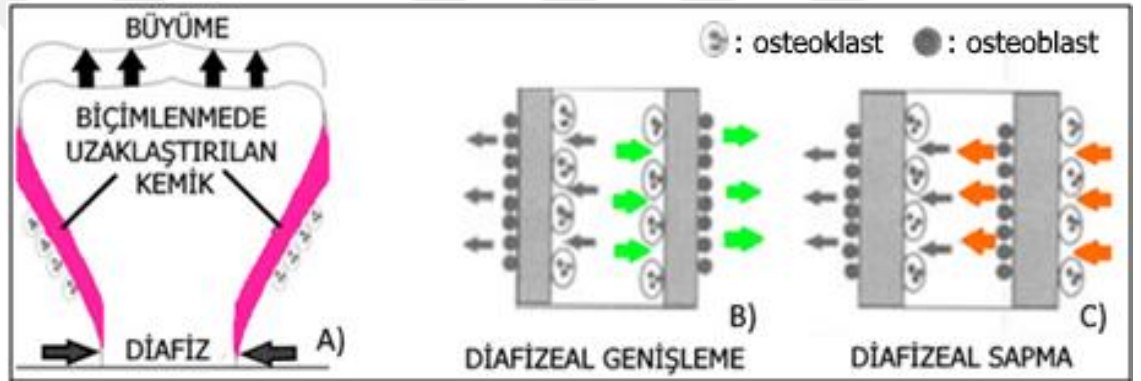
Kemik kütlesini ve kuvvetini hem belirleyen hem de arttıran kemik biçimlenmesidir (Frost, 1997). Frost’a göre kemik biçimlenmesinin ana amacı olgunlaşmamış kemiklere hem şekil ve boyut kazandırmak hem de günlük mekanik yüklenmeleri karşılayacak yeterli kompakt kemik dokuyu oluşturmaktır (Frost, 1985). Biçimlenme işlemi, kemiğin sahip olduğu kuvvet ve toplam yük arasındaki ilişkiye bağlı olan kemiğin zorlanma² (strain) boyutuyla orantılıdır (Frost, 1997). Bu da aynı yük altında kuvvetli kemiklerin daha az zorlanırken, güçsüz olanların daha fazla zorlama oranına sahip olacağı anlamına gelmektedir (Frost, 1997).

Biçimlenme sürecinde kemiğin şekil alması, kemik yüzeyinde yıkım gerçekleşen bölge ve şekli değişecek bölgedeki kemik yapımını kapsamaktadır (Frost, 1985; Martin v.d., 1998). Bu süreç, osteoklast aktivasyonu ve kemik çözünmesi sonrasında gelen olayları ya da osteoblast aktivasyonu ve devamındaki olayları kapsamaktadır (Martin v.d., 1998). Çözünme ve yapım örüntüleri periosteal ve kortiko-endosteyal yüzeylerdeki dış ve medüller boşluk çaplarını dolayısıyla kortikal kalınlık ve kesit alanını oluşturmaktadır (Frost, 1985) (Tablo 1.1). Biçimlenme işlemi aynı zamanda femur, kaburga gibi kemiklerin kavislik oranını, kafatasının bombeliğinin oluşmasında ve hatta yanlış kaynaklı kırıkların eski haline dönmesinde de sorumludur (Frost, 1985).

² Zorlanma: Materyalin deformasyon, şekil değiştirme yoğunluğudur. Uzama (uzunluk) bazında ölçülür.

İnsanlar gelişme aşamasında farklı yüklenmelere maruz kaldığı için her birey iskeleti için özelleşmiş kemik biçimlenmesinin olması önemlidir. Bazı örnekler şöyle açıklanabilir:

- **Kemik çapını azaltarak metafizyal biçimlenme:** Uzun kemik uzunluğu arttıkça büyüme plağı altında kalan silindirik kemik çapı diafizin oluşması için küçülmektedir (Martin v.d., 1998). Bu işlem metafiz periosteumunda bulunan osteoklastlar yardımıyla gerçekleşmektedir (Şekil 1.5).



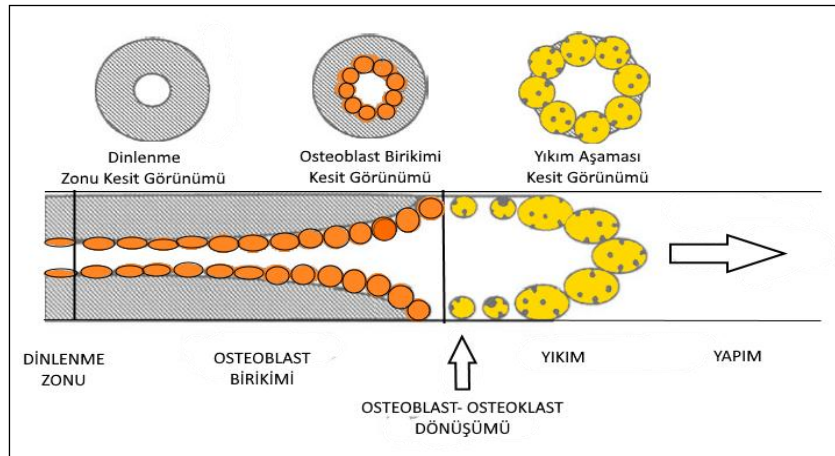
Şekil 1.5 : A) Büyüme plağının altını metafizin diafiz bölgesini biçimlendirmek üzere uzaklaştırılan ve dolayısıyla çapı azaltan biçimlendirme şekli. B) Diafizi hem kemik yapımı hem de yıkımı gerçekleştirerek biçimlendirme. C) Sola doğru diafizin eğim yaparak biçimlenmesi (Martin v.d., 1998'den uyarlanarak hazırlanmıştır).

- **Kemik çapını arttıran ya da eğimini değiştiren diafizyal biçimlenme:** Gelişim döneminde çocukların uzun kemik çapları periosteumda bulunan osteoblastlarca devamlı olarak üretilmektedir. Endosteumdan ise kemik atılmaktadır (Şekil 1.5/B). Böylece gelişim döneminde uzun kemiklerin eğimleri kazandırılmış olmaktadır (Martin v.d., 1998). Ayrıca gelişim döneminde daha fazla yüklenmeye maruz kalan uzun kemiklerin periosteumunda üretilen kemikler, endosteumdaki kemik yıkımına göre daha hızlı olmaktadır böylece daha geniş kortikal alana sahip diafizler meydana gelmektedir (Wescott, 2001).

- **Yassı kemik biçimlenmesi:** Çocukluk döneminde beyin büyümesine bağlı olarak kafatası kemik biçimlenmesi gerçekleşmektedir (Martin v.d., 1998). Bu biçimlenme şeklinde kafatası kemiklerinin iç yüzeyinde kemik azalırken dış yüzeyinde kemik üretimi artmaktadır (Martin v.d., 1998). Kafatası kemiklerinin biçimlenmesinde doğru orantıda artan beyin boyutları önemlidir.

1.3.2. Kemiklerin Yeniden Biçimlenmesi

Kemiğin yeniden şekillenmesi, eski kemiğin yerine yenisinin gelmesi sürecini ifade etmektedir (Frost, 1997; Martin v.d., 1998) (Tablo 1.1). Bu süreç doğrultusunda kemikte var olan mikroskobik hasarlar ve olası kırıklar düzeltilmektedir (Frost, 1997). Şekil 1.6'da da görülen osteoklast ve osteoblastların birlikte altı aşamaya ayrılan *aktivasyon-yıkım-yapım (ARF)* silsilesiyle yaklaşık 4 ay hareket ederek çok hücreli kemik birimlerini temel kemik birimine (BMU³) dönüştürmektedir (Frost, 1985; Frost, 1997; Martin v.d., 1998; Burr ve Allen, 2014).



Şekil 1.6 : Yeniden biçimlenme sürecinde temel kemik birimlerini meydana getiren ARF sürecinin kompakt kemikte aktivasyon ve yıkım aşamaları (Martin v.d., 1998'den uyarlanarak hazırlanmıştır).

³ BMU: temel kemik birimi. 10 osteoklast ve birkaç yüz osteoblasttan meydana gelen, kemiğin temel yapı birimi.

Kemik aktivasyonu osteoklast öncüllerinin uyarılmasıyla başlamaktadır. Bu aşama yaklaşık üç gün sürmektedir. Yıkım aşamasında ise öncüllerden dönüşen osteoklastlar kemik matriksini sindirerek fosfor ve kalsiyumun kana karışmasını sağlarlar (Murthy v.d., 2009). 200µm çapında 300µm uzunluğundaki bir bölgede günde yaklaşık 40µm hızında uzunlamasına hareket ederler (Martin v.d., 1998; Murthy v.d., 2009). Yıkım aşamasının sonunda osteoblast öncülleri kemik yıkımı gerçekleştirilen bölgeye gelerek çoğalmakta ve osteoblastlara dönüşmektedir. Yapım aşamasında da osteoblastlar yeni kemik matriksini sentezlemekle görevlidir. Bu noktada günde yaklaşık 1-2µm radial kapanma gerçekleşmektedir (Martin v.d., 1998). Osteoblastlar boşlukları tamamen kemik matriksiyle doldurmak yerine osteosit ve BMU'ların beslenmesi, gerektiğinde fosfor ve kalsiyum geçişlerinin sağlanması için damarlara yer bırakmaktadırlar (Martin v.d., 1998; Burr ve Allen, 2014). Yeni kemik sentezi sonrasında bu hücreler yeni oluşan zemin üzerinde istirahat aşamasına geçmektedirler (Murthy v.d., 2009; Burr ve Allen, 2014). Aktivasyon aşamasından osteoblastların kemik sentezini bırakmasına kadar geçen süre patolojik durumlar haricinde 4-6 ayı kapsamaktadır (Burr ve Allen, 2014).

Genel olarak değerlendirildiğinde, yeniden biçimlenme ya kemik yoğunluğu ve direncini azaltır ya da muhafaza ederken hiçbir zaman kemiğin yapı özelliklerini artırıcı etki göstermediği söylenmelidir (Frost, 1997) (Bkz. Tablo 1.1).

Tablo 1.1: Kemiğin biçimlenme ve yeniden biçimlenme süreçlerinin ana özellikleri*.

	Biçimlenme (Modeling)	Yeniden Biçimlenme (Remodeling)
Amaç	Kemiği şekillendirmek ve kemik yoğunluğunu arttırmak	Kemik yenilenmesi
İlgili hücreler	Osteoklast/osteoblast ve öncül hücreler	Osteoklast, osteoblast ve öncül hücreler
Kemik zarı	Periosteum, endokortikal, trabeküler	Periosteum, endokortikal, trabeküler ve intrakortikal
Çalışma süreci	Aktivasyon-yapım ya da aktivasyon-yıkım	Aktivasyon-yıkım-yapım
Zamanlama	Özellikle çocukluk dönemi ve hayat boyu devam eder	Hayat boyu
Kemik yoğunluğuna etkisi	Arttırıcı	Mevcut durumu korur ya da azaltır

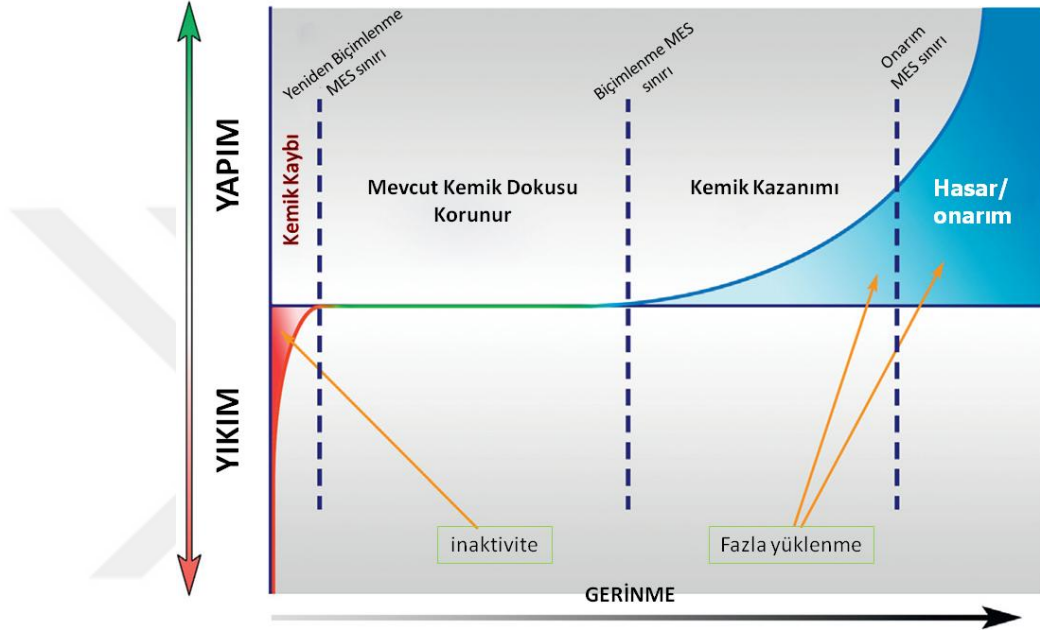
* Burr, D.,B., Allen, M.R., **Basic and Applied Bone Biology**, Elsevier, 2014'den uyarlanmıştır.

1.3.3. Kemiğin Yeniden Biçimlenmesini Etkileyen Mekanik Faktörler

Daha önceki bölümlerde kemiğin oluşum, büyüme, gelişim ve şekillenmesi hakkında bilgi verilmeye çalışılmıştır. Bu bölümde kemiğin yeniden biçimlenmesine daha detaylı bakılacaktır. Bunun birincil sebebi kemiğin büyüme, oluşum ve biçimlenme süreçlerinin aksine kemiğin yeniden biçimlenme süreci bireyin hayatı boyunca devam eden bir olaydır. Dolayısıyla erişkin bireylerin kemikleri incelenirken bu sürecin etkisi göz önüne alınmalıdır. İkinci sebebi ise hayat boyu devam eden bir süreç olan kemiğin biçimlenmesi için var olan çoğu kemik doku yapısının belirlenmesinde önemli bir yere sahip olmasındandır. Bu süreçle kemiğin sahip olduğu dayanım ve sertlik gibi mekanik özellikler belirlenirken, bunların değişen çevreye uyum kabiliyeti de yeniden biçimlenmeyle kazanılmış olmaktadır.

Yeniden biçimlenmeyi harekete geçiren iki temel yerel başlatıcı faktörün olduğu söylenebilir. Bunlardan birincisi 1960 yılında Harold Frost tarafından ortaya atılan, geri dönüşü olmayan kemik yıkımıyla karşılaşılmasından sonra yeniden şekillenmenin mikrohasarlara ihtiyaç duyduğunu söyleyen teoridir. Geçen 20 yıl içerisinde bu teori hayvan kemikleri üzerinde test edilmiştir. Bu test sonucunda başta yük uygulanan kemiklerde dikkate değer oranda mikrohasarla ilişkilendirilen daha fazla yıkım boşluk/çukurları olduğu gözlenmiştir (Henriksen v.d., 2009; Burr ve Allen, 2014). Mikrohasar ve yüklenmenin yeniden biçimlenmeyi tetiklediği ortaya konmuştur. Frost'un kemik yapısını mekanik yüklenmeler çerçevesinde açıklamaya çalıştığı bu teoriye MES modeli (minimum etkili zorlama) adı verilmektedir (Frost, 1985, 1988, 1997). Şekil 1.7'de de görüldüğü üzere bu modele göre kemiğin biçimlenme ve yeniden biçimlenme süreçleri için mekanik yüklenmelerden kaynaklanan zorlamanın büyüklüğü biyolojik "açma" "kapama" etkisi yaratmaktadır (Frost, 1985; Frost, 1988; Frost, 1997; Wescott, 2001). Model temelinde biçimlenmenin, zorlamanın belirli bir eşiği aştığında aktive olduğunu, yeniden biçimlenmenin ise en alt zorlama eşiği altına düşmesiyle tetiklendiğini anlatmaktadır

(Wescott, 2001). Her kemik doku mekanik olarak kontrol edilen kendine özgü değişen minimum etkide zorlama noktalarına sahiptir (Frost, 1988). Örneğin; biçimlenme için yaklaşık $1,500-3,000\mu E$ ve yukarıdaki zorlamalar yeni kortikal kemik yapımını arttırmaktadır (Frost, 1988).



Şekil 1.7 : Frost'un önerdiği MES modeli (Robling, Fuchs ve Burr, 2014'den uyarlanarak hazırlanmıştır).

Daha altında gerçekleşen $100-300\mu E$ aralığı zorlamalarda yeniden biçimlenmeyi tetiklemektedir (Frost, 1988) (Şekil 1.7). MES modeli kemik biçimlenme ve yeniden biçimlenmenin tam olarak nerede, ne zaman olacağını bizlere bildirmese de iskelet adaptasyonunun biyolojisini açıklamakta günümüzde en sık kullanılan model olarak karşımıza çıktığı belirtilmelidir.

Yeniden biçimlenmeyi harekete geçiren ikinci temel etken osteosit apoptozudur (Burr ve Allen, 2014). Mikrohasarların hücreler arası sitoplazmik bağlantıları kırması kemik yüzeyindeki osteosit ağını bozmaktadır. Bozulan ağda bulunan osteositler daha sonra genel ağdan atılarak apoptoza uğramaktadır. Osteositler ölmeden önce osteoklast gelişiminde önemli rol oynayan tümör nekrozis faktör süperailisi-11 (TNF SF11) (nükleer faktör kappa B reseptör aktivitesi-

RANKL) faktörü üretmektedirler (Parfitt, 2002; Burr ve Allen, 2014). Mikrohasarın uzağında yer alan hücreler ise güçlü antiapoptotik sinyaller [tümör nekrozis faktör süperailisi-11B TNFRSF11B (OPG)] meydana getirmektedir. Apoptoza uğrayan osteositlerin osteoklast üretici faktör sentezleyip, bölgeden uzak olan osteositlerin osteoklastları inhibe edici faktör sentezlemeleri, hedef bölgenin yerinin osteoklastlarca belirlenmesinde etkili olmaktadır (Burr ve Allen, 2014). Günümüzde yapılan gözlem ve testler sonucunda hem mikrohasar hem de osteosit apoptozunun kemiğin yeniden biçimlenme sürecini tetikleyici temel mekanik etkenler olduğu kabul görmektedir (Parfitt, 2002; Henriksen v.d., 2009; Burr ve Allen, 2014).



İKİNCİ BÖLÜM

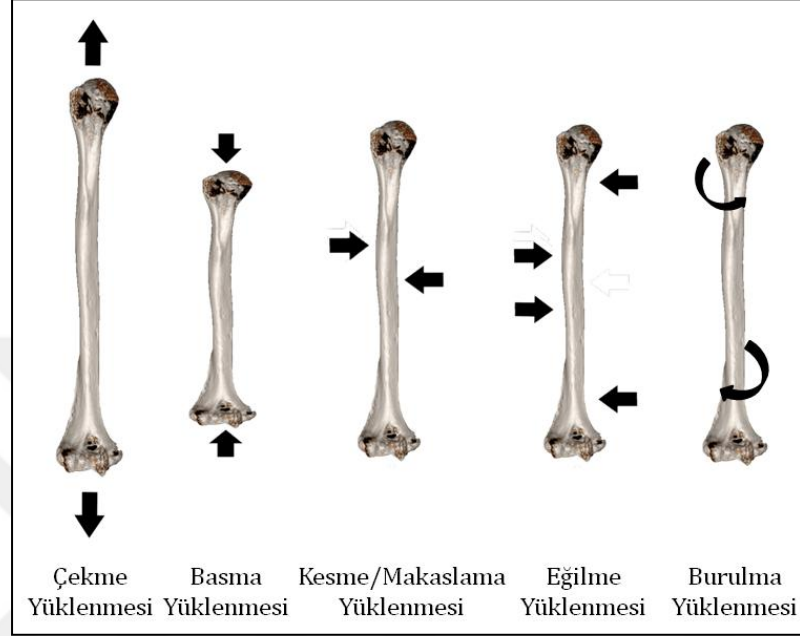
KEMİK BİYOMEKANİĞİ

İskelet sistemi vücuda duruş sağlama, hareket etme, kas kasılmalarına ve günlük yüklenmelere karşı koyma, çevresel etkenlere uyum sağlama gibi özellikleri olan temelinde kendine özgü mekanik çalışma prensiplerine sahip bir sistemdir. Uzun kemik ve eklemlerin kendine özgü mekanik fonksiyonları bulunmasının yanında, sahip olduğu materyal özellikleri çeşitli mekanik yüklenmelere karşı temel adaptif davranışlar sergilemektedir (Standring, 2008). Örneğin iskelet sistemi gün içerisinde karşılaşılan sıradan aktivitelerden yürüme esnasında döngüsel basma zorlanmasına ve eşya taşıırken statik eğilme zorlanmasına direnç sağlamaktadır (Burr ve Allen, 2014). Kemiğin bu yüklere gösterdiği dayanım yüklenmelerin büyüklüğüne, tipine ve aynı zamanda yüklenilen kemiğin yapısal özelliğine bağlıdır (Martin v.d., 1998; Rubin ve Rubin, 2006; Standring, 2008; Burr ve Allen, 2014; Cowin, 2001). Trabeküler kemiğin dağılımı ve kortikal kemiğin mikrohasarlara dayanımını gösteren yapısal kalite özellikleri kemiğin deformasyona direncini açıklamaya yardımcı olan değişkenlerdendir. Dahası kemiğin yapısal kalitesinde meydana gelecek herhangi bir azalma kemikte yaşanacak hasar oranında artışa sebep olmaktadır (Rubin ve Rubin, 2006). Kemiğin yapısal kalitesi osteogenesis imperfekta gibi genetik bozukluklarda, osteoporoz ve Paget hastalığı gibi metabolik bozukluklarda, menopoza ya da yaşa bağlı gelişen kemik kaybı durumlarında düşüş göstermektedir (Rubin ve Rubin, 2006). Bu gibi durumlarda kemikte yaşanan hasar ve kırılmalar artmaktadır. Dolayısıyla kemiğin yüklere karşı göstereceği dayanım ve taşıdığı yapısal riskler kemiğin biyomekaniği incelenerek anlaşılabilmektedir.

2.1. KATI CİSİM MEKANİĞİNİN TEMELLERİ

Gün içerisinde kemiğin çeşitli yüklenme/zorlanma kuvvetlerine maruz kalması kemiğe bir yandan hareket kabiliyeti katarken diğer yandan yüklenmelerin etkisiyle kemikte hasara sebep olmaktadır. Buna sebep olan temel 5 yüklenme çeşidi

bulunmaktadır. Bunlar Şekil 2.1’den de görülebileceği üzere; çekme, basma, kesme/makaslama, eğilme ve burulma yüklenmesi/zorlamalarıdır.



Şekil 2.1 : Resuloğlu arkeolojik kazı alanında 171(2) nolu mezardan elde edilen sağ kol kemiği üzerinde gösterilen 5 temel yüklenme çeşidi.

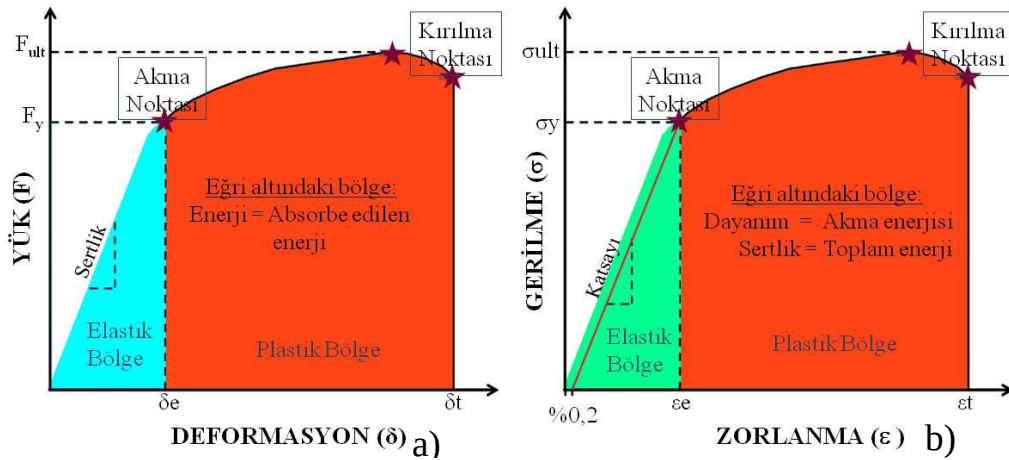
Bunlardan kemiğe çekme yüklenmesi, uzun kemiğin uç noktalarından boyunun artması şartıyla çekilmesiyle oluşmaktadır. Tam tersi durum, uzun kemiklerin bitim noktalarından uzunluğu azalma eğilimi gösterecek şekilde itildiğinde meydana gelen basma yüklenmesidir. Eğer yük kemiğin boylamsal düzlemine dik olacak şekilde uçlara doğru kayarak ters yönden uygulandığı zaman kemik kesme/makaslama yüklenmesi deneyimlemiş olmaktadır. Yüklenme kemiğin uzun ekseninden bükme hareketi yaparsa, kemiğin bir bölümü basma diğer bölümü çekme yüklenmesine maruz kalmaktadır. Bu duruma eğilme yüklenmesi/zorlanması adı verilmektedir. Son olarak uzun kemik uçları Şekil 2.1’de olduğu gibi kısmen birbirlerine döndürülürse kemiğin burulma yüklenmesi/zorlanması altında olduğu söylenebilir. Tüm bu yüklenme çeşitleri her materyalde farklı olmak üzere deformasyona sebep olmaktadır.

2.1.1. Yük-Deformasyon Eğrisi

Çoğu biyolojik yapı fazla yük altında deforme olmaktadır. Ancak deformasyona gösterilen direnç yükün büyüklüğü arttıkça artış göstermektedir (Martin v.d., 1998; Standring, 2008; Carter ve Beaupre, 2007; Rubin ve Rubin 2006; Burr ve Allen, 2014). Eğer deformasyon yüklenmenin bir özelliği olarak kabul edilirse yük-deformasyon eğrisi üzerinden materyalin mekanik özellikleri tespit edilebilmektedir (Martin v.d., 1998). Materyalin elastisite kapasitesi, plastik davranışı, maksimum yük ve daimi hasar noktası bu eğriyle okunabilmektedir. Tüm bunlar test edilen materyalin mekanik özelliklerini yansıtmaktadır (Martin v.d., 1998). Şekil 2.2/a'da görüldüğü üzere eğrinin doğrusal başlangıç bölgesi *elastikiyeti* yani materyalin yüklenme ortadan kaldırıldıktan sonra şeklini geri alma becerisini göstermektedir. Burada elastikiyet özelliği kemiğin kolajen fibrilleri tarafından sağlanmaktadır (Standring, 2008). Yüklenme ve yüklenmenin kaldırıldığında yarattığı etki, yük-deformasyon eğrisi üzerinde aynı doğrusal çizgi üzerinde temsil edilmekte ve bu durum Şekil 2.2/a'da gösterilmektedir. Yük ortadan kaldırıldığında eğer çizgi 0 (sıfır) noktasına dönüyorsa daimi hasarın oluşmadığı, materyalin deforme olmadan şeklini korumaya devam ettiği anlaşılmaktadır. Elastik bölge içerisinde görülen çizgisel eğim yük altında olan materyalin direncini ve yapısal sertliğini göstermektedir. Sertlik, materyalin deformasyonu için birim alana uygulanan kuvvete gösterdiği direnci anlatmaktadır (Martin v.d., 1998; Standring, 2008). Yük devam eder ve elastik bölgeyi geçerse kemik *akma noktasına* erişmekte ve doğrusal olmayan hareket sergilemeye başlamaktadır. Akma noktası geçildiği zaman kemikte geri dönüşü olmayan (*plastik*) deformasyon ortaya çıkmaktadır. Şekil 2.2/a'daki grafikte de görülen akma noktası geçildikten sonra akma hasarı kolajen fibrillerin bozulması ve hidroksiapatit kristallerinin içinde mikro kırıkların meydana gelmesiyle yaşanmaktadır (Rubin ve Rubin, 2006). Kortikal kemik yüzeyi için akma gerilmesinin en üst sınırı $\sim 130\text{MPa}^1$ 'dir. Ancak akma noktası Şekil 2.2/b'de gösterilen eğri üzerinden gözlemlerle tespit edilememektedir. Dolayısıyla mekanığın temel bir diğer eğrisi olan gerilme-gerinme/zorlama eğrisi üzerinden hesaplanmaktadır (Burr ve Allen, 2014).

¹ Pascal

Kemiğin içyapısı bozulmadan hemen önce maksimum yüklenme değerine erişmektedir. Bu noktada yüklenme, nihai direnç noktası yani maksimum yüklenme değerine yaklaşmaktadır. Genel olarak kemiğin akma noktası sonrasındaki deformasyonu *sünekliğin* ölçülmesinde kullanılmaktadır. Süneklik, plastik şekil değiştirme kabiliyeti anlamına gelir. Bu aynı zamanda plastik bölgede materyalin yer değiştirmeye karşı gösterdiği direncini de yansıtmaktadır. Kemikteki sertliğin yok olduğu osteomalazi hastalığında kemiğin yumuşayarak sünekliği artmış olmaktadır (Cowin, 2001). Tam tersi durum *gevrekliği* yani plastik şekil değiştirme kabiliyetinin elastik sınıra yakın ya da olmaması durumunu yansıtır. Osteopetroz hastalığında yoğun ama kırılğan olan kemik yapısı gevrekliğe örnek verilebilir (Cowin, 2001). Son olarak eğri altında kalan alanın yüklenme esnasında materyal tarafından absorbe edilen enerjiyi gösterdiği bilinmesi gerekir. Plastik bölgede yüklenme devam ettiğinde de materyal nihai kırılma noktasına erişmektedir. Bu noktada meydana gelen kırılmalar kortikal kemik için $\sim 15.000\mu\epsilon$ büyüklüğü gerinme altında oluşurken, çekme gerilmesi için 140MPa, basma gerilmesi için 200MPa, kayma gerilmesi için 65MPa büyüklüğünde yaşanmaktadır (Rubin ve Rubin, 2006). Tüm bunlara bakılarak yük-deformasyon eğrisi üzerinden yapısal direnç, sertlik, deformasyon ve yitirilen enerji okunabilmektedir.



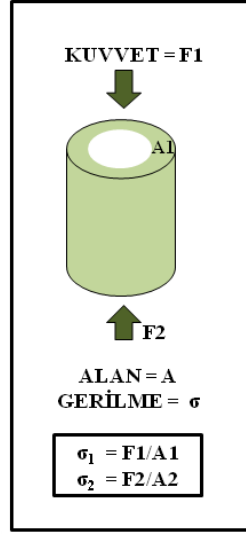
Şekil 2.2 : Yük-deformasyon ve gerilme-zorlanma grafiği.

2.1.2. Gerilme- Zorlanma Kavramları

Yük-deformasyon eğrisi materyale uygulanan yüklenmeden sonra yapıda meydana gelen değişimleri göstermekte kullanılmaktadır (Burr ve Allen, 2014). Yani eğri, test edilen yapının materyal özelliklerine, geometrisine ve kütlesine bağlıdır. Materyalin yapısal özelliklerinin detaylıca ne anlama geldiğini anlamak içinse gerilme (stress) ve zorlanma (strain) kavramlarının bilinmesi gerekmektedir.

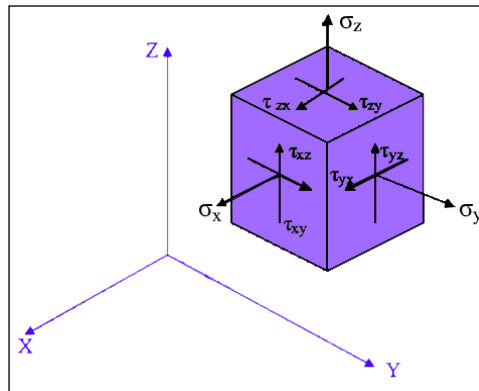
Gerilme (stress) basitçe birim alana uygulanan kuvvet olarak tanımlanabilir (Martin v.d., 1998; Standring, 2008; Burr ve Allen, 2014). Uygulanan yüklenmenin yönüne bağlı olarak iki gerilme türünden bahsedilebilmektedir (Burr ve Allen, 2014). Yüklenme materyal düzleminin dikine gerçekleşiyorsa (eksenel) buna *normal gerilme* adı verilir. Buna örnek olan yüklenmeler materyalin uzamasına sebep olan çekme ve materyalin kısılmasına sebep olan basma yüklenmeleridir (Burr ve Allen, 2014). Şekil 2.3'ten de görüleceği üzere ' σ ' sembolü ile gösterilir ve kuvvet/alan'ı temsil etmektedir (Rubin ve Rubin, 2006). Genellikle newton/m² ve onun eş değeri olan pascal birimi (Pa) ile ölçülmektedir (Rubin ve Rubin, 2006; Martin ve ark., 1998). Kemikte kırılma noktası 150MPa (megapascal) gerilme ile meydana gelmektedir (Martin v.d., 1998). Büyüklüğün anlaşılması için bir atın yarış esnasında koşarken 3. metakarpal kemiğine 1m² de binen basma yüklenmesinin 63MPa gerilme büyüklüğünde olduğunun söylenmesi karşılaştırma yapılabilmesi açısından kolaylık sağlamaktadır (Rubin ve Rubin, 2006).

$$GERİLME = \frac{KUVVET}{ALAN} = \frac{P}{A}$$



Şekil 2.3 : Materyale uygulanan basma yüklenmesinde gerilmenin hesaplanması.

Şekil 2.3'te verilen formülde P uygulanan kuvveti, A ise eksene dikey olan düzlemin kesit alanını göstermektedir (Burr ve Allen, 2014). Şekil 2.4'ten de izleneceği üzere materyal olarak bir küp ele alınıp incelendiğinde, yönlerine bağlı olarak bulunduğu üç eksen içerisinde küpe uygulanan üç temel kuvvet vardır (x , y , z eksenleri). Şekil 2.4'te küpün sahip olduğu 6 yüzey üzerinde ters yönde bulunan kuvvetler sabitlik yaratacağından ötürü küpün $3 \times 3 = 9$ gerilme etkenine sahip olduğu söylenebilir. Bunlardan üçü materyale dik olmasından ötürü normal gerilme (σ_x - σ_y - σ_z), geriye kalan açılara göre kesme/makaslama gerilmesidir ($\tau_{xy}=\tau_{xz}$ / $\tau_{yx}=\tau_{yz}$ / $\tau_{zx}=\tau_{zy}$). İç kuvvet dağılımı Şekil 2.4'te bulunan küp homojen kabul edildiğinde bu küp materyale uygulanan gerilme kuvvetleri yönlerine göre toplamda 6 olmaktadır.



Şekil 2.4 : Üç eksenli gerilme.

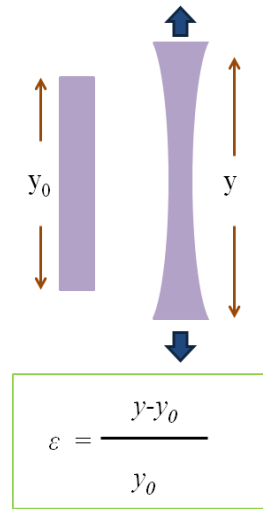
Buna karşın yüklenme materyal düzlemine horizontal bir şekilde gerçekleşiyorsa (yere paralel) buna *kesme/makaslama gerilmesi* adı verilmektedir (Martin v.d., 1998; Burr ve Allen, 2014). ‘ τ ’ sembolü ile gösterilmektedir. Temel gerilme formülü şu şekilde hesaplanır:

$$\tau (\text{kayma gerilmesi}) = \frac{F_t}{A}$$

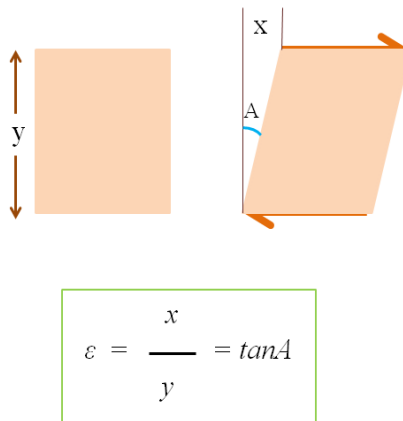
Her yüklenme materyal üzerinde bir değişim yaratmaktadır. Şekil 2.5’te görüldüğü üzere gerilmeden farklı olarak materyalin yüklenmeden sonraki değişiminin uzunluk bazında ölçülmesine **zorlanma** (strain) adı verilmektedir. Uygulanan yüklenmeye göre, basma-çekme-makaslama materyal uzunluğundaki değişim oranıdır ki ‘ ε ’ sembolü ile gösterilir. Formülü aşağıda gösterildiği gibidir:

$$\text{NORMAL ZORLANMA } (\varepsilon) = \frac{\text{UZUNLUK DEĞİŞİMİ}}{\text{İLK UZUNLUK}} = \frac{\Delta L}{L}$$

NORMAL ZORLANMA



MAKASLAMA ZORLANMASI



Şekil 2.5 : Normal ve makaslama zorlanması (Makaslamada A açısı hareket yönünü göstermektedir. Zorlanma birimsiz olduğundan dolayı makaslama zorlanması A açısı olarak ifade edilir.

Genelde kemikte ölçülen zorlanma mikrostrain ($\mu\epsilon$) birimi ile belirtilmektedir. %1 zorlanma $1 \times 10^{-6}\epsilon$ ya da $10,000\mu\epsilon$ ’ e denk geldiği kabul edilmektedir. Ters olarak $1\mu\epsilon$ $1 \times 10^{-6}\epsilon$ ya da $0,0001\mu\epsilon$ olmaktadır. 0,02 mm/mm zorlama, %2 ve $20,000\mu\epsilon$ ’ye eşittir. $1000\mu\epsilon$ ya da diğer gösterimiyle %0,1 zorlanma yürüme gibi gerçekleştirilen aktivitelerde kemik dokusunun deneyimlediği toplam zorlanma büyüklüğüdür (Rubin ve Rubin, 2006). $1000\mu\epsilon$ zorlanma 60m uzunluğa sahip Pisa Kulesi için yüklenme öncesi uzunluğundan 6cm’lik değişim sebebidir. 50mm uzunluğundaki femur için $1000\mu\epsilon$ zorlanma ilk uzunluğuna göre 0,5mm’lik değişime neden olmaktadır. Kemiklerdeki normal zorlanma oranları, çekme yüklenmesi için $1000\mu\epsilon$ den az, basma yüklenmesi için $2000\mu\epsilon$ değerlerine sahiptir. Ağır idmanlarda ise büyüklükler basma yüklenmesi için en fazla $3500\mu\epsilon$, %0,35, çekme yüklenmesi için $1000\mu\epsilon$ ve makaslama yüklenmesinde en yüksek $1500\mu\epsilon$ olmaktadır (Rubin ve Rubin, 2006).

Şekil 2.2/b’de görülen gerilme-zorlanma eğrisine bakılacak olursa akma noktası elastik bölgeyi, eğri altında kalan bölge ise materyalin dayanım noktasını ya da akma için gerekli enerji büyüklüğünü belirtmektedir. Akma noktası yük-deformasyon eğrisinde olduğu gibi gerilme-zorlanma eğrisini de doğrusal olmayan bir yöne sokmaktadır. Şekil 2.2/b’de görülen doğrusal çizgiye paralel %0,2 şekil değiştirme noktasından, gerilme-zorlanma eğrisine ulaşıncak akma gerilmesi belirlenmiş olmaktadır. Eğer yüklenme akma noktasından aşağıda kalırsa yüklenme esnasında oluşan tüm enerji absorbe edilerek zorlama öncesi 0 noktasına ulaşılır. Maksimum gerilme materyalin nihai direnç olup eğri altında kalan alan sertlik ya da kırılma öncesi absorbe edilen toplam enerjiyi ifade etmektedir. Bu aynı zamanda materyal yoğunluğun birim başına düşen enerjisini de ifade etmektedir (Martin v.d., 1998). Dikkat edilmesi gereken nokta materyalin doğrusal elastik davranışta hareket edip yüklenmenin akma sınırını değiştirmediğidir. Akmadan önce de kemik doğrusal kalmaya devam etmekte ve her materyalin kendine özgü akma noktası bulunmaktadır.

2.1.3. Elastik Modülü ve Poisson Oranı

Gerilme ve zorlanma, arasında doğrusal bir bağıntının var olduğunu söyleyen Hooke Kanunu ile ilişkilendirilmektedir. Basitçe Hooke kanun, gerilme (yüklenme) bileşeni ve gerilmeye cevap olarak meydana gelen germe bileşenini (uzama ya da kısalma) ilişkilendirmektedir. Bu ilişki Şekil 2.2/b'deki gerilme-zorlanma eğrisine uygulanmaktadır. Formülü ile şu şekilde hesaplanır ve eğrideki doğrusal bölgeyle temsil edilmektedir.

$$\sigma = \varepsilon \times E$$

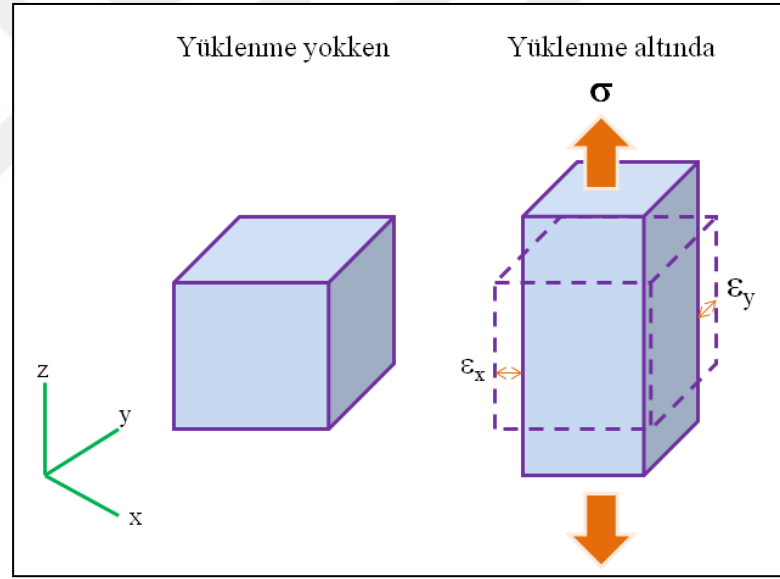
σ gerilmeyi, ε birim bazında şekil değişimi yani zorlanmayı, E ise eğri üzerinde bulunan eğimi ifade etmektedir. E aynı zamanda materyalin sertliğini göstermektedir. Dolayısıyla materyalin iç direncinin özelliğini yansıtmaktadır. Bu anlamda sertlik deformasyonun derecesini etkileyen etkenlerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. E 'nin gerilme birimi Pa ile ifade edilir. E 'ye aynı zamanda *elastik modülü* ya da *Young modülü* adı da verilmektedir. Kesme-makaslama yüklenmelerinde elastik modülü *kayma modülü* adını almaktadır. Kemikte GPa (gigapascal) değerleri olarak kullanılmaktadır. Daha rijit materyaller gerilme-zorlanma eğrisinde daha dik eğim ve daha büyük modül değerlerine sahip olmaktadır. Daha büyük elastik değeri veren zorlanma büyüklüğü için daha büyük gerilmenin olması gerektiğini ifade etmektedir. Elastik modülü birçok etkene bağlı olarak değişse de kortikal kemik için 10-15GPa arasında değerler taşımaktadır. Kancelöz kemik için bu değerler 0,1-3,5 GPa arasında iken silgi için 0,01-0,1GPa, elmas için 1200GPa'dır. Kemik mineralizasyonundaki azalma, gözenekliliğin artması, hasarlar rijitliği ve dolayısıyla elastik modülün düşmesine sebep olmaktadır. Kesme/makaslama yüklenmelerinde elastik modülü *kayma modülü* adını almakta ve formülü şu şekildedir;

$$\tau = G \times \gamma$$

τ kayma gerilmesi, γ kayma birim bazında şekil değişimi yani gerilmeyi, G ise kayma modülünü, sertlik modülünü ifade etmektedir.

Her noktada aynı elastik özelliği gösteren izotropik materyallerde elastik değişim sırasında hacimde değişiklik meydana gelmektedir. Yani x ekseninde (eksenel) meydana gelecek herhangi bir zorlama, lateral eksenler (y,z) üzerinde kasılmaya sebebiyet vermektedir. Bu durum Şekil 2.6’da gösterildiği gibi materyal bir yöne doğru uzatıldığında, diğer yönlerden küçülme gösterecektir. Böylece oluşan şekilsel değişimde lateral zorlamanın, eksenel zorlamaya oranı *Poisson oranı* olarak adlandırılmaktadır. Formülü şu şekildedir:

$$\nu = -\frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_x} = -\frac{\varepsilon_z}{\varepsilon_x}$$



Şekil 2.6 : Çekme yüklenmesi altında lateral zorlamanın eksenel zorlanmaya oranı ($\varepsilon_y / \varepsilon_x$).

Formüldeki negatifivite lateral ve eksenel zorlamaların farklı yönlerde doğru olmasından kaynaklanmaktadır. Kemikte Poisson oranı 0,3 ile 0,35 arasında, metal malzemede ise 0,28-0,32 arasında değişmektedir. Poisson oranı için verilen formülün değişik versiyonu:

$$\varepsilon_y = \varepsilon_z = -\nu \varepsilon_x$$

şeklindedir. Lateral zorlamanın eksenel zorlanma akma formülü ise şu şekildedir:

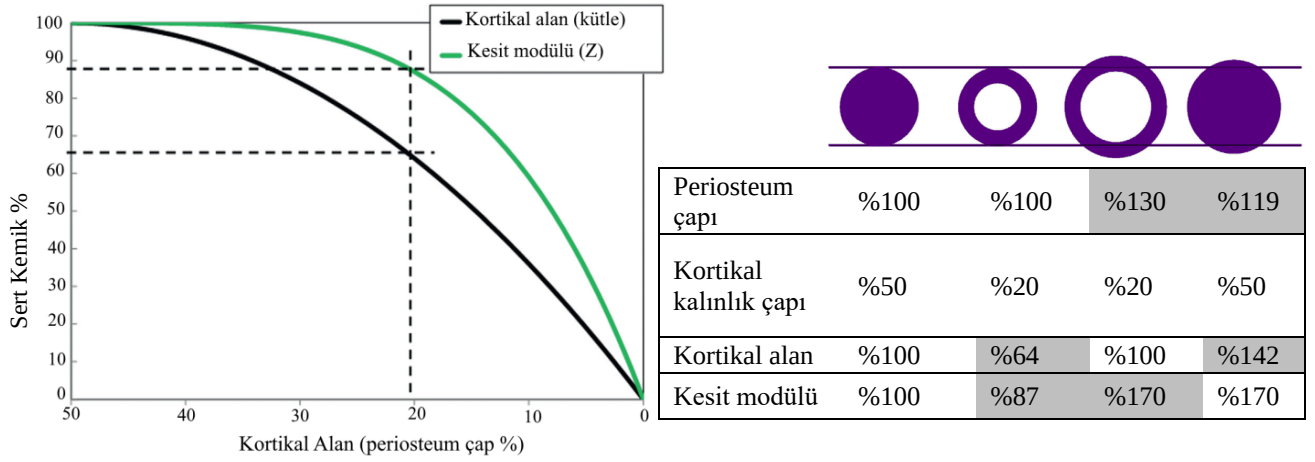
$$\varepsilon_y = \varepsilon_z = \frac{-\sigma \varepsilon_x}{E}$$

2.2. KORTİKAL KEMİĞİN DİRENCİNİ BELİRLEYEN MEKANİK FAKTÖRLER

İskelet sistemi gün içerisinde farklı yüklenme tiplerine çok çeşitli şekil ve kombinasyonlarda maruz kalmaktadır. Eğer maruz kalınan yük maksimum dayanım noktasını aşarsa kemikte kırılmalar meydana gelmektedir. Yüklenmeden kırılmaya kadar geçen süreçte kemiğin direncini belirleyen kemik yoğunluğu, geometrisi ve materyal özellikler mekanik disiplini çerçevesinde incelenmektedir.

2.2.1. Kortikal Kemiğin Kütle ve Yapısı

Yüklenmenin büyüklüğü göz önüne alınmaksızın kortikal kemikte gözenekliliğin az olması sebebiyle boyut ve içeriğinin dağılımı yüksek oranda kütlelilikle ilişkilendirilmektedir (Burr ve Allen, 2014). Uzun kemiklerin diafiz yapısının kalın çeperleri bir boruya benzetilebilir. Kemik bu şekliyle yük altında bütünlüğünü korurken hafif de olabilir. Hem kütleliliği hem de yapısı yüklere karşı kemiğin verdiği direnci etkilemektedir. Bu ilişkiyi görmek için periosteum çapları ve kortikal kalınlıkları çeşitli ölçülerde olan 4 kemik diafiz kesitinin eğilme kuvveti altındaki davranışları incelendiğinde Şekil 2.7'deki sert kemik ve kortikal kalınlık eğrisine ulaşılmaktadır. Kortikal kalınlık soldaki şekilden sağdaki şekle doğru azaldıkça kortikal alan kesit modülünden daha hızlı azalma göstermektedir.



Şekil 2.7 : Kemik doku dağılımının eğilme yüklenmesinde gösterdiği direncin rolü gösterilmektedir (Burr ve Allen, 2014'den uyarlanarak hazırlanmıştır).

Eğilme kuvveti altında kemiğin dayanımını incelemek için kesit modülü kullanılmaktadır (Z). Modül kemik yarıçapının dördüncü kuvvetine bağlıdır. Şeklin sağ tarafında yuvarlaklarla gösterilen kortikal kemik kalınlığının 2. ve 3. şekillerde azaldığı ve kortikal alanın kesit modülünden daha hızlı bir şekilde düşüş gösterdiği görülmektedir. Bu da merkezden çevreye doğru kemik dağılımının değiştirilmesiyle kemik boyutunda meydana gelen küçük değişikliklerin kemik dayanımındaki azalmaları telafi edebileceğini göstermektedir.

2.2.2. Kemik Direnci ve Mekanik Yüklenmeler

Kemikler gün içerisinde maruz kaldığı yüklere sadece sahip oldukları materyal özellikleri ve yüklenmenin büyüklüğüyle değil hareket sisteminin parçası olan diğer elemanlarla koordineli çalışarak etkin dayanım gösterirler. Görece rijit kemikler kaslarla daha etkili çalışırken, görece yumuşak olan kemikler yürüme esnasında kasların kemiklere uyguladığı yüklenmeden deforme olabilmektedir. Bu durumda sertlik kemikler için istenen bir durum gibi durmaktadır. Ancak alçak bir yerden atlama, düşme söz konusu olduğunda rijitlik² kemiklerin kırılma ihtimaline karşı daha az tercih edilen bir olgu olacaktır. Daha az rijit olan kemikler daimi hasar noktasına ulaşmadan önce daha fazla enerji absorbe edebilmektedir. Bunun yanında

² Şekil değiştirmeye karşı gösterilen direnç.

görece rijit kemikler daha ağır ve daha fazla metabolik enerji tüketmektedir. Dolayısıyla gün içerisinde iskelet sisteminin hem yükleri karşılamak ve etkin hareket gerçekleştirmek için hem de geri kalan biyolojik sistemlerle koordineli çalışabilmesi için kırılmayacak kadar esnek, kas yüklenmelerini kaldıracak kadar dayanıklı ama hafif olmak durumundadır. Öte yandan her kemiğin sahip olduğu direncin çeşitlilik gösterdiği belirtilmelidir. Örneğin Martin ve arkadaşları (1998) kulak kemikçiklerinin diğer kemiklere oranla daha sert olmasının sebebini ses dalgalarını en etkin şekilde iletme görevi gerçekleştirmesinden kaynaklandığını dile getirmiştir. Söz konusu araştırmacılara göre kulak içinde yer alan kemikçikler her ne kadar diğer kemiklere oranla daha az enerji absorbe etse de olağan şartlar altında çevreledikleri dokunun kuvvetiyle daimi hasar noktasına erişmekten kurtulmaktadırlar (Martin v.d., 1998).

Kemikte kırıkların oluşması için ihtiyaç olan enerji iskelet sisteminin gün içinde maruz kaldığı kuvvetlerden daha düşüktür. Kırılmalar için gerekli enerji miktarı erişkin femur ve tibialarda 15J (joule) iken 70kg bir bireyin ayakta bekleme pozisyonundan yere düştüğü anda deneyimlediği enerji 500J' dür (Martin v.d., 1998). Yaşlılık ve hastalık durumları göz ardı edildiğinde her yere düşen bireyin kemiklerinin kırılmamasının sebebi sahip olunan yağ, deri ve kas dokusudur. Düşme anında yumuşak doku enerjiyi absorbe ederken, düşerken etkin olan basma yüklenmesine karşı kas, ligament ve tendonlar kemiklere çekme yüklenmesi uygulamaktadır (Martin v.d., 1998). Böylelikle mekanik yüklenmelere karşı gösterilen dirençleri analiz ederken hiçbir zaman tek bir koşulun nihai sebep olmadığı aksine her durumun kendine özgü dinamik ve ilişkileri olduğu rahatlıkla söylenebilir.

2.3. İNSAN İSKELETİNİN MEKANİK ADAPTASYONU: WOLFF KANUNLARI

Mekanik adaptasyonla ilişkilendirilen 'Wolff Kanunları', Wolff'un döneminde öne sürdüğü fikirlerden çok farklı yönlere gönderme yapmaktadır.

Tarihsel bağlamda kemiğin yapısal adaptasyonu hakkında ilk yazan Roux'dur (Roux, 1885). Hatta Cowin (2001), Wolff Kanunları içerisinde bahsedilen 'adaptasyon' kavramının Wolff tarafından kabul görmediği ancak sonraki araştırmacıların bu kavramı Roux'dan devşirerek 'Wolff Kanunları' içerisine dâhil ettiğini öne sürmektedir. Öte yandan Wolff'un teorisinin oluşmasında en büyük etkinin İsviçreli mühendis Culmann ve ünlü anatomist von Meyer'in sol proksimal femur kemiğine ait kanselöz dokusunu ele alan çizimleri olduğu ileri sürülmektedir (Meyer, 1967). Wolff bu çizimler üzerinden kanselöz kemik yapılanması ve temel gerilme yörüngeleri arasında bir bağ olduğunu iddia etmiş ancak bu fikrini hiçbir zaman matematik ile destekleyememiştir. Yine de kanselöz kemik ile gerilme yörüngeleri arasında bir ilişki olduğunu ileri süren ilk kişi olması sebebiyle teori Wolff adıyla anıla gelmiştir. Dolayısıyla bu bölümde de işlenecek olan mekanik adaptasyon kavramının Wolff'dan sonra teknolojinin gelişmesiyle ortaya konan deney ve multidisipliner çalışma sonuçlarının adına atfedilen teoriye eklendikten sonraki durumu ele aldığı bilinmesinde yarar vardır.

2.3.1. Wolff Kanunu ve Tarihsel Süreçteki Temelleri

Kanselöz kemik yapısını detaylıca inceleyerek hazırladığı anatomi atlasına katan Bourget (1832), kitabında 'maksimum kemik direncinin minimum materyalle kazanıldığını' dile getirmiştir. Bunun yanı sıra Bell (1827), kemiğe binen yüklerin kanselöz dokudan tespit edilebileceğini belirtmiştir. Tüm bu betimlemeler bir önceki bölümde açıklanan mekanik kavramlardan rijitliği ifade etmektedir. Jeffries Wyman (1849) eserinde kemiklerin vücut ağırlığını ya ağırlığın yönünü belirleyerek ya da trabeküler boşlukları ağırlık yönüne göre düzenleyerek kontrol edilebileceğini belirtmiştir. Mühendis Profesör Culmann, ünlü anatomist von Meyer'in ofisine yaptığı bir ziyaret sırasında proksimal femur kemik kesitini görmesiyle üzerinde çalıştığı gerilme yörüngeleri grafiğinin aynısının femur kemik kesitindeki trabeküler boşluk diziminde olduğunu keşfetmiştir (Thompson, 1942). Kemiğin basma- çekme yüklenmelerini kaldırmak üzere tam da kemiğin kuvvetlenmesi gereken yerlerde trabeküler boşlukların sık dizildiğini fark etmiştir

(Thompson, 1942). Basma yüklenmesinin çoğunlukla hissedildiği iç bölgede trabeküller birbirlerine daha yakın ve yoğun bir şekilde sıralanırken çekme yüklenmesi kemiğin dış yüzeyinde meydana gelir ve basma gerilmesinin hissedildiği bölgede bulunan sık trabeküler dizilim çekme gerilmenin hissedildiği (dış bölge) bölgeye doğru genişleme eğilimi göstermektedir (Thompson, 1942).

Wyman, Bourgerie ve Bell'in kemiğin rijitliği ile ilgili olan yorumları, Culmann'ın femur kesiti üzerinden gerilme yörüngeleri ifadesi, Wolff tarafından kullanılarak kortikal ve kanselöz kemik yapılarını anlattığı 1869 ve 1870 tarihli yazıların temelini oluşturmuştur. Cowin bu noktada, kemiğin yüklenmeye verdiği cevabın yapısını düzenlemek olduğu bilgisinin asıl Culmann tarafından keşfedildiğini ancak kendisinin mühendis olmasından dolayı bu yorumu akademiye katmadığı, sadece durumun matematiksel izahını mühendislik bilimi için yaptığını ileri sürmektedir (Cowin, 2001; Martin v.d., 1998). Bahsi geçen araştırmacı bu sebepten ötürü günümüzde Wolff adının Culman'a göre daha fazla anıldığını iletmektedir (Cowin, 2001; Martin v.d., 1998).

Wolff, 1892 yılında kemik değişimi hakkındaki tüm düşüncelerini “*The Law of Bone Transformation*” adlı kitapta toplamıştır. Burada; Culmann'ın femur çizimlerindeki eksen yoğunluğundan çıkardığı statiksel önem ve gereklilikten, yüksek orandaki eksen yoğunluğunun yüksek gerilme ve dolayısıyla daha fazla kompakt kemik anlamına gelirken, yoğunluğun olmaması durumunun medüller boşluk anlamına geldiğinden bahsetmektedir (Roesler, 1987). Ancak söylediklerinin nasıl gerçekleştiği konusunda açıklama yapmamaktadır. Yaptığı nadir açıklama günümüzde yanlış olduğu bilinen, kemik yeniden biçimlenmesinin hücrelerin kalsifiye kemik matriksinden yeni kemik çıkarma yoluyla meydana getirdiği yönünde olan açıklamasıdır (Martin v.d., 1998).

1881 yılında Roux “*Ein Beitrag zur vervollständigung der mechanischen Zweckmässigkeitslehre*” adlı yayınında Wolff'un gerilme yörüngelerinin yapısal adaptasyon sonucunda oluştuğunu dile getirmektedir (Roesler, 1987). Günümüzde de Wolff yasasında anılan kemik dayanımının ağırlıkla ilişkili olduğu, trabeküler

dizilimin gerilme yörüngeleriyle ilişkili olduğu, kemik yapı düzenlemesinin kemik hücreleri tarafından mekanik uyarılara cevap olarak geliştiği fikirleri Roux tarafından literatüre katılmıştır (Martin v.d., 1998). Tüm bahsi geçen fikirlerin döneminde herhangi deney ya da teste tabi edilmeden gözlemlere dayanarak ortaya konmuş olduğu belirtilmektedir. Yapısal adaptasyon ve gerilme yörüngelerinin kemik üzerindeki etkilerine dair deneyler Koch (1917), Benninghoff (1925), Carey (1929), Murray (1936), Pauwels (1950) tarafından başlatılmıştır. Koch (1917) femur başına uyguladığı makul düzeydeki yüklenmeye dayanarak femurdaki gerilme yörüngelerini ve gerçek anatomik ölçümlere dayanarak geometrisini ortaya koymuştur. Bunlar arasında yoğun ve dikkatli çalışmasıyla ön plana çıkan Hayes ve Snyder 'ın 1981 yılında yaptığı çalışmasında Culmann'dan alarak Wolff'un önerdiği gerilme yörüngelerini destekleyen ancak Wolff'un kemik yeniden şekillenmesi için önerdiği açıklamaları ret eden bulgulara ulaşmıştır (Roesler, 1987). 19. yy boyunca devam eden bu alandaki çalışmalar üç prensip ortaya koymaktadır: 1) Trabeküller gerilme yörüngelerine göre şekil almaktadır. 2) Kemik yapı direnci kullanılan materyalin büyüklüğü ile dengelenmektedir. 3) Tüm bunlar mekanik uyarılara cevap veren hücrelerin çalıştırdığı kemiğin kendini düzenleme mekanizmasıyla sağlanmaktadır (Martin v.d., 1998; Burr ve Allen, 2014). Günümüzde ise kemiğin yapısal şeklini almasında biyolojik, kimyasal ve fiziksel faktörlerin birlikte etkili olduğu bilinmektedir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

TARİHSEL, KURAMSAL ÇERÇEVE

Zaman ve mekân içerisinde insan çeşitliliğine odaklanan biyolojik antropoloji bilim dalı tıp, biyoloji, anatomi, paleontoloji, jeoloji, genetik gibi doğa bilimleriyle birlikte interdisipliner çalışmalar yaparak insanın evrimini, biyolojik ve sosyal yapısını, farklı çevrelere uyarlama süreçlerini, büyüme ve gelişme süreçleri gibi insana ait tüm biyolojik ve sosyal yapıları bir bütün olarak incelemeye çalışır (Kottak, 2014). Antropoloji biliminin alt dallarından paleoantropoloji ise iskelet materyali ve bununla bağlantılı diğer maddi ve biyolojik kalıntıları incelemektedir (Kottak, 2014).

Paleoantropoloji alanında insan kalıntılarına bakarak insanların davranış ve yaşam örüntülerini ortaya çıkarmaya çalışan araştırmacılar çeşitli yöntemler geliştirmişlerdir. Bunlar içerisinde iskeletlerde biyomekanik analizler yapmak, osteoartrit ve travma etkenine bakmak, kas-kemik bağlantılarında stres izleri aramak ya da entesopati ve osteofit gibi vücut kemiklerinde birtakım patoloji etkeni hesaplamak belli başlıcalar arasındadır. Burada çalışmanın temelini oluşturan kesitsel geometrik analiz yönteminin nasıl geliştirildiği antropolojik çalışmalar ışığında açıklanacaktır.

Kemiklerin hayati organları korumak, kas ve bağ dokularla birlikte hareketi sağlamak ve vücuda duruş kazandırmak gibi herkes tarafından bilinen görevleri bulunmaktadır. Kaslar gibi kemikler de çalıştırıldıkça (egzersiz, aktivite) kütleliliği artmakta, hareketsizlik durumlarında atrofi gerçekleşmektedir. Bu nedenle kemik yapısının mekanik yüklere³ karşı gösterdiği değişimler, antropologların yanı sıra biyomekanik mühendisler, diş hekimleri, çeşitli dallarda uzmanlaşmış doktor, ortopedist, biyofizikçiler ve fizyoterapistleri de ilgilendirmektedir.

³ Yazı içerisinde gerilme (stress) ve şekil değiştirmelere sebep olan etkenlerin her biri yük veya kuvvet anlamında kullanılmıştır (Bozdager, 2016).

Dış etkenlere bağlı kemiklerin şekil değiştirdiği düşüncesi tarihsel açıdan eskilere gitmektedir. İlk olarak Aristo tarafından hayvan lokomasyon çalışmalarıyla öne sürülmüş, Galileo Galilei (1564- 1643) tarafından da kara canlıları hareketinde yerçekiminin önemli bir etken olduğu belirtilmiştir (Carter & Beaupre, 2001). Devamında birçok araştırmacı bu alanda katı cisim mekaniği, kas gerilmesi, akışkanların mekaniğine değinmiştir. Örneğin; Robert Hook (1635-1703) kuvvet ve şekil değiştirme arasındaki en temel ilk matematiksel bağıntıyı keşfetmiştir (aktaran Çakıroğlu ve Gençel, 2006). Sonrasında 1680 yılında Mariotte ve 1684 yılında Leibnitz kiriş modelindeki kirişlerde iki çeşit gerilmenin etkili olduğunu bildirmişlerdir (aktaran Çakıroğlu ve Gençel, 2006). Kemiğin kesitsel geometrisinin asıl dayanak noktası olan ve çeşitli mühendislik alanlarında sıklıkla kullanılan kiriş modelini Navier (1785-1836) geliştirmiştir (aktaran Çakıroğlu ve Gençel, 2006). Uzun kemiklerde kesitsel geometrik karakterlerin kiriş modeliyle ilişkilendirildiği ilk çalışmalar ise Bridges (1989) ve Ruff & Hayes (1984) tarafından antropoloji alanına kazandırılmıştır.

3.1. ANTROPOLOJİ ALANINDA KEMİĞİN KESİTSEL ÖZELLİKLERİNİ KONU ALAN ÇALIŞMALAR

İran'daki Hotu Mağarasında J. Lawrance Angel (1952) tarafından Üst Paleolitik Döneme tarihlendirilen 3 bireye ait iskelet üzerinde yapılan antropolojik değerlendirmeler kemiğin kesitsel özellikleriyle ilgili literatüre kazandırılmış ilk bilgiler olarak kabul edilebilir. Bahsi geçen araştırmada, uzun kemik şekil ve boyutlarıyla ilişkili bulgulardan femur boynu torsiyonu, tibia başının eğimi, femur başı yassılığı (*platymeria*), tibia yassılığı (*platycnemia*) ve dizlerin bükülerek yürünmesi, ekstansor ve rotator kasların incelenmesiyle araştırılmıştır. Angel, iliotibial bant, iliak krest ve alt- üst lumbar kemikleri gözlemleyerek bu bölgelerde belirgin çıkıntı ve çukurlar oluşunu Hotu kadınlarının ayakta durarak ve ayaktan destek alarak çalışmış olması (balık ağını çekmek) ve hatta engebeli arazide tırmanma, taşıma, kazma işleriyle meşgul olmasıyla ilişkilendirmiştir. İskeletlerde başparmak-elbileği bağlantı yerleri ve 3 numaralı küçük parmak kemiğinin

zedelenmiş olmasını ise muhtemel bir kavga ya da daha olası bir ihtimalle kökleri çıkarma için kazmaktan daha fazla uzmanlaşma gerektiren yoğun el çalışması gerektiren işlerde kullanılmış olmasına yormuştur (Angel, 1952; 265).

Angel'ın 1966 yılında yayınladığı bir diğer çalışmasında, MÖ 10.000- 5.000 yıllarına tarihlendirilen Kalifornia *Tranquility* topluluğuna ait kemiklerden yaşam biçimine dair çıkarsamalar yapmaktadır. Birçok başka çalışmanın hazırlayıcısı olma niteliği taşımasının yanında alanın gelecek vaat ettiğini de bizlere göstermesi açısından önemlidir. Çalışmasında femoral fıtık ve femur başı yassılığının (*platymeria*) varlığından yola çıkarak *Tranquility* insanların engebeli arazilerde aktif koşucu olduğu fikri uyandırdığını belirtmektedir. Angel, çoğunluğu erkek bireylere ait dirsek ekstansibilite⁴ durumunu gösteren *olecranon fossa* tabanının delikli oluşunu ise genel 'kemik ekonomisi' denilebilecek durumdan ileri geldiğini öne sürmüştür. Araştırmaya göre uzun kemiklerin diafizleri Paleolitik dönemde yetersiz beslenme ile birlikte görüldüğü düşünülen tibia dış bükey (sabre shin) eğriliğine sahiptir (Angel, 1966).

Yaşam biçimini kemiğin şekil ve boyutlarına bakarak tahmin etmeye çalışan Angel'ın çalışmaları kortikal kalınlık ve osteoporoz etkenine bakarak birtakım çıkarsamalar yapan çalışmalara öncülük etmiştir. Örneğin Dewey, Armelagos ve Barthley (1969), Meroe Dönemi'ne (MÖ350- MS350) ait 46 bireyin femur kemiklerinin proksimal ve distal uçlarını şerit testere yardımıyla keserek kemik kesitlerini inceledikleri bir çalışma gerçekleştirmiştir. Araştırmacılar bu kesitlerde önceden belirlenen 6 noktanın kortikal kalınlığını ölçerek, arkeolojik Nubiya topluluğunda osteoporoz izlerini tespit etmeye çalışmışlardır. Bu çalışmadan 7 yıl sonra Lovejoy ve arkadaşları (1976) tibia yassılık (*platycnemia*) indeksi üzerinden kemik dayanıklılığını ölçmeye çalışmışlardır. 3 farklı arkeolojik kazı alanından elde edilen 10 insan tibiası incelenmiştir. Tibia kesitleri yine önceden kemikte belirlenen noktaların şerit testere kullanılarak kesilmesiyle elde edilmiştir. Kesitlerde çeşitli ölçüler alınarak burulma yüklenmesine karşı kemiğin dayanıklılığı biyomekanik

⁴ Normal uzunluğun ötesinde gerilebilme.

formüller kullanılarak hesaplanmıştır. 1980 yılında ise Lovejoy ve Trinkaus, 10 Neandertal tibiasının var olan doğal kırıklardan yararlanarak temel kesit özelliklerine ulaşmış ve çalışmada üst paleolitik insanlarıyla Neandertal insanının kemik dayanıklılığını karşılaştırmışlardır.

Bahsedildiği üzere kemiğin kesitsel özelliklerini konu alan ilk çalışmalarda kesit özellikleri kemiğin kesilmesi, kırılması ya da kemiğin sahip olduğu doğal kırıklardan yararlanılarak elde edilmiştir. Kemik bütünlüğü korunarak kesit görüntülerinin elde edilmesinde görüntüleme cihazlarının kullanımı ise Jungers ve Minns'in (1979) üç kuyuksuz büyük maymunun femur ve tibiasının yapısını ve işlevini irdeledikleri çalışmada kullanılmıştır. 1984 yılında Kimura ve Takahashi, röntgen filminin çekilmesi yoluyla Minatogawa Adamı'nın kesitsel geometrik özelliklerini elde ederek kemikteki boyutsal artış üzerinde çalışmışlardır. Bahsi geçen tüm bu çalışmalar kısıtlı örneklem üzerinde gerçekleştirilirken Ruff ve Hayes'in (1983) Pecos Pueblo insanlarına ait toplamda 119 tibia ve femurun elektronik digitizer kullanarak kesitsel geometrik özelliklerini inceledikleri çalışma alanında yapılan ilk kapsamlı çalışma olarak görülmektedir.

Literatürde ilk defa bilgisayarlı tomografi cihazının kesitlerin görüntülenmesinde kullanımına 1985 yılında Sumner ve arkadaşları tarafından tarihöncesi bir femur kemiğinde gerçekleştirildiği çalışmada karşılaşılmıştır. Bu çalışmada materyale ait verilerden çok bu verilerin nasıl elde edildiği üzerine vurgu yapılmaktadır. İskelet yapısının analizinde bilgisayarlı tomografi cihazının kullanılmasının esasları ise Ruff ve Leo (1986) tarafından ortaya konmuştur. Günümüzde yapılan tüm antropolojik kemik çekimlerinin bu çalışma esas alınarak gerçekleştirildiği söylenebilir (Ruff, 2008).

3.2. ANTROPOLOJİ ALANINDA BİYOMEKANİK ANALİZİ KONU ALAN ÇALIŞMALAR

Antropoloji alanında ilk dönem biyomekanik analiz çalışmalarında avcı-toplayıcılık ile yerleşik yaşam stilini benimsemiş insan topluluklarının iskelet kalıntılarına fiziksel aktivitenin derecesinin ölçülmesi için başvurulduğu söylenebilir. Örneğin Bridges (1989) Amerika'nın Güneydoğu Georgia kıyısındaki prehistorik toplumlarda tarıma geçişle birlikte uzun kemik kesitlerinde küçülme ve dayanıklılık azalması olduğunu tespit etmiştir. Bu durum azalan iş yüküyle ilişkilendirilmiştir. Benzer bulgulara ulaşan Lieberman ve Shea (1994) avcı-toplayıcıların daha iri kemik yapısı ve kas tutunma yerlerine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Yerleşik hayat biçimini benimseyen insanların uzun kemik kesitlerinin dairesel şekilde ve kas tutunma yerlerindeki iriliğin daha az olduğunu ortaya koymuşlardır. Ruff ve arkadaşlarının (1984) tarımcı yaşam stiline sahip erişkin birey uzun kemiklerinin orta noktasının mediolateral eğilme zorlanmasının anteroposterior eğilme zorlanmasına oranının 1'e yakın olduğunu (dairesel kesit) ortaya koymasıyla daha önceki araştırma sonuçları doğrulanmıştır. Bu çalışmalar kemiklerin sahip olduğu kesit şekillerinin yüksek oranda hareketliliğe ve kaynağa ulaşmayla (avcı toplayıcıların kaynağa ulaşmak için uzun süreler yürümesi) ilişkili olduğunu ilk kez ortaya koyması açısından önemlidir.

Günümüzde geçim ekonomisi ve yaşam şeklinin uzun kemik yapısına etki ettiği yaygın olarak kabul edilmektedir (Ruff, 2008; Trinkaus v.d., 1994). Bu bilgi ışığında geçim ekonomisindeki değişimin insan femur ve humerus kemiği dayanıklılık sonuçlarındaki değişimlerle izlenebileceğini gösteren çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Örneğin Wescott (2001) ve Ruff (1987, 2008), geçim ekonomisini tarım olarak benimseyen topluluklarda artan hareketsizlik ve azalan iş yükü sebebiyle daha az dayanıklı femurlara sahip olunduğunu ortaya koymuşlardır. Marchi ve arkadaşları (2006) ise Ligurya Neolitik ve Mezolitik insanların üst ekstremitelerini karşılaştırdıkları çalışmalarında kol gücüne dayalı geçim ekonomisine sahip Ligurya Neolitik insanların daha dayanıklı humeruslara sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Geçim ekonomisinin alt ekstremita morfolojisiyle ilişkisini en kapsamlı inceleyen çalışmalar ise Macintosh ve ekibi tarafından gerçekleştirilmiştir. Ekip, Geç Mezolitik Çağ'dan Orta Çağ'ın başlangıcına değin (MÖ 7100- MS 850) yaşayan topluluklara ait 443 bireyi inceleyerek yerleşik hayata

geçen Neolitik Dönem tarımcıları, Geç Mezolitik avcı-toplayıcıları ile yerleşik çiftçi toplulukları karşılaştırmışlardır (Macintosh v.d., 2014, 2016). Bu çalışmalara göre özellikle erkek bireylere ait tibia kemiklerinde görülen basma kuvveti ile burulma ve eğilme zorlanması sonucu oluşan izlerin zaman içinde azalma gösterdiği ve her iki cinsiyete ait kesit görüntülerin daha dairesel bir görünüm kazandığı ortaya çıkarılmıştır. Bahsi geçen çalışma sonuçları Ruff ve arkadaşlarının (1984) sonuçlarıyla benzerlik taşımaktadır. Bu bilgi ışığında alt ekstremitelerde cinsiyetler arası iş bölümünün tarihsel süreç içerisinde azaldığı ve alt ekstremitelik dayanıklılığının en az Geç Tunç Çağı insanlarında olduğu bulunmuştur (Macintosh v.d., 2014, 2016).

Macintosh ve ekibinin 2017 yılında gerçekleştirdiği bir çalışmada, 5500 yıl önce yaşayan tarım geçim ekonomisine sahip topluluk kadınlarının humerus kemiği rijitlik (sertlik) verilerinin günümüz kadın atletlerinden daha yüksek değerler taşıdığı kanıtlanmıştır. Bu durum yüklenmenin incelendiği tarım topluluklarında yaşayan kadınların özellikle iş yükünün üst ekstremitelerde yoğunluk gösterdiği şeklinde yorumlanmıştır (Macintosh v.d., 2017a). Tarım topluluklarındaki erkek bireylerin humeruslarında yapılan çalışmalarda ise kadınlara oranla erkeklerin üst ekstremitelik kortikal kalınlığının belirgin değişkenlik göstermesi, erkeklerin farklı işler yaptıklarını ortaya çıkarmıştır (Macintosh v.d., 2017b). Sladek ve arkadaşlarının yaptığı başka bir çalışmada ise Avrupa'nın merkez bölgelerinde yer alan Geç Mezolitik Dönem'e ait insan kalıntıları ile Erken Tunç Çağı döneminde yaşadığı düşünülen insanların, tarımı geçim ekonomisi olarak benimsemiş topluluklara göre daha zayıf üst ekstremiteleri olduğu bulunmuştur (Sladek v.d., 2006).

Eski insan topluluklarına ait insan kalıntıları üzerinde yapılan çalışmalar kemiklerin sahip olduğu kesit şekillerinin geçim ekonomisinin yanı sıra yaşanan bölge topografyasıyla da ilişkili olduğunu söylemektedir. Örneğin; Ruff (1999, 2008) Nevada'da yer alan Stillwater Marsh'daki büyük havza alanı insanları, Oregon'da yer alan Malheur Gölü topluluğu ve Utah'daki Büyük Tuz Gölü insanlarını karşılaştırdığı çalışmalarında femur kemiğinin dayanıklılığı ile yaşanan yüzey arazisi arasında pozitif bir ilişki olduğunu belirtmiştir. Cinsiyet ve geçim ekonomisi aynı olan topluluklar dağlık alan, düzlük alan ve kıyı bölge yerleşimleri olarak ayrılıp

femur dayanıklılığı kıyaslandığında dağlık bölgede yaşamını sürdüren topluluğun daha yüksek femur dayanıklılığına sahip olduğu tespit edilmiştir (Ruff, 1999). Benzer sonuç, topografya çeşitliliği kara, nehir ve okyanus olarak belirlenmiş Güneybatı toplulukları, Georgia kıyısı toplulukları, British Columbia ve Alaska Aleut'larıyla karşılaştırmalı olarak ele alan başka bir çalışmada da ulaşılmıştır (Weiss, 2009; Churchill, 1994). Araştırmacılar bahsi geçen Kuzey Amerika topluluklarına ait humerus kemiği dayanıklılığını karşılaştırdıklarında, okyanus kenarı topluluklarına ait bireylerin humerus kemiklerinin daha iri olduğunu tespit etmiştir. Bu durum okyanus kenarında ikamet etmiş toplulukların gün içerisinde kürek çekme hareketini yapmasıyla ilişkilendirilmiştir.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

YÖNTEM

4.1. AMAÇ

Bu çalışmada Erken Tunç Çağı'nda yaşamış Resuloğlu topluluğuna ait bireylerin uzun kemik diafizleri kesitsel geometrik özelliklerine odaklanılarak incelenecektir. Resuloğlu topluluğunda yüklenmenin bedenin hangi bölgesinde yoğunluk gösterdiği, cinsiyetler arası iş yükünün farklılık gösterip göstermediği, bu dönemde yaşayan insanların çoğunlukla hangi fiziksel aktiviteleri yapmış olduğu gibi sorulara yanıt aranarak hareket örüntüleri aydınlatılmaya çalışılacaktır.

Araştırma bulguları hem dünyada hem de Türkiye'deki diğer eski insan topluluklarında yapılmış geometrik analiz çalışmalarıyla karşılaştırılarak, Anadolu'nun eski yerleşimcilerinin davranış örüntüleri ve yaşam biçimleri hakkındaki çıkarımların artırılması amaçlanmaktadır.

4.2. MATERYAL

Çalışmada, Resuloğlu Erken Tunç Çağı mezarlık alanından elde edilen insan kalıntıları incelenmiştir. Bu yerleşim yeri Çorum ili, Uğurludağ ilçe sınırları içerisinde yer alan Resuloğlu diğer bir adıyla Kaleboynu köyünün kuş uçuşu 1300m. kuzeybatısındaki Araçlar ya da Keseli Pınar mevkiinde bulunmaktadır. Delice Çayı'nın Kızılıрмаğa karıştığı Kula ve güneyindeki Hilalli Köyü arasında, Delice Vadisinde uzanan bir sırt üzerine konumlanmış söz konusu mezarlık alanı Sungurlu İlçe merkezine 50, Uğurludağ İlçe merkezine 28 km. uzaklıktadır (Yıldırım ve Ediz, 2005, 2006, 2007; Yıldırım, 2011).

Resuloğlu köyü ve çevresi, 1926 yılında H.H. Von der Osten tarafından keşfedilen Prehistorik Kaletepe (Kaleboynu) höyüğü ve 1980'li yıllarda, D.

French'in Çorum Müzesiyle klasik bir yerleşimde gerçekleştirdiği kurtarma kazısıyla da bilinmektedir (Sipahi ve Yıldırım, 2000; Yıldırım ve Ediz, 2005; Yıldırım, 2011).

Resuloğlu Erken Tunç Çağı mezarlık alanı ilk defa 1998 yılında keşfedilmiş olup sistematik kazı çalışmaları 2003 yılında Çorum Müzesi Müdürü İsmet Ediz başkanlığında ve Ankara Üniversitesi Arkeoloji öğretim üyesi Prof. Dr. Tayfun Yıldırım'ın bilimsel sorumluluğunda başlatılmıştır (Sipahi ve Yıldırım, 2000). Günümüzde Kültür ve Turizm Bakanlığı ve Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğünden alınan izinlerle kazı çalışmaları devam etmektedir.

MÖ III. bin ve II. binyılın başlarına tarihlendirilen Resuloğlu topluluğu, Anadolu'nun sosyal, ekonomik ve politik etkenlerin çeşitlenip insan etkileşiminin arttığı Erken Tunç Dönemi'ne tarihlendirilmektedir (Yıldırım, 2011). Bu dönem özellikle Mezopotamya'da yoğun nüfusu bir araya getiren, çiftçiliğin ötesindeki işgücü paylaşımını destekleyen "tüketici pazarı" bünyesinde bulunduran 'kent devletleri'nin doğuşuna sahne olmaktadır (Sagona ve Zimansky, 2009). Kent kavramıyla birlikte ele alınabilecek artmış güç ve zenginliğin, belirgin sosyo-politik değişimleri yarattığı söylenebilir. Bu değişimler arasında derinleşen sosyal tabakalaşmadan, uzmanlaşan bürokratik yapı ve bu yapıyı sağlamlaştıran yasallaşmadan bahsetmek mümkündür (Sagona ve Zimansky, 2009). Nitekim tüm bu bahsedilenler Mezopotamya ve Güneydoğu Anadolu'da gözlemlenirken, incelediğimiz topluluğun ait olduğu bölge olan Orta Anadolu'da, 'kent devletleri'nin üzerilerindeki hâkimiyetin zayıf olduğu ortalama 10ha büyüklüğündeki *merkezileşmelerden* bahsedilebilir (Çevik, 2007). Bu dönemin öne çıkan bir diğer özelliği olan ticaret olgusu, Resuloğlu kazı alanından ele geçen süs eşyalarının Alaca Höyük ile kap şekil ve yapım tekniklerinin Boğazköy, Alishar, İkiztepe gibi diğer yerleşimlerle benzerlik göstermesi bölgede var olan iletişim ağının varlığını kanıtlar niteliktedir (Yıldırım, 2011; Sagona ve Zimansky, 2009).

Çalışma materyalini oluşturan Resuloğlu Erken Tunç Çağı mezarlık kazı alanından elde edilen mezarların büyük çoğunluğu MÖ III. binin ikinci yarısına, az sayıda olan bir kısmı ise MÖ II. binin başlarına tarihlendirilmiştir (Yıldırım, 2011).

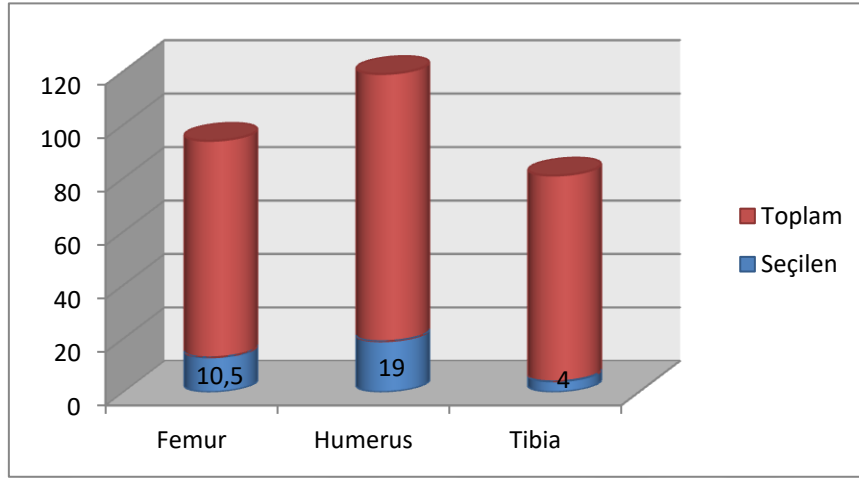
Alanda en sık karşılaşılan mezar tipleri küp veya çömlek mezar ile taş sanduka mezarlardır. Nadiren basit toprak mezara rastlanılmıştır. Bu mezarlar yüzey coğrafyasına bağlı olarak 1m ile 2.20cm arasında değişen derinliklerde bulunmuştur (Yıldırım, 2011).

Resuloğlu topluluğuna ait iskeletler 2003 yılından beri çıkarılmaktadır. Bu iskeletlerin 83 mezar ve 115 bireyden meydana geldiği tespit edilmiştir (Atamtürk ve Duyar, 2010a). Topluluğa ait iskeletlerin ölü gömme âdeti, yaşam biçimi, hastalık göstergeleri ve beslenme durumları gibi ayrıntılı antropolojik analizleri İstanbul Üniversitesi öğretim üyeleri Prof. Dr. İzzet Duyar ve Prof. Dr. Derya Atamtürk Duyar tarafından gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalara bağlı olarak Resuloğlu topluluğunun gömüldüğü mezar tipleri arasında cinsiyete dayalı bir farklılık bulunmamıştır (Atamtürk ve Duyar, 2010a). Ancak söz konusu mezar tipleri bireylerin yaş dağılımına dayalı olarak incelendiğinde bebek-çocuk ile erişkin birey gömülerinin farklılık gösterdiği söylenebilir (Atamtürk ve Duyar, 2010a). Bebek ve çocuklar çoğunlukla küçük mezar küplerine gömülürken, taş sandık mezarlardan erişkin bireyler ele geçmiştir. Yine alanda açığa çıkarılan mezarların %90'nının küp, %10'unun taş sanduka mezar oluşu, taş sanduka mezarlara gömülen bireyler ile alanın genelinde yaygın görülen küp mezarlara gömülen bireyler arasında sosyal bir farklılaşmanın olduğunu akla getirmektedir (Duyar ve Atamtürk, 2011). Resuloğlu arkeolojik kazı alanından sıklıkla çıkarılan madeni buluntular, burada yaşayan insanların hammadde ve yakınlarındaki kaynakları kullanabilen bir topluluk olduğunu gösterirken, alandan bölgedeki diğer arkeolojik merkezlerle benzer buluntuların ele geçmesi Resuloğlu topluluğunun ticari ilişkilere açık olduğunu göstermektedir (Yıldırım, 2005, 2011). Topluluğun iskelet sisteminde yapılan paleopatolojik incelemelerde, erişkin bireylerin yarısından fazlasında özellikle üst ekstremiteler ve omurlarda fiziksel güç isteyen günlük işlerde maruz kalınan aşırı yüklenmeye dayalı eklem bozuklukları ve dejenerasyona rastlanmıştır (Duyar ve Atamtürk, 2011). Cinsiyetler arasında benzer oranda gözlemlenen bu rahatsızlıklar, topluluktaki kadın-erkek iş yükü dağılımında belirgin bir farklılık olmadığını göstermiştir (Duyar ve Atamtürk, 2011). Resuloğlu topluluğuna ait diş ve çenelerdeki incelemelerde ise yüksek oranda aşınma, diştaşı ve alveol çekilmeye

rastlanılmıştır (Atamtürk ve Duyar, 2010b; Duyar ve Atamtürk, 2011). Bu durumun oluşmasında özellikle rafine edilmemiş tahıllar, aşındırmayı arttırıcı besinler ve öğütme taşından kopan küçük parçaların etkili olduğu düşünülebilir (Duyar ve Atamtürk, 2011). Tipik tarım geçim ekonomisine sahip bir toplulukta yüksek seyreden diş çürüğü değerleri ise Resuloğlu topluluğu için %3,74'tür (Atamtürk ve Duyar, 2010b). Diş bulguları değerlendirildiğinde, Resuloğlu insanların hem tarım geçim ekonomisine sahip topluluklarda görülen ürünleri hem de ondan daha eski toplulukların sahip olduğu yaşam şeklinde sıklıkla tüketilen zengin lif içerikli besinleri birlikte tükettiği karma beslenme düzenine sahip olduğu söylenebilir (Duyar ve Atamtürk, 2011). Bebek-çocuk iskeletlerinde rastlanan enfeksiyonel hastalık izleri, yine dişler üzerinde yapılan incelemelerde gözlenen hipoplazi, Resuloğlu sakinlerinin gelişim dönemlerinde pek çok hastalık ve strese maruz kaldığını da ortaya koymaktadır (Duyar ve Atamtürk, 2011).

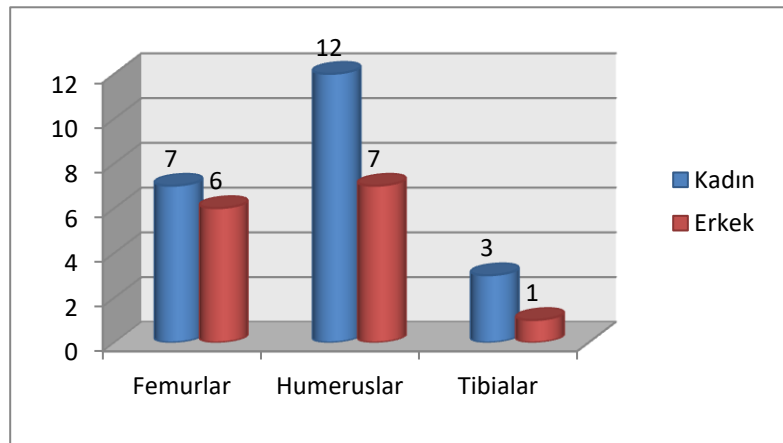
Şu ana kadar Resuloğlu topluluğuna ait antropolojik analizi gerçekleştirilen 115 bireye ait toplamda 81 femur, 100 humerus ve 77 tibia kemiği incelenmiş ve 25 bireye ait 36 uzun kemik çalışmaya uygun görülmüştür. Tama yakın, büyüme dönemleri sonlanan ve epifizleri tamamen kapanan erişkin bireylere ait olan kemikler çalışmaya dâhil edilmiştir (Wescott, 2006; Sladek v.d., 2006; Ruff ve Hayes, 1983). Yaşa bağlı patoloji, hastalık, travma izi bulunan bireylerin kemikleri çalışma kapsamı dışında tutulmuştur.

Araştırma kapsamında antropolojik analizi yapılan Resuloğlu Erken Tunç Çağı bireyelerine ait uzun kemiklerden sadece sağlam olan 19 humerus, 13 femur ve 4 tibia kemiği üzerinde inceleme yapılmıştır. Çalışma için ayrılan femur, humerus ve tibiaların toplam içerisindeki dağılımları Şekil 4.1'de görülmektedir. Buna göre incelenen 81 femur kemiğinden çalışmaya uygun görülen 13 femur toplam dağılımın %10,5'ini, incelenen 100 humerus kemiğinden seçilen 19 humerus toplam dağılımın %19'unu ve seçilen tibialar ise toplam dağılımın %4'ünü meydana getirmektedir.



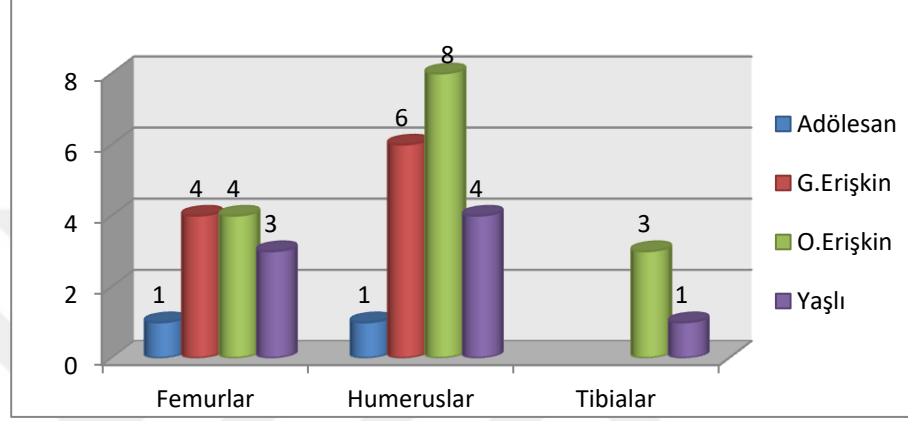
Şekil 4.1 : Çalışma için ayrılan Resuloğlu topluluğuna ait bireylerin femur, humerus ve tibia kemiklerinin toplam içerisindeki yüzdelik dağılımları.

Çalışmaya dâhil edilen kemiklerin yaş ve cinsiyet tespiti Buikstra ve Ubelaker'in (1994) "*Standards for Data Collection from Human Skeletal Remains*" kitabında önerilen kriterler dikkate alınarak yapılmıştır. Bu inceleme sonucunda Resuloğlu topluluğunda incelenen 25 bireyden alınan uzun kemiklerin cinsiyet ve yaş dağılımları Şekil 4.2 ve 4.3'te sunulmuştur. Çalışma için uygun görülen uzun kemiklerin cinsiyetler arası dağılımı incelendiğinde 13 femur kemiğinin 7'si kadın 6'sı erkek bireyden oluşurken bu durumun humerus kemiğinde 12 kadın, 7 erkek birey şeklinde olduğu görülmektedir. Çalışmaya dâhil edilen diğer kemiklerin aksine korunma durumu en az olan tibia kemiği ise çalışmada 3 kadın ve 1 erkek birey ile temsil edilmektedir.



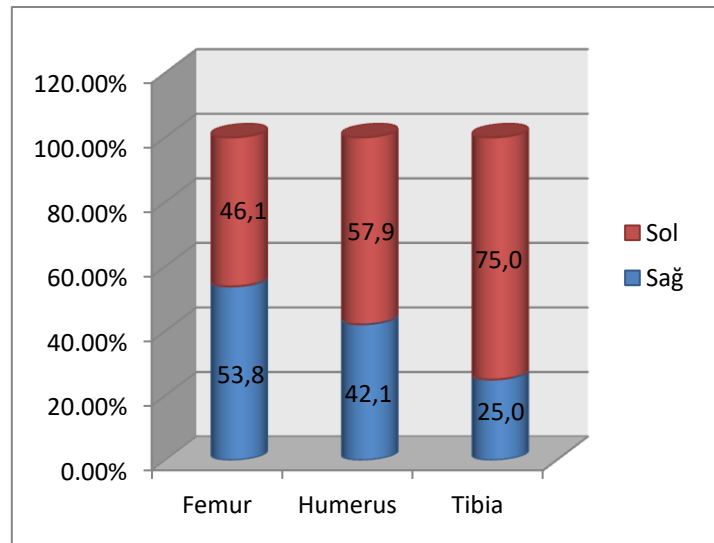
Şekil 4.2 : Resuloğlu topluluğunda incelenen uzun kemiklerin cinsiyet dağılımı.

Çalışmaya dâhil edilen uzun kemiklerin Şekil 4.3'te verilen yaş dağılımları incelendiğinde femur kemiklerinin 8 erişkin ve 1 yaşlı bireyden, humerus kemiklerinin 1 adölesan, 14 erişkin ve 4 yaşlı bireyden, tibia kemiklerinin ise 3 orta erişkin ve 1 yaşlı bireyden meydana geldiği görülmektedir.



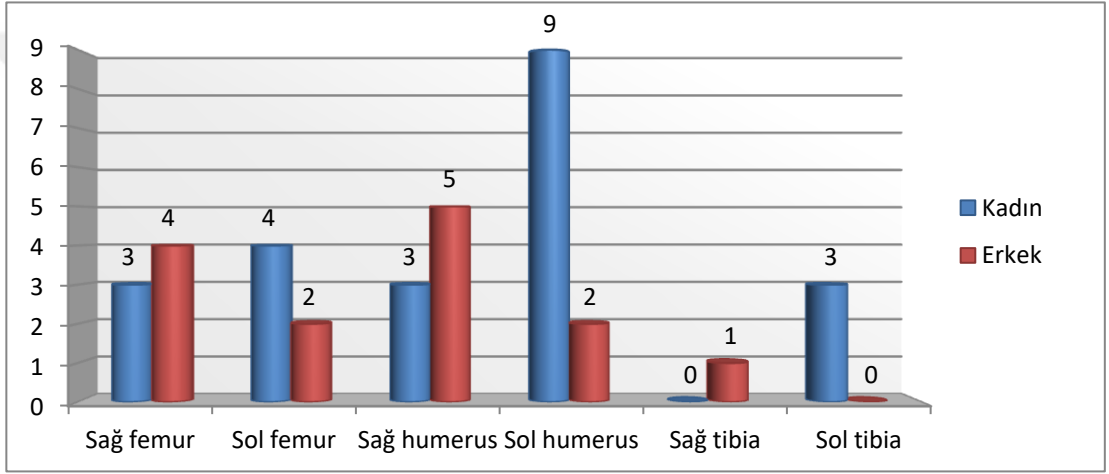
Şekil 4.3 : Resuloğlu topluluğunda incelenen uzun kemiklerin yaş dağılımı.

Bu çalışmada incelenen 13 femur, 19 humerus ve 4 tibia kemiğinin sağ ve sol ayrımlarının dağılımları Şekil 4.4'te görülebilir. Buna göre incelenen 13 femur kemiğinin 7'si sağ, 6'sı sol tarafa, 19 humerus kemiğinin 8'si sağ, 11'i sol tarafa ve 4 tibia kemiğinin 1'i sağ, 3'ü sol tarafa aittir.



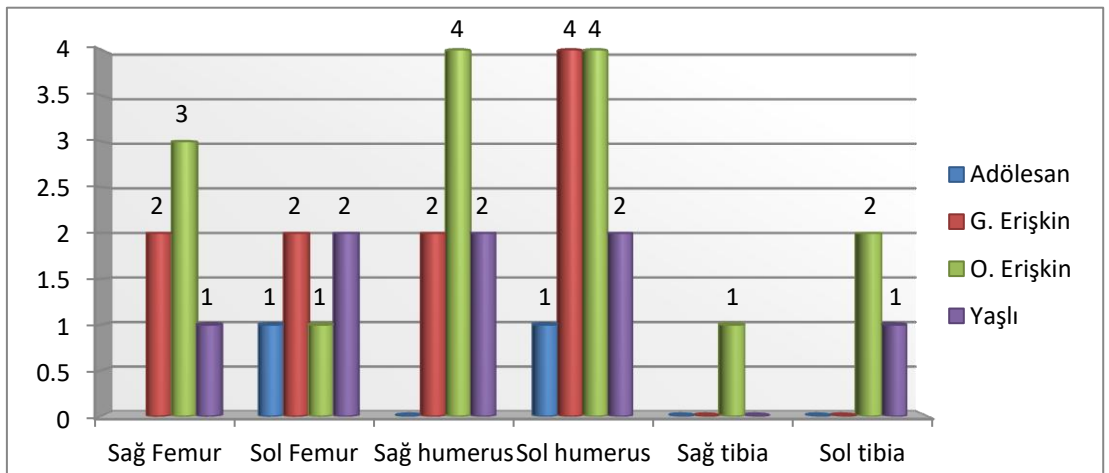
Şekil 4.4 : İncelenen uzun kemiklerin sağ-sol ayrımlarının yüzdelik dağılımları.

Çalışılan femur, humerus ve tibia kemiklerinin sağ-sol yön açısından cinsiyet ve yaş grupları dağılımı incelenmiş, sonuçlar Şekil 4.5 ve 4.6’da verilmiştir. Bu şekillerden görüleceği üzere femur kemiklerinden sağ femur kemiğine ait 3 kadın, 4 erkek birey, sol femur kemiğine ait 4 kadın, 2 erkek birey bulunmaktadır. Sayıca daha yüksek olan sağ ve sol humerus kemiklerindeki cinsiyet dağılımları ise sağ humerus kemiğinde 3 kadın, 5 erkek iken sol humerus kemiğinde 9 kadın, 2 erkek birey şeklindedir. Çalışmada topluluğu en az temsil eden tibia kemiğinde ise kadın bireye ait 3 sol tibia kemiğine, erkek bireye ait 1 sağ tibia kemiğine rastlanılmıştır.



Şekil 4.5 : İncelenen sağ-sol femur, humerus ve tibia kemiklerinin cinsiyet dağılımı.

Çalışmaya dâhil edilen sağ-sol femur, humerus ve tibia kemiklerinin yaş dağılımları Şekil 4.6’da verilmiştir. Görüldüğü üzere çalışılan 7 sağ femur kemiğinin 2’si genç



Şekil 4.6 : İncelenen sağ-sol femur, humerus ve tibia kemiklerinin yaş dağılımı.

erişkin, 3'ü orta erişkin ve 1'i yaşlı bireye aittir. Burada belirtilmesi gereken, seçilen kemiklerden yaşlı ve adölesan bireylere ait kemik epifizlerinin kapanmış ve herhangi bir patoloji, travma izine rastlanılmadığıdır. Çalışılan kemiklerden sağ humerus kemiği 6 erişkin, 2 yaşlı, sol humerus kemiği ise 1 adölesan, 8 erişkin ve 2 yaşlı bireyle temsil edilmektedir. Tibia kemiğindeki yaş dağılımına bakıldığında sol tibia kemiğinde 2 orta erişkin, sağ tibia kemiğinde ise 1 orta erişkin, ve 1 yaşlı bireyin olduğu görülür.

4.3. METOT

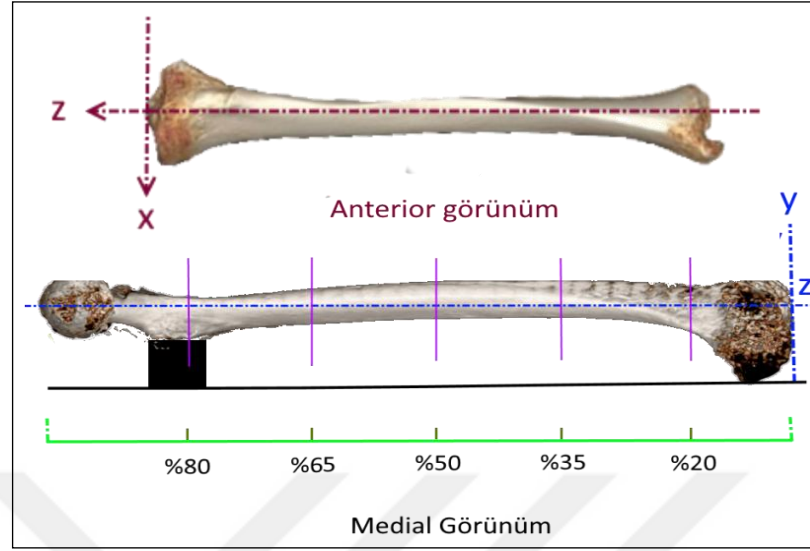
Antropolojik çalışmalarda kullanılan kiriş modelinde kemiğin değişmezlik ve dayanıklılık değerlendirmesi, uzun kemik diafizlerinin orta noktasındaki kortikal alanından (CA) elde edilmektedir (Ruff, 2008). Bu sebeple seçilen 36 kemik öncelikli olarak anatomik pozisyonda osteometri tahtasına yerleştirilerek uzunluğu ölçülmüştür. Kemik kesit geometrilerinin yüksek oranda uygulanan yüklenmelerden etkilendiği bilinmektedir (Lovejoy v.d., 1976; Ruff ve Hayes, 1983). Bu nedenle çalışmamızda daha önceden elde edilen kemik uzunlukları, Şekil 4.7'de görüleceği üzere %20'lik dilimler oluşturacak şekilde 5'e bölünerek kemik kesit noktaları belirlenmiştir. Kemik üzerinde belirlenen ölçüm noktaları, kemiklerin proksimalinden itibaren toplamda 6 dilimi ifade etmektedir. Bunlardan 1. dilimi oluşturan nokta %80, 2. dilimi oluşturan nokta %65 iken 6. dilimi oluşturan nokta %20 olarak isimlendirilmiştir. Bu durum Şekil 4.7'de detaylı bir biçimde gösterilmiştir. Yapılan çalışmalarda toplulukların alt ekstremité diafizlerinin orta noktalarının kesit şeklinin, eğilme yüklenmesi altında en yüksek oranları sergilediği dikkat çekmektedir (Ruff ve Hayes, 1983). Orta noktaların yanı sıra femur kemiğinin %80 noktası, mediyolateral burulma yüklenmesini en iyi yansıtan bölge olduğu da bulunmuştur (Ruff ve Hayes, 1983). Humerus kemiğinin ise orta noktaya distalden en yakın %35 ya da %40'lık bölgeleri, deltoid çıkıntısını hesaplama dışı bıraktığı için çekime uygun görülmüştür (Ruff, 2008). Buna dayanarak alt ekstremité kemiklerinden femur kemiklerinde %80 ve %50'nci noktalar, tibia kemiklerinde %50'nci noktalar ve humerus kemiklerinde %35'nci noktalar kalem yardımıyla

işaretlenerek, kemikler bilgisayarlı tomografi (BT) çekimine hazır hale getirilmişlerdir.

Arkeolojik alanlardan elde edilmiş kemik gibi organik kalıntıların sonraki araştırmalar için kullanılması gerektiğinden kemik kesitinin doğrudan kesme ya da kırma yoluyla elde edilmesi uygun değildir. Bunun yerine kemiğe hasar bırakmadan kemiğin iç yapısının görüntülenmesini sağlayan alternatif cihazlar bulunmaktadır (Ruff ve Leo, 1986). Bunların en yaygın kullanımı tercih edilen BT (Bilgisayarlı Tomografi)'lerdir. Bu cihaz yardımıyla kemiğin iç ve dış hatlarının iki boyutlu görüntüleri hızlı bir şekilde elde edilmektedir (Ruff, 2008). Bu nedenle çalışmamızda 36 uzun kemiğin kesit görüntüsünün alınmasında BT'ye başvurulmuştur.

Kemik üzerinde tespit edilen noktaların bilgisayarlı tomografi çekimleri İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Radyoloji Bölümünde bulunan Siemens Somatom Sensation Cardiac makinesiyle yapılmıştır. Çekim protokolü KV: 120, kesit kalınlığı: 1mm, B31f kernel, zoom factor: 0,97 olarak belirlenmiştir.

Kemiklerden elde edilecek kesitsel geometrik özelliklerin hata payı, kesit noktaları belirlenen kemiklerin cihaza x,y,z eksenleri gözetilerek yerleştirilmesiyle önlenmektedir. Bunun için araştırmamızda Ruff ve Hayes yaklaşımı benimsenerek kemikler yerleştirildikten sonra humerus kemiğinin %35 noktası, femur diafizinin orta noktası ve %80 lik dilimi, tibiaların %50 lik diliminin önceden işaretlenen çekim noktaları ince bir iğne yardımıyla belirtilmiştir (Ruff ve Hayes, 1983; Ruff, 2002).



Şekil 4.7 : Çekim öncesi kemiklerin eksenlerinin ve osteometrik noktalarının belirlenme işleminin, M149'a ait sol femur ve ebts 3 bireyine ait sol tibia kemiği üzerinde şematik gösterimi tespiti.

İğne ile belirlenen bölge içerisinde kalan kemiğin 512mm'lik topogramı alınarak görüntüsü ekrana aktarılmış ve aktarılan topogramda çekim bölgesi seçilmiştir. Daha sonra iğne kemik üzerinden kaldırılarak seçim bölgesinin 1mm kalınlığında BT görüntüleri elde edilmiştir.

Çekimlerden elde edilen görüntüler DICOM viewer programı yardımıyla açılmak üzere CD'ye kaydedilmiştir. DICOM viewerda görüntüler *raw data* uzantılıdır. Gerekli analizlerin yapılması için bu görüntüler ilk olarak TIFF uzantılı dosyalara dönüştürülmüştür. Bazı görüntülerin periostal ve endosteal sınırları Adobe Photoshop software programı kullanılarak belirginleştirilmiştir (Rhodes, 2004). İstenilen alan seçim aracıyla belirtildikten sonra gri değerler silinerek kortikal kemiğin siyah zemin üzerine beyaz renkle görünmesi sağlanmıştır. Bu sayede, kesitsel özellikleri analiz edilecek kemik sınırları gerçek değerlere yaklaştırılmıştır.

Periostal ve endosteal sınırları belirginleştirilen görüntüler 1.52g sürümlü ImageJ programına yüklenerek yeniden ölçeklendirilmiştir. Bu işlem için görüntülerin üzerinde yer alan 0-4 cm'lik ölçek kullanılarak, görüntü çözünürlüğünün piksel başına milimetrik değerler vermesi sağlanmıştır. Her

görüntüye uygulanan bu işlem sayesinde ileride yapılacak hesaplamaların görüntüye özgü değerler olduğu doğrulanmıştır.

Kesitsel özellikleri analiz edilecek ölçeklendirilmiş görüntüler ImageJ yardımıyla 8bite dönüştürülmüş ve kemik yoğunluk aralığının piksel olarak hesaplanması için yoğunluk eşiği belirlenmiştir. Yoğunluk eşiğinin seçilmesindeki amaç en doğru fizyolojik kemik doku ölçümünün sağlanabilmesidir. Bu eşik aralıkları her araştırmaya göre değişmektedir. Bu çalışmada kullanılan görüntülerin yoğunluk eşiği değerleri en düşük 1, en fazla 255 olarak belirlenmiştir.

4.3.1. Biyomekanik Analiz

Kesit özelliklerinin hesaplanması için uygun hale getirilen görüntüler ImageJ programına bir mühendislik eklentisi olan MomentMacro¹ ile yüklenerek biyomekanik özellikler belirlenmiştir. Kesit görüntülerinden elde edilen biyomekanik karakterlerin detaylı açıklaması Tablo 4.1’de sıralanmıştır.

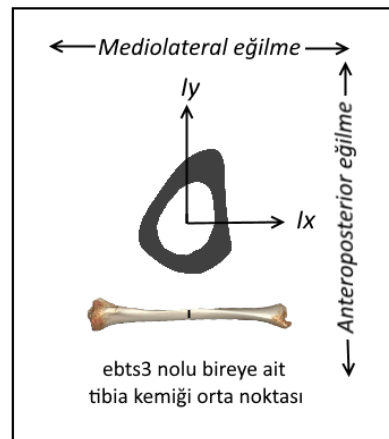
Tablo 4.1 : Kemikten elde edilecek kesitsel geometrik karakterler.

	Özellik	Kısaltma	Birim	Tanım
Ana parametreler	Kortikal Alan	CA	mm ²	Çekme/basma zorlanması
	Beden Kütlesi	BK	mm	(McHenry, 1992; Grine v.d., 1995) formüllerinin aritmetik ortalaması
	Toplam Subperiostal Alan	TA	mm ²	Kemiğin dış yüzeyi
	Polar Atalet Momenti	J	mm ⁴	Burulma ve ortalama eğilme değişmezliği
	Polar Kesit Modülü	Z _p	mm ³	Burulma ve ortalama eğilme dayanıklılığı
Yardımcı parametreler	X Ekseninin M-L Yönünün Atalet Momenti	I _x	mm ⁴	A-P eğilme değişmezliği
	Y Ekseninin A-P Yönünün Atalet Momenti	I _y	mm ⁴	M-L eğilme değişmezliği
	Maksimum Atalet Momenti	I _{max}	mm ⁴	Maksimum eğilme değişmezliği

¹ Çalışmada MomentMacroJ v1.2 sürümü kullanılmıştır.

Minimum Atalet Momenti	I_{min}	mm^4	Minimum eğilme değişmezliği
Theta	Θ	Derece	Maksimum eğilme değişmezliğinin yönü
M-L (x ekseni) Yönünün Kesit Modülü	Z_x	mm^3	A-P eğilme dayanıklılığı
A-P (y ekseni) Yönünün Kesit Modülü	Z_y	mm^3	M-L eğilme dayanıklılığı
Maksimum Kesit Modülü	Z_{max}	mm^3	Maksimum eğilme dayanıklılığı
Minimum Kesit Modülü	Z_{min}	mm^3	Minimum eğilme dayanıklılığı

Kemik diafizinin kortikal alanından eğilme ve burulma zorlanmalarına karşı kemiğin değişmezliği atalet momenti ya da diğer adıyla eylemsizlik momenti² ile bulunmaktadır (Ruff ve Hayes, 1983; Larsen, 2002; 1995). Çalışmamızda giriş modelinin en önemli karakteristik özelliği olan atalet momenti kemik kesitinin yerleştirildiği anatomik eksenler- mediyolateral (M-L/y) ve anteroposterior (A-P/x)-dikkate alınarak hesaplanmıştır (Ruff, 2008). Belirlenen eksenlerden Şekil 4.8’de görüleceği üzere I_x ön-arka eğilme düzlemindeki (x ekseni) kemik dayanıklılığını, I_y ise x eksenine dik olan y eksenindeki eğilme zorlanmasına karşı kemik dayanıklılığını ifade etmektedir (Larsen, 2002). I_{max} ve I_{min} ise kemik kesitinin maksimum ve minimum eğilme direncini (değişmezliğini) ifade etmek için kullanılmıştır.



Şekil 4.8 : Kesit eksenlerine göre EBTS 3 no'lu bireye ait eğilme zorlanmasının şematik görünümü (Larsen, 2002’den uyarlanarak hazırlanmıştır).

² Moment mühendislikte döndürebilme kabiliyeti olarak kullanılmaktadır. Moment şiddeti kuvvetle eksen etrafında materyali döndürme anlamına geldiğinden F.l olarak ifade edilir (Bozdager, 2016).

$$\sigma_z = \frac{M_x y}{I}$$

Atalet momenti, yukarıda verilen formül ile hesaplanmıştır (Ruff ve Hayes, 1983). σ_z kesit alanına tesir eden çekme veya basma zorlanmalarını, M_x x eksenine uygulanan eğilme momentini, y birim alanın nötr eksene dikey uzaklığını, I eylemsizlik momentini ifade etmektedir.

Eğilme düzleminde maksimum gerilme kesitin en dış bölgesinde meydana gelmekte ve y_{max} ya da 'c' olarak gösterilmektedir. I/c **kesit modülü** (mukavemet modülü) olarak isimlendirilir, Z olarak gösterilir ve doğrusal birimlerin üç üssü şeklinde ifade ettiği bilinmelidir. z ekseninde meydana gelen burulma zorlanmasına karşı kemiğin dayanıklılığı kesitsel geometrik analizde J^3 (I eğilme için, J burulma için kullanılır) ile gösterilmektedir (Ruff ve Hayes, 1983; Larsen, 2002). Bu çalışmada J , herhangi bir iki dikey düzlemdeki ortalama eğilme değişmezliğinin burulma değişmezliğine oranını vermek için kullanılmıştır (Ruff ve Hayes, 1983). J , kirişin ya da kemiğin toplam değişmezliğini vermesi açısından da önemlidir (Ruff, 2008).

Bu araştırmada kesitin geometrik karakterleri yanında kesitten elde edilen morfolojik özelliklere de bakılmıştır. Bunlar kortikal alan (CA), subperiostal alan (TA)- kesitin dış çevresini çevreleyen alan- ve kemik iliği boşluğu (MA-medüller boşluk) ve $[(CA/TA) \times 100]$ formülüyle bulunan kortikal alan yüzdesidir (Ruff, 2008). Yukarıda bahsi geçen tüm kesitsel karakterler kemiğin kesitte dağılımını vererek kemiğin irilik ve dayanımı hakkında bizlerin yorum yapmasına olanak sağlamaktadır.

Kemik kesit görüntülerinden elde edilen biyomekanik karakter verilerinin yalnızca mekanik yüklenmeye bağlı olduğunu söyleyebilmek için beden boyutlarıyla

³ Burulma zorlanması mekanikte kesme gerilmesi yaratır ve $T_{xy} = T_z \rho / J$ formülü ile bulunmaktadır (Ruff ve Hayes, 1983). T_{xy} : birim alana etki eden kesme gerilmesini, T_z : z eksenindeki kesme gerilmesini, ρ : birim alanın merkezden uzaklığı, J : polar atalet momentini (burulmaya maruz bırakılan materyalin dayanma derecesini veren moment) temsil etmektedir.

standardize edilmesi gereklidir. Bunun sebebi, beden boyutunun hem hareket sisteminin eksenel yüklenmesini hem de alt üye üzerindeki burulma ve eğilme yüklenmelerini doğrudan etkilemesinden kaynaklanır (Ruff v.d., 1993). Dolayısıyla kemiğin direncinin ölçüldüğü kesitsel analiz çalışmalarında beden boyutu da göz önünde bulundurulmalıdır (Ruff v.d., 1993; Trinkaus v.d., 1994; Trinkaus ve Ruff, 1999; Ruff v.d., 1997). Çalışmanın materyalini oluşturan Resuloğlu topluluğuna ait bireylerin beden kütlesini elde etmek için eklem yerlerinden alınan genişlik ölçüleri tercih edilmiştir. Beden kütlesi, alt üyelerin beden boyutunu vermesi açısından önem arz ettiği için çalışmaya dâhil edilen femurların beden boyutu femur başının genişliğinden alınmıştır. Femur başının çapı (mm) aşağıda yer alan regresyon formüllerine yerleştirilerek bulunan kg değerlerinin ortalaması bireylerin beden kütlesi olarak kabul edilmiştir (Auerbach ve Ruff, 2004; Ruff v.d., 2006; Stock ve Macintosh, 2016; Grine v.d., 1995; McHenry, 1992; Ruff v.d., 1991):

$$(1) \text{ Beden Kütlesi} = 2,741 \times \text{Femur başının çapı} - 54,9 \text{ (erkekler);}$$
$$\text{Beden Kütlesi} = 2,426 \times \text{Femur başının çapı} - 35,1 \text{ (kadınlar)}$$

$$(2) \text{ Beden Kütlesi} = 2,239 \times \text{Femur başının çapı} - 39,9$$

$$(3) \text{ Beden Kütlesi} = 2,268 \times \text{Femur başının çapı} - 36,5$$

Femur kemiği dışında bazı bireylere ait sadece tibia kemiği bulunmaktadır. Bu bireylere ait tibia kemiklerinden beden kütlesi hesaplaması, Hartwig-Scherer'in (1993) *Homo* ve Afrikalı kuyruksuz büyük maymunların çeşitli uzun kemikleri üzerinde ortaya koyduğu formüller temel alınmıştır. Buna göre Resuloğlu insanların tibia kemiklerinden beden kütlesi hesaplamasında aşağıdaki formül kullanılmıştır:

$$\text{Beden Kütlesi} = 1,590 \times \text{Log}_{10}(\text{tibia orta noktasının çevresi}) + 1,704$$

Elde edilen tüm biyomekanik karakterler PASW Statistics 18 programına aktararak analiz edilmiştir. Değerlerin cinsiyetler arası ve sağ-sol kullanımının farklılığını bulmak için iki ana kütlenin dağılımlarının karşılaştırılmasında kullanılan parametrik olmayan *Mann-Witney U* testinden yararlanılmıştır.



BEŞİNCİ BÖLÜM

BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

5.1. BİYOMEKANİK ANALİZLER

Bu çalışmada ele alınan uzun kemiklerden elde edilen kesitsel geometrik değerlerinin ham hali Tablo 5.1, Tablo 5.2 ve Tablo 5.3'te verilmiştir. Verilen değerler femur kemikleri için diafiz %50 ve %80'inci noktalarına, humerus kemiği için %35'inci noktasına ve tibia kemiği için %50'inci noktasına aittir. Bunun sebebi, mekanik yüklenme derecesinin alt ekstremitede en iyi kemik diafizlerinin orta noktasından, üst ekstremitede ise humerus kemik diafizinin distal ucundan hesaplanmasıdır (Ruff, 2002, 2005).

Tablo 5.1 : Resuloğlu bireylerinin femur kemiklerinin %50 ve %80 noktalarına ait kesit ölçüleri.

	Yer	Yön	TA	CA	I_x	I_y	I_{max}	I_{min}	J
M17(3)	%50	Sağ	1029	609	4839	9227	1022	384	1406
M17(3)	%80	Sağ	418	340	1338	1366	1366	1338	2704
M36	%50	Sağ	580	491	2870	2449	2908	2411	5319
M36	%50	Sol	1585	966	1085	2612	2628	1068	3697
M36	%80	Sol	617	536	2497	3682	3880	2300	6180
M60	%50	Sağ	913	292	2644	4970	5257	2357	7615
M60	%80	Sağ	454	305	1422	1542	1700	1264	2965
M60	%50	Sol	555	298	1927	1959	2276	1609	3886
M60	%80	Sol	493	303	1572	1847	2156	1263	3420
M66	%80	Sol	410	340	1510	1111	1522	1099	2622
M81	%50	Sağ	624	528	2376	4031	4224	2182	6407
M81	%80	Sağ	1253	871	6588	1601	1619	6411	2260
M126	%50	Sağ	795	418	3913	4196	4675	3434	8110
M130	%50	Sol	1437	745	8077	2629	2900	5365	3437
M130	%80	Sol	568	397	2298	2589	3065	1822	4888
M144	%50	Sağ	706	539	3649	3844	3845	3648	7494
M144	%50	Sol	645	505	3110	3224	3224	3110	6334
M149	%50	Sol	414	301	1228	1346	1436	1137	2574
M149	%80	Sol	1006	429	3997	6406	6465	3938	1040
M171(2)	%50	Sağ	1275	504	5129	1342	1396	4594	1855
M171(2)	%50	Sağ	517	397	1684	2527	2671	1541	4212

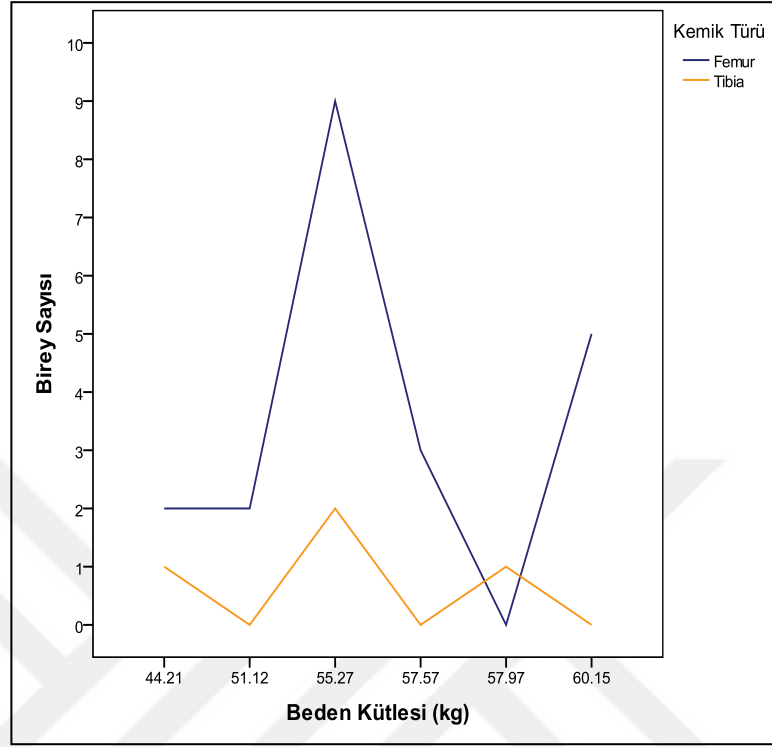
Tablo 5.2 : Resuloğlu bireylerinin humerus kemiklerinin %35 noktasına ait kesit ölçüleri.

	Yön	TA	CA	I_x	I_y	I_{max}	I_{min}	J
ebts2	Sağ	296	247	7877	6521	8004	6393	1439
M7	Sol	220	152	3920	3247	4028	3139	7168
M8	Sağ	215	148	3478	3282	3531	3229	6761
M8	Sol	208	135	3368	2764	3369	2763	6132
M11	Sol	231	160	4257	3578	4669	3166	7836
M21	Sol	182	161	3012	2302	3084	2229	5314
M28(1)	Sağ	352	255	9993	8701	1037	832	1869
M28(1)	Sol	361	296	1050	9743	1063	9615	2024
M28(2)	Sol	261	171	4647	5176	5240	4584	9824
M41(2)	Sağ	218	161	3702	3452	3967	3187	7154
M66	Sol	213	159	3416	3573	3729	3261	6990
M126	Sağ	187	161	3012	2658	3148	2522	5671
M127(2)	Sağ	244	174	5563	3536	5592	3507	9100
M149	Sol	236	144	4151	3594	4313	3432	7745
M169	Sol	253	175	5215	4410	5913	3712	9626
M171(2)	Sağ	294	246	7672	6145	7697	6120	1381
M185(1)	Sol	177	136	2632	2318	2871	2079	4950
M196(alt)	Sağ	203	152	3013	3287	3299	3002	6301
M196(üst)	Sol	256	191	5275	4860	5327	4808	1013

Tablo 5.3 : Resuloğlu bireylerinin tibia kemiklerinin %50 noktasına ait kesit ölçüleri.

	Yön	TA	CA	I_x	I_y	I_{max}	I_{min}	J
ebts3	Sol	306	208	9817	5181	1014	485	1499
M149	Sol	344	217	1365	5613	1437	489	1927
M171(2)	Sağ	443	299	1733	1292	2076	948	3025
M195	Sol	448	352	2553	1033	2651	936	3587

Mekanik yüklenme dışında alt üyelerin kesit şekil ve boyutunun oluşmasında beden kütlesi ve kemik uzunluğunun etkili olduğu bilinmektedir (Ruff v.d., 1997; Ruff, 2000, 2003). Bu sebeple çalışmada femur ve tibia kemiklerinin beden kütlesi hesaplanmıştır. Bulunan değerler Şekil 5.1’de verilmiştir. Bu şekilden görüleceği üzere tibia kemiğinden elde edilen beden kütleleri femur kemiğine göre düşük değerlerle temsil edilmektedir. Hesaplamaya dâhil edilen 25 uzun kemik arasında beden kütlesi en yüksek olan birey 60,15 kg iken en düşük olan birey 44,21 kg olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.1 : Çalışılan femur ve tibia kemiklerinin beden boyut değerleri.

Alt ekstremitelerden elde edilen beden boyutu bilgisi Tablo 5.1 ve 5.3'te verilen geometrik kesitsel değerlerle standardize edilmiştir. Bu işlem için kullanılan tüm formül ve ortalamalar Tablo 5.4'te görülmektedir. Üst ekstremitelerin vücudu taşıma görevi olmaması sebebiyle humerus kemiği standardizasyonunda kemik uzunluğu kullanılmıştır (Ruff, 1987). Tablo 5.4'te ham verilerin formüllere işlenmiş hallerinin cinsiyet gözetmeden ortalamaları sunulmuştur. İncelenen parametrelerden toplam subperiostal alan (TA), kortikal alan (CA) ve polar atalet momenti (J) ortalamaları en yüksek femur kemiğinde iken I_{max}/I_{min} oranı en yüksek olan kemik tibia'dır.

Tablo 5.4 : Resuloğlu topluluğuna ait kemiklerden alınan ölçümleri standardize etmek için kullanılan formüller ve elde edilen sonuçlar.

	Özellikler	Ortalama
Humerus	TA/uzunluk ³	105,15
(n = 19)	CA/ uzunluk ³	76,39
	$I_{max}/uzunluk^{5.33*}$	42,51
	$I_{min}/uzunluk^{5.33*}$	37,72
	$J/ uzunluk^{5.33*}$	56,42
	I_{max}/I_{min}	1,26
	PCA	%74,20
Femur	TA/BK	139,36
(n = 21)	CA/ BK	82,21
	$I_{max}/(BK \times uzunluk^2)^{**}$	576,14
	$I_{min}/(BK \times uzunluk^2)^{**}$	278,74
	$J/(BK \times uzunluk^2)^{**}$	357,98
	I_{max}/I_{min}	1,96
	PCA	63,82
	$Z_p/(BK \times uzunluk)$	117,22
	$Z_{max}/(BK \times uzunluk)$	137,62
	$Z_{min}/(BK \times uzunluk)$	94,94
Tibia	TA/BK	66,41
(n = 4)	CA/BK	51,39
	$I_{max}/(BK \times uzunluk^2)^{**}$	381,36
	$I_{min}/(BK \times uzunluk^2)^{**}$	167,84
	$J/(BK \times uzunluk^2)^{**}$	311,92
	I_{max}/I_{min}	2,3
	PCA	74,88
	$Z_p/(BK \times uzunluk)$	92,15
	$Z_{max}/(BK \times uzunluk)$	65,34
	$Z_{min}/(BK \times uzunluk)$	44,55

*: Ruff ve ark., 1993; Ruff, 2008

** : Marchi, 2006; Ruff, 2008; Shaw ve Stock, 2009

Bedene uygulanan kuvvete karşı kemiklerin gösterdiği direnci ölçen kesit modülü (Z_p), maksimum ve minimum kesit modülü (Z_{max} , Z_{min}) beden kütlesi ve kemik uzunluğunun çarpımına bölünmesiyle standardize edilirken, sertlik ölçümü için kullanılan I_{max} , I_{min} ve J ise beden kütlesinin uzunluğun karesiyle çarpımına bölünerek elde edilmektedir (Marchi, 2006; Ruff, 2008; Shaw ve Stock, 2009). Bu standardize prosedürü tibia ve femur için uygulanırken, humerus kemiği beden kütlesini taşınamaması sebebiyle, sadece kemik uzunluğunun 5,33 üssü ile standardize

edilmiştir (Ruff v.d., 1993; Ruff, 2008). Standardize edilen kesitsel geometrik değerler Tablo 5.5, 5.6 ve 5.7’de sunulmuştur.

Tablo 5.5 : Resuloğlu topluluğuna ait femur kemiklerinin standardize edilmiş ölçüleri*.

	Yer	Yön	TA st	CA st	I _{max} st	I _{min} st	J st	I _{max} /I _{min} st
M17(3)	%50	Sağ	72,99	58,04	146,67	150,28	296,98	1,02
M17(3)	%80	Sağ	193,13	108,62	510,14	122,49	173,51	2,74
M36	%50	Sağ	93,34	77,95	295,97	259,57	555,50	1,20
M36	%50	Sol	118,83	100,85	300,47	484,41	78,48	1,70
M36	%80	Sol	289,91	167,83	1194,20	294,33	413,76	2,46
M60	%50	Sağ	80,99	51,95	176,07	186,18	362,26	1,35
M60	%80	Sağ	163,27	44,71	241,33	596,73	83,80	2,52
M60	%50	Sol	82,62	56,92	209,09	183,99	393,08	1,20
M60	%80	Sol	99,44	49,66	216,75	246,41	463,16	1,34
M66	%80	Sol	70,39	56,89	169,38	130,06	299,45	1,39
M81	%50	Sağ	100,76	83,70	306,40	60,15	907,97	1,96
M81	%80	Sağ	202,40	131,44	825,35	225,57	308,11	2,75
M126	%50	Sağ	137,63	67,93	429,16	531,68	96,08	1,38
M130	%50	Sol	96,58	65,46	301,44	451,17	75,26	1,68
M130	%80	Sol	245,35	121,79	955,39	432,78	528,32	5,40
M144	%50	Sağ	111,70	82,47	297,00	315,75	612,76	1,06
M144	%50	Sol	110,03	84,45	304,36	313,71	618,07	1,03
M149	%50	Sol	72,83	51,42	150,20	173,62	323,83	1,26
M149	%80	Sol	178,74	71,34	505,27	76,34	126,87	2,84
M171(2)	%50	Sağ	116,32	87,19	209,18	351,62	560,80	1,75
M171(2)	%50	Sağ	289,31	105,97	573,86	181,17	239,54	3,19

* st: standardize

Tablo 5.6 : Resuloğlu topluluğuna ait humerus kemiklerinin standardize edilmiş ölçüleri.

	Yön	TA st	CA st	I _{max} st	I _{min} st	J st	I _{max} /I _{min} st
ebts2	Sağ	122,80	102,45	61,20	48,88	11,01	1,25
M7	Sol	108,40	75,03	41,72	32,52	74,24	1,28
M8	Sağ	133,10	72,14	35,86	32,80	68,67	1,09
M8	Sol	102,40	66,79	34,89	28,62	63,52	1,21
M11	Sol	105,30	73,14	42,26	28,65	70,91	1,47
M21	Sol	88,52	78,36	31,33	22,65	53,98	1,38
M28(1)	Sağ	121,82	88,41	10,32	82,82	18,60	0,12
M28(1)	Sol	143,50	117,75	75,56	68,32	72,82	1,10
M28(2)	Sol	99,60	65,50	34,64	30,30	64,94	1,14
M41(2)	Sağ	86,15	63,50	27,68	22,23	49,92	1,24
M66	Sol	113,49	84,54	44,36	38,79	83,15	1,14
M126	Sağ	38,96	33,58	70,37	56,38	12,67	1,24

M127(2)	Sağ	105,67	75,57	46,05	28,88	74,94	1,59
M149	Sol	134,82	82,47	57,94	46,11	10,40	1,25
M169	Sol	126,75	86,09	61,25	38,45	99,70	1,59
M171(2)	Sağ	113,73	94,98	51,80	41,19	92,99	1,25
M185(1)	Sol	72,20	55,52	21,15	15,32	36,48	1,38
M196(alt)	Sağ	87,80	66,06	27,16	24,72	51,89	1,09
M196(üst)	Sol	93,00	69,61	32,21	29,07	61,29	1,10

Tablo 5.7 : Resuloğlu topluluğuna ait tibia kemiklerinin standardize edilmiş ölçüleri.

	Yön	TA st	CA st	I_{max}^{st}	I_{min}^{st}	J^{st}	I_{max}/I_{min}^{st}
ebts3	Sol	53,86	37,66	375,85	170,96	260,10	2,19
M149	Sol	62,30	39,42	363,86	181,54	353,65	2,00
M171(2)	Sağ	73,90	67,72	399,29	182,37	581,66	2,18
M195	Sol	75,61	60,78	386,46	136,52	52,29	2,83

5.1.1. Humerus Kemisinin Kesitsel Geometrik Özellik

Bulguları

Resuloğlu topluluğunda çalışılan humerus kemiklerine ait kesitsel değerler cinsiyetler açısından karşılaştırmalı olarak ele alınmıştır. Tablo 5.8’de görüleceği üzere kadınlardaki sağ humerus atalet momenti ve I_{max}/I_{min} ölçüleri hariç araştırılan tüm özellik ortalamaları erkeklerde daha yüksek sayısal değerler göstermektedir. Standardize edilmiş kortikal alan verileri Mann-Whitney U testine tabi tutulduğunda, cinsiyetler arası farklılığın CA parametresi için anlamlı olduğu ($p= 0,009$) bulunmuştur. Bu durum kesitteki basma ve çekme yüklenmesine karşı kemiğin direncini veren CA açısından incelendiğinde, erkeklerin daha yüksek humerus CA değerine sahip olması, bu cinsiyetteki bireylerin adölesan yaşta iken daha fazla kas yapısı geliştirme ile ilişkilendirilen basma-çekme yüklenmesine daha fazla maruz kaldığını, dolayısıyla Resuloğlu topluluğunda erkeklerin kollarına binen yükün kadınlara göre daha fazla olduğunu göstermektedir (Auerbach ve Ruff, 2006). Eğilme ve burulma yüklenmesine karşı gösterilen direnci temsil eden J değerinin kadın bireylerin sağ humerus kemiğinde yüksek çıkması, kadın bireylerin sağ humerus kemiğine binen yükün erkek bireylere göre daha fazla olduğunu göstermektedir. Ancak bu değer için istatistikler anlamlılık taşımamaktadır. Bir diğer parametremiz olan ‘şekil indeksi’ olarak kullanılan I_{max}/I_{min} değeri kadın bireylerin

sağ humerus kemiğinde erkek birey ortalamasından daha yüksek çıkması, kadın bireylerin sağ humerusunun anteroposterior dayanıklılığının fazla olduğu anlamına gelmektedir. Bu durum Resuloğlu topluluğunun kadınlarının kollarını yukarı-aşağı hareketleri içeren kazma gibi eylemleri sıklıkla sağ kollarıyla yaptığını ifade ederken, erkeklerde sol humerus kemiğine ait I_{max}/I_{min} değerlerin kadın bireylere yakın ve yüksek olması, benzer hareketleri erkeklerin sol kollarıyla yaptığını göstermektedir.

Tablo 5.8 : Humerus kemiklerinde cinsiyete göre TA, J ve I_{max}/I_{min} ortalamaları.

Bölge	Kadın			Erkek			P
	N	Ortalama	SD	N	Ortalama	SD	
TA*	13	98,58	24,95	6	119,40	18,34	0,06
Sağ Humerus	4	90,97	39,66	4	111,53	16,3	0,38
Sol Humerus	9	101,97	17,38	2	135,12	11,8	0,59
J**	13	55,77	23,01	6	57,83	37,36	0,72
Sağ Humerus	4	51,55	28,01	4	43,62	27,39	0,77
Sol Humerus	9	57,65	22	2	86,26	19	0,99
I_{max}/I_{min}	13	1,27	0,14	6	1,06	0,49	0,43
Sağ Humerus	4	1,29	0,21	4	0,92	0,54	0,65
Sol Humerus	9	1,26	0,12	2	1,34	0,34	0,90
CA***	13	68,90	13,23	6	92,62	17,31	0,009
Sağ Humerus	4	61,20	19	4	87,97	15,69	0,08
Sol Humerus	9	72,33	37,83	2	101,92	22,38	0,34

*TA/uzunluk³

**J/(BK X uzunluk²)

***CA/ uzunluk³

Cinsiyetler arası farklılığının yanı sıra sağ-sol humerus kemiği kullanım farklılığı da Tablo 5.8'den incelenebilmektedir. Bakıldığında kadınlarda I_{max}/I_{min} hariç tüm değerler cinsiyet gözetmeksizin sol humerus kemiğinde yüksektir. Bu durum hayvancılık yanında ziraatle de uğraşan Resuloğlu topluluğunun sol kollarına binen çeşitli yüklerin daha yüksek olduğunu ifade etmektedir. Bu durum, bizleri Resuloğlu topluluk insanların ekme, biçme, kazma gibi kol hareketlerini sağ kol yanında yoğunlukla sol kolunu kullanarak yaptığını düşündürmektedir. Benzer duruma bahçecilikle uğraşan Illinois insanların da karşılaşılmaktadır (Bridges v.d., 2000). Ancak Resuloğlu topluluğu için sağ-sol kol kullanım farklılığının istatistiksel olarak anlamlılık göstermediği bulgusu göz ardı edilmemelidir.

5.1.2. Alt Ekstremitte Kemiklerinin Kesitsel Geometrik Özellik Bulguları

Resuloğlu topluluğunun alt ekstremitte kesitsel özellik değerleri kadın ve erkeklerde karşılaştırmalı olarak Tablo 5.9'da sunulmuştur. İncelenen TA ve CA özelliklerinin cinsiyetler arasındaki farklılık istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (sırasıyla $p=0,04$, $p=0,03$). Erkekler için değerlerin çoğunlukla kadınların sahip olduğu kesitsel özelliklerden daha yüksek olması femur kemiği ele alındığında erkeklerin alt ekstremitelerine binen yükün daha fazla olduğunu göstermektedir. Bu durum hayvancılık ve ziraat ile uğraşan Resuloğlu topluluğuna ait erkek bireylerin uzun mesafe yolculukları ya da koşma, zorlu arazilerde yürüme gibi hareketleri sıklıkla yaptıklarını akla getirmektedir (Ruff, 2005, 2008).

Tablo 5.9 : Alt ekstremitelerde cinsiyete göre TA, J, I_{max}/I_{min} , Z_p ve CA ortalamaları.

Bölge		Kadın			Erkek			P
		N	Ortalama	SD	N	Ortalama	SD	
Femur(%50)	TA	7	87,71*	23,73	6	108,49	9,69	0,04
	J	7	263,84	126,53	6	555,59	267,95	0,66
	I_{max}/I_{min}	7	1,32	0,20	6	1,45**	0,40	0,61
	Z_p	7	118,75	39,32	6	163,35	17,80	0,06
	CA	7	58,37	6,26	6	86,10	7,83	0,03
Femur(%80)	TA	5	175,98	52,75	3	260,54	50,35	0,05
	J	5	275,13	205,16	3	320,47	87,76	0,10
	I_{max}/I_{min}	5	2,96**	1,48	3	2,80	0,36	0,88
	Z_p	5	103,65	67,60	3	43,99	9,64	0,29
	CA	5	79,22	34,65	3	135,08	31,09	0,10
Tibia(%50)	TA	3	63,92	10,96	1	73,90	-	0,65
	J	3	222,01	154,24	1	581,66	-	0,18
	I_{max}/I_{min}	3	2,34**	0,43	1	2,18	-	0,65
	Z_p	3	79,33	22,67	1	130	-	0,18
	CA	3	45,95	12,87	1	67,72	-	0,18

*: İstatistiksel olarak anlamlı değerlere ait satır koyu ile belirtilmiştir.

**: Cinsiyetler arasında yüksek olan değer

Tibia kemiklerinde kadın ve erkek bireyler arasında gösterdiği şekilsel ve yüklenmeye bağlı farklılık istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Ancak tibia kemiğine ait bir erkek birey olması göz ardı edildiğinde, A-P ya da M-L yüklenmelerinden hangisinin daha etkili olduğunu göstermede kullanılan I_{max}/I_{min}

değerinin kadın bireylerde daha yüksek olduğu gözlenmektedir. Yine istatistiksel olarak cinsiyetler arasındaki farklılığın anlamlı olmamasına rağmen femur kemiğinin %80 ölçüm noktasından alınan I_{max}/I_{min} değerinin kadın bireylerde yüksek olması, erkek bireylerde yüksek çıkan femur CA ve TA verileriyle karşılaştırıldığında, alt ekstremitte kullanımının toplulukta cinsiyetler arasında dengeliye yakın bir dağılım gösterdiğinden söz edilebilir.

5.1.3. Diafizyal Yüklenme ve İrilik

Kortikal alan (CA), basma-çekme yüklenmesinin büyüklüğü hakkında bizlere bilgi vermektedir (Ruff, 2005). Yüksek değerler kalın kortikal kemiğe karşı küçük medüller boşluğu belirtmektedir. Bu değer özellikle irilik ve kemiğin fazla yüke karşı gösterdiği dayanıklılığın yorumlanmasında kullanılmıştır. Tablo 5.9 incelendiğinde Resuloğlu topluluğunda femur kemiği için CA değerinin kadınlarda ortalama 58,69 iken erkeklerde 70,65 olduğu görülür ($p=0,03$). Bu durum erkek bireylerin femur kemiğine binen yükün kadınlara göre daha fazla olduğunu dolayısıyla erkek bireylerin alt ekstremiteye dayanan yürüme, koşma gibi hareketleri daha fazla yaptığı söylenebilir. Femur kemiği dikkate alındığında cinsiyetler arası farkın istatistiksel olarak anlamlı bulunması, Resuloğlu topluluğundaki erkeklerin alt ekstremitelerini kadınlara göre daha fazla kullandığını söyleyebiliriz. İrilik bir diğer ölçüm birimi olarak kullanılan polar kesit modülü (Zp) burulma ve eğilme yüklenmesine karşı kemiğin gösterdiği dayanıklılığı yansıtmaktadır. CA'da olduğu gibi bu değer de Resuloğlu topluluğuna ait erkek bireylerde daha yüksektir. Ancak istatistiksel olarak bu fark anlamlı bulunmamıştır. Dolayısıyla irilik söz konusu olduğunda CA değeri hariç diğer parametrelerin cinsiyetler arasında yüksek oranda fark göstermediği söylenebilir.

5.1.4. Diafiz Formu

Jungers ve Minns, (1979) I_{max}/I_{min} oranını 'şekil' indeksi olarak tanımlanmıştır. Bu oran 1'e yaklaştıkça kemik kesitinin dairesel şekil olduğu anlaşılırken, oran 1'den büyük bir sayı olduğunda kesit şeklinin elipse yakın olduğu

söylenmektedir (Ruff, 1987; Brock ve Ruff, 1988). 1'den küçük değerler ise kesitin mediyolateral yönde genişleme yaşadığını göstermektedir (Ruff, Larsen ve Hayes, 1984).

Standardize edilmiş I_{max}/I_{min} oranları Tablo 5.8 ve 5.9'da verilmişti. Buna göre Resuloğlu topluluğunun alt ekstremitelerde 'şekil' indeksinin femur diafizi hariç kadınlarda 1'den daha yüksek oranda olduğu görülmektedir. Kadınlarda femur kemiğinin %80'nci ölçüm noktası ve tibia ortalamalarının erkeklerden yüksek olması bu kemiklere yapılan yüklenmenin kadınlarda mediyolateral yönde daha fazla olduğunu anlatmaktadır. Sağ-sol gözetmeksizin femur kemiği %80'nci noktasının cinsiyetler arası gösterdiği I_{max}/I_{min} farklılığının p değeri 0,88 iken tibialarda bu değer 0,65'tir. Üst üyede ise erkek bireylere ait sol humerus kemiği I_{max}/I_{min} oranı daha yüksek iken sağ humerus kemiği I_{max}/I_{min} oranı kadınlarda daha yüksektir. Bu da ortalamalara bağlı olarak kadınların sağ kol %35'inci noktaya denk gelen bölgeye yapılan yüklenmenin kemikte mediyolateral şekil değişimine daha fazla yol açtığı söylenebilir. Humerus kemiğine ait I_{max}/I_{min} değerinin cinsiyetler arası gösterdiği farkın p değeri 0,43 çıkmıştır. Bu da cinsiyetler arası I_{max}/I_{min} değerlerindeki farkın istatistiksel olarak anlamlı olmadığını ancak humerus kemiğinin alt ekstremitte kemiklerine göre daha anlamlı sonuç verdiğini yansıtmaktadır.

5.1.5. Uzun Kemik Kesitlerinde Seksüel Dimorfizm

Yüklenmenin cinsiyetler arası gösterdiği farklılık femur diafizinin A-P/M-L eğilme değişmezliğine bakılarak da yorumlanmaktadır (Ruff, 1987; Ruff v.d., 1993; Trinkaus ve Ruff, 1999; Ruff, 2005; 2008). Tüm kesitsel geometrik özelliklerde incelenebilen bu durum için [(erkekler - kadınlar) / kadınlar] x 100 formülü kullanılmıştır (Stock ve Pfeiffer, 2004; Ruff, 2005).

Humerus kemiğine ait seksüel dimorfizm oranları Tablo 5.10'da verilmiştir. Buradan görüleceği üzere kesitsel özelliklerden yalnız kortikal kemik dağılımı cinsiyetler arası belirgine yakın bir farklılık göstermektedir (%34,4). Sağ-sol

humerus kullanımı arasındaki seksüel dimorfizm oranlarında ise ise sol humerus kemiği polar atalet momenti seksüel dimorfik iken cinsiyetler arası polar atalet momenti farklılığı yok denecek seviyededir (%3,7). Yüklenmenin büyüklüğünü ölçmemize yarayan I_{max}/I_{min} değerinin cinsiyetler arasında gösterdiği yüzde farklılık sol humerus kemiğinde ikinci en düşük değeri taşımaktadır. Humerus kemiğinin kesitsel geometrik özelliklerinde incelediğimiz seksüel dimorfizm yüzdelere genel olarak baktığımızda Resuloğlu topluluğunun humeruslarının seksüel dimorfik olmadığı söylenebilir.

Tablo 5.10 : Humerus kemiğinin TA, CA, J ve I_{max}/I_{min} değerleri için %SD (seksüel dimorfizm yüzdesi) oranları.

Bölge	%SD*
TA	21,11
Sağ Humerus	22,60
Sol Humerus	32,50
J	3,69
Sağ Humerus	15,48
Sol Humerus	49,60
I_{max}/I_{min}	19,81
Sağ Humerus	22,23
Sol Humerus	6,34
CA	34,42
Sağ Humerus	43,74
Sol Humerus	40,90

*%SD: Seksüel dimorfizm yüzdesi

Tablo 5.11’de femur ve tibia için verilen seksüel dimorfizmin yüzdelik değerleri incelendiğinde Resuloğlu topluluğunun alt ekstremitelerinin seksüel dimorfik olmadığı ileri sürülebilir. Ancak dayanıklılık ölçümüne yarayan Zp değeri cinsiyetler arasında tibia için yüksek farklılık göstermektedir. Aynı değerin Tablo 5.9’da yer alan tibia kemiği verilerinin cinsiyetler arası gösterdiği fark istatistiksel olarak anlam ifade etmemektedir. Böylesi bir farkın nereden kaynaklandığını bulmak için ise daha detaylı ileri çalışmaların gerektiği rahatlıkla söylenebilir.

Tablo 5.11 : Femur ve tibia kemiklerinin TA, J , I_{max}/I_{min} ve Z_p değerleri için %SD (seksüel dimorfizm yüzdesi) oranları.

Bölge		%SD
Femur(%50)	TA	23,69
	J	11,05
	I_{max}/I_{min}	9,84
	Z_p	37,55
Femur(%80)	TA	48,05
	J	16,47
	I_{max}/I_{min}	5,71
	Z_p	13,56
Tibia(%50)	TA	15,61
	J	16,19
	I_{max}/I_{min}	7,33
	Z_p	63,87

5.1.6. Uzun Kemik Kesitlerinde Bilateral Asimetri

Birçok çalışma mekanik faktörlerden etkilenen kemiğin yeniden biçimlenme ve büyümesinin asimetri ile doğrudan ilişkisi olduğunu varsaymaktadır (Auerbach ve Ruff, 2006). Dahası kemiğin fonksiyonel adaptasyonu ile geçmiş dönem insan topluluklarının temel davranış örüntüleri sağ-sol ekstremité kullanımına bakarak tahmin edilmeye çalışılmaktadır (Churchill ve Formicola, 1997; Trinkaus v.d., 1994; Auerbach ve Ruff, 2006; Ruff ve Jones, 1981;).

Bilateral asimetri için burulma ve ortalama eğilme direncini gösteren Z_p değerleri göz önünde tutulmakla birlikte, incelenen bütün kesit özellikleri Auerbach ve Ruff'ın (2006) sol ve sağ gözlemeden her iki taraf değerlerini homojen inceleyen $[(\text{maksimum-minimum}) / (\text{maksimum ve minimumun ortalaması}) \times 100]$ formülü kullanılarak elde edilmiştir. Bulunan bilateral asimetri yüzdeleri Tablo 5.12'de verilmiştir. Bakıldığında cinsiyetler arası sağ-sol kullanımının istatistiksel olarak anlam ifade etmemesine rağmen, humerus kemiğinde J değeri, femur kemiğinde ise J ve I_{max}/I_{min} değerleri anlamlıya yakın bulunmuştur. Diğer kesitlere ait bilateral asimetri yüzdeleri cinsiyetler arasında istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır.

Tablo 5.12 : Cinsiyetler arası bilateral asimetrinin yüzdelerik dağılımları.

Bölge	Özellik	Kadın		Erkek		SD	P
		N	%BA	N	%BA		
Humerus	TA	13	11,03	6	5,59	38,44	0,20
	J	13	15,55	6	16,00	3,21	0,09
	I_{max}/I_{min}	13	5,88	6	3,7	15,20	0,14
Femur(%50)	TA	7	6,15	6	2,40	26,55	0,30
	J	7	13,57	6	16,81	22,93	0,06
	I_{max}/I_{min}	7	4,88	6	6,24	9,56	0,07
	Z_p	7	7,14	6	2	32,82	0,28
Femur(%80)	TA	5	8,46	3	3,55	34,70	0,24
	J	5	14,52	3	5,33	64,98	0,27
	I_{max}/I_{min}	5	12,04	3	2,58	66,88	0,36
	Z_p	5	12,75	3	4,31	59,67	0,29
Tibia(%50)	TA	3	3,36	1	-	-	-
	J	3	14,84	1	-	-	-
	I_{max}/I_{min}	3	34,43	1	-	-	-
	Z_p	3	14,75	1	-	-	-

Tibia kemiği kesitinin biyomekanik özellikleri erkek bireye ait tek bir örneğin olması sebebiyle bilateral asimetrinin hesaplanması için uygun bulunmamıştır.

ALTINCI BÖLÜM

TARTIŞMA

6.1 TARTIŞMA VE SINIRLILIKLAR

Uzun kemik diafizlerinin gün içerisinde maruz kaldığı kuvvetler mekaniğin gerilme, iç kuvvet ve dayanıklılığı tahmin etmeye yarayan kiriş modeli ile aynı özellikleri göstermektedir (Timoshenko ve Gere, 1972; Shighley, 1976). Buna göre dışarıdan materyale uygulanan kuvvet kirişin kesitsel geometrik (şekil, boyut, kemik kütlelerinin dağılımı) özellikleri kullanılarak ölçülebilmektedir (Larsen, 1995; Ruff, 2008; Ruff ve Hayes, 1983; Ruff, 2000). Diğer bir anlatımla merkez noktadan nötr eksenin uzağına doğru artan kortikal kemik dağılımı, değişmezliğin ve dayanıklılığın artması anlamına gelmektedir (Ruff, 2008). Bu yöntem Wolff Kanunu'na dayanmakta olup bizlere iri kemiklerin daha yüksek mekanik yüke maruz kalmış olduğunu göstermektedir. Ancak, antropolojiye uygulanan kiriş modelinin alt yapısını oluşturan kesitsel geometrik analiz yöntemi, çok fazla parametreyi barındırması ve sonuçlarının çoğunlukla istatistiksel olarak anlamlı olmaması sebebiyle eleştirilmektedir (Pearson ve Buikstra, 2006). Yöntemi uygulama sürecinde yapılacak en küçük hata sonuçların değişmesi anlamına gelmektedir. Bunu önlemek adına kemiklerde ölçüm noktaların belirlenmesinden, kemiklerin görüntüleme cihazına yerleştirilmesine, görüntülerin programa uygun hale getirilmesinden, programa yüklenip hesaplamaların yapılmasına dek her aşama araştırmacılar tarafından tekrar tekrar kontrol edilmektedir. Dahası, antropolojide sıklıkla eski insan topluluklarına ait kemikler üzerinde kullanılan bu yöntem, klinik deney sonuçlarıyla desteklenmediği sürece öne sürülen tüm fikirler ihtimalden öteye geçmemektedir (Jurmain, 1999). Konu üzerinde çalışan antropologlar bu durumu önlemek adına çalışma örneklerini günümüz sporcular ile yaşayan primatları kapsayacak şekilde genişletmekte ve kesitsel geometrik analiz yöntemiyle birlikte kemik yoğunluğunu ölçerek bulgularını desteklemektedir. Bu araştırmalara verilebilecek örneklerden biri Narra ve ekibinin (2013) günümüz sporcularının femur başına ait kesit görüntülerini manyetik rezonans cihazı yardımıyla elde ederek, farklı

aktivite türlerinin femur başına yaptığı etkileri incelediği çalışmadır. Bu araştırma dâhilinde çeşitli aktivite derecesine sahip uzun atlama, üç adım atlama, futbol, raketli oyunlar, ağırlık kaldırma, uzun mesafe koşusu ve yüzme spor dallarına mensup 91 kadın atlet incelenmiş ve raketle gerçekleştirilen spor dalları ile futbolcuların femur başı kesitlerinin diğer spor dallarında çalışan sporculardan daha iri olduğu ortaya çıkarılmıştır. Honda ve ekibi (2015) ise farklı aktivitelerin femur kemiğinin orta noktasında yarattığı değişimleri 153 kadın sporcunun femur diafizinin orta noktasının MR cihazı yardımıyla görüntülerini alarak incelemiştir. Çalışma sonucunda yüksek dayanma gerektiren koşu, atlama ve top oyunları dallarında yetişen sporcuların kemik kesitlerinin geniş ve periostal kemik dokusunun fazla olduğu görülmüştür. Aynı sonuçlar ağırlık kaldırma gibi dayanma gerektiren spor dallarıyla ilgilenen atletlerde de rastlanmıştır. Bu çalışmalar, sadece kemik üzerinde gerçekleştirilen araştırma sonuçlarıyla karşılaştırıldığında, kemikleri incelenen bireylerin hangi hareket yapısına sahip olduğuylla ilgili daha detaylı çıkarımlarda bulunulmasını sağlayabilir. Resuloğlu insanların hareket örüntüsünü ortaya çıkarmaya çalışan bu araştırma da, ileride elde edilecek güncel verilerin çalışmaya dâhil edilmesiyle yapılacak değerlendirmelere ihtiyaç duymaktadır. Sınırlılıklarına rağmen kemik şekli, yapısı ve dayanıklılığını ele alan çalışmalar, eski insan topluluklarının hayat şeklini, değişen beden boyutu trendlerinin aydınlatılmasında ümit vaat etmektedir (Pearson ve Buikstra, 2006).

Resuloğlu topluluğunun hareket örüntüsü ve yaşam biçimiyle ilgili çıkarımlar yapmak üzere gerçekleştirilmiş bu çalışmada elde edilen verilerden öncelikle humerus kemiği bulguları değerlendirilmiştir. Humerus kemiği kesit özellikleri Avrupa Bölgesi'ndeki Neolitik ve Üst Paleolitik Dönemleri içeren araştırmalarla karşılaştırılmıştır. Bunun için İtalya'nın Ligurya Bölgesinde yer alan Arene Candide, Arma dell'Aquila ve Pollera mağaralarından elde edilen Neolitik toplulukları (Marchi v.d., 2006) ve Churchill'in (1994) 6'dan fazla farklı yerleşimden elde ettiği Geç Üst Paleolitik Dönem insan kalıntılarına ait verilere başvurulmuştur. Bu ve diğer çalışmalara ait humerus kemiği bulguları Tablo 6.1'de verilmiştir. Kesit özelliklerinden irilik göstergesi olarak kullanılan *J* ve *CA* verileri incelendiğinde, Neolitik Döneme ait erkek humerus değerlerinin Geç Üst Paleolitik Dönem ve Erken

Tunç Resuloğlu insanlarına göre daha yüksek olduğu fark edilmektedir. Bu da Neolitik Dönem erkek bireylerin el işi ve kol gücü gerektiren hareketleri diğer gruplara ait erkek bireylerden daha fazla yaptığı anlamına gelmektedir (Marchi v.d., 2006). Neolitik Dönem insanların yaşam biçimi göz önüne alındığında bu bulgular, kaynak arama gibi alt ekstremite kemiklerinin çokça kullanıldığı davranışlar yerine, el baltasının ağaç kesimi gibi çeşitli işlerde kullanıldığı, Ligurya insanların kollarını kazma, ekim, kesim ve dikim gibi işleri gerçekleştiren hareketleri çokça yaptıklarını düşündürmektedir (Marchi v.d., 2006). Bakıldığında üst ekstremite kemiklerinin diafizyal geometrik özelliklerinden J ve CA değerleri Resuloğlu insanlarında diğer gruplara göre daha düşük seyretmektedir. Bu durum genel olarak Resuloğlu insanların kollarına binen yükün karşılaştırılan diğer insan toplulukları kadar yüksek olmadığını göstermektedir. Ancak bu değerler bakıldığında Stock ve Pfeiffer'in (2001) Geç Paleolitik Dönem Güney Afrika insanları ve Andaman ada sakinlerinde gerçekleştirdiği çalışma bulgularıyla benzerlik göstermektedir. Buna göre Andaman ada sakinlerinin CA değerleri erkek ve kadın bireylerde sırasıyla 80,29 ile 71,29 iken bu değerler Geç Paleolitik Güney Afrika insanlarında 67,21 ile 58,46'dır. Bu parametre Resuloğlu insanlarında 92,62'ye 68,90'dır. Aynı topluluklar J değerleri açısından incelendiğinde, veriler Andaman ada sakinlerinde 71,63, 58,05 iken Geç Paleolitik Güney Afrika insanlarında bu durum 50,36, 39,43'dır. 57,83, 55,77 ile Resuloğlu insanların üst ekstremite CA ve J değerleri erkek bireylerin J değeri haricinde Andaman ada sakinleriyle benzerlik göstermektedir.

Tablo 6.1'e bakıldığında, Resuloğlu topluluğuna ait humerus değerlerinin sol tarafta daha yüksek olduğu dikkat çekmektedir. Perelle ve Ehrman'ın (1994), 13'den fazla ülkede gerçekleştirdiği çalışmada insanların %9,5'inin yazmak için sol elini tercih ederken, geri kalan %89,6'sının sağ elini tercih ettiği anlaşılmıştır. Sağ elin yazma için daha fazla tercih edilmesi toplumların sahip olduğu eğitim sistemiyle yakından alakalı olduğu düşünüldüğünde Raymond ve Pontier'in (2004) bir milyondan fazla insanla gerçekleştirdiği çalışmada %4 ile %28 arasında değişen oranda insanın evrensel olan fırlatma ve çekiçleme hareketini sol elle gerçekleştirdiğini ortaya koyması şaşırtıcı değildir. Ancak Auerbach ve Ruff (2006)

yapılmış çalışmaların aynı toplulukta tekrarlanmasında bile örneklemin değişmesinden dolayı farklı sonuçların elde edildiğini öne sürmektedirler. Dolayısıyla insanların baskın kullandıkları elleriyle ilgili yapılan çalışmalarda belirli bir örüntü bulunmamaktadır. Bu anlamda toplamda 115 birey ile temsil edilen Resuloğlu topluluğunun 11'i sol, 8'i sağ tarafa ait 19 humerus kemiği verisinin rahatlıkla sol kola ait değerler ortalamasının yüksek olduğu söylenebilir.

Tablo 6.1 : Karşılaştırmalı humerus kemiği istatistikleri.

		Geç Üst Paleolitik				Ligurya Neolitik				Resuloğlu Topluluğu			
		Erkek		Kadın		Erkek		Kadın		Erkek		Kadın	
		Sağ	Sol	Sağ	Sol	Sağ	Sol	Sağ	Sol	Sağ	Sol	Sağ	Sol
Diafizyal Geometrik Karakterler	CA	403,7	337,7	394,9	305,7	409,5	378,0	320,6	317,4	87,97	101,92	61,20	71,33
	I_{max}/I_{min}	-	-	-	-	1,18	1,24	1,22	1,25	0,92	1,34	1,29	1,26
	J	245,5	199,4	237,3	198,8	302,73	246,4	175,2	175,4	43,62	86,26	51,55	57,65
Seksüel Dimorfizm	CA	Sağ 2,23***		Sol 10,47**		Sağ 27,71***		Sol 19,10**		Sağ 43,74		Sol 40,90	
	I_{max}/I_{min}	-		-		Sağ -3,18		Sol -0,87		Sağ 22,23		Sol 16,34	
	J	Sağ 3,44***		Sol 0,29***		Sağ 72,74***		Sol 140,51***		Sağ 15,48		Sol 149,60	
Bilateral Asimetri	CA	25,25***		22,85*		8,03**		1,09*		-		-	
	I_{max}/I_{min}	-		-		-3,26		-2,99		3,7		5,88	
	J	26,93		11,91		15,80		-0,35		16,00		15,55	

* : İncelenen her özelliğin en yüksek değeri koyu ile gösterilmiştir.

** : $P < 0,05$

*** : $P < 0,01$

Tablo 6.1'den görüleceği üzere incelenen gruplar arasında humerus kemiğine uygulanan yüklenmenin cinsiyetler arasında gösterdiği en yüksek farklılık Ligurya Neolitik insanlarında karşımıza çıkmaktadır. Bu da incelenen Ligurya Neolitik insanların cinsiyetler arası iş bölümünün diğer dönem insanlarına göre daha yüksek farklılık gösterdiği anlamına gelmektedir. Resuloğlu toplumu için böyle bir durum söz konusu değildir. Nitekim Duyar ve Atamtürk (2011) tarafından Resuloğlu insanlarına ait kemiklerde yapılan antropolojik incelemeler sonucunda üst ekstremitelerde karşılaşılan patolojilerin cinsiyetler arasında benzer dağılım gösterdiği aktarılmıştır. Bu bulgu çalışmamızdan elde ettiğimiz seksüel dimorfizm

verileriyle uyuşmakta ve üst ekstremiteler dikkate alındığında CA verisi hariç Resuloğlu insanların cinsiyetler arasındaki iş yükü dağılımında belirgin bir farklılık olmadığı doğrulanmaktadır.

Humerus kemiği sağ-sol kullanımına ait *J* ve CA verileri incelendiğinde, Neolitik Dönem insanların her iki koluna da binen yüklerin hemen hemen eşit miktarda olduğu söylenebilir (Tablo 6.1). Marchi ve arkadaşları (2006) bu durumu Paleolitik Dönem avcı-toplayıcıların tek kola yüklenen fırlatma temelli hareketlerinin bu dönemde azalmış olduğu şeklinde yorumlamaktadır. Neolitik Döneme ait erkek bireylerin iri ve görece simetrik humeruslara sahip olması ise bu bireylerin özellikle iki kolunu da kullanarak ağır ve tekrarlı işler (ağaç budama, ekin hasadı, tabaklama vb.) yaptıklarını ortaya koymaktadır (Marchi v.d., 2006). Resuloğlu topluluğu ise Geç Üst Paleolitik insanlarına benzer şekilde asimetrik humeruslara sahiptir (Tablo 6.1). Resuloğlu insanların humeruslarına binen yüklenmenin Ligurya Bölgesi Neolitik insanlarından çok daha az olması, gün içerisinde kolların daha az yüklenmeye maruz kaldığı işlerle uğraştığını göstermektedir. Yine Ligurya Neolitik insanların aksine Resuloğlu topluluğuna ait humerus kemiklerine binen yüklenmenin cinsiyetler arası yüksek farklılık göstermemesi, Resuloğlu topluluğunda üst ekstremiteler göz önüne alındığında kadın ve erkeklerin benzer işleri yaptığı söylenebilir.

Çalışmamızda humerus kemiğinin yanı sıra femur kemiğine ait kesitsel geometrik veriler de diğer çalışma bulgularıyla karşılaştırılmıştır (Tablo 6.2). Bu karşılaştırma için Eski Anadolu topluluklarına ait kemiklerde biyomekanik özellikleri inceleyen tek çalışma olması sebebiyle Larsen ve arkadaşlarının (2013) Çatalhöyük Neolitik Dönem insanlarında gerçekleştirildiği araştırma seçilmiştir. Söz konusu çalışmaya sadece femurlar dâhil edilmiştir. Aynı coğrafya üzerinde yer almaları ve benzer analiz yöntemleri kullanmaları sebebiyle seçilen Çatalhöyük insanlarına ve çalışmamıza ait femur bulguları Tablo 6.2’de yer almaktadır. Burulma ve eğilme dayanıklılığının ölçümünde Z_p , femur orta kesitlerine uygulanan yüklenmenin türünü bulmak için ise Z_x/Z_y (A-P/M-L) verileri kullanılmıştır (Ruff, 1987).

Tablo 6.2, Z_p değerleri açısından incelendiğinde, burulma ve eğilme dayanıklılığının Avrupa Geç Üst Paleolitik Dönemde artış gösterdiği sonrasında Tunç Dönemi'ne gelinceye kadar azalma eğilimi gösterdiği görülmektedir. Bu durum alt ekstremitelere binen yükün zaman içerisinde azaldığı anlamına gelmektedir. Diğer bir ifadeyle göçer avcı-toplayıcılıktan yerleşik yaşam biçimine geçişle değişen hareket örüntüsü alt ekstremitelere binen yükün değişimine sebep olduğunu akla getirmektedir. Dayanıklılık değerleri Resuloğlu Erken Tunç Dönemi insanları açısından incelendiği zaman, verilerin diğer gruplara göre daha yüksek olmakla birlikte Avrupa'nın Geç Üst Paleolitik insanlarıyla benzerlik gösterdiği bulunmuştur (123,5/ 112,46). Buna dayanarak Resuloğlu insanların femurlarına binen mekanik yüklenmenin diğer gruplara göre daha yüksek olduğu söylenebilir.

Tablo 6.2 : Karşılaştırmalı örnekler arasında femur kemiğinin orta kesitine ait eğilme dayanıklılığı ve toplam dayanıklılığının istatistikî özeti.

	Erkek						Kadın					
	Z_p			Zx/Zy			Z_p			Zx/Zy		
	N	Ortl.	SD	N	Ortl.	SD	N	Ortl.	SD	N	Ortl.	SD
Çatalhöyük*	30	95,4	2,3	30	1,04	0,02	31	82,5	2,3	31	0,99	0,01
Erken Üst Paleolitik** (Avrupa)	11	96,7	5,2	11	1,36	0,03	5	93,3	8,9	5	1,36	0,08
Geç Üst Paleolitik** (Avrupa)	14	100,0	3,2	14	1,26	0,05	8	93,0	8,6	8	1,15	0,06
Mezolitik (Avrupa)	30	97,4	2,3	30	1,09	0,02	12	86,9	3,3	12	1,00	0,03
Neolitik (Avrupa)	30	85,7	2,0	30	1,08	0,02	23	81,5	2,9	23	0,98	0,02
Tunç Çağı (Avrupa)***	41	83,6	1,5	41	1,03	0,27	38	72,3	1,7	38	1,00	0,01
Resuloğlu Erken Tunç Topluluğu	9	123,5	61,5	9	1,51	0,60	12	112,46	50,65	12	1,26	0,43

*Larsen ve diğ., 2013

**Holt, 2003

***Sladek ve diğ., 2006

Zx/Zy indeksi temel alındığında, Z_p değerleriyle benzer olarak Avrupa Mezolitiden Tunç Dönemine gelince kadar rakamlarda azalma olduğu dikkat çekmektedir. Bu durum yerleşik hayata geçiş ve azalan hareketlilikle açıklanmaktadır (Ruff, 1981; Ruff v.d., 2006; Larsen v.d., 2013). Resuloğlu topluluğunun erkek bireyleri göz önünde tutulduğunda Zx/Zy indeksi sonuçları Resuloğlu bireylerinin diğer gruplara göre daha mobil/hareketli ya da femura binen yüklenmenin daha yüksek olduğu hareketler gerçekleştirdiklerini göstermektedir.

Tablo 6.3 : Merkez Avrupa bölgesinde Geç Eneolitik ve Erken Tunç Çağı toplulukları ile Resuloğlu topluluğu tibia kemiği I_{max}/I_{min} , CA ve J karşılaştırmalı ortalama değerleri.

	Kadın									Erkek								
	I_{max}/I_{min}			CA			J			I_{max}/I_{min}			CA			J		
	N	Ortl.	SD	N	Ortl.	SD	N	Ortl.	SD	N	Ortl.	SD	N	Ortl.	SD	N	Ortl.	SD
Bell Beaker (Geç Kalkolitik)	5	2.09	1.99	5	48.6	39	5	132	186.8	10	2.27	2.07	10	49.3	17.7	10	154.2	88.4
Cord Ware (Geç Kalkolitik)	9	2.35	2.14	9	46.7	17	9	127	63.2	11	2.52	2.22	11	53.2	19.1	11	173.2	84.4
Únětice (Erken Tunç)	5	2.29	2.04	5	50.1	16	5	145	81.4	6	2.54	2.16	6	47.2	11.3	6	142.0	54.3
Unterwölbling (Erken Tunç)	11	2.14	1.97	11	47.2	16	11	121	51.1	6	2.42	2.21	4	51.5	40.7	4	154.1	132.9
Wieselburger (Erken Tunç)	15	2.09	1.98	15	42.2	10	15	97	34.1	12	2.28	2.05	12	48.4	11.8	12	141.3	52.2
Resuloğlu Erken Tunç Topluluğu	3	2.34	0.43	3	45.9	123	3	222	154.2	1	2.18	-	1	67.7	-	1	581.6	-

Son olarak Resuloğlu topluluğuna ait tibia kemiği kesitsel verileri Sladek ve arkadaşlarının (2006) gerçekleştirdiği çalışma ile karşılaştırılmıştır. Bahsi geçen çalışmada yer alan Únětice, Unterwölbling, Wieselburger toplulukları Erken Tunç Çağına, Bell Beaker ve Corded Ware toplulukları ise Geç Kalkolitik döneme tarihlendirilmektedir. Tibia kesitlerinin geometrik özelliklerinin çalışıldığı en kapsamlı araştırma olması sebebiyle Sladek ve arkadaşlarının çalışması, Resuloğlu topluluğu tibia karşılaştırmasında dikkate alınmıştır. Tablo 6.3'e bakıldığında tibia eğilme değişmezliği diğer bir adıyla 'şekil' indeksi verileri görülmektedir (I_{max}/I_{min}). Daha önceki çalışmalar, göçebe yaşam şeklini benimsemiş topluluklarda daha yüksek maksimum eğilme değişmezliğinin (A-P) varlığı ortaya koymuştur (Ruff, 1987; Lanyon ve Goodship, 1982). Örneğin, Minns ve arkadaşlarının (1977) yaptığı mekanik testlerde yürüme ve yavaş tempoda koşudan ileri gelen hareketin özellikle alt üye kemiklerinin proksimal diafiz bölgesinde meydana gelen maksimum eğilme yüklenmesine işaret ettiği belirtilmektedir. Ruff (1987) bu durumu uzun mesafe yolculuklarını içeren yaşam şekline bağlamaktadır. Tablo 6.3'den görüleceği üzere Corded Ware topluluğuna ait kadın I_{max}/I_{min} oranı en yüksek değeri göstermektedir. Buna karşın Corded Ware ile birlikte Geç Kalkolitik döneme tarihlendirilen bir diğer topluluk olan Bell Beaker insanları ise karşılaştırılan gruplar içerisinde en düşük I_{max}/I_{min} değerlerini taşımaktadır. Resuloğlu topluluğuna ait kadın bireylerin I_{max}/I_{min}

değerleri Geç Kalkolitik Corded Ware insanlarıyla benzerlik gösterirken, Resuloğlu topluluğuna ait erkek bireylerin I_{max}/I_{min} oranı Erken Tunç Dönemi'ne ait Wieselburger topluluğuyla benzer değerleri vermektedir. Bu da hem Corded Ware topluluğunda hem de Resuloğlu topluluğundaki kadın bireylerin erkek bireylerden daha fazla mobil olduğunu, dolayısıyla gün içinde yükün alt ekstremiteye bindiği hareketleri daha fazla gerçekleştirdiğini göstermektedir.

Eğilme/burulma yüklenmesine karşı gösterilen direnç, beden kütlesi ve uzunluğuyla standardize edilmiş polar atalet momentine (J) bakılarak yorumlanmaktadır. Tablo 6.3'de topluluklar arası polar atalet moment değerlerinin, Geç Kalkolitik'ten Erken Tunç Çağına azalma gösterdiğini ortaya koymaktadır. Resuloğlu topluluğuna ait bireylerin diğer topluluklara göre daha yüksek eğilme/burulma iriliğine sahip olması, bahsi geçen durumla örtüşmemektedir. Bu durumun topluluğun yaşadığı yüzey coğrafyasından kaynaklandığı düşünülebilir. Nitekim femur J değerleri dağlık yerleşim yerlerinde ikamet etmiş arkeolojik Kuzey Amerika topluluklarıyla benzer değerler taşımaktadır (Ruff, 1999b) (Resuloğlu Kadın: 263/ Erkek: 555- Karşılaştırma grubu Kadın: 238/ Erkek: 419). Dağlık bölgede zorlu arazi koşullarında yolculuk yapma sonucunda daha fazla mekanik güçle baş etmek daha iri alt üyelere sebep veriyor görünmektedir (Ruff, 1987; Ruff, 1999a, 1999b; Ruff, 2008). Nitekim Resuloğlu yerleşiminin Delice Vadisi'ne uzanan bir yamaç üzerinde yer alması bu durumu açıklamaktadır. Buradan daha kesin sonuçlara ulaşabilmek için kullanılan değerlerin tibia uzunluk ve kütle parametreleriyle analizinin karşılaştırmasını içeren başka çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

SONUÇ

Arkeolojik topluluklarca zengin Anadolu topraklarında tarihöncesinde yaşamış insan kalıntıları üzerinde yaşam stili ve hareket örüntüsünü yeniden bulmaya olanak sağlayan biyomekanik analiz yaklaşımı ülkemizde yalnızca bir çalışmada kullanılmıştır. Bu çalışma 2013 yılında Çatalhöyük insanları üzerinde gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla ülkemizde bu alandaki araştırmaların çok kısıtlı olduğu söylenebilir. Nitekim çalışmamız, Anadolu'daki bir Tunç Dönemi toplumuna ait kemiklerin biyomekanik özelliklerini inceleyen ilk araştırma olma özelliğine sahiptir.

Erken Tunç Dönemi'ne tarihlendirilen Resuloğlu insanlarına ait uzun kemiklerinin kesitsel geometrik özelliklerinin incelendiği bu çalışma, bireylerin ekstremitelerine binen yükün dağılımı, cinsiyetler arası iş bölümü ve sağ-sol kullanımının farklılık gösterip göstermediği, kemik direncinin derecesi bilgisine ulaşmayı amaçlamıştır. Çalışma bulguları, Resuloğlu Erken Tunç dönemine ait insanların kemiklerine binen yükün özellikle alt ekstremitede yoğunlaştığını göstermektedir. Bu durumun Resuloğlu insanların yaşadıkları bölgenin arazi özellikleri, uzun mesafe yolculukları ve sahip oldukları geçim ekonomisine bağlı olarak geliştiği düşünülmektedir. Resuloğlu topluluğunun CA verisi haricinde cinsiyetler arası iş bölümü dağılımı ve sağ-sol kol/bacak kullanımı için incelenen parametreler genel olarak farklılık göstermemektedir.

Eski insan topluluklarının yaşam stili ve hareket örüntüsünü uzun kemik kesitlerinin yapı ve şekline bakarak tahmin etmeye çalışan birçok araştırma bulunmaktadır. Ancak bu çalışmaya dâhil edilen materyalin dönem ve coğrafya bilgisi göz önüne alındığında Marchi ve arkadaşları (2006), Larsen ve arkadaşları (2013) ile Sladek ve arkadaşlarının (2006) çalışma örnekleri Resuloğlu Erken Tunç Çağı Topluluğu ile karşılaştırmaya uygun bulunmuştur.

Erken Tunç Dönemine ait Resuloğlu insanların humerus kemiklerinin kesitsel geometrik değerleri Merkez Avrupa Bölgesi'ne ait çeşitli Geç  st Paleolitik toplulukları ve Liguria Neolitiğiyle karşılaştırılmış, Resuloğlu'na ait humerus irilik ve dayanım değerleri Liguria Neolitik insanlarından daha düşük değerler gösterdiği tespit edilmiştir. Bu bilgi Resuloğlu insanların Liguria Neolitik insanlarından daha az kol gücüne dayanan günlük işler yaptığı anlamına gelmektedir.

Liguria Neolitiği'ne ait insanların humerus kemiğinin kortikal kemik dağılımında cinsiyetler arasında belirgin farklılık bulunurken, Resuloğlu topluluğunda kortikal kemik kalınlığının cinsiyetler arası büyük farklılık göstermediği tespit edilmiştir. Bu da üst ekstremit  dikkate alındığında Liguria Neolitik insanların cinsiyetler arası iş dağılımında farklılık bulunurken, Erken Tunç ağı Resuloğlu insanların cinsiyetler arası iş dağılımında üst ekstremit  göz önüne alındığında büyük farklılık bulunmadığı anlamına gelmektedir ki bu araştırmamızın elde ettiği çarpıcı sonuçlardan birisidir.

Resuloğlu topluluğuna ait femur kemiği irilik değerleri, Mezolitik ve Neolitik Avrupa topluluklarıyla karşılaştırıldığında Resuloğlu bireylerine ait femur kesit değerlerinin daha yüksek sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu da Resuloğlu topluluğuna ait bireylerin gün içerisinde alt ekstremit ye binen yüklenmenin belirgin olduğu hareketleri gerçekleştirdiğini göstermektedir.

 n tice, Unterw bling, Wieselburger topluluklarının Erken Tunç ağı'na, Bell Beaker ve Corded Ware topluluklarının Geç Kalkolitik döneme tarihlendirildiği gruplar arasında tibialar karşılaştırıldığında, Resuloğlu Topluluğunun Avrupa'daki Geç Kalkolitik Dönem Corded Ware insanlarıyla benzer değerler dolayısıyla benzer hareket örüntülerine sahip olduğu bulunmuştur.

Kesit 'şekil' ve 'mobilit ' indeksi olarak kullanılan I_{max}/I_{min} sonuçlarına baktığımızda tibia kemiğine binen yükün Resuloğlu erkek bireylerinde azalma gösterdiği ancak kadın bireyler için tam tersi bir durum söz konusu olduğu

görülmektedir. Bu da Resuloğlu topluluğundaki kadın bireylerin tibia kemiklerine binen yüklenmenin erkeklere göre daha belirgin olduğunu göstermektedir.

Avrupa'daki eski insan topluluklarına ait tibia *J* değerleri Paleolitik Dönemden Tunç Dönemine gelindiğinde azalma eğilimi göstermektedir. Erken Tunç Dönemi Resuloğlu topluluğu *J* değerleri ise daha yüksek rakamlarla temsil edilmektedir. Tibia ve femurun irilik ve dayanım değerleri Resuloğlu topluluğunda Avrupa Neolitik ve Tunç Dönemi insan topluluklarına göre daha yüksek bulunmuştur. Bu durum araştırılan gruba ait alt ekstremitelerin daha fazla mekanik yüklenmeyle başa çıktığını göstermektedir.

Erken Tunç Çağı Resuloğlu topluluğunun daha erken ve geç dönemlerine ait uzun kemik örnekleri ile Anadolu'daki diğer çağdaş toplulukların kemiklerinden alınacak kesitsel geometrik veriler, Anadolu'daki eski insan topluluklarının yaşam şekli ve hareket örüntüsünü ortaya koymamıza yardımcı olacaktır. Bu haliyle Resuloğlu topluluğu için yaptığımız yorumlar çalışmaların kısıtlılığı, karşılaştırılan arkeolojik grupların kapsamlı olmayışı ve örneklemelerin geniş olmaması sebebiyle eksik kaldığı kanısına varılmıştır. Dolayısıyla uzun kemiklerin kesitsel özelliklerinin daha çok araştırılıp incelenmesi ve çalışmaların çeşitlendirilmesi gerektiği belirtilmelidir.

KAYNAKÇA

- Atamtürk, Derya, Duyar, İzzet: “Resuloğlu (Uğurludağ, Çorum) İskeletlerinin Antropolojik Analizi,” **25. Arkeometri Sonuçları Toplantısı**, 2010a, s. 311-328.
- Atamtürk, Derya, Duyar, İzzet: “Resuloğlu Erken Tunç Çağı Topluluğunda Ağız ve Diş Sağlığı,” **Edebiyat Fakültesi Dergisi**, C.27, 2010b, s. 33-52.
- Angel, Lawrence, J.: “The Human Remains from Hotu Cave Iran,” **Proceedings of the American Philosophical Society**, Vol.96, 1952, pp. 258–269.
- Angel, Lawrence, J.: “Early Skeletons from Tranquillity California,” **Smithsonian Contributions to Anthropology**, Vol.II, Washington: Smithsonian Press, 1966.
- Auerbach, Benjamin, M., Ruff, Christopher, B.: “Human Body Mass Estimation: A Comparison of Morphometric and Mechanical Methods,” **American Journal of Physical Anthropology**, Vol.125, 2004, pp. 331-342.
- Auerbach, Benjamin, M., Ruff, Christopher, B.: “Limb Bone Bilateral Asymmetry: Variability and Commonality Among Modern Humans,” **Journal of Human Evolution**, Vol.50, 2006, pp. 203-218.
- Bell, Charles: **Animal Mechanics, or Proofs of Design in the Animal Frame**, Morrill Wyman, Cambridge, Mass, 1827.
- Benninghoff, A.: “Form und Bau der Gelenkknorpel in ihren Beziehungen zur Funktion,” **Z Zelforsch Mikrosk Anat**, Vol.2, 1925, pp.783–862.
- Bourgery, Jean-Marc: “Traite’ Compier de l’lntomie de l’Hommr,” **Osleology**, Vol.I, Paris, 1932.
- Bozdager, Ergün: **Mukavemet Ders Notları**, İTÜ Makine Mühendisliği Fakültesi, 2016.
- Bridges, Patricia, S.: “Changes in Activities with the Shift to Agriculture in the Southeastern United States,” **Current Anthropology**, Vol.30, 1989, pp. (385–394).

- Bridges, Patricia, S., Keith, P. Jacobi, Powell, Mary: "Warfare-Related Trauma in the Late Prehistory of Alabama," **Bioarchaeological Studies of Life in the Age of Agriculture: A View from the Southeast**, Ed. by. P. M. Lambert, Tuscaloosa: University of Alabama Press, 2000, pp. 35–62.
- Brock, Sharon, L., Ruff, Christopher, B.: "Diachronic Patterns of Change in Structural Properties of the Femur in the Prehistoric American Southwest," **American Journal of Physical Anthropology**, Vol.75, 1988, pp. 113-127.
- Buikstra, Jane, E., Ubelaker, Douglas, H.: Standarts for Data Collection from Human Skeletal Remains, **Arkansas Archaeological Survey**, 1994.
- Burr, David, B., Allen, Matthew, R.: **Basic and Applied Bone Biology**, Elsevier, 2014.
- Carey, Eben, J.: "Studies in the Dynamics of Histogenesis," **Radiology**, Vol.13, 1929, pp.127-168.
- Carr, Andrew, J., Smith, Roger, Athanasou, Nicholas, v.d.,: "Fibrogenesis impercta ossium," **Journal of Bone and Joint Surgery**, Vol.77, 1995, pp.820-829.
- Carter, Dennis, R., Beaupre, Gary, S.: **Skeletal Function and Form**, New York: Cambridge Universtiy Press, 2001.
- Churchill, Steven, E.: **Human Upper Body Evolution in the Eurasian Later Pleistocene**, Doktora Tezi, New Mexico Universitesi, 1994.
- Churchill, Steven, E., Formicola, V.: "A Case of Marked Bilateral Asymmetry in the Upper Limbs of an Upper Paleolithic Male from Barma Grande, Italy," **Internetonial Journal of Osteoarchaeology**, Vol.7, 1997, pp. 18-38.
- Cowin, Stephen, C.: **Bone Mechanics Handbook**, CRC Press, 2001.
- Çakıroğlu, Melda, Gençel, Osman: **Mukavemet Ders Notları**, Fırat Üniversitesi, 2006.
- Çevik, Özlem: "The Emergence Of Different Social Systems In Early Bronze Age Anatolia: Urbanisation Versus Centralisation," **Anatolian Studies**, Vol.57, 2007, pp.131-140.

- Dewey, John, R.,
Armstrong, George, T.,
Bartley, Murray, H.: "Femoral Cortical Involution in Three Nubian Archaeological Population," **Human Biology**, Vol.41, 1969, pp. 13-28.
- Dobson, Seth D.,
Trinkaus, Erik: "Cross-Sectional Geometry and Morphology of the Mandibular Symphysis in Middle and Late Pleistocene Homo," **Journal of Human Evolution**, Vol.43, No:1, 2002, pp. 67-87.
- Duyar, İzzet, Atamtürk,
Derya: "Erken Tunç Çağında Orta Anadolu'da Ölü Gömme Adeti, Sağlık Yapısı ve Yaşam Biçimi: Resuloğlu Örneği," **1. Çorum Kazı ve Araştırmalar Sempozyumu**, 2011, s. 29-41.
- Frost, Harold, M.: "The 'New Bone': Some Anthropological Potentials," **Yearbook of Physical Anthropology**, Vol.28, 1985, pp. 211-226.
- Frost, Harold, M.: "Vital Biomechanics: Proposed General Concepts for Skeletal Adaptations to Mechanical Usage," **Calcified Tissue International**, Vol.42, 1988, pp.145-156.
- Frost, Harold, M.: "Skeletal Structural Adaptations to Mechanical Usage (SATMU): 1. Redefining Wolff's Law: The Bone Modeling Problem," **The Anatomical Record**, Vol.226, 1990, pp. 403-413.
- Frost, Harold, M.: "Why Do Marathon Runners Have Less Bone Than Weight Lifters? A Vital-Biomechanical View and Explanation," **Bone**, Vol.20(3), 1997, pp. 183-187.
- Galilei, Galileo: **Dialogues Concerning Two New Sciences**, New York: The Macmillan Company, 1914.
- Grine, Frederick,
Jungers, William,
Tobias, Phillip, V., v.d.: "Fossil Homo Femur From Berg Aukas, Northern Namibia," **American Journal of Physical Anthropology**, Vol.97, 1995, pp. 151-185.
- Hartwig-Scherer,
Sigrid: "Body Weight Prediction in Early Fossil Hominids: Towards a Taxon-"Independent" Approach," **American Journal Of Physical Anthropology**, Vol.92, 1993, pp. 17-36.
- Hayes, Wilson, Snyder, "Toward a Quantitative Formulation of Wolff's Law in

- B.: Trabecular Bone,” **American Society of Mechanical Engineers**, 1981, pp. 43-68.
- Henriksen, Kim,
Neutsky-Wulff,
Anita, Bonewald,
Lynda, v.d.: “Local Communication on and within Bone Controls Bone Remodeling,” **Bone**, Vol.44, 2009, pp. 1026-1033.
- Honda, Akiko,
Matsumoto, Morio,
Kato, Tadafumi,
Umemura, Yoshohisa: “Exercise Characteristics Influence Femoral Cross-Sectional Geometry: A Magnetic Resonance Imaging Study In Elite Female Athletes,” **Osteoporos Int**, Vol.26, 2015, pp. 1093-1098.
- Jungers, William, L.,
Minns, Russell: “Computed Tomography and Biomechanical Analysis of Fossil Long Bones,” **American Journal of Physical Anthropology**, Vol.50, 1979, pp. 285-290.
- Jurmain, Robert, D.: “Stories from the Skeleton: Behavioral Reconstruction in Human Osteology,” **Interpreting the Remains of the Past**, Toronto and Amsterdam: Gordon and Breach, Vol.I, 1999.
- Kimura, Tasuku,
Takahashi, Hideo: “On the Cross Section of Lower Limb Long Bones in Minatogawa Man From Okinawa,” **The Anthropological Society of Nippon**, Vol.92, 1984, pp. 69-78.
- Kottak, Phillip, C.: **Antropoloji: İnsan Çeşitliliğinin Önemi**, Atamtürk, D., Duyar, İ., (çeviri editörleri), Ankara: De Ki Basım Yayın, 2014.
- Koch, John, C.: “The Laws of Bone Architecture,” **American Journal of Anatomy Banner**, Vol.21, 1917, pp. 177-298.
- Lanyon, Lance, E.,
Goodship, A., Pye, C.: “Mechanically Adaptive Bone Remodeling,” **Journal of Biomechanics**, Vol.15, 1982, pp. 141-154.
- Larsen, Clark, S.: “Biological Changes in Human Populations with Agriculture,” **Annual Review of Anthropology**, Vol.24, 1995, pp. 185-213.
- Larsen, Clark, S.: “Bioarchaeology: The Lives and Lifestyles of Past People,” **Journal of Archaeological Research**, Vol.10, No:2, 2002, pp. 119-166.

- Larsen, Clark, S.,
Hillson, Simon,
Ruff, Christopher, B.:
“The Human Remains II: Interpreting Lifestyle and Activity in Neolithic Çatalhöyük,” **Human Landscapes of Çatalhöyük Reports from the 2000-2008 Seasons**, Ed. by. Ian Hodder, Ankara, Cotsen Institute of Archaeology Press, 2013, pp. 397- 412.
- Lieberman, Daniel,
Shea, John, J.:
“Behavioral Differences Between Archaic and Modern Humans in the Lavantine Mousterian,” **American Anthropologist**, Vol.96, No:2. 1994, pp. 300-332.
- Lovejoy, Owen, C.,
Burstein, Albert, H.
Heiple, Kingsbury, G.:
“The Biomechanical Analysis of Bone Strength: A Method and Its Application to Platycnemia,” **American Journal of Physical Anthropology**, Vol.44, 1976, pp. 489-506.
- Lovejoy, Owen, C.,
Trinkaus, Erik:
“Strenght and Robusticity of the Neandertal Tibia,” **American Journal of Physical Anthropology**, Vol.53, 1980, pp. 465-470.
- Macintosh, Alison, A.,
Pinhasi, Ron, Stock,
Jay, T.:
“Lower Limb Skeletal Biomechanics Track Long-Term Decline in Mobility Across ~6150 Years of Agriculture in Central Europe,” **Journal of Archaeological Science**, Vol.52, 2014, pp. 376-390.
- Macintosh, Alison, A.,
Pinhasi, Ron, Stock,
Jay, T.:
“Early Life Conditions and Physiological Stress Following the Transition to Farming in Central/Southeast Europe: Skeletal Growth Impairment and 6000 Years of Gradual Recovery,” **PLOS ONE**, 11/2, 2016, pp. 1-27.
- Macintosh, Alison, A.,
Pinhasi, Ron, Stock,
Jay, T.:
“Prehistoric Women’s Manual Labor Exceeded that of Athletes Through the First 5500 Years of Farming in Central Europe,” **Science Advances**, Vol.3, 2017a, pp. 1-12.
- Macintosh, Alison, A.,
Shaw, Colin, Ryan,
Timothy, M. v.d.:
“Greater Variability in within-Section Cortical Thickness Among Men Relative to Women and Its Effects on the Accuracy of Periosteally-Derived Cross-Sectional Geometry Estimates,” **86th Annual Meeting of the American Association of Physical Anthropologists**, 2017b.
- Marchi, Damiano,
“Biomechanical Approach to the Reconstruction of

- Sparacello, Vitale, Holt, Brigitte, v.d.: Activity Patterns in Neolithic Western Liguria Italy,” **Am J Phys Anthropol**, Vol.131, 2006, pp. 447-455.
- Martin, Bruce, R., Burr, David, v.d.: **Skeletal Tissue Mechanics**, New York: Springer, 1998.
- Meyer, Georg, H.: “Die Architektur der spongiosa,” **Arch Anat Physiol Wiss Med**, Vol.34, 1967, pp. 615-628.
- McHenry, Henry: “Body Size and Proportions in Early Hominids,” **American journal of Physical Anthropology**, Vol.87, 1992, pp. 407-431.
- McLean, Franklin, Urist, Marshall: **Bone: Fundamentals of the Physiology of Skeletal Tissues**, Chicago: University of Chicago Press, 1968.
- Minns, R., J., Bremble, G., R., Camphell, J.: “A Biomechanical Study of Internal Fixation of the Tibial Shaft,” **Journal of Biomechanics**, Vol.10, 1977, pp. 569-575.
- Murray, P., D., F.: **Bones A Study of the Development and Structure of the Vertebrate Skeleton**, Cambridge University Press, 1936.
- Murthy, Rashmi, Morrow, P., Theriault, Richard: “Bone Biology and the Role of the RANK Ligand Pathway,” **Oncology Journal**, Vol.23(14), 2009, pp. 9-15.
- Narra, Nathaniel, Nikander, Riku v.d.: “Femoral Neck Cross-Sectional Geometry and Exercise Loading,” **Clin Physiol Funct Imaging**, Vol.33, 2013, pp. 258-266.
- Pauwels, F: “Die Bedeutung der Bauprinzipien der unteren Extremität für die Beanspruchung des Beinskelettes,” **Z Anat Entw Gesch**, Vol.114, 1950, pp. 525-538.
- Parfitt, Michael, A.: “Targeted and Nontargeted Bone Remodeling: Relationship to Basic Multicellular Unit Origination and Progression,” **Bone**, Vol.30, 2002, pp. 5-7.
- Pearson, Osbjorn, M., Buikstra, Jane, E.: “Behavior and the Bones,” **Bioarchaeology the Contextual Analysis of Human Remains**, Ed. by., Jane E. Buikstra, Lane Beck, Elsevier Academic Press, © 2006, pp. 207-225.

- Perelle, Ira, B., Ehrman, Lee: "An International Study of Human Handedness: The Data," **Behavior Genetics**, Vol.24, No:3, 1994, pp. 217-227.
- Raymond, M., Pontier, D.: "Is There Geographical Variation in Human Handedness?," **Laterality**, Vol.9, No:1, 2004, pp. 35-51.
- Rhodes, Jill, A.: **Humeral Torsion and Activity-related Change in the Human Upper Limb and Pectoral Girdle**, University of Bradford, 2004.
- Roesler, H.: "The History of Some Fundamental Concepts In Bone Biomechanics," **J Biomechanics**, Vol.20, No:1112, 1987, pp. 1025-1034.
- Robling, Alexander, G., Fuchs, Robyn, K., Burr, David, B.: "Mechanical Adaptaion," **Basic and Applied Bone Biology**, Ed. by. David B. Burr, Matthew R. Allen, Elsevier, 2014, p.175-204.
- Roux, W.: "Beiträge zur Morphologie der funktionellen Anpassung," **Arch Anat Physiol Anat Abt**, 1885, pp. 120–185.
- Rubin, Clinton, Rubin, Janet: "Biomechanics and Mechanobiology of Bone," **American Society for Bone ad Mineral Research**, 2006, pp. 36-42.
- Ruff, Christopher, B.: "A Reassessment of Demographic Estimates for Pecos Pueblo," **American Journal of Physical Anthropology**, Vol.54, 1981, pp. 147-151.
- Ruff, Christopher, B., Jones, Henry: "Bilateral Asymmetry in Cortical Bone of the Humerus and Tibia- Sex and Age Factors," **Human Biology**, Vol.53, 1981, pp. 69-86.
- Ruff, Christopher, B., Hayes, Wilson, C.: "Cross Sectional Geometry of Pecos-Pueblo Femora and Tibiae- A Biomechanical Investigation," **American Journal of Physical Anthropology**, Vol.60, 1983, pp. 359-381.
- Ruff, Christopher, B., Larsen, Clark, S., Hayes, Wilson: "Structural Changes in the Femur with the Transition to Agriculture on the Georgia Coast," **American Journal of Physical Anthropology**, Vol.64, 1984, pp. 125-136.
- Ruff, Christopher, B.: "Use of Computed Tomography in Skeletal Structure

- Leo, Frank, P.: Research,” **Yearbook of Physical Anthropology**, Vol.29, 1986, pp. 181-196.
- Ruff, Christopher, B.: “Sexual Dimorphism in Human Lower Limb Bone Structure: Relationship to Subsistence Strategy and Sexual Division of Labor,” **Journal of Human Evolution**, Vol.16, 1987, pp. 391-416.
- Ruff, Christopher, B.: “Cross-sectional Morphology of the SK 82 and 97 Proximal Femora,” **American Journal of Physical Anthropology**, Vol. 109, 1999a, pp. 509-521.
- Ruff, Christopher, B.: “Skeletal Structure and Behavioral Patterns of Prehistoric Great Basin Populations,” **Prehistoric Lifeways in the Great Basin Wetlands: Bioarchaeological Reconstruction and Interpretation**, Ed. by. B.E. Hemphill, C.S. Larsen, Salt Lake City, University Utah Press, 1999b, pp. 290–320.
- Ruff, Christopher, B.: “Body Size, Body Shape, and Long Bone Strength in Modern Humans,” **Journal of Human Evolution**, Vol.38, 2000, pp. 269-290.
- Ruff, Christopher, B.: “Long Bone Articular and Diaphyseal Structure in Old World Monkeys and Apes. I: Locomotor Effects,” **American Journal of Physical Anthropology**, Vol.119, 2002, pp. 305-342.
- Ruff, Christopher, B.: “Ontogenic Adaptation to Bipedalism: Age Changes in Femoral to Humeral Length And Strength Proportions in Humans, with a Comparison to Baboons,” **Journal of Human Evolution**, Vol.45, 2003, pp. 317-349.
- Ruff, Christopher, B.: “Mechanical Determinants of Bone Form: Insights from Skeletal Remains,” **Journal of Musculoskeletal and Neuronal Interactions**, Vol.5, 2005, pp. 202-212.
- Ruff, Christopher, B.: “Biomechanical Analyses of Archaeological Human Skeletons,” Ed. by. Katzenberg, M. A., Saunders, S. R., **Biological Anthropology of the Human Skeleton**, John Wiley & Sons, 2008.
- Ruff, Christopher, B., Holt, Brigitte, M., Sladek, Vladimír: “Body Size, Body Proportions, and Mobility in the Tyrolean Iceman,” **Journal of Human Evolution**, Vol.51, 2006, pp. 91-101.

- Ruff, Christopher, B., Scott, William, Liu, Allie: "Articular and Diaphyseal Remodeling of Proximal Femur with Changes in Body Mass in Adults," **American Journal of Physical Anthropology**, Vol.86, 1991, pp. 397-413.
- Ruff, Christopher, B., Trinkaus, Erik, Walker, Alan, v.d.: "Postcranial Robusticity in *Homo*: I Temporal Trends and Mechanical Interpretation," **American Journal of Physical Anthropology**, Vol.9, 1993, pp. 21-53.
- Ruff, Christopher, B., Trinkaus, Erik, Holliday, Trenton: "Body Mass And Encephalization in Pleistocene *Homo*," **Nature**, Vol.387, 1997, pp.173-176.
- Sagona, Antonio, Zimansky, Paul: **Arkeolojik Veriler Işığında Türkiye'nin En Eski Kültürleri**, Arkeoloji ve Sanat Yayınları, 2009.
- Shigley, Joseph, F.: **Applied Mechanics of Materials**, New York McGraw-Hill, 1976.
- Shaw, Colin, N., Stock, Jay, T.: "Intensity, Repetitiveness, and Directionality of Habitual Adolescent Mobility Patterns Influence the Tibial Diaphysis Morphology of Athletes," **American Journal of Physical Anthropology**, Vol.140, 2009, pp. 149-159.
- Sipahi, Tunç, Yıldırım, Tayfun: "1998 Yılı Çorum Bölgesi Yüzey Araştırması," **17. Araştırma Sonuçları Toplantısı**, C.II, 2000, s. 31-40.
- Sladek, Vladimír, Berner, Margit, Sailer, Robert: "Mobility in Central European Late Eneolithic and Early Bronze Age: Tibial Cross-Sectional Geometry," **Journal of Archaeological Science**, Vol.33, 2006, pp. 470-482.
- Sumner, Dale, R. Mockbee, Brent, Morse, Kathleen, v.d.: "Computed Tomography and Automated Image Analysis of Prehistoric Femora," **American Journal of Physical Anthropology**, Vol.68, 1985, pp. 225-232.
- Standring, Susan: **Gray's Anatomy: The anatomical basis of clinical practice**, Churchill Livingstone Elsevier, 2008.
- Stock, Jay, Macintosh, Alison, A.: "Lower Limb Biomechanics and Habitual Mobility Among Mid-Holocene Populations of the Cis-Baikal," **Quaternary International**, Vol.405, 2016, pp.200-209.
- Stock, Jay, Pfeiffer, Susan: "Linking Structural Variability in Long Bone Diaphyses to Habitual Behaviors: Foragers From the

- Southern African Later Stone Age and the Andaman Islands,” **American Journal of Physical Anthropology**, Vol.115, 2001, pp. 337-348.
- Thompson, D’arcy, W.: **On Growth and Form**, Cambridge University Press, 1942.
- Timoshenko, Stephan, Gere, James, M.: **Mechanics of Materials**, New York Van Nostrand Reinhold, 1972.
- Trinkaus, E., Churchill, Steven, Ruff, Christopher, B.: “Postcranial Robusticity in Homo, II: Humeral Bilateral Asymmetry and Bone Plasticity,” **American Journal of Physical Anthropology**, Vol.93, 1994, pp.1–34.
- Trinkaus, Erik, Ruff, Christopher, B.: “Diaphyseal Cross-Sectional Geometry of Near Eastern Middle Palaeolithic Humans: the Femur,” **Journal of Archaeological Science**, Vol.26, 1999, pp. 409-424.
- Vincent, Julian: **Structural Biomaterials**, MacMillan Press, 1982.
- Weiss, Elizabeth: “Sex Differences in humeral Bilateral Asymmetry in Two Hunter-Gatherer Populations: California Amerinds and British Columbian Amerinds,” **American Journal of Physical Anthropology**, Vol.140, 2009, pp.19–24.
- Wescott, Daniel: “Structural Variation in the Humerus and Femur in the American Great Plains and Adjacent Regions: Differences in Subsistence Strategy and Physical Terrain,” **The University of Tennessee Knoxville**, 2001.
- Wescott, Daniel, Cunningham, Deborah L.: “Temporal changes in Arikara humeral and femoral cross-sectional geometry associated with horticultural intensification,” **Journal of Archaeological Science**, Vol.33, 2006, pp. 1022-1036.
- Wyman, Jeffries: “On the Cancellous Structure of Some of the Bones of the Human Body,” **Boston Journ Soc Nat Hist**, Vol.6, 1957, p.125-140.
- Wolff, Julius: “Über die Bedeutung der Architektur der spongiösen Substanz,” **Centralbl für die Med Wiss**, Vol.54, 1869.
- Wolff, Julius: “Über die innere Architektur der Knochen und ihre Bedeutung für die Frage vom Knochenwachstum,”

Virchows Arch path Anat Physiol, Vol.50, 1870, p. 389-453.

Yıldırım, Tayfun, Ediz, İsmet: “2003 Yılı Resuloğlu Mezarlık Kazısı,” **26. Kazı Sonuçları Toplantısı**, C.II, 2005, s. 193-202.

Yıldırım, Tayfun, Ediz, İsmet: “2004 Yılı Resuloğlu Mezarlık Kazısı,” **27. Kazı Sonuçları Toplantısı**, C.II, 2006, s. 57-64.

Yıldırım, Tayfun, Ediz, İsmet: “2005 Yılı Resuloğlu Eski Tunç Çağı Mezarlık Kazısı,” **28. Kazı Sonuçları Toplantısı**, C.II, 2007, s. 211-222.

Yıldırım, Tayfun: “Resuloğlu Kazısı ve Anadolu Arkeoloji’sine Katkıları,” **1. Çorum Kazı ve Araştırmalar Sempozyumu**, 2011, s. 11-28.

EKLER

EK 1: Uzun Kemik Raporlama Formu

İ. Ü. ANTROPOLOJİ BÖLÜMÜ ÇORUM RESULOĞLU YERLEŞİMİNE AİT ERİŞKİN BİREYLERİN UZUN KEMİKLERİNİ RAPORLAMA FORMU

Buluntu yeri: _____

Buluntu yılı/ dönemi: _____ / _____

Mezar numarası: _____

Birey numarası: _____

İnceleyen Araştırmacı: _____

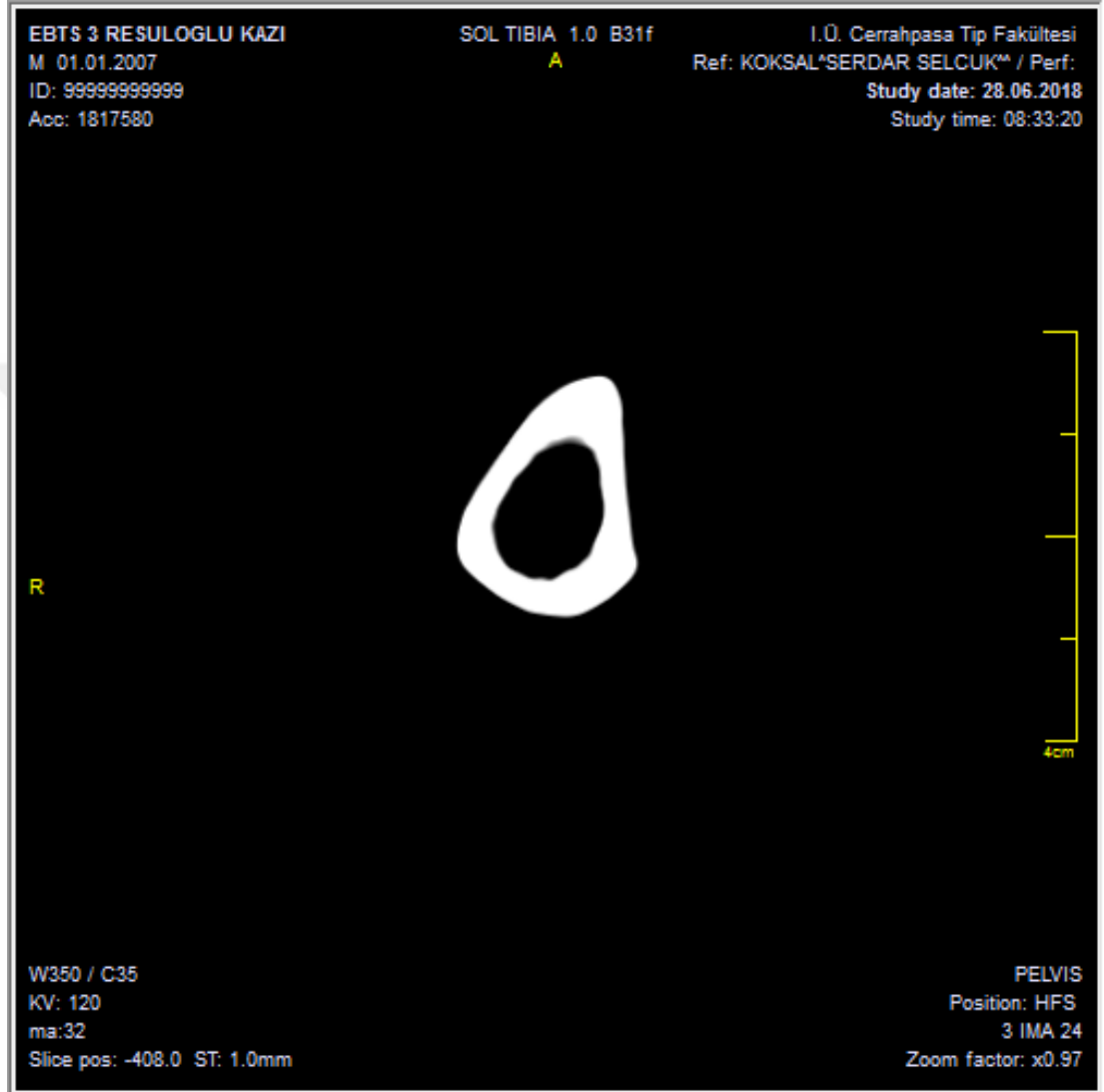
UZUN KEMİK MEVCUDİYETİ

	Proksimal Epifiz	%80 %20	%65	Diafiz %50	%35	Distal Epifiz	Bütün
Sol Humerus							
Sağ Humerus							
Notlar							
Sol Radius							
Sağ Radius							
Notlar							
Sol Ulna							
Sağ Ulna							
Notlar							
Sol Femur							
Sağ Femur							
Notlar							
Sol Tibia							
Sağ Tibia							
Notlar							
Sol Fibula							
Sağ Fibula							
Notlar							

EK 2: Çalışmada Kullanılan Kemiklerin Listesi

SIRA NO	MEZAR NO	SAĞ FEMUR		SAĞ HUMERUS	SAĞ TİBİA	SOL FEMUR		SOL HUMERUS	SOL TİBİA	CİNSİYET	YAŞ
		50	80			50	80				
1	M7							x		Kadın	G.E.
2	M8			x				x		Kadın	G.E.
3	M11							x		Kadın	O.E.
4	M17(3)	x	x							Kadın	G.E.
5	M21			x				x		Kadın	G.E.
6	M28(1)			x				x		Erkek	Y.
7	M28(2)							x		Kadın	O.E.
8	M36	x				x	x			Erkek	G.E.
9	M41(2)			x						Kadın	O.E.
10	M60	x	?			x	x			Kadın	Y.
11	M66					x	x	x		Kadın	G.E.
12	M81	x	x							Erkek	O.E.
13	M126		x							Kadın	O.E.
14	M127(2)			x						Kadın	O.E.
15	M130					x	x			Kadın	A.
16	M144	x				x				Erkek	O.E.
17	M149					x	x	x	x	Kadın	Y.
18	M169							x		Erkek	O.E.
19	M171(2)	x	x	x	X					Erkek	O.E.
20	M195								x	Kadın	O.E.
21	M196(üst)							x		Kadın	O.E.
22	M196(alt)			x						Erkek	Y.
23	M185(1)							x		Kadın	A.
24	EBTS2			x						Erkek	O.E.
25	EBTS3								x	Kadın	O.E.
	Toplam	7		8	1	6		11	3	17K /8E	

EK 3: EBTS 3 No'lu Mezardan Alınan Kesit Görüntü Örneği

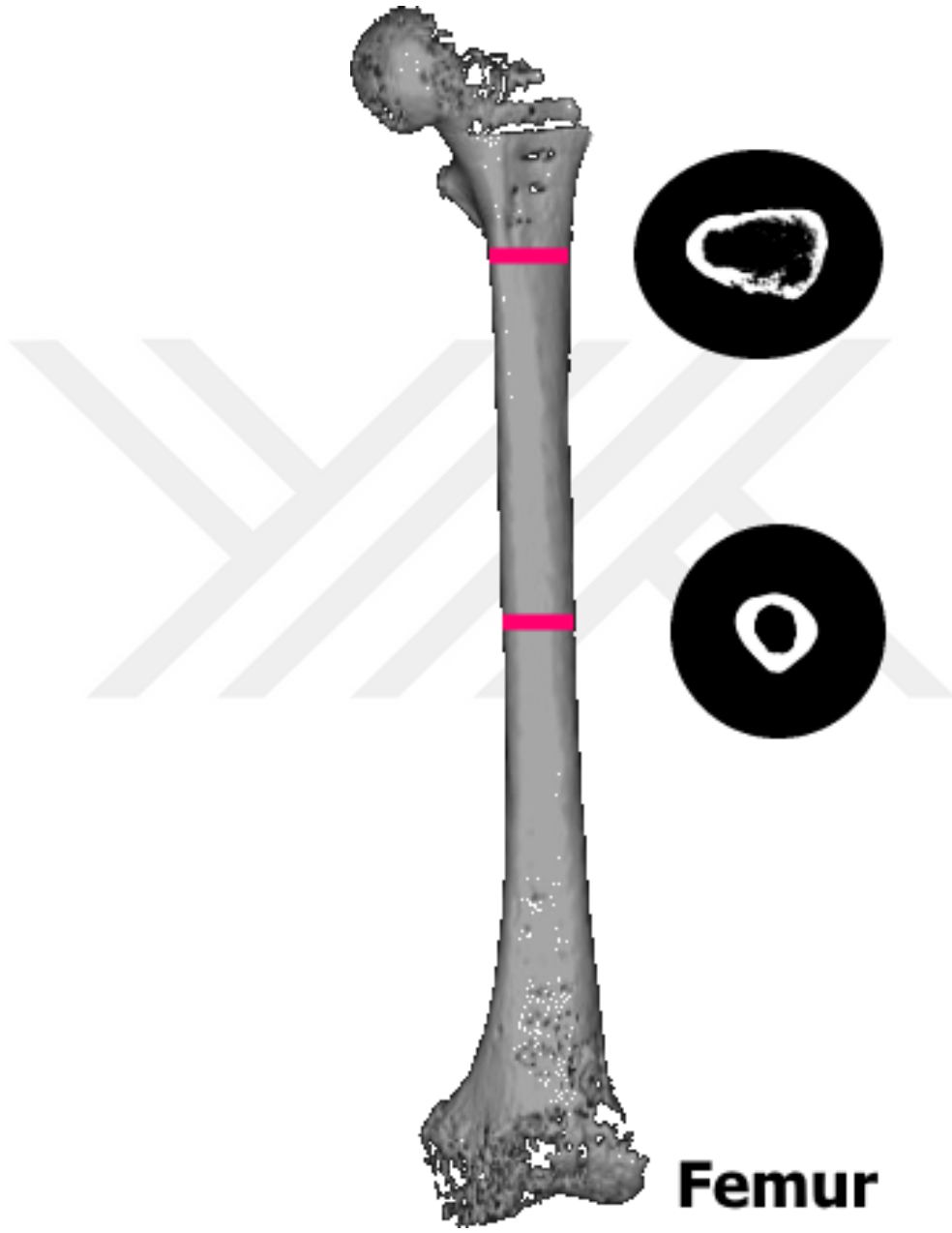


EK 4: M171(2) Mezarına ait Humerus Kemiği ve Alınan Kesit Görüntüsü



Humerus

EK 5: M149 No'lu Mezara ait Femur Kemiği ve Alınan Kesit Görüntüsü



EK 6: EBTS 3 Mezarına ait Tibia Kemiği ve Alınan Kesit Görüntüsü

