

KÖPEKLERİN ARKA BACAK ANATOMİK YAPILARININ
İNCELENMESİ VE BİLGİSAYAR ORTAMINDA
MODELLENEREK KİNEMATİK ANALİZİNİN YAPILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

E. Barış KAYHAN

DANIŞMAN

Prof. Dr. Süleyman TAŞGETİREN

Makine Eğitimi

AĞUSTOS 2008

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KÖPEKLERİN ARKA BACAĞI ANATOMİK YAPILARININ İNCELENMESİ VE
BİLGİSAYAR ORTAMINDA MODELLENEREK KİNEMATİK ANALİZİNİN
YAPILMASI

E. Barış KAYHAN

DANIŞMAN
Prof. Dr. Süleyman TAŞGETİREN

Makine Eğitimi

AĞUSTOS 2008

ONAY SAYFASI

Prof. Dr. Süleyman TAŞGETİREN danışmanlığında,
E. Barış KAYHAN tarafından hazırlanan “**Köpeklerin Arka Bacak Anatomik Yapılarının İncelenmesi ve Bilgisayar Ortamında Modellenerek Kinematik Analizinin Yapılması**” başlıklı bu çalışma lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca

30/07/2008

tarihinde aşağıdaki jüri tarafından
Makine Eğitimi Anabilim Dalında
Yüksek lisans tezi olarak oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

	Ünvanı, Adı, SOYADI	İmza
Başkan	Prof. Dr. Süleyman TAŞGETİREN	
Üye	Yr. Doç. Dr. Ahmet GAYRETLİ	
Üye	Doç. Dr. Erkut KARA	

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetin Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç. Dr. Zehra BOZKURT
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Köpeklerin Arka Bacak Anatomik Yapılarının İncelenmesi ve Bilgisayar Ortamında Modellenerek Kinematik Analizinin Yapılması

E. Barış KAYHAN

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Eğitimi

Danışman: Prof. Dr. Süleyman TAŞGETİREN

Bu çalışmada köpek arka bacak iskeletinin bilgisayar ortamında 3 boyutlu model oluşturulmuş, model üzerinde fleksiyon, ekstensiyon, yürüme ve tırıs koşma hareketleri analiz edilmiş ve bu hareketler esnasında arka bacak iskeletini oluşturan kemikler ve eklemlerdeki kinematik değişkenler ortaya koyulmuştur.

Çalışmada, iri ırk bir adet erkek köpeğe ait coxae, femur ve tibia kemikleri kullanılmış ve bu kemikler 3 boyutlu lazer tarayıcı cihazı ile sayısallaştırılmıştır. Daha sonraki aşamalarda kemiklerin 3b katı modelleri ve montajı SolidWorks yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur.

İncelenecek hareketlere ait evrelerde arka bacak eklem açıları ölçülmüş ve bilgisayar ortamında hazırlanan model üzerine aktarılmıştır. Analizi yapılacak hareketler Cosmosmotion yazılımı kullanılarak, model üzerinde simüle edilmiştir. Simülasyon sonunda femur, tibia, kalça eklemi, diz eklemi ve ayak bilek eklemine ait yer değiştirme, hız ve ivme sonuçları elde edilmiştir.

Arka bacağın fleksiyonu ve ekstensiyonu esnasında en büyük yer değiştirme, hız ve ivme tibiada görülmüş ve her iki pozisyonda da en büyük ivmeler hareketin başlangıcında ve bitişinde oluşmuştur. Dolayısıyla hareket esnasındaki en büyük kuvvetlerin ve gerilmelerin hareketin başlangıcında ve bitişinde oluşacağı söylenebilir.

Bu çalışma ile gerek veteriner klinikte önemli bir yeri olan gerekse insandaki çeşitli hastalıklar için deneysel hayvan modeli olarak kullanılan köpeklerde, eklem hareketlerinin, üç boyutlu arka bacak modeli oluşturularak bilgisayar ortamında simülasyonu yöntemi tanımlanmıştır. Bu tür simülasyonlar köpek arka bacak hareket mekanizmasına ait normal ve patolojik durumların canlı hayvan kullanılmadan bilgisayar ortamında incelenebilmesine olanak sağlayabileceği gibi köpeklerde kalça ve diz eklemine ilişkin çeşitli implantların tasarlanmasında kullanılabilir.

2008, 99 sayfa

Anahtar kelimeler: Köpek, femur, tibia, diz, biyomekanik, kinematik, hareket analizi

ABSTRACT

Master Thesis

Investigation of Anatomical Structures of Canine Hind Limb and Kinematical Analysis by Computer Modeling

E. Barış KAYHAN

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Mechanical Education Department

Supervisor: Prof. Dr. Süleyman TAŞGETİREN

The goal of this study is to make a three dimensional model of a large-breed canines hind limb's skeleton on computer, to analyze the flexion, extension, gait and trotting movements on models and to expose the kinematics parameters of joints and bones of the hind limb skeleton during these motions.

In this study, coxae, femur and tibia bones which belongs to a massive race dog were used and these bones were digitized with the three dimensional laser scanner. On the next steps, three dimensional models and assemblies of the bones were made by using the SolidWorks software.

Joint angles of hind limb was measured at the phases of motion that will be analyzed and transferred to the model which was designed at the computer. Motions been simulated in Cosmos software.

At the end of the simulation, the displacement, velocity and acceleration of femur, tibia, coxae, knee joint, and ankle joints results were obtained. During the flexion and the extension of the hind limb, the greatest displacement, velocity and acceleration was seen on tibia and on each positions the greatest acceleration was seen at the beginning and the end of the motion. Therefore it can be said that the biggest load and stress during the motion occur at the beginning and at the end of the motion.

It can be thought that this study is a valuable source for the prosthesis application and definition of physiological diseases for examining human and animal movements.

In this study, the canines' joint movements are defined with the simulation method with the three dimensional hind limb model on computer. These kind of simulations will be useful for both examining canine's hind limb movement mechanism's normal and pathological cases on computer without using living animal and can be used for designing various grafts for hip and knee joints.

2008, 99 pages.

Keywords: Canine, femur, tibia, knee, biomechanic, kinematic, motion analysis

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca desteğini ve bilimsel yardımlarını esirgemeyen değerli hocam ve danıőmanım Prof. Dr. Sileyman TAŞGETİREN'e, tez konusu seğimimde bana yol gosteren, anatomi konusunda bilgilerini esirgemeyen ve aynı zamanda çalıőmalarımda kullandığım materyalleri ve teknolojiyi sağlamada bana her zaman destek olan ADÜ Veteriner Fakóltesi Öğretim Üyesi Doç. Dr. M. Erkut KARA ve Araç. Gör. Figen SEVİL'e, tez yazımı süresince yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Öğr. Gör. Barış GÖKÇE'ye ve yüksek lisans eğitimim boyunca desteğini esirgemeyen Nursel ALTAN'a sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Tüm bu süreçte bana en büyük desteği veren eőime ve aileme çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
RESİMLER DİZİNİ	xiv
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
ÖZGEÇMİŞ	xvi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLGİSİ	7
2.1. Temel Anatomik Düzlemler, Eksenler ve Yönler	7
2.2 Köpekte Arka Bacak kemik ve Eklemleri	8
2.2.1 Arka Bacak Kemikleri	9
2.2.1.1 Arka Bacak Kemikleri	9
2.2.1.2 Arka Bacak Eklemleri	12
2.2.2 Eklemler Hakkında Genel Bilgi (Arthrologia – Syndesmologia)	14
2.3 Mekanik	21
2.3.1 Kinematik	21
2.3.1.1 Serbestlik Derecesi	22
2.3.1.2 Maddesel Noktanın Kinematığı	24
2.3.1.3 Rijit Cisimlerin Kinematığı	25
2.4 Bilgisayar Destekli Modelleme ve Simülasyon	31
2.4.1 Bilgisayar Destekli Üç Boyutlu Modelleme	31
2.4.1.1 Üç Boyutlu Sayısallaştırma	32
2.4.2 Bilgisayar Destekli Hareket Analizi	36
2.4.2.1 CosmosMotion Yazılımı ile Hareket Analizi	38
2.4.2.2 CosmosMotion Programının Kullanımı	41
3. MATERYAL VE METOT	60
3.1 Materyal	60

3.2 Metot.....	63
3.2.1 Kemiklerin Sayısallaştırılması	63
3.2.2 Kemiklerin Yüzey ve Katı Modellerinin Oluşturulması.....	66
3.2.3 Kemiklerinin Montajı ve Arka Bacak İskeletinin Oluşturulması.....	67
3.2.3 Fleksiyon ve Ekstensiyon Hareketlerinin Tanımlanması ve Simülasyonu	68
3.2.4 Yürüme ve Tırıs Koşma Hareketlerinin Tanımlanması ve Simülasyonu	70
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	71
4.1 Fleksiyon ve Ekstensiyon Hareketlerinin Analizi ve Karşılaştırılması	71
4.2 Yürüme ve Tırıs Koşma Hareketlerinin Analizi ve Karşılaştırılması.....	81
5. SONUÇLAR.....	96
6. KAYNAKLAR.....	97

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

1. Simgeler

λ	Uzay ve Düzlem serbestlik derecesi
F	Mekanizma serbestlik derecesi
L	Uzuv sayısı
f_i	Mafsal serbestlik derecesi
V	Hız
r	Yarıçap
ω	Açısal hız
α	Açısal ivme
a_t	Teğetsel ivme
a_n	Normal ivme
e	Denklem üssü
k	Yay sabiti
C	Sönümlenme katsayısı

2. Kısaltmalar

art	Articulationes
CCD	Charge Coupled Device
CMM	Coordinate measuring machine
CAD	Computer aided design
LCD	Liquid crystal display

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Temel Anatomik Düzlemler	7
Şekil 2.2 Anatomik Yönler	8
Şekil 2.3 Köpek arka bacağı iskeleti	11
a , coxae. b , femur. c , tibia. d , fibula. e , tarsi. f , metatarsalia. g , phalanges proximales. h , phalanges mediae. i , phalanges distales. j , sesamoidea proximalia.	11
Şekil 2.4 a , Fleksiyon. b , Ekstensiyon.	16
Şekil 2.5 Synoviales Eklemler.....	18
a, Art.cubiti (ginglymus). b, Art.femoratibialis (art.condylaris - incongruent). c, Art.sellaris. d, Art.radiocarpal (art.ellipsoidea). e, Art.coxae (art.spheroidea). f, Art.sacroiliaca (art.plana). g, Art.atlantoaxialis (art.trochoidea) (Dyce et al. 1987, Bahadır ve Yıldız 2004).	18
Şekil 2.6 Öteleme Hareketi.....	25
Şekil 2.7 Sabit Eksen Etrafında Dönme Hareketi.	26
Şekil 2.8 Rijit Cisim Düzlemsel Öteleme ve Dönme Hareketi.	28
Şekil 2.9 Genel Düzlemsel Harekette Ani Dönme Merkezi.....	28
Şekil 2.10 Düzlemsel Harekette Bağlı İvme.	29
Şekil 2.11 Sayısallaştırma Yöntemlerinin Sınıflandırılması (Akdoğan v.d. 2003).	32
Şekil 2.12 Izgara Projeksiyonu.....	33
Şekil 2.13 Koordinat Ölçüm Yazılımı.....	36
Şekil 2.14 CosmosMotion Menüsünün Eklenmesi.....	39
Şekil 2.15 CosmosMotion Araç Çubuğu.....	39
Şekil 2.16 CosmosMotion Unsur Yöneticisi.	40
Şekil 2.17 Mafsallara Hareket Verilmesi.	42
Şekil 2.18 Sisteme Sürtünme Eklenmesi.....	44
Şekil 2.19 Ortam Etkileri.....	45
Şekil 2.20 Kuvvet ve Moment Uygulanması.	46
Şekil 2.21 Yay yönetici penceresi.	48
Şekil 2.22 Burulma yayı yönetim paneli.	50
Şekil 2.23 Yerçekimi ivmesi yönetim paneli.	51
Şekil 2.24 Kontak tanımlama yönetici paneli.....	52

Şekil 2.25 Motor hareketi yönetim paneli.	53
Şekil 2.26 CosmosMotion Araç Çubuğu/Result Komutu.	54
Şekil 2.27 Sonuç Yönetim Paneli.	55
Şekil 2.28 CosmosMotion Araç Çubuğu/Save Animation Komutu.....	56
Şekil 2.29 Sonuçların Grafik Olarak Çıkarılması.....	57
Şekil 2.30 Çalışma ayarları yönetim paneli.....	58
Şekil 3.1 Yürüme Evreleri (Adams 2004).	61
Şekil 3.2 Tırıs Koşma Evreleri (Adams 2004).	62
Şekil 3.3 Tarama Seçeneklerinin Ayarlanması.....	64
Şekil 3.4 Femur Mesh Modeli.	65
Şekil 3.5 Femur yüzey modeli.....	66
Şekil 3.6 Arka Bacak Eklem Tipleri.....	67
Şekil 3.7 Köpeğin Arka Bacak Montaj Görünümleri. a , Arka. b , Sol Yan. c , Ön. d , Perspektif.	68
Şekil 3.8 Köpek Arka Bacağının, a, İlk Konumu. b, Fleksiyonu.	69
Şekil 3.9 Köpek Arka Bacağının, a, İlk Konumu. b, Ekstensiyonu.	69
Şekil 4.1 Femur ve Tibia X Eksenindeki Yer Değiştirme – Zaman Grafiği	71
Şekil 4.2 Femur ve Tibia Y Eksenindeki Yer Değiştirme – Zaman Grafiği	72
Şekil 4.3 Femur ve Tibia X Eksenindeki Doğrusal Hız – Zaman Grafiği.....	73
Şekil 4.4 Femur ve Tibia Y Eksenindeki Doğrusal Hız – Zaman Grafiği.....	74
Şekil 4.5 Femur ve Tibia X Eksenindeki Doğrusal İvme – Zaman Grafiği	75
Şekil 4.6 Femur ve Tibia Y Eksenindeki Doğrusal İvme – Zaman Grafiği	76
Şekil 4.7 Femur ve Tibia Açısal Hız – Zaman Grafiği.....	77
Şekil 4.8 Femur ve Tibia Açısal İvme – Zaman Grafiği	78
Şekil 4.9 Kalça, Diz ve Bilek Eklemleri Açısal Hız – Zaman Grafiği.....	79
Şekil 4.10 Kalça, Diz ve Bilek Eklemleri Açısal İvme – Zaman Grafiği.....	80
Şekil 4.11 Femur Yürüme ve Tırıs Koşma Yer Değiştirme (X) – Zaman Grafiği.....	81
Şekil 4.12 Femur Yürüme ve Tırıs Koşma Yer Değiştirme (Y) – Zaman Grafiği.....	82
Şekil 4.13 Tibia Yürüme ve Tırıs Koşma Yer Değiştirme (X) – Zaman Grafiği.....	83
Şekil 4.14 Tibia Yürüme ve Tırıs Koşma Yer Değiştirme (Y) – Zaman Grafiği.....	84
Şekil 4.15 Yürüme ve Tırıs Koşma Hareketlerinde Femurun Yatay Eksendeki Doğrusal Hız - Zaman Grafiği	85

Şekil 4.16 Yürüme ve Tırs Koşma Hareketlerinde Femurun Düşey Eksendeki Doğrusal Hız - Zaman Grafiği	86
Şekil 4.17 Yürüme ve Tırs Koşma Hareketlerinde Tibiannın Yatay Eksendeki Doğrusal Hız - Zaman Grafiği	87
Şekil 4.18 Yürüme ve Tırs Koşma Hareketlerinde Tibiannın Düşey Eksendeki Doğrusal Hız - Zaman Grafiği	88
Şekil 4.19 Yürüme ve Tırs Koşma Hareketlerinde Femurun Yatay Eksendeki Doğrusal İvme - Zaman Grafiği	89
Şekil 4.20 Yürüme ve Tırs Koşma Hareketlerinde Femurun Düşey Eksendeki Doğrusal İvme - Zaman Grafiği	90
Şekil 4.21 Yürüme ve Tırs Koşma Hareketlerinde Tibiannın Yatay Eksendeki Doğrusal İvme - Zaman Grafiği	91
Şekil 4.22 Yürüme ve Tırs Koşma Hareketlerinde Tibiannın Düşey Eksendeki Doğrusal İvme - Zaman Grafiği	92
Şekil 4.23 Diz Eklemleri Yürüme ve Tırs Koşma Açısal Hız – Zaman Grafiği	94
Şekil 4.24 Diz Eklemleri Yürüme ve Tırs Koşma Açısal İvme – Zaman Grafiği	95

RESİMLER DİZİNİ

Resim 2.1 Mekanik Kollu 3B Lazer Tarayıcı.....	34
Resim 2.2 CMM 3b Koordinat Ölçüm Tezgahı.....	35
Resim 3.1 Next Engine Tarama Cihazı.....	64
Resim 3.3 Rapidform Yazılımı Arayüzü.....	66

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Eklem Tiplerine Göre Serbestlik Dereceleri.	23
Çizelge 3.1 Fleksiyon ve Ekstensiyon hareketlerinde kalça eklemi ve diz eklemine oluşan açılar. (Nicholson et al. 2007)	60
Çizelge 3.2 Yürüme Evrelerinde Oluşan Eklem Açıları.	62
Çizelge 3.3 Tırıs Koşma Evrelerinde Oluşan Eklem Açıları.....	63

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : E.Bariş KAYHAN
Doğum Yeri : Gaziantep
Doğum Tarihi : 06.08.1974
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Derecesi	Kurumu	M. Yılı
Lise	: 23 Temmuz Merkez Lisesi	1992
Ön Lisans	: ADÜ Aydın Meslek Yüksekokulu – Makine Resim Konstrüksiyon Programı	2003
Lisans	: AKÜ Teknik Eğ. Fak. Makine Res. Konst. Öğrt.	2006

Çalıştığı Kurumlar

Kurum Adı	Yılı
Dağ İnşaat Turizm San. Tic. A.Ş.	1995 - 1998
Prestij İnşaat Turizm San. Tic. A.Ş.	1998 - 2000
Ege Elek. Oto. Sis. San. Tic. Ltd. Şti.	2000 - 2003
Adnan Menderes Üniversitesi	2006 - 2008

1. GİRİŞ

Bilindiği gibi, bir bilim dalı olarak Biyomekanik, biyoloji ve mühendislik bilimlerinin, yaşayan canlılar üzerinde uygulama alanıdır. Biyomekanik çalışmalarında, mühendislik yöntemleri de kullanılarak, canlıların nasıl hareket ettikleri, hareketlerinin nasıl kontrol edildiği, hareket sırasında oluşan kuvvetler ve etkileri, canlı ve cansız dokular üzerindeki zorlanma durumları incelenerek, tedavi yöntemleri geliştirilmektedir.

Biyomekanik, insan ve hayvanlar üzerindeki uygulama alanları ve mekaniğin alt dalları dikkate alınarak çeşitli dallara ayrılmaktadır. Bunlar,

- Yumuşak (kas, ligament vb.) ve sert (kemik) doku biyomekaniği,
- Ortoz ve protez biyomekaniği
- Spor biyomekaniği
- Biyo-kinematik (insan ve hayvan hareketlerinin kinematik analizi)
- Biyo-kinetik (hareket esnasındaki enerji gereksinimi ve enerjinin doğru kullanımı)
- Akışkanlar biyomekaniği (kan akışı vb. akışkan hareketlerinin incelenmesi)

Biyomekaniğin amacı, uygulanabildiği alanlardaki fiziksel sistemleri tanımlamak, nicel ilişkiler ve bağıntılar araştırmak, bulunan sonuçları klinik uygulamalarda kullanarak insan ve hayvan yaşamını iyileştirmeye yönelik çalışmalar yapmak şeklinde açıklanabilir.

Canlıların hareketlerinin nasıl gerçekleştiği sorusuna kinesiyoloji, mühendislik, fizik, biyoloji gibi birçok araştırma alanı ilgi duymaktadır. İnsan ve hayvan hareketlerinin tanımlanabilmesi, biyomekaniksel analizler, performans analizleri, kişi tanıma, hareket bozukluklarının belirlenmesi, bilgisayar grafiklerinde sanal insan ve hayvan canlandırmaları gibi uygulama alanlarında önemli rol oynamaktadır. Tarih boyunca birçok araştırmacı yapısal, fiziksel ve matematiksel modeller kullanarak insan ve hayvan hareketlerini açıklamayı denemiştirler (Peterson ve Bronzino 2008, Knudson 2007). Canlı hareketlerinin analizi ve tanımlanmasındaki zorluk insan ve hayvan vücudundaki

yüksek serbestlik derecesinden ve hareket verilerinin karmaşıklığından kaynaklanmaktadır.

Bu nedenle hareket yapılarının sayısal olarak ifade edilmesi ve anlam kazandırılmasında yeni yaklaşımlar denenmektedir (Çilli 2007). Basit modeller kullanılarak hareketlerin temsil edilmesi temel mekanik özellikleri açıklayabilirken sportif hareketler gibi daha karmaşık hareket yapılarında yetersiz kalmaktadırlar. İnsan hareketlerinin incelenmesinde sıklıkla çubuk şekiller olarak kabul edilen vücut üyelerinin iki ya da üç boyutlu kinematik ve kinetik verilerinden faydalanılmaktadır (Lexander 2003).

Biyokinetik, canlı organizmada hareketi oluşturan kuvvetleri inceler ve bu konuda gerek sağlık alanında, gerekse spor biyomekaniğinde insan ve hayvanlarda hareket ile birlikte vücutta meydana gelen kuvvetlerinin analizine ilişkin çalışmalar olarak tanımlanabilir.

Kinematikte incelenen başlıca iki çeşit hareket vardır. Bunlar öteleme (doğrusal) hareketi ve açısal (daireysel) harekettir. Öteleme hareketi yapan cismin bütün noktaları hareket boyunca sabit hızda aynı yolu alırlar. Açısal harekette yol açı ile belirtilir. Açısal hareket yapan bir cismin birim zamanda kapsadığı açı açısal hızını verir. Birim zamanda açısal hızda gözlenen değişikliğe açısal ivme denir .

Yürüyüş, canlıların bir yerden başka bir yere gitmek için doğal olarak yaptıkları hareketler bütünüdür. Tüm canlıların kendilerine özgü bir yürüyüş şekli vardır ve hatta bu yürüyüş şekli aynı familyadaki canlılar arasında bile farklılıklar gösterebilir. Yürüyüş analizi uzayda yer değiştirmek amacıyla ortaya konan hareketlerin mekanik prensipler doğrultusunda sayısal olarak ifade edilmesidir. Temel yürüyüş analizi nöromüsküloskeletal sistem bozuklukları ile uğraşan klinisyenler tarafından rutin olarak yapılmaktadır. Klasik muayenede hastaların eklem hareket açıklıkları, kas güçleri, kas tonusları gibi klinik değişkenlerle birlikte, gözlemsel olarak postür ve yürüyüş de değerlendirilir (5).

Yürüyüş sırasında birçok iskelet parçası ve kasta süratli ve ardışık hareketler olur, yani yürüyüş dinamik bir süreçtir ve bu sürecin parçalarını yalın göz ile yanılmaksızın ayırt

etmek imkansızdır. Bu gerçeğin ortaya konması ile 1830'larda Weber kardeşlerin öncülüğünde modern anlamda yürüyüş analizi çalışmaları başlamıştır. Marey ve Muybridge'in 1870'lerde başlattıkları fotoğrafıma yöntemleri yüzyıl içinde süratle gelişmiş ve bugün yerini gelişmiş laboratuarlarda kullanılan elektronik ekipman ve yazılım programlarına bırakmıştır (Muybridge 1985).

Nicholson ve arkadaşları 160 tazı arasından rastgele olarak seçilen 13-81 aylık 32 (17 erkek ve 15 dişi) adet tazının arka kalça, diz ve ayak bilek eklemlerinde açıl ölçer ile yaptıkları ölçümlerle, arka bacağın fleksiyon ve ekstensiyon hareketlerinde şekillenen eklem açılarındaki farklılıkları ve nedenlerini incelemiştirlerdir. Bu çalışma ile fleksiyon ve ekstensiyon hareketinde diz eklemine kalça eklemine etkisini, yarışlarda kullanılan ve antreman yaptırılan tazıların daha esnek olduğunu, antreman çalışmalarının kasların, bağların ve diğer anatomik yapıların uzamasına olumlu etkilerini ortaya koymuşlardır (Nicholson et al. 2007).

Akalan ve arkadaşları pasif diz fleksiyonunun 3 boyutlu biyomekanik simülasyonu adlı çalışmalarında diz eklemi yüzeylerini, kemikleri, bağları ve kaslarını bilgisayar ortamında modelleyerek simüle etmişlerdir. Çalışmaları sırasında 1.80 boyunda 80 kg ağırlığında 30 yaşındaki bir kadavranın bilgisayarlı tomografi ile taranmış sağ pelvis, femur, patella, tibia ve fibula kemikleri kullanılmıştır. Bu çalışmayla diz eklemine gerçek yuvarlanma ve dönme hareketlerini bilgisayar ortamındaki oluşturdukları model üzerinde uyguladıkları hareketlerle karşılaştırmışlardır. Bu çalışma diz eklemine patolojik mekanizmalarının anlaşılmasına katkı sağlamıştır (Akalan vd. 2005).

Tashman ve arkadaşları çapraz diz bağlarında hasar olan bir grup köpeğin diz bölgesini 2 yıl boyunca inceleyerek hasarların diz bölgesindeki anatomik yapıya etkilerini ortaya koymuşlardır. Bu inceleme sonunda çapraz bağları hasarlı diz eklemine doku değişiklikleri olduğu ve buna bağlı olarak kinematik bozuklukların olduğu saptanmıştır. Bu çalışma diz eklemine kıkırdak dokuya ve menüsküse bağlı mekanik özelliklerin tanımlanmasına katkı sağlamıştır (Tashman et al. 2004).

Lee ve arkadaşları köpeklerdeki tırıs koşma evrelerinin mekaniğine kütle dağılımının etkilerini incelemişlerdir. Çalışmalarında köpeklerin vücudunun belirli bölgelerine ekledikleri yüklerle (ağırlıklarının %10'u) göğüs kafesi bölgesindeki kütle dağılımındaki değişiklikleri ortaya koymuşlardır. Çalışmanın sonucunda ağırlık merkezine yakın bölgeye eklenen yük diğer bölgelere eklenen yüklere göre daha karmaşık dağılım etkisi göstermiştir (Lee et al. 2004).

Sharar ve arkadaşları köpek arka bacağına biyomekanik analizi için anatomik ve morfometrik verileri toplama amacıyla yaptıkları çalışmalarında 23 kg ağırlığında sağlıklı ve yetişkin bir erkek köpek kullanmışlardır. Ötenazi uygulanan köpek arka bacağındaki tüm kaslar operasyonla çıkarılarak fizyolojik kesit alanlar ve mimari indeksler hesaplanmıştır. Pelvis, femur ve tibia kemiklerinde sağ el koordinat sistemi kullanılarak her kasın orijin noktası hesaplanmıştır. Sonuç olarak bu çalışmada köpeklerin arka bacaklarının 3 boyutlu biyomekanik analizi için gerekli anatomik ve morfometrik veriler elde edilmiştir (Sharar et al. 2002) .

Schaefer ve arkadaşları köpeklerin tırıs koşma hareketini bilgisayar ortamında inceleyerek arka bacak simetrisindeki farklılıkları tanımlamışlardır. Çalışmalarını 8 adet iri ırk yetişkin köpek üzerinde gerçekleştirerek tırıs koşma hareketinde kalça, diz ve ayak bilek eklemlerindeki fleksiyon, ekstensiyon açılarını ve kinematik değişkenleri hesaplamışlardır. Hareket süresince arka sağ ve sol bacadaki eklemlerin ortalama fleksiyon ve ekstensiyon eğrilerin farklılıklarını karşılaştırmak için Fourier katsayılarını kullanmışlardır. Çalışma sonucunda arka sağ ve sol bacak arası mesafelerde ve Fourier katsayılarını kullanarak hesapladıkları kinematik değişkenler arasında belirgin farklılıklara rastlanmamıştır. Bu çalışma muskuloskeletal bozuklukların tedavisine referans bir kaynak olmuştur (Schaefer et al. 1998).

Bennett ve arkadaşları kalça displazi olan köpekler üzerinde bilgisayar destekli 3 boyutlu yürüyüş analizi yöntemini kullanarak yürüme hareketi esnasındaki değişiklikleri tanımlamışlardır. Normal (12 adet) ve kalça displazi olan (12 adet) toplam 24 adet köpeğin tırıs koşma kinematik ve kuvvet verilerini toplayarak, kalça, diz ve ayak bilek eklemlerinin yer değiştirmelerini, açısal hızlarını, fleksiyon ve ekstensiyon

açılarını hesaplamışlardır. Sonuç olarak kalça displazi olan köpeklerde her eklem için elde ettikleri dinamik fleksiyon ve ekstansiyon parametrelerinde az rastlanan karakteristik değişikliklere rastlamışlar ve inceledikleri iki gruptaki farklılıkları ortaya koymuşlardır. Bilgisayar destekli kinematik analizinin, karmaşık hareketlerin incelenmesinde ve tanımlanmasında basit ve etkili bir yöntem olduğunu ifade etmişlerdir. Bu çalışma kalça displazi tedavilerine önemli katkılar sağlamıştır (Bennett et al. 1996).

Hottinger ve arkadaşları bilgisayar destekli kinematik analiz yöntemi ile köpeklerin yürüyüşünü tanımlayarak elde edilen bilgileri Fourier dönüşümde kullanmak için 15 adet sağlıklı iri ırk köpek üzerinde çalışma yapmışlardır. İlk olarak köpekler hakkında morfolojik veriler toplanmış ve yürüme hareketi tanımlanmıştır. Fourier dönüşümü için yürüme esnasında eklemlerdeki fleksiyon ve ekstansiyon açıları ölçülmüştür. Çalışan her eklem için fleksiyon ve ekstansiyon durumundaki karmaşıklıklar gözlenmiştir. Yürüme hareketi değişkenleri popülasyonun genelinde uyumlu olduğu gözlenmiştir. Çalışma sonucunda eklem açılarını belirleyen Fourier katsayıları belirlenmiştir ve bu katsayılar kalça eklemi için 3, kübital, el bileği ve diz eklemi için 5, ayak bileği eklemi için 6 olarak tanımlanmıştır. Bu çalışmayla bilgisayar destekli kinematik yürüyüş analizi tekniğinin güvenilir ve istikrarlı bir yöntem olduğu ortaya konmuş ve çalışmada esnasında örnek köpeklerden elde edilen veri tabanının yürüme bozukluklarının tedavisinde karşılaştırmalar için kullanılabileceği gösterilmiştir (Hottinger et al. 1996).

DeCamp ve arkadaşları sağlıklı tazıların tırıs koşma hareketi sırasında 6 eklem (kalça, diz, ayak bileği, omuz, dirsek ve el bileği) fleksiyon ve ekstansiyon hareketlerini tanımlayarak incelemişlerdir. Çalışmalarında inceledikleri hareketleri özel olarak geliştirdikleri bir platform üzerinde kameralar kullanarak kaydetmiş ve elde ettikleri görüntüleri bilgisayar ortamında işleyerek tırıs koşma esnasında eklemlerde görülen kinematik parametreleri ortaya koymuşlardır (DeCamp et al. 1993).

Bu çalışma ile köpeklerdeki fleksiyon, ekstensiyon, yürüme ve tırıs koşma hareketlerinin bilgisayar ortamında 3 boyutlu modellenerek hareket analizinin yapılabilirliği incelenmiştir.

Bu çalışmanın 2. bölümünde öncelikle köpek arka bacağı anatomisi, temel kinematik prensipleri, 3 boyutlu sayısallaştırma yöntemleri, bilgisayar destekli modelleme ve hareket analizi konularında literatür bilgisi verilmiştir. Aynı zamanda çalışmada kullanılan Solidworks ve Cosmosmotion yazılımları hakkındaki temel bilgilere bu bölümde değinilmiştir.

Çalışmanın materyal metot bölümünde, çalışmada kullanılan arka bacak kemiklerinin 3 boyutlu lazer tarama cihazı ile sayısallaştırılması ve elde edilmiş nokta bulutu verilerden katı model oluşturulması ile ilgili yöntemlere yer verilmiştir. Aynı zamanda incelenen fleksiyon, ekstensiyon, yürüme ve tırıs koşma hareketleri sırasında arka bacak bölgesini oluşturan eklemlerin açısal parametreleri bu bölümde verilmiş ve hareket analizinde kullanılan yöntemlere değinilmiştir.

Bulgular ve tartışma bölümünde hareket analizi sonucunda elde edilen kinematik değişkenlere (konum, hız, ivme) ait sonuçlar grafikler üzerinde gösterilerek fleksiyon ve ekstensiyon hareketleri kendi arasında ve yürüme ve tırıs koşma hareketleri de kendi aralarında karşılaştırılarak tartışılmıştır.

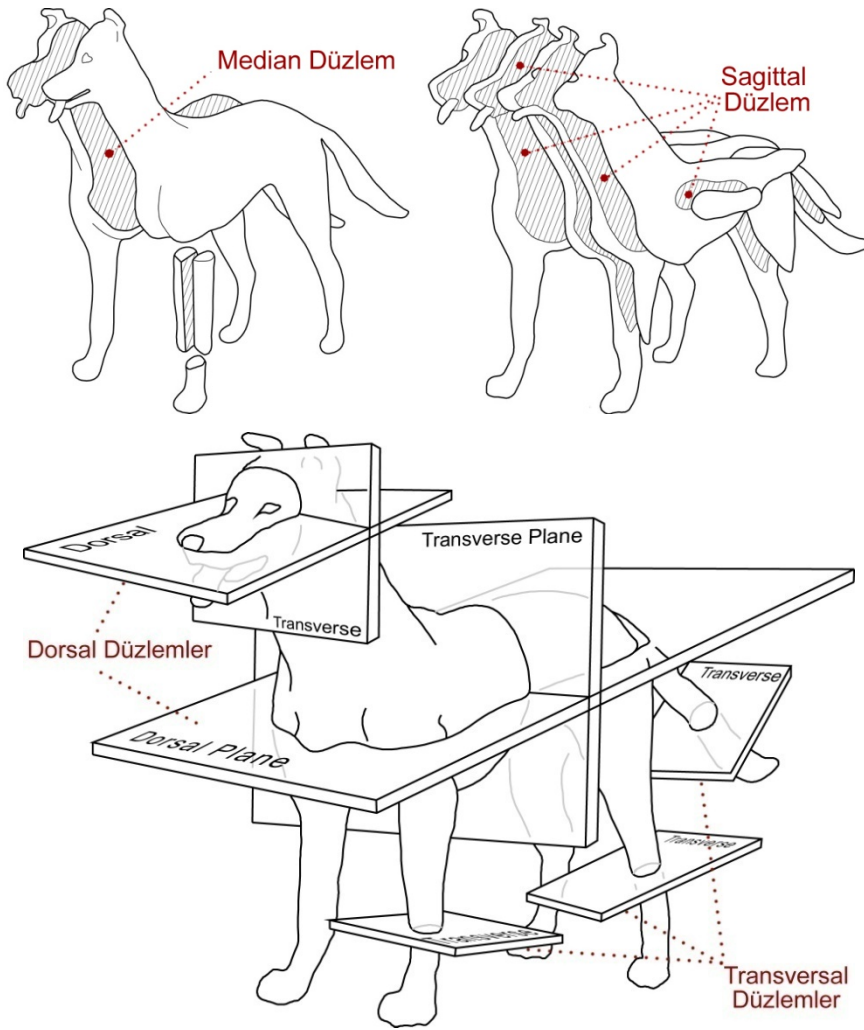
Yapılan bu çalışmanın insan ve hayvan hareketlerinin incelenmesine, fizyolojik bozukluklarının tanımlanmasına ve protez uygulamalarına yönelik değerli bir kaynak olacağı düşünülebilir.

2. LİTERATÜR BİLGİSİ

2.1. Temel Anatomik Düzlemler, Eksenler ve Yönler

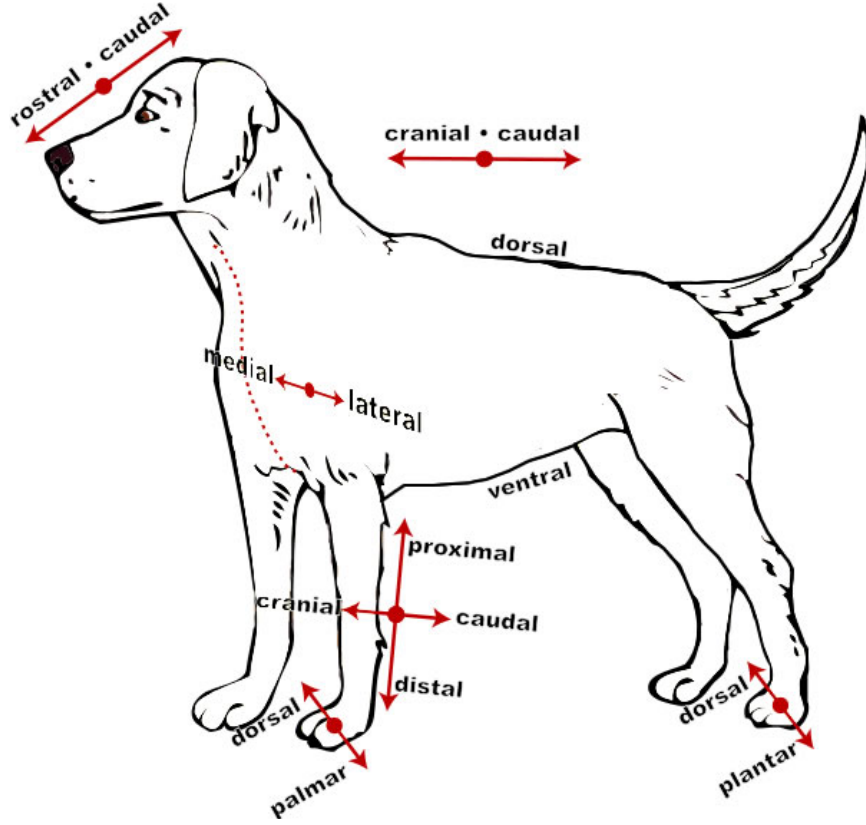
Köpek vücudunun kısımları uzayda bazı temel eksenler ve düzlemler referans alınarak incelenir ve tanımlanır.

Dorsal düzlem, uzun eksene paralel vücudu dorsal ve ventral olmak üzere iki ayıran düzlem, Transversal düzlem uzun eksene dik olan düzlem, Median düzlem dorsal düzleme dik ve vücudu tam ortadan sol ve sağ olmak üzere iki ayıran düzlem, Sagittal (paramedian) düzlem ise Median düzleme paralel olarak vücudu kesen düzlemlerdir (Şekil 2.1) (Adams 2004, Bahadır ve Yıldız 2004).



Şekil 2.1 Temel Anatomik Düzlemler

Köpeğin anatomik duruşu, temel eksenler ve düzlemler referans olarak tanımlanan anatomik yönler Şekil 2.2’de görülmektedir.



Şekil 2.2 Anatomik Yönler

2.2 Köpekte Arka Bacak kemik ve Eklemleri

Bu bölümde incelemesini yaptığımız iri ırk köpeğe ait arka bacak bölgesinin anatomik yapısı hakkında kısa bilgiler verilmiştir.

2.2.1 Arka Bacak Kemikleri

2.2.1.1 Arka Bacak Kemikleri

Arka bacak iskeletini oluşturan kemikler şekil 2.3'de verilmiştir.

Os Coxae (kalça kemiği)

Os coxae arka bacakları gövdeye bağlayan kemiktir. Os ilium, os pubis ve os ischii adındaki üç adet kemiğin, aralarında acetabulum adı verilen bir eklem çukurluğu oluşturacak biçimde birleşmeleriyle meydana gelmiştir. Acetabulum, kalça eklemine katılımına katılır. Acetabulum'un kenarları fibröz kıkırdaktan yapılmış bir halka ile yükselmiştir. Labrum acetabulare adı verilen bu halka acetabulum'un derinliğini ve genişliğini artırarak, caput ossis femoris'in yarısından fazlasını içine almasını sağlar.

Pelvis denilen yapı ise sağ ve sol tarafın os coxae'sı ile ve sacrum'un (haç kemiği) birleşmesiyle oluşan kemik çatıya denir.

Femur (Uyluk Kemiği)

Os coxa ile tibia arasında yer alır. Kemikler içerisinde en uzun ve en kalın olanıdır. Proximal ucunda caput ossis femoris adında küre şeklinde bir çıkıntı vardır. Yönü yukarıya ve içe dönük olan bu çıkıntının kıkırdakla örtülü eklem yüzünde fovea capitis femoris denilen bir çukurcuk bulunur. Bu çukurcuğa ligamentum capitis ossis femoris yapışır. Bu ligamentin de yardımıyla, caput ossis femoris ve acetabulum arasında kalça eklemi şekillenir.

Femur'un iki ucu arasında kalan gövde kesimine corpus ossis femoris, caput ossis femoris ile corpus ossis femoris arasındaki boyun kesimine de collum ossis femoris denir. Femur'un distal ucu, arkada fossa intercondylaris denilen bir çukur vasıtasıyla

condylus lateralis ve condylus medialis denilen iki parçaya ayrılmıştır. Üzerinde patella'nın kaydığı, makara görünümündeki, femur'un distal ucunun ön kısmı trochlea ossis femoris olarak isimlendirilmiştir.

Patella (Diz Kapağı Kemigi)

Femur'un distal ucundaki trochlea ossis femoris'in a önünde yer alan ve onunla eklemleşen, diz eklemine ekstensor kasının susam kemigidir.

Ossa Cruris (Bacak Kemikleri)

İç tarafta bulunan ve oldukça hacimli olan tibia ile dış tarafta bulunan ve ince bir kemik olan fibula'ya birlikte ossa cruris denir.

Tibia (Kaval Kemigi), femur ile ossa tarsi arasında yer alır. Proksimal ucu distal ucundan daha hacimlidir. Corpus tibiae üç kenarı vasıtasıyla üç yüze ayrılır. Tibia'nın alt ucuna cochlea tibiae denir.

Fibula (İğne Kemigi), bazı hayvan türlerinde tam olarak bulunduğu halde, bazılarında atrofiye olmuş, bazılarında da tamamen kaybolmuştur. Köpekte ince bir kemik halinde tibia'nın proximal ucundan distal ucuna kadar uzanır.

Tarsus (Ayak Bilek Kemikleri)

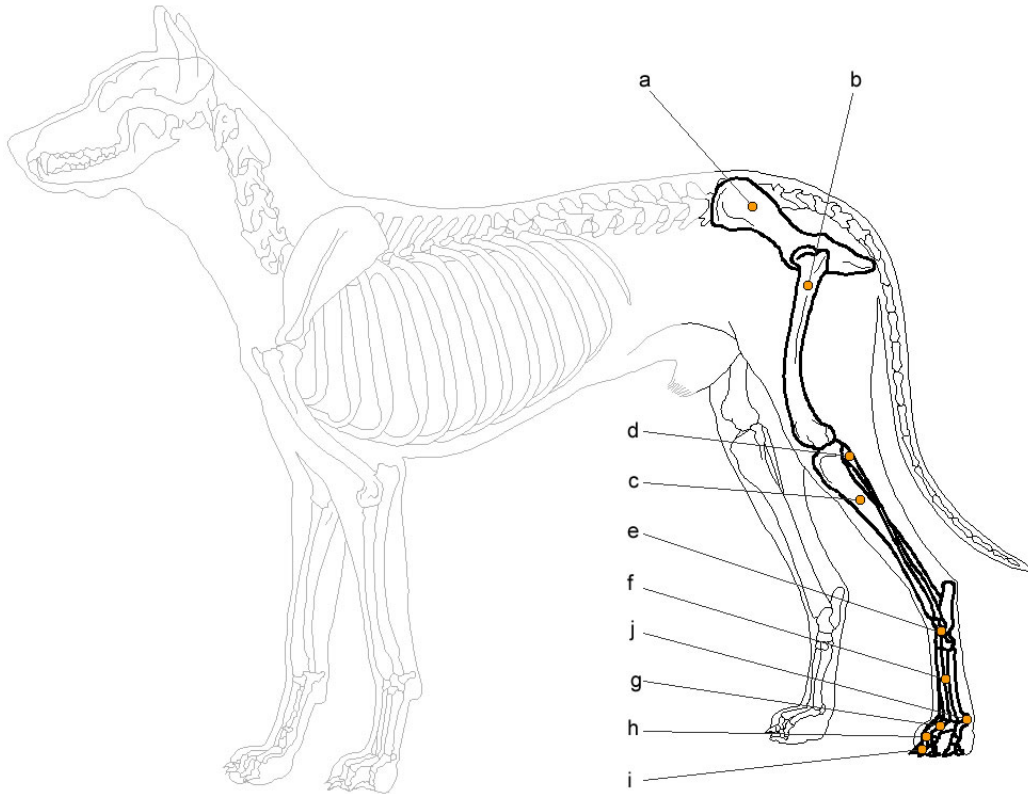
Ossa cruris ile metatarsus arasında yer alır. Proksimal sırada iki adet (talus, calcaneus) ve distal sırada dört adet (os tarsale I-IV) ve bu iki dizi arasında yer alan bir parça kemikten (os tarsi centrale) oluşur.

Metatarsus (Ayak Tarak Kemikleri)

Köpekte beş adet metatarsus bulunur.

Phalanges (Arka Ayak Parmak Kemikleri)

Metatarsus'un distalinde kalan kemiklerdir. Parmakların iskeletini oluştururlar. Parmak (digi) sayısı esas metatarsus sayısı kadardır. Köpekte genel olarak beş adet parmak vardır. Her bir parmakta üçer adet parmak kemiği (phalanx) bulunur. Bunlar proksimalden distale doğru; phalanx proximalis, phalanx media ve phalanx distalis olarak sıralanırlar. Ancak birinci parmakta iki adet parmak kemiği bulunur.



Şekil 2.3 Köpek arka bacağı iskeleti

a, coxae. **b**, femur. **c**, tibia. **d**, fibula. **e**, tarsi. **f**, metatarsalia. **g**, phalanges proximales. **h**, phalanges mediae. **i**, phalanges distales. **j**, sesamoidea proximalia.

2.2.1.2 Arka Bacak Eklemleri

Articulatio Sacroiliaca (Sağrı eklemi)

Arka bacaklarla gövdenin bağlantısını sağlayan eklemdir. Sacrum ile os ilium'un, birleşmeleriyle oluşan Az hareketli eklemdir.

Articulatio Coxae (Kalça eklemi)

Acetabulum ile caput ossis femoris arasındaki eklemdir. Eklem çıkıntısının şekline göre spheroid grubu bir eklemdir. Hemen hemen bütün hareketlere müsaade eden bir eklem olması gerekirken, hayvanlarda gerek ligamentlerin gerekse kasların özel durumları nedeniyle sadece fleksiyon ve ekstensiyon hareketleri, çok zayıf derecede de abduksiyon ve adduction hareketleri yapabilen bir eklemdir.

Articulatio Genus (Diz eklemi)

Femur, tibia ve patella'nın katılımıyla şekillenen bileşik bir eklemdir. Biri articulatio femorotibialis diğeri articulatio femoropatellaris olmak üzere iki eklemi kapsar.

Articulatio femorotibialis: Femur'un distal ucu ile tibia'nın proksimal ucu arasında şekillenir. Tibia'nın proksimal ucu, femur'un distal ucunu içine alabilecek ölçüde iç bükeylik göstermez. Bu nedenle, karşı karşıya gelen eklem yüzleri arasında, bu eklem yüzlerinin birbirlerine uyumunu kolaylaştıran meniskuslar girer. Eklem çıkıntısının şekline göre ginglymus grubundandır. Fleksiyon ve ekstensiyon hareketleri yapar. Fleksiyon esnasında biraz da rotasyon (dönme) hareketi yapabilir. Bu eklemden bulunan çapraz bağlar, aşırı gerilme hareketlerini frenler. Ayrıca femur ve tibia'nın birbiri üzerinde çeşitli yönlere doğru kaymalarına engel olur.

Articulatio femoropatellaris: Femur ile patella arasındaki eklemdir. Kemik sayısına göre yalın (simplex), fonksiyon itibariyle de delabens (kızak) eklemdir.

Articulationes tibiofibulares

Tibia ile fibula arasındaki eklemlerdir. Proksimal ve distal iki adet eklemi kapsar:

Articulationes pedis (Ayak eklemleri)

Crus kemiklerinin alt uçları ile arka ayak ve bilek kemikleri arasındaki eklemlerin tümünü ifade eder. Yukarıdan aşağıya doğru, sırasıyla, şu eklemleri kapsar:

Articulatio tarsi (Topuk eklemi): Üç eklem kapsar. Birincisi; crus kemiklerinin alt ucu ile tarsal kemiklerin birinci sırasındaki kemikler arasında oluşan articulatio tarsocruralis'tir. Bu eklem, tibia'nın distal ucu ile talus arasında şekillenir ve articulatio talocruralis olarak ifade edilir. İkincisi; tarsal kemiklerin kendi aralarında oluşturdukları articulationes intertarseae'dir. Üçüncü eklem olan articulationes tarsometatarseae; tarsal kemiklerin alt sırasını oluşturan kemikler ile metatarsus'ların üst uçları arasındaki eklemlerdir.

Articulationes intermetatarseae: Arka ayak tarak kemiklerinin (ossa metatarsi-metatarsus) kendi aralarında oluşturdukları eklemlerdir.

Articulationes metatarsophalangeae: Arka ayak tarak kemiklerinin alt ucu ile phalanx proximalis'in üst ucu arasındaki eklemdir.

Articulationes interphalangeae pedis: İki eklem kapsar. Birincisi articulationes interphalangeae proximales pedis olup, phalanx proximalis ile phalanx media arasındaki eklemdir. İkincisi ise articulationes interphalangeae distales pedis'tir ve phalanx media ile phalanx distalis arasındaki eklemdir.

2.2.2 Eklemler Hakkında Genel Bilgi (Arthrologia – Syndesmologia)

Sözlük anlamıyla arthrologia eklem, syndesmologia bağ bilimi olmasına karşın, her iki terim anatomi literatüründe genellikle aynı anlamda kullanılırlar. İskeleti oluşturan kemiklerin birbirleri ile bağlantı şekillerini ve ilişkilerini inceler. Bilindiği gibi iskeleti oluşturan kemikler birbirlerine değişik dokular yardımıyla farklı şekillerde bağlanmıştır. Bunun sonucunda da canlının vücut formu ve hareket tipi ortaya çıkmıştır (Bahadır ve Yıldız 2004).

İki veya daha çok kemik ucunun, aracı dokularla bir araya gelmesi sonucunda şekillenen oynamaz, az oynar ve oynar yapılara kemiksel birleşme veya art.ossium adı verilir.

Eklemler, vücut bölgelerindeki özel fonksiyonlarını yapabilmek için farklı yapı ve düzenlenme gösterirler. Genel olarak üç tip eklem vardır. Bunlar;

- 1- *Articulationes fibrosae – fibröz birleşme:* Ara dokunun bağ doku olduğu birleşmelerdir. Bu eklemlerde hiç hareket yoktur denilebilir. Birleşmenin geçici olduğu durumlarda sonradan kemikleşme oluşabilir.
- 2- *Articulationes cartilagineae – kıkırdaklı birleşme:* Ara dokunun kıkırdak olduğu birleşmelerdir. Basma ve çekme gibi çok az harekete olanak sağlayan birleşmelerdir.

3- *Articulationes synoviales* – özel sıvılı birleşme: Ara dokunun kaybolduğu, boşlukların oluştuğu birleşmelerdir. Hareketli birleşmelerdir ve eklem olarak adlandırılırlar.

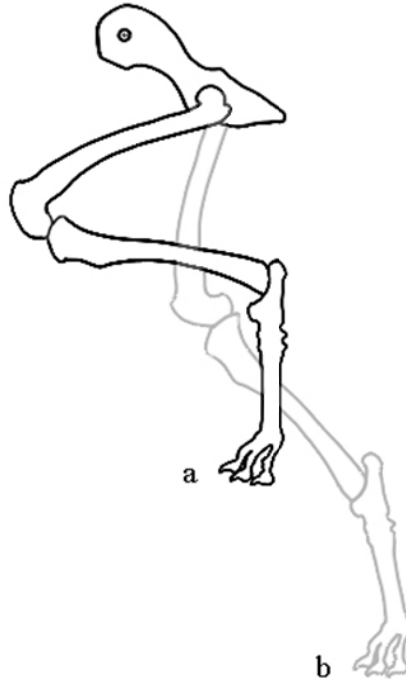
Çalışmamızda inceleyeceğimiz arka bacak iskelet yapısındaki eklemler hareketli eklemler olduğu için bu bölümde “*Articulationes synoviales*” birleşmeler ile ilgili genel bilgiler verilmiştir.

A. *Articulationes synoviales* (Sıvılı birleşmeler)

Hareketli veya tam oynar birleşmelerdir. Gerçek anlamda eklemler bu sınıfa girmektedir. Özellikle bacak kemikleri arasındaki eklemleşmeler bu sınıfın en önemli örneklerini oluştururlar. Eklem çıkıklarının fazla olduğu eklem grubu olduklarından, klinik olarak önem taşırlar. Bu tip eklemlerde bulunan anatomik yapılar;

- a) *Facies articularis ve cartilago articularis*: Synovial eklemlerde üzerinde eklem yüzü (*facies articularis*) en az iki kemik ucu bulunur. Çoğunlukla bu uçlardan biri eklem çıkıntısı, diğeri bunun karşısında ve ona uyan eklem çukurundan oluşur. Genellikle bu karşılıklı yüzeylerin arasını esası hyalin olan *cart. articularis* isimli eklem kıkırdak dokusu kaplar. Bu kıkırdak doku eklem hareketi sırasında kemik uçlarının aşınmasını ve hareketin kolaylıkla yapılmasını sağlar. Basıncı ve sürtünmeyi en az seviyede tutar.
- b) *Capsula articularis ve synovia*: Karşılıklı kemik uçlarını birbirine bağlayan iki gömlekli bir borusal kılıftır. Borunun *membrana fibrosa* isimli dış gömleği, sarı elastik fibra'ları içeren ve beyaz bağ dokudan yapılmış fibröz kattır. Eklem kıkırdağı hizasında veya onun biraz yukarısında kemik uçlarına yapışarak onların *periost*'larına (kemik zarı) karışır. Eklemlerin çoğunda bağlar bu katın belli yerlerde kalınlaşmasıyla şekillenmişlerdir. Böyle bağlara yan bağlar, *ligamenta collaterale*, denir.

- c) *Cavum articulare*: Synovia denilen eklem sıvısıyla dolmuş kılcal yapıda dar bir aralıktır.
- d) *Ligamenta – bağlar*: Kollajen dokudan yapılmış kuvvetli şeritler veya iplerdir. Kemikleri birbirlerine bağlamaya yararlar. Bükülebilir olmalarına karşılık uzama (esneklik) nitelikleri yoktur.
- e) *Meniscus articularis ve discus articularis*: Bunlar sıkı fibröz dokudan yapılmış yastıklardır. Eklem yüzey kırkırdakları arasında bulunurlar. Eklemi oluşturan kemik yüzeylerin birbirleri ile uyum içinde çalışmasını, hareket kabiliyetlerinin artmasını, sarsılmayı ve kemik yüzeylerinin zedelenmemesini sağlarlar.



Şekil 2.4 a, Fleksiyon. b, Ekstensiyon.

Synovial eklemlerin sınıflandırması

Synovial eklem türleri genellikle iki grup halinde sınıflandırılabilirler.

- a. *Eklem yüzeylerinin sayısına göre*:

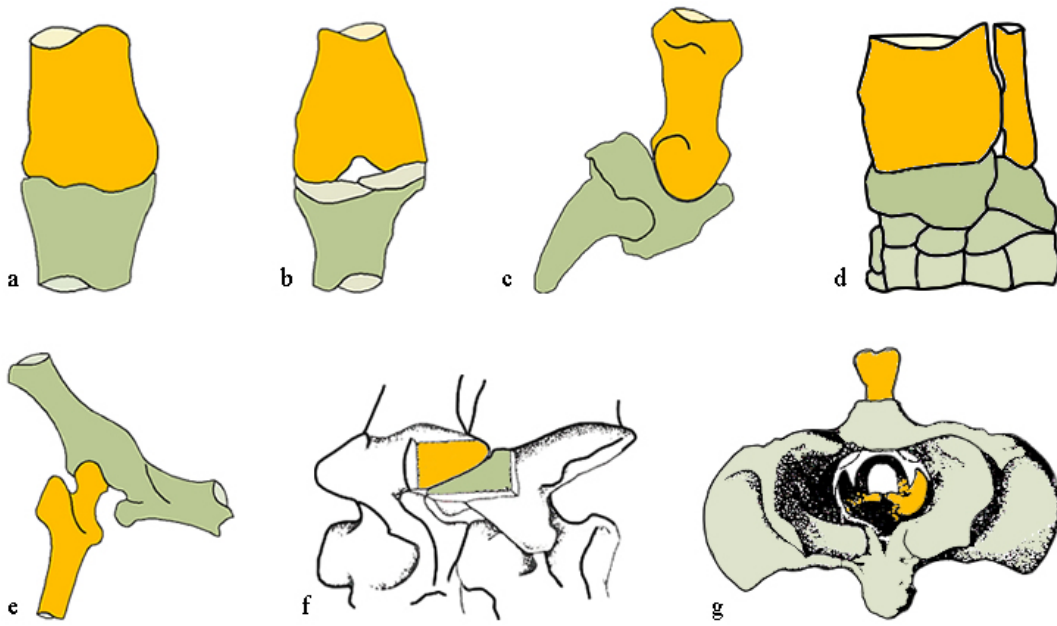
Bir kapsüle ile sarılmış iki eklem yüzden meydana gelen eklemlere basit eklem (art.simplex) adı verilir. Aynı kapsüle içinde ikiden fazla eklem yüzü varsa böyle eklemlere birleşik eklem (art.composita) adı verilir.

b. *Eklem yüzeylerinin ve çıkıntısının şekline göre:*

- 1) *Articulatio plana – düzlemsel eklem:* Eklem yüzeyleri düzdür. Hafifçe kayma hareketi yapabilir. Örnek olarak art.sacroiliaca (sağrı eklemi) eklemi verilebilir (Şekil 2.5.f).
- 2) *Articulatio spherioidea – küresel eklem:* Yarım küre şeklinde bir baş ve bunun gireceği bir oyuktan meydana gelir. Her yöne hareket edebilir. Örnek olarak art.humeri (omuz eklemi) ve art.coxae (kalça eklemi) eklemleri verilebilir (Şekil 2.5.e).
- 3) *Articulatio ellipsoidea – elipsoid eklem:* Elips şeklinde bir baş ve gireceği bir oyuktan meydana gelir. Fleksiyon ve ekstensiyon hareketleri ile sınırlı olsa yan hareketler yapabilir. Örnek olarak radius ve carpus kemikleri arasındaki radiocarpal (el bileği eklemi) eklemi verilebilir (Şekil 2.5.d).
- 4) *Ginglymus – menteşe eklem:* Birbiri ile hareket halinde olan eklem yüzeyleri silindirik yüzeyi şeklindedir. Fleksiyon ve ekstensiyon hareketi yapabilir. Tam (congruent) ve tam olmayan (incongruent) ginglymus eklem olarak ikiye ayrılır. Art.cubiti (dirsek) ve art.genus (diz) eklemleri örnek olarak verilebilir (Şekil 2.5.a).
- 5) *Articulatio trochoidea – milli eklem:* Mil şeklindeki silindirik çıkıntının, silindirik bir delik içerisinde hareketi ile oluşan eklem tipidir. Örnek olarak dingil ve tekerlek ilişkisi verilebilir. Temel olarak dönme hareketi yapar. Çok küçük açılarda bükülme ve az miktarda gerilme hareketi yapar. Örnek olarak art.atlantoaxialis eklemi verilebilir (Şekil 2.5.g).

6) *Articulatio sellaris* – *eyer eklemi*: Eklem yüzeyleri girintili çıkıntılı eyere benzer. Fleksiyon ve ekstensiyon hareketi yanında küçük bir açıda dönme hareketi yapar, parmak kemikleri arasındaki art.interphalangea eklemi örnek olarak verilebilir (Şekil 2.5.c).

7) *Articulatio condylaris* – *yumru eklem*: Eklem yüzeyleri yumru şeklindedir. Güçlü yan bağlara sahip olduğundan hareketler ekstensiyon ve fleksiyon tarzındadır. Çok az miktarda rotasyon hareketi yapabilir (Şekil 2.5.b).



Şekil 2.5 Synoviales Eklemler

a, Art.cubiti (ginglymus). b, Art.femorotibialis (art.condylaris - incongruent).
c, Art.sellaris. d, Art.radiocarpal (art.ellipsoidea). e, Art.coxae (art.spheroidea).
f, Art.sacroiliaca (art.plana). g, Art.atlantoaxialis (art.trochoidea) (Dyce et al.
1987, Bahadır ve Yıldız 2004).

B. Eklem Hareketleri

Eklemlerde temel olarak dört tür hareket vardır. Eklem yüzünün yapısı ve birleşme şekline bağlı olarak farklı hareketler görülebilmese rağmen tüm eklemlerde aşağıdaki temel hareketlerden birisi mutlaka görülür.

Kayma hareketi

En basit hareket tipidir. Başka bir harekete müsaade etmez. Bir eklem yüzünün diğer eklem yüzü üzerinde kayması ile oluşur. Eklemlerin çoğunda temel olan bir hareket tipidir.

Açısal hareket

Eklemi oluşturan kemik uçları arasındaki açının azalması veya çoğalmasıdır. Bu hareket çoğunlukla bacak eklemlerinde görülür. Fleksiyon (eklem açısının küçülmesi) ve ekstensiyon (eklem açısının büyümesi) hareketleri (Şekil 2.4) ile abduksiyon (orta düzlemden uzaklaşma) ve adduksiyon (orta düzleme yaklaşma) şekline görülür.

Dairesel hareket

Uzun bir kemiğin, bir eklemi merkez alarak o ekleme ait yörüngede dairesel hareket etmesi olarak tanımlanabilir. Bu hareket dört ayağı basanlarda oldukça kısıtlıdır. Art.coxae (kalça) ve genus (diz) eklemleri örnek olarak verilebilir.

Dönme hareketi

Kemiğin bir eksen çevresinde yaptığı dönme (rotasyon) hareketidir. Art.atlantoaxialis (ense eklemi) eklemindeki hareket verilebilir.

2.3 Mekanik

Mekanik, cisimlere etki eden kuvvetleri, bu kuvvetlerin etkisiyle meydana gelen hareketleri ve bu hareketler neticesinde, cisimler arasında oluşan etkileşimleri inceler. Cisimlerin etkisi altında kaldıkları kuvvetler nedeniyle uğradıkları esneklik (elastiklik) ve şekil değişikliği (deformasyon) de mekaniğin konularıdır.

Mekanik, genel olarak akışkanlar mekaniği ve katı cisimlerin mekaniği olmak üzere iki başlık altında incelenebilir. Akışkanlar mekaniği sıvı ve gazların statik ve dinamik olarak iki bölümde incelenirken, katı cisimlerin mekaniği şekil değiştirebilen cisimlerin mekaniği ve rijit cisimlerin (şekil değiştiremeyen) mekaniği olmak üzere iki bölümde incelenir. Şekil değiştirebilen cisimler elastik ve plastik, şekil değiştiremeyen cisimler ise statik ve dinamik olmak üzere iki alt bölümde incelenir. Statik cisimlerin denge durumunu incelerken, dinamik hareketli cisimler üzerinde durmaktadır. Dinamik, kinematik ve kinetik olmak üzere iki alt bölümde incelenmektedir. Kinematik, hareket halindeki cisimleri, harekete neden olan kuvvet ve etkileri dikkate almaksızın, cisimleri konum, hız, ivme ve momentum değişkenleri arasındaki ilişkiler açısından incelerken, kinetik, harekete neden olan kuvvet ve etkenleri incelemektedir.

Bu bölümde çalışma yaptığımız köpek arka bacak iskelet sisteminin kinematiki hakkında bazı temel bilgiler verilmiştir.

2.3.1 Kinematik

Hareketin geometrik açıdan incelenmesidir. Kinematik, hareketin nedenini araştırmadan, yer değiştirme, hız, ivme ve zaman değişkenleri arasındaki ilişkilerin yorumlanması olarak tanımlanabilir.

2.3.1.1 Serbestlik Derecesi

Serbestlik derecesi temel olarak hareketli bir sistemde yer alan tüm elemanların konumlarını belirlemek için gerekli olan parametre sayısıdır.

A. Düzlem Serbestlik Derecesi

Bir elemanın (katı cisim) bir düzlemde konumunu belirlemek için gerekli parametre sayısıdır. Düzlem serbestlik derecesi üçtür ($\lambda=3$) (3).

B. Uzay Serbestli Derecesi


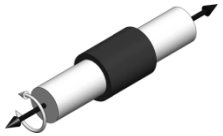
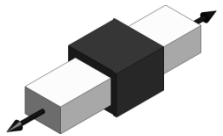
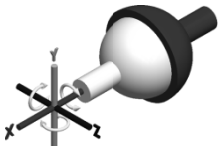
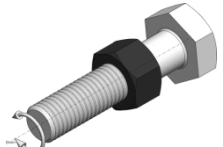
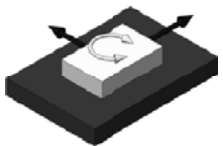

Bir elemanın uzaydaki konumunu belirlemek için gerekli parametre sayısına denir, ($\lambda=6$) (3).

C. Eklem (kinematik çift) Serbestlik Derecesi

Eklemlerle birleştirilen cisimlerin birbirlerine göre bağıl konumlarını belirlemek için gerekli bağımsız parametre sayısına denir (3).

Aşağıdaki tabloda bazı eklem tiplerine ait serbestlik dereceleri verilmiştir.

Çizelge 2.1 Eklem Tiplerine Göre Serbestlik Dereceleri.

KİNEMATİK ÇİFT	EKLEM SERBESTLİK DERECEŚİ	DÖNEL SERBESTLİK	DOĞRUSAL SERBESTLİK
Döner Eklem 	1	1	0
Silindirik Eklem 	2	1	1
Prizmatik Eklem 	1	0	1
Küresel Eklem 	3	3	0
Helisel Eklem 	1	1	Çiftleşmiş, bağlı
Düzlem Çifti 	3	1	2
Dişli Çifti 	2	1	1

D. Mekanizma Serbestlik Derecesi

Bir mekanizmayı oluşturan tüm uzuvların konumunu belirlemek için gerekli parametre sayısıdır. Mekanizma serbestlik derecesini hesaplamak için,

$$F = \lambda(L - j - 1) + \Sigma f_i \quad (1.1)$$

denklemini kullanılır. Bu denklemde λ mekanizmanın hareketinin uzayda mı yoksa düzlemde mi gerçekleştiği göz önünde bulundurularak seçilir. L mekanizmadaki toplam uzuv sayısı, j toplam mafsalları sayısı ve Σf_i ise mafsalların toplam serbestlik derecesini ifade etmektedir (3).

2.3.1.2 Maddesel Noktanın Kinematığı

Hareketi incelenecek cismin büyüklüğüne bakılmaksızın, cismi bir maddesel nokta olarak kabul edip, cismin hareketini bir bütün olarak incelenmesidir. Cismin kendi ağırlık merkezi etrafındaki dönüş hareketi ihmal edilir. Ancak bazı durumlarda cismin kendi ağırlık merkezi etrafında yaptığı dönme hareketi ihmal edilemez ve cisimler bu durumda maddesel nokta olarak kabul edilemezler. Bu hareketler rijit cisimlerin dinamiği altında incelenir.

Bu kapsamda maddesel nokta için çeşitli eksen takımlarında konum, hız ve ivme analizleri yapılabilir. Eksen takımlarının durumuna göre özellikle hız ve ivmeler çeşitli bölümler altında incelenir (Marghitu 2001, Ruina et al. 2002, Josephs and Huston 2002).

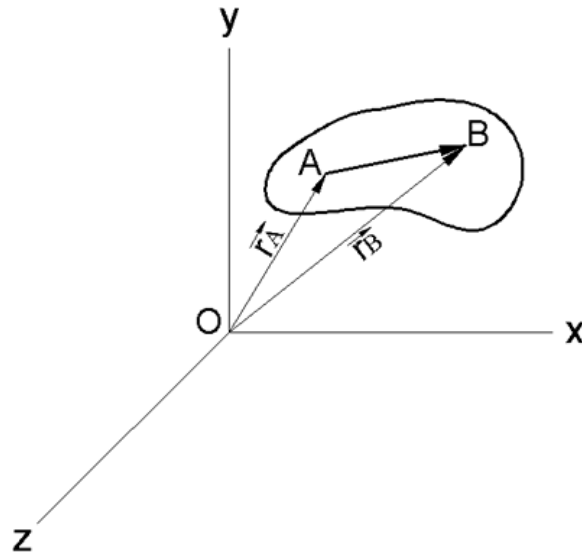
2.3.1.3 Rijit Cisimlerin Kinematığı

Herhangi bir kuvvet ve yük etkisi altında şekil değişimine uğramadığı kabul edilen cisimlere rijit cisim denir. Rijit cisim kinematığı, bir rijit cismi meydana getiren maddesel noktaların yer, hız, ivme ve zaman bağıntılarını inceler.

A. Hareket Tipleri

a. Ötelenme Hareketi

Cisim içerisinde bulunan herhangi bir doğru parçası cismin hareketi boyunca doğrultusunu koruyorsa yapmış olduğu harekete ötelenme denir (Şekil 2.7).



Şekil 2.6 Öteleme Hareketi.

Şekildeki A ve B noktalarının yer vektörleri arasında aşağıdaki bağıntı yazılabilir.

$$\vec{r}_A + \vec{AB} = \vec{r}_B \quad (1.2)$$

\vec{AB} vektörü sabit olduğu için her iki tarafın türevini aldığımızda,

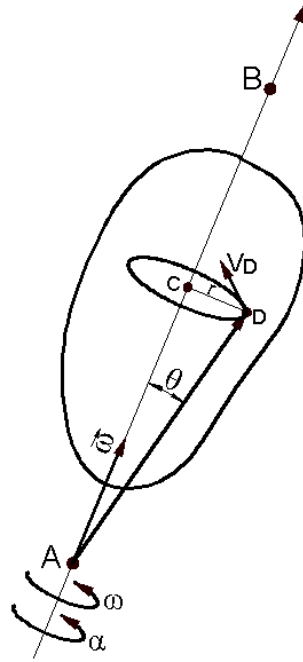
$V_A = V_B$ hız vektörleri arasındaki bağıntı bulunur. Bu ifadenin tekrar türevini aldığımızda ise,

$a_A = a_B$ ivme vektörleri arasındaki ilişki bulunur.

Bu bağıntılar sonucunda öteleme hareketi yapan rijit cismin tüm noktalarının hız ve ivme vektörlerinin birbirlerine eşit olduğu görülür. Öteleme hareketinde bütün noktaların hızları birbirlerine eşit olduğu için yörüngeleri birbirleri ile aynı veya ötelenmiş eğriler olur. Eğer bu yörüngeler doğru şeklinde ise doğrusal ötelenme, eğri şeklinde ise eğrisel ötelenme hareketi denir.

b. Sabit Bir Eksen Etrafında Dönme Hareketi

Rijit cisim üzerindeki noktaların sabit bir eksene veya bu eksen üzerindeki bir noktaya olan uzaklıkları hareket süresince değişmiyorsa rijit cismin yapmış olduğu bu harekete sabit bir eksen etrafında dönme hareketi denir (Şekil 2.8).



Şekil 2.7 Sabit Eksen Etrafında Dönme Hareketi.

Dairesel harekette P noktasının hız vektörünün doğrultusu çembere teğet, yönü hareket yönünde ve şiddeti ise açısal hızının yörünge yarıçapı ile çarpımına eşittir.

$$V = r\omega \quad (1.3)$$

P noktasının açısal ivmesi aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\theta}{dt^2} = \ddot{\theta} \quad (1.4)$$

Sabit bir eksen etrafında dönme hareketinde normal ve teğetsen ivme bileşenleri ise,

$$a_t = r\alpha, \quad a_n = \frac{V^2}{r} = r\omega^2 \quad (1.5)$$

bağıntıları ile hesaplanır.

c. Düzlemsel Harekette Bağlı Hız

Şekil 2.9'da rijit cismin düzlemsel öteleme ve dönme hareketi görünmektedir. Rijit cisim üzerinde bulunan A noktasının konum vektörünü $r_A = OA$ ve B noktasının konum vektörünü $r_B = OB$ vektörü ile tanımlayalım. A noktasının B noktasına göre konumunu ise $r_{A/B}$ vektörü ile tanımlayalım. Bu durumda A noktasının konumu,

$$r_A = r_B + r_{A/B} \quad (1.6)$$

hızı,

$$V_A = V_B + V_{A/B} \quad (1.7)$$

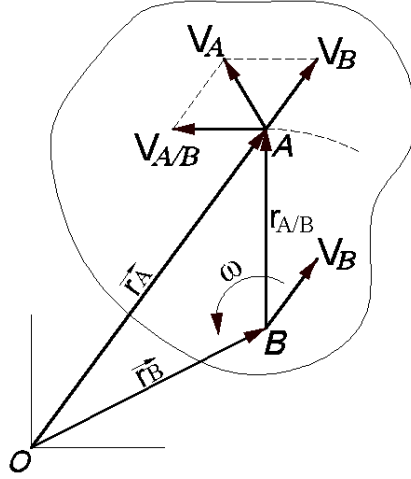
ve bağlı hızı ise,

$$V_{A/B} = \omega r_{A/B} \quad (1.8)$$

ve bağıl hızı ise,

$$V_{A/B} = \omega r_{A/B} \quad (1.8)$$

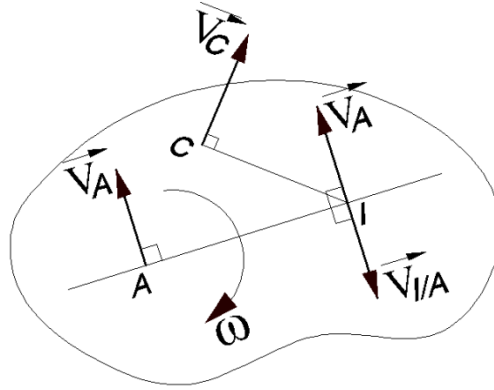
bağıntıları ile ifade edilir.



Şekil 2.8 Rijit Cisim Düzlemsel Öteleme ve Dönme Hareketi.

d. Düzlemsel Harekette Ani Dönme Merkezi

Genel düzlemsel hareketteki $V_A = V_B + V_{A/B}$ eşitliğinden yola çıkarak herhangi bir noktanın hız vektörü, hız vektörü bilinen bir noktanın hız vektörü ile bu noktayı baz alarak elde edilen bağıl vektörün toplanmasıyla bulunur. Bu bağıntıdan düzlemsel harekette hızı sıfır olan noktayı bulmak mümkün olur. Bulunan bu nokta kullanılarak etrafında dairesel hareket eden diğer noktaların hızları hesaplanır.



Şekil 2.9 Genel Düzlemsel Harekette Ani Dönme Merkezi.

Şekil 2.10'da görüldüğü gibi A noktasının hızına çıkılan dikme üzerindeki hızı sıfır olan bir I noktası bulunur. Bulunan I noktası $V_A = V_{I/A}$ eşitliğini sağlarsa, bu noktanın hızı sıfır olur. Rijit cisim üzerinde alınan C noktası ile I noktası bir doğru ile birleştirilir ve C noktasından bu doğruya bir dik çıkılırsa V_C hızı elde edilir. Cismin ω açısal hızı ve yönünde döndüğü düşünülürse,

$$V_C = \omega \overline{IC}$$

bağıntısı elde edilir.

e. Düzlemsel Harekette Bağlı İvme

Şekil 2.11'de dairesel hareket yapan rijit cisim üzerindeki A noktasının ivmesi, B noktasının ivmesi ile A noktasının B noktasına göre ivmesi ile toplanarak elde edilir.

$$a_A = a_B + a_{A/B} \quad (19)$$

$$a_{A/B} = a^n_{A/B} + a^t_{A/B} \quad (1.10)$$

Normal ivme,

$$a^n_{A/B} = \frac{V_{A/B}^2}{r_{A/B}} = \omega^2 r_{A/B} \quad (1.11)$$

teğetsel ivme ise

$$a^t_{A/B} = \alpha r_{A/B} \quad (1.12)$$

bağıntıları ile hesaplanır. Teğetsel ve normal ivmeleri denklem (1.10) da yerine koyduğumuzda,

$$r_{A/B} = \omega^2 r_{A/B} + \alpha r_{A/B}$$

bağıntısı elde edilir.

2.4 Bilgisayar Destekli Modelleme ve Simülasyon

Bu bölümde incelenen köpek arka bacak iskelet yapısının sayısallaştırılarak bilgisayara ortamında aktarılması ve modellenmesi konusunda genel bilgiler verilmiştir.

2.4.1 Bilgisayar Destekli Üç Boyutlu Modelleme

Endüstrinin artan ihtiyaçlarını karşılamak üzere, üç boyutlu ölçme tekniklerine olan talep ve yatırımlar gün geçtikçe artmaktadır. Gerek mühendislik uygulamaları ve imalat prosesleri gerekse endüstriyel tasarım ve ürün geliştirme faaliyetleri hızlı, hassas ve kullanıcı odaklı sayısallaştırma sistemlerine ihtiyaç duymaktadır. Özellikle dijital sayısallaştırma teknikleri sayesinde iş parçasına ait nokta verilerinin detaylı olarak elde edilmesi ile istenilen imalat toleranslarını yakalama, üretilecek parçalar için geometri belirleme ve bilgisayar ortamında mekanik analizler gerçekleştirme gibi pek çok tersine mühendislik ve muayene işlemleri mümkün olmaktadır.

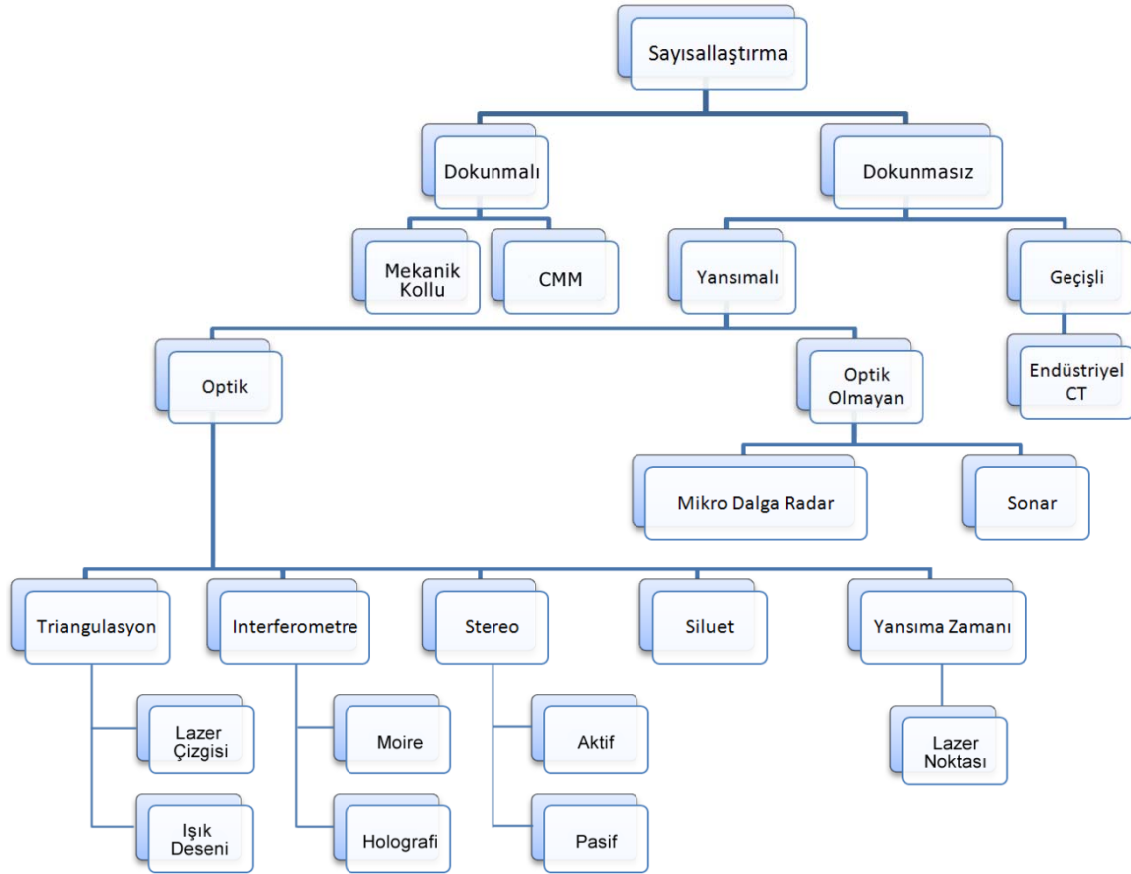
Günümüz bilgisayar destekli modelleme, üretim ve mühendislik uygulamalarında çoğunlukla bilgisayar ortamında oluşturulan üç boyutlu modelden hareket edilerek sonuçlara ulaşılmaktadır. Bu yöntem dışında “tersine mühendislik” olarak tanımlanan ve günümüz mühendislik teknolojilerini içerisinde barındıran alternatif bir yöntemde mevcuttur. Tersine mühendislik kavramı var olan bir ürünü geliştirme veya yeni bir ürün yaratma sürecini kısaltmak, dolayısıyla üretim maliyetlerini düşürmek amacıyla doğmuştur. Bu anlayış tüm tasarım sürecinde yer alan ekiplerin eşzamanlı olarak çalışması esasına dayanmaktadır. Bu yöntem genel olarak var olan bir üründen yola çıkarak, imalat proseslerinin geriye doğru uygulamak ve tüm operasyonların eş zamanlı olarak çözümlenmesine yönelik yapılan çalışmaların bütünü olarak değerlendirilebilir. Ancak ülkemizde yeni yeni kullanılmaya başlanan bu yöntem çoğunlukla var olan ürünlerin üç boyutlu sayısallaştırma cihazlarıyla model haline getirilmesi ve bilgisayar kontrollü tezgahlarda üretilmesi anlamına gelmektedir.

2.4.1.1 Üç Boyutlu Sayısallaştırma

Sayısallaştırma işlemi, var olan fiziksel bir nesne formunu bilgisayar ortamına aktarma işlemidir. Nesneden elde edilen işlenmemiş veri, tersine mühendislik yazılımları sayesinde kullanılabilir veri formatına dönüştürülebilmektedir.

Üç boyutlu sayısallaştırma yöntemi iş parçası formuna ait nokta bulutu verilerinin elde edilmesidir. Bu verileri elde etmek için uygulama yöntemine, kullanılan teknolojiye ve hitap ettiklere sektöre göre alternatif metotlar geliştirilmiştir (Akdoğan vd. 2003).

Şekil 2.12’de sayısallaştırma yöntemleri genel olarak sınıflandırılmıştır.

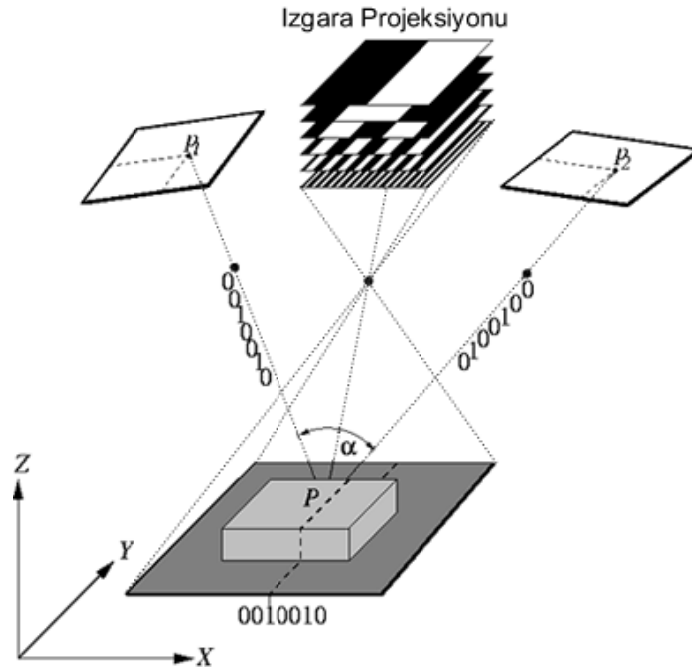


Şekil 2.11 Sayısallaştırma Yöntemlerinin Sınıflandırılması (Akdoğan v.d. 2003).

İş parçalarından sayısal veri toplamak için uygulanan yöntemler dokunmalı ve dokunmasız olarak iki temel grupta incelenebilir. Dokunmasız yöntemlerden ızgara

projeksiyonu ve lazer ölçme metodu en çok kullanılan optik veri toplama tekniklerinin başında gelir.

Izgara projeksiyonu metodu, siyah ve beyaz şeritler halindeki desenlerin ölçülecek yüzeye bir sıra halinde yansıtılması esasına dayanmaktadır. Bu desenler, bir LCD projektör vasıtasıyla mümkün olduğunca eşit iki parçaya bölünen siyah ve beyaz çizgilerden oluşmaktadır (Şekil 2.13).



Şekil 2.12 Izgara Projeksiyonu.

3D Sayısallaştırma çözümlerinde, iş parçalarının yüksek çözünürlükteki CCD kameralar vasıtasıyla çeşitli açılardan elde edilen görüntüleri gelişmiş fotogrametri tekniklerini kullanan özel bir yazılım ile IGES ve STL gibi üç boyutlu standart veri formatlarına dönüştürülmektedir. Bu sistemler, yüksek hassasiyeti, kullanım kolaylığı ve hızı ile dünya çapında başarılı bir şekilde kullanılmaktadır.

CCD kameralar bir video kamera türüdür. Film yerine, lensler arkasına ışık yoğunluğunu elektronik sinyallere dönüştüren ve bunu direkt bilgisayara transfer edebilen bir CCD (Charge Coupled Device) chip yerleştirilmiş bulunmaktadır. CCD

kamera, küçüklüğü, hassasiyeti, sabitliğı, düşük fiyatı ve uzun servis yaşamıyla tercih gören bir donanımdır.

Dokunmasız tarama sistemlerinden lazer çizgili sistemler, cisim üzerine bir lazer kesiti düşürülmesi ve bu kesitin cismin üzerinde hareket ettirilmesi prensibi ile çalışırlar. Parça üzerine düşürülen lazer ışını kaynaktan gidiş ve dönüş zamanının, ışın hızıyla çarpılması sonucu otomatik olarak hesaplanır. Cisim üzerinde deformasyona uğrayarak geri dönen lazer ışını, CCD dijital kameralar vasıtasıyla yakalanır. Bu deformasyon verilerinin x,y,z koordinatları trigonometrik olarak hesaplanabilmektedir.

Kullanılan sensöre ve yazılama bağı olarak bir lazer çizgisi üzerinde 650 den fazla nokta veri toplanabilmektedir. Sayısallaştırılan nesne yüzlerce noktadan milyonlarca noktaya varan ve genellikle nokta bulutu olarak adlandırılan bir veriye dönüştürülmüştür.

Farklı uygulamalar için üretilmiş portatif elle taşınan, masaüstü ve mekanik kollara bağlanan modelleri vardır. Ayrıca ölçme işlemi lazer kafanın robot kollara bağlanmasıyla otomatik olarak gerçekleştirilebilir (Resim 2.1).



Resim 2.1 Mekanik Kollu 3B Lazer Tarayıcı.

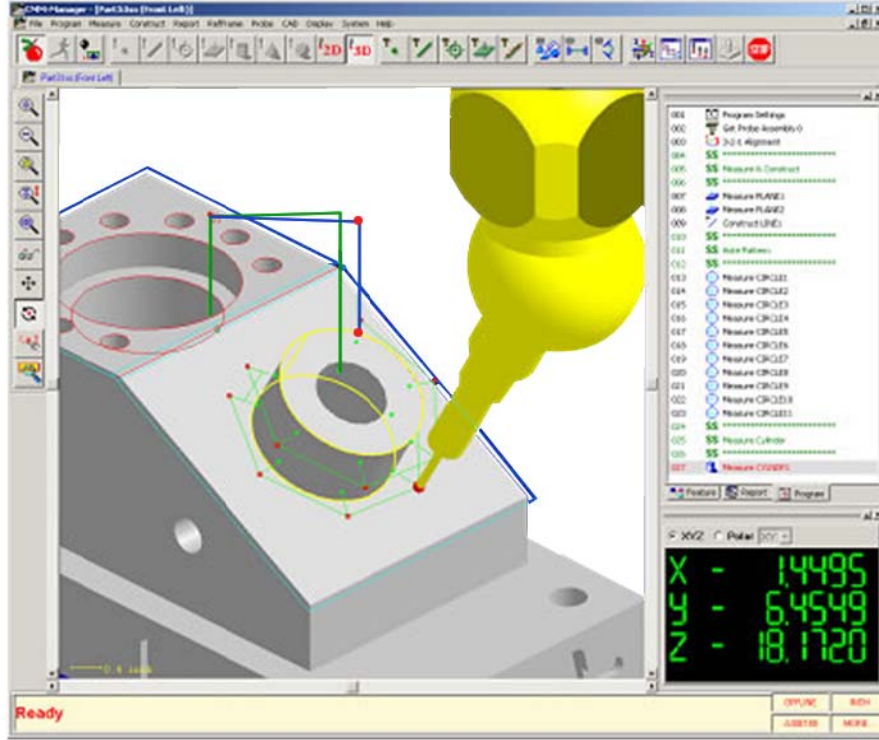
Dokunmalı tip sayısallaştırma cihazları mekanik kollu ve CMM (coordinate measuring machine) olmak üzere iki grupta incelenebilir. Her ikisinde de ölçme esnasında prob adı verilen küre biçimindeki alıcı uçlar ölçülecek nesne üzerine temas ettirilerek o noktaya ait x,y ve z koordinatları elde edilir. Mekanik kollu sistemlerde cihazın kontrolü ve ölçme işlemi genellikle el ile yapılırken robot kollar ve algılayıcılar kullanılan sistemlerde otomatik olarak yapılabilir. Mekanik kollu sistemler özellikle taşınabilirliğin önem arz ettiği yerde büyük esneklik sağlarlar. Taşındığı yerde sabitlenip, kalibre edildikten sonra noktasal koordinat verileri toplanır. Aynı zamanda CAD verileri ile anında karşılaştırma yapmak da mümkündür. Tarama yapmak amacıyla lazer tarayıcılar da bağlanabilir. Ofis içinde ve masa üzerinde kullanılan türleri de bulunan bu tür cihazları hassasiyeti 0,01 ile 0,002 mm/m olmaktadır.

CMM tezgahlarında ise bir tabla üzerine sabitlenen parçaya, gövde üzerinde hareket eden bir platforma bağlı prob temas ettirilerek ölçme işlemi gerçekleştirilir (Resim 2.2).



Resim 2.2 CMM 3b Koordinat Ölçüm Tezgahı.

Tezgahla beraber gelen yazılım ile temas edilen noktalara ait koordinatlar elde edilir ve istenildiğinde nokta bulutu verisi olarak kayıt edilebilir (Şekil 2.14).



Şekil 2.13 Koordinat Ölçüm Yazılımı.

CMM sistemleri elle ya da bilgisayarla otomatik kumanda edilen şekilde iki ana sınıfa ayrılabilir. Bilgisayar destekli olanlar programlanarak aynı tür parçaların sürekli ölçümlerinde kolaylık sağladığı gibi, cisim yüzey taramalarında da kullanılırlar.

2.4.2 Bilgisayar Destekli Hareket Analizi

Mühendislik problemlerinden birisi olan dinamik sistemlerin kuvvetler etkisindeki davranışları, bilgisayar teknolojinin gelişmesiyle birlikte sanal ortamlarda canlandırılabilir duruma gelmiştir.

Bilgisayar ortamında modellenen mekanik sistemlere ait parçalar, sistemin çalışma prensibi ve hareket şekilleri göz önünde bulundurularak montaj yapılmakta ve

bilgisayar ortamında hareketlendirilerek simüle edilebilmektedir. Bu yöntemle yapılan çalışmalar sırasında dikkat edilmesi gereken en önemli husus, parçaların uygun mafsal tipleri seçilerek birleştirilmesidir.

Montaj aşamasından sonra, sabit ve hareketli parçalar belirlenir ve hareketli parçalardan birisine istenilen türde (daireysel, öteleme, eğrisel, titreşim vb..) ve büyüklükte hareket tanımlanabilir. Bu aşamadan sonra montaj içerisindeki parçaların nasıl hareket ettikleri, bağlantılarda oluşan kuvvetlerin büyüklükleri, sistemin güç gereksinimi gibi dinamik problemlere çözümler üretilebilir.

Dinamik problemlerinin bilgisayar ortamında canlandırılarak çözümler üretilmesi,

- Prototip ve fiziksel test sayısını azaltmak,
- Tasarım ve geliştirme sürecini kısaltmak,
- Maliyetleri düşürmek,
- Ürün kalitesini artırmak,
- Alternatif tasarım seçeneklerini görme şansını yakalamak,

ve daha sayılabilecek birçok konuda önemli avantajlar sağlayacaktır.

Dinamik problemlerin bilgisayar destekli çözümü için birçok yazılım geliştirilmiştir. Bu amaçla geliştirilmiş paket programlara Adams, CosmosMotion, Catia, Proengineer, Unigraphics, Abaqus vb. örnek olarak gösterilebilir. Yazılımların bir kısmı sadece bu amaçla üretilmişken kimisi de temel CAD/CAM/CAE yazılımı olup hareketli sistemlerin analizi için içerisinde ayrı bir modül barındırmaktadır. Yazılımlar kendi aralarında çözümler getirebildiği problem türleri, kullanım kolaylığı, CAD programlarıyla uyumluluğu gibi etkenler göz önünde bulundurularak tercih edilebilir.

Bu çalışmada modelleme işlemleri SolidWorks yazılımı ve hareket analizleri SolidWorks programı içerisine entegre edilmiş CosmosMotion modülü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. CosmosMotion yazılımı terchinde SolidWorks programı ile aynı

arayüzü kullanması ve tam entegre olarak çalışması, kolay kullanımı ve hızlı çözümlene süresi etken olarak gösterilebilir.

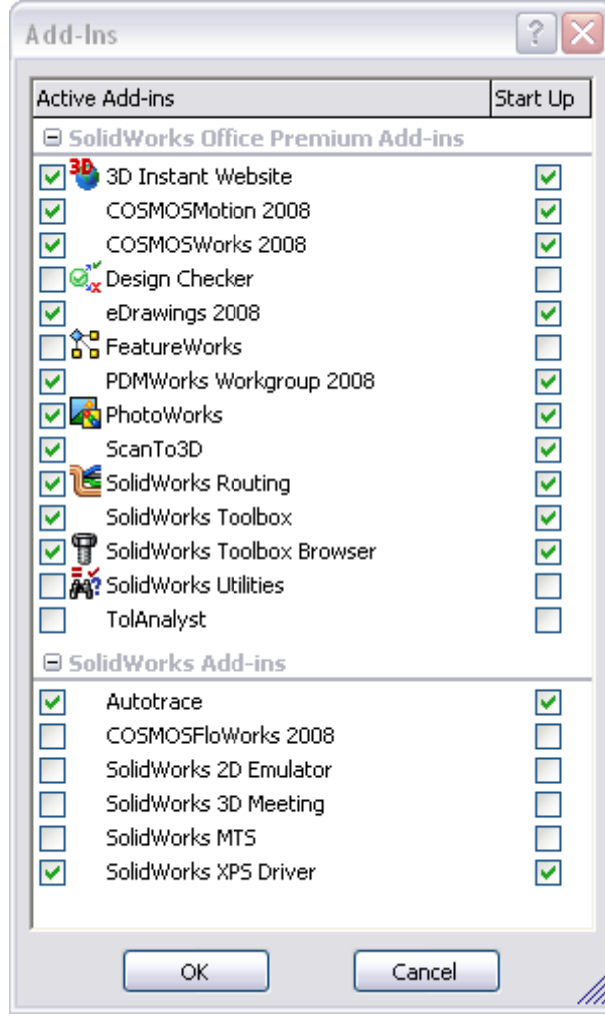
2.4.2.1 CosmosMotion Yazılımı ile Hareket Analizi

SolidWorks yazılımı ile tam uyumlu çalışabilen CosmosMotion yazılımı ile her türlü mekanik sistemin hareket davranışı test edilebilmektedir. Bu analizler,

- Sistemin hareketli olarak çalıştırılması
- Sistemin, kuvvet, tork, yay, etki-tepki gibi yüklemeler altında davranışının test edilmesi
- Hareket eden sistemin istenilen bölgelerinin konum, hız, ivme ve momentum değişimlerinin grafiksel olarak elde edilmesi
- Hareket yörüngelerinin çizdirilmesi
- Hız ve ivme vektörlerinin çizdirilmesi
- Her mafsallık için istenilen kinematik değişkenlerin çizdirilmesi
- Parça ve mafsallara hareket sınırlandırmalarının verilmesi ve bu sınırlandırmaların analizi
- Tepki kuvvetlerinin grafiklerinin çizdirilmesi
- Hareketlerin simülasyonlarının oluşturulması

CosmosMotion yazılımının kullanımı oldukça pratiktir. SolidWorks yazılımında vermiş olduğunuz montaj ilişkilendirmeleri ve sınırlandırmalar CosmosMotion yazılımında tanınır ve bu ilişkiler kullanılarak sistem çalıştırılır.

CosmosMotion yazılımının kullanılabilmesi için SolidWorks Office Premium programının kurulu olması gerekmektedir veya daha az kapsamlı bir SolidWorks modülü kurulumu ise CosmosMotion yazılımının manuel olarak kurulması gerekmektedir. Program kurulumunu yaptıktan sonra Menü çubuğunda bulunan Tools menüsü altındaki “Add-Ins” öğesinden (Şekil 2.15) deki bileşenlerin aktif edilmesi gerekmektedir.



Şekil 2.14 CosmosMotion Menüsünün Eklenmesi.

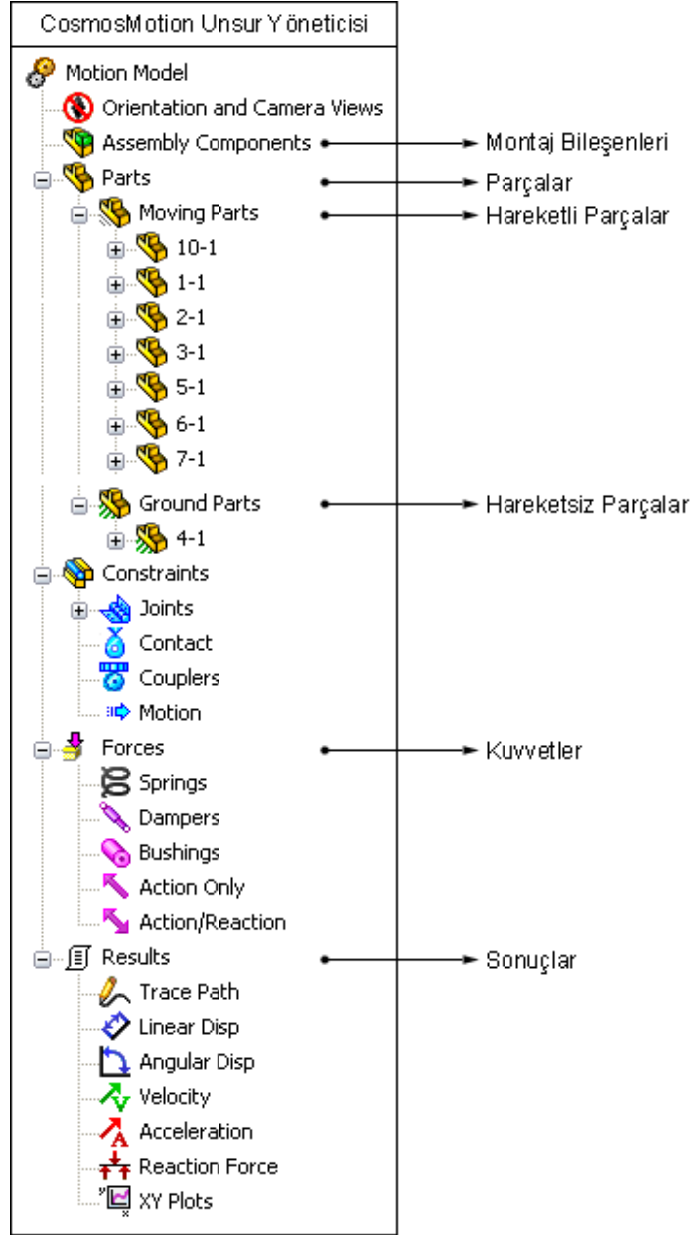
CosmosMotion programı Montaj (assembly) altında çalışmaktadır. Bu yüzden CosmosMotion menüsü ve araçları montaj sayfası altında aktifleşir.



Şekil 2.15 CosmosMotion Araç Çubuğu.

CosmosMotion araç çubuğu ve menüsü aynı araçları içermektedir. Bu araçları kullanarak ayarlar, hesaplamalar, analizler, simülasyonlar oluşturularak çıktılar elde edilir. Sol tarafta bulunan unsur ağacı sekmelerinden sekmesi aktifleştirilerek CosmosMotion unsur yöneticisine geçilir. Bu pencerede montaj bileşenleri, parçalar ve

parçaların montaj içindeki durumları, birleştirmeler, yüklemeler ve sonuçlar bulunmaktadır.



Şekil 2.16 CosmosMotion Unsur Yöneticisi.

2.4.2.2 CosmosMotion Programının Kullanımı

A. Hareketli ve Hareketsiz Parçaların Belirlenmesi

Hareket analizi yapılacak mekanik sistemlerde ilk yapılması gereken hareketli ve sabit parçaların belirlenmesidir.

Hareketli ve sabit parçalar, unsur ağacındaki parts bölümü altındaki parçalara sağ tıklanarak açılan menüden sabit parçalar için “Ground Part” veya hareketli parçalar için “Moving Part” seçenekleri seçilerek belirlenir.

Diğer bir yöntem ise “Assembly Components” listesindeki parçalar sürükleyip bırak yöntemi ile istenilen bölüme taşınarak hareketlilik durumu belirlenir. Assembly components listesinde kalan parçalar hesaplamalar ve analizlere dahil olmaz.

B. Parçalar Arası İlişkilerin Kurulması

Parçalar SolidWorks ortamında uygun şekilde birleştirildiğinde otomatik olarak CosmosMotion mafsalları de oluşturulur ve unsur ağacındaki “Joints” listesi altına eklenir. Aynı ilişkiler “Parts” listesi altındaki parçaların özellikleri altında da oluşur.

C. Mafsallara Hareket Verilmesi

Joints listesi altında bulunan parçalara sağ tıklanarak açılan menüden seçilen “Properties” öğesi ile mafsallara hareket verilebilir (Şekil 2.17).

Motion On: Hareketin şeklinin ve ekseninin belirlendiği menüdür. Bu seçenekte istediğimiz ekseninde dönme veya öteleme hareketi tanımlanabilir.

Motion Type: Hareket tipinin ve özelliklerinin belirlendiği seçenektir.

Free: Serbest hareket.

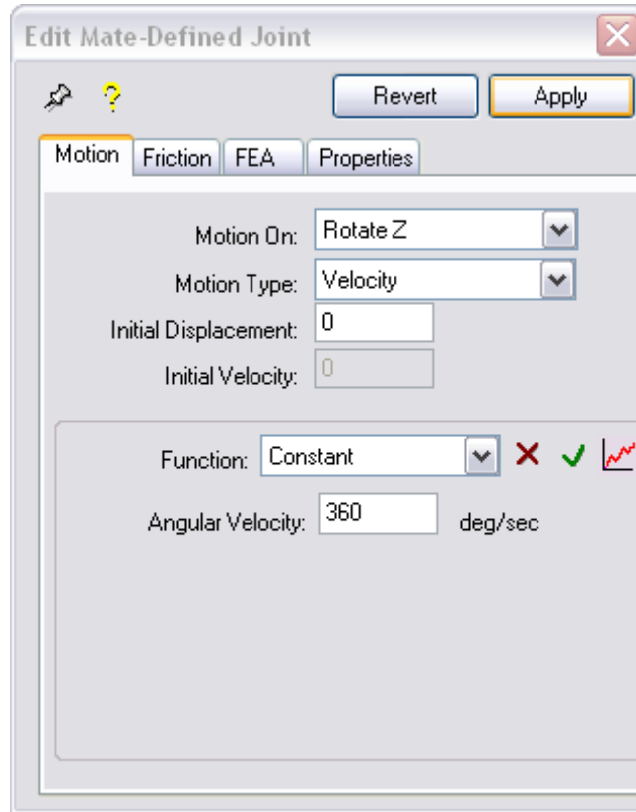
Displacement: Hareket, yer değiştirme verileri kullanılarak tanımlanır.

Velocity: Hareket, hız verileri kullanılarak tanımlanır.

Acceleration: Hareket, ivme verileri kullanılarak tanımlanır.

Function: Tanımlanan harekete ait parametrelerin girildiği menüdür. Bu seçenekte hareketin yer değiştirme, hız ve ivme parametreleri girilir. Hareket öteleme ise doğrusal yer değiştirme miktarı, doğrusal hız veya ivme değerleri girilir. Dönme hareketi tanımlanıyorsa açısal yer değiştirme, açısal hız veya ivme değerleri girilir.


Aynı zamanda bu menü altında hareketin, sabit hızlı, sabit ivmeli, eğrisel, harmonik vb. fonksiyonel özellikleri de tanımlanır.



Şekil 2.17 Mafsallara Hareket Verilmesi.

Friction: Sürütünme katsayısı ve sürtünen yüzeyin fiziksel özelliklerinin belirlendiği menüdür.

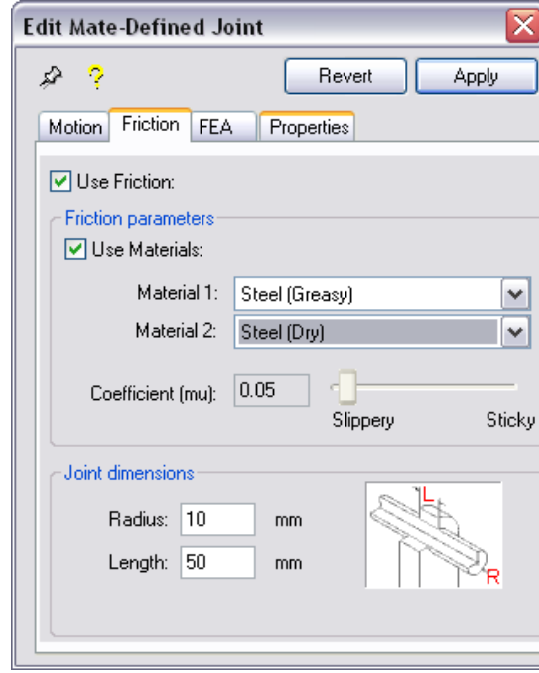
D. Hareketin Hesaplanması

CosmosMotion araç çubuğunda bulunan  calculate butonu veya menü de bulunan “Calculate” komutunu kullanarak tanımlamış olduğumuz hareketi hesaplayabiliriz. Hesaplama bittikten sonra simülasyon panelinde bulunan araçlar kullanılarak sistemin simülasyonu yapılabilir.

Simülasyon hesaplandıktan sonra birleştirmeler veya diğer unsurlar üzerinde değişiklikler yapılabilmesi için hesaplanan hareketlerin iptal edilerek silinmesi gerekmektedir. CosmosMotion araç çubuğunda veya menüde bulunan delete butonu ile analizi yapılan hareketler silinebilir.

E. Birleştirmelere Sürtünme Etkisinin Eklenmesi

Sisteme sürtünme ekleyebilmek için Şekil 2.19’da görülen “Friction” sekmesi kullanılmalıdır. Friction sekmesi altında bulunan “Use Friction” onay kutusu işaretlenerek sisteme sürtünme özellikleri eklenebilir.



Şekil 2.18 Sisteme Sürtünme Eklenmesi.

Sisteme sürtünme etkisi ekleyebilmek için parçaların malzemesini ve çalışma ortamlarını belirlemek gerekir. Örnek olarak kaymayı artıran yağ veya akışkan bulunan ortamda çalışan çelik malzeme gösterilebilir. Bu bölümdeki “Coefficient” değeri sürtünme katsayısıdır ve “Slippery” sürtünmenin sıfır olduğunu, “Sticky” ise sürtünmenin maksimum olduğu ve parçaların birbirleri üzerinde kayma hareketi yapamayacağını ifade etmektedir.

F. Birleştirmelerin Kullanıcı Tarafından Oluşturması

Yukarıda da belirttiğimiz gibi montaj sırasında parçaları birleştirmek için kullanılan ilişkiler CosmosMotion ortamına otomatik olarak eklenmektedir. Ancak bu birleştirmeleri kullanıcı manuel olarak oluşturmak istediğinde otomatik olarak oluşan birleştirme tiplerinin “Suppress” (pasif) edilmesi gerekecektir.

Parçalar arasındaki ilişkileri kullanıcıların oluşturabilmesi için CosmosMotion menüsü altındaki “Joints” menüsü kullanılmalıdır. Bu menü altındaki birleştirme tipleri tablo2.1’de verilen eklem tipleri ile aynıdır.


G. Fiziki Etkilerin Uygulanması

Sisteme fiziki ortam şartlarını eklemek için CosmosMotion araç çubuğu üzerinde bulunan kuvvet, yay, amortisör, yer çekimi, kontak ve motor komutları kullanılır (Şekil 2.20).



Şekil 2.19 Ortam Etkileri.

a. Kuvvet - Moment Uygulanması

Parçaya belirli doğrultuda etki veya etki-tepki kuvveti uygulamak için kullanılır. CosmosMotion araç çubuğunda bulunan  “Force” komutu ile parametreleri belirleyeceğimiz yönetici penceresi aktif edilir.



Şekil 2.20 Kuvvet ve Moment Uygulanması.

Bu parametreler;

Force type / Linear force: Doğrusal, yüzeye veya oluşturulan bir referans düzleme dik doğrultuda kuvvet uygulamak için kullanılır.

Force type / Torque: Silindirik bir yüzeye ait veya oluşturduğumuz bir referans bir ekseninde döndürme momenti etkisi için kullanılır.

Direction / Action only: Sadece etki kuvveti veya momenti uygulanacağında seçilir.

Direction / Action & reaction: Etki-tepki kuvveti veya momenti uygulamak için kullanılır.

Direction / Force acting position: Kuvvetin etkidiği yüzeyi belirlediğimiz seçenektir.

Direction / Reverse direction: Kuvvetin yönünü değiştirmek için kullandığımız seçenektir.

Force function (kuvvet fonksiyonu);

Force function / Constant: Kuvvetin sabit olduğu durumlarda,

Constant / Constant value (F_1): Sabit kuvvet şiddeti girilir.

Force function / Step: Kuvvetin adım adım değiştiği durumlarda,

Step / Initial value (F_1, F_2): İlk basamaktaki ve son basamaktaki kuvvetlerin girildiği seçenektir.

Step / Start-End step time (t_1, t_2): Adımların başlangıç bitiş zamanlarının belirlendiği seçenektir.

Force function / Harmonic: Kuvvetin harmonik olarak tekrarlanması durumunda kullanılan seçenektir.

Harmonic / Amplitude: Kuvvet büyüklüğünün (genliğinin) girildiği seçenektir.

Harmonic / Average: Ortalama kuvvet değeri girilir.


Harmonic / Frequency: Frekansın değeri belirlenir.

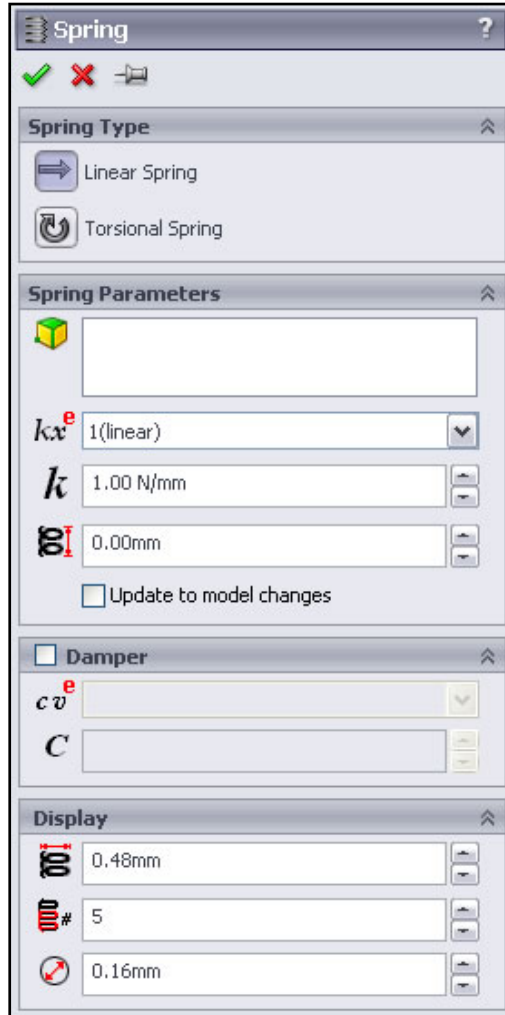
Harmonic / Phase shift: Faz kayma derecesi girilir.

Force function / Expression: Kuvvet değerinin bir fonksiyon olarak girilmesi gerektiğinde kullanılması gereken seçenektir.

Force function / Interpolated: Kuvvetin zamanla değişiminin manuel olarak tanımlanması gerektiğinde girilir.

b. Yay Elemanın Eklenmesi

Parçalar arasında yay elemanı oluşturmak için kullanılır. CosmosMotion araç çubuğunda bulunan  yay komutu kullanılarak yönetici penceresi açılır. Açılan pencerede yay tipi olarak “Linear Spring” (dorsal yay) seçilerek diğer parametreler ayarlanır.



Şekil 2.21 Yay yönetici penceresi.

Yay özellikleri olarak belirleyeceğimiz bu parametreler;

Exponent of spring force (e): Yay kuvveti ($F = kx^e$) denklemi üssü,

Spring constant (k): Yay sabiti,

Free length (Lo): Yay serbest uzunluğu,

Exponent of damper force (e): Sönümlenme kuvveti ($F = c\omega^e$) denklemi üssü,


Damping constant (C): Sönümlenme katsayısı,

Coil diameter (D): Sargı çapı,

Number of coils: Sarım sayısı ve

Wire diameter (d): Tel çapı olarak sıralanabilir.

c. Burulma Yayı Kuvvetinin Uygulanması

CosmosMotion araç çubuğunda bulunan  yay komutu kullanılarak yönetici penceresi açılır. Açılan pencerede yay tipi olarak “Torsional Spring” (burulma yayı) seçilerek diğer parametreler ayarlanır.



Şekil 2.22 Burulma yayı yönetim paneli.

Burulma yayına ait bu parametreler;

Exponent of spring force (e): Yay kuvveti ($F = k\theta^e$) denklemi üssü,

Spring constant (k): Yay sabiti,

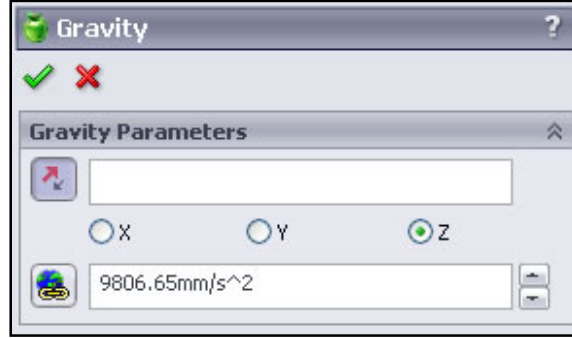
Reverse direction: Yön değiştirme seçeneği,

Exponent of damper force (e): Sönümlenme kuvveti ($F = c\omega^e$) denklemi üssü,

Damping constant (C): Sönümlenme katsayısı,

d. Yerçekimi Kuvveti Uygulanması


CosmosMotion araç çubuğunda bulunan  “Gravity” komutu kullanılarak yerçekimi kuvveti parametreleri düzenlenir.



Şekil 2.23 Yerçekimi ivmesi yönetim paneli.

Yerçekiminin doğrultusu ve yönü belirlendikten sonra yerçekimi ivmesi tanımlanır.

e. Parçalara Kontak Tanımlanması

Kam mekanizması gibi birbirleri ile temas ederek çalışan parçalar arasında mutlaka kontak tanımlanmalıdır, aksi takdirde parçalar birbirleri içerisine girerek hareket veya güç iletiminde bulunmazlar. Parçalara arasında temas tanımlayabilmek için CosmosMotion araç çubuğunda bulunan  “Contact” komutu kullanılır.




Şekil 2.24 Kontak tanımlama yönetici paneli.

Aralarında temas olan parçalar seçilerek parçaların malzemeleri, sürtünme katsayıları, geçiş hızları ve elastikiyet özellikleri belirlenir.

H. Sisteme Hareket Verilmesi

Sistem içerisindeki parçalara doğrusal, dairesel veya eğrisel hareketler tanımlamak mümkündür. Bunun için öncelikle sabit ve hareketli parçalar belirlenmeli ve parçalar arasındaki ilişkiler tanımlanmalıdır. Eğer montaj ilişkileri ve sınırlandırmaları doğru şekilde tanımlandıysa hareketli parçalardan birisi hareketlendirildiğinde diğer çalışan parçalarda gerektiği gibi hareket edecektir.

Sisteme hareket vermek için CosmosMotion araç çubuğunda bulunan  “Motor” komutu kullanılır. Daha sonra açılan yönetim panelindeki değişkenler tanımlanır.



Şekil 2.25 Motor hareketi yönetim paneli.

Motor type / Rotary motor: Parçalara tanımlanan bir eksen etrafında dönme hareketi kazandırır.

Motor type / Linear motor: Parçaların öteleme hareketi yapmasını sağlar.

Component/Direction: Hareket verilecek parça ve hareket doğrultusu tanımlanır.

Motion / Constant speed: Sabit hızlı hareket.

Motion / Distance: Hareketi yer değiştirme miktarı ile tanımlar.

Distance / Displacement: Yer değiştirme miktarı girilir.

Distance / Start time: Hareketin başlangıç zamanı girilir.

Distance / Duration: Hareket zamanı $\Delta t = (t_2 - t_1)$ tanımlanır.

Motion / Oscillating: Titreşim hareketi tanımlanır.

Oscillating / Frequency: Titreşim sayısı tanımlanır.

Motion / Interpolated: Hız, ivme veya yer değiştirme verilerinin zamana göre farklılık gösterdiği durumlarda kullanılır.

Interpolated / Time: Zaman aralıkları tanımlanır.

Interpolated / Displacement-Velocity-Accelaration: Harekete ait yer değiştirme, hız ve ivme değişkenleri tanımlanır.

Motion / Expression: Hareket bir fonksiyon ile tanımlanır.

I. Sonuçların Alınması

Modellenen hareketli sistemlerin yer değiştirme, hız, ivme, momentum, parçalarda oluşan etki-tepki kuvvetleri, kontak kuvvetleri ve sistemin enerji gereksinimi gibi dinamik sonuçlarını almak için CosmosMotion araç çubuğunda bulunan “Results and Plots” komutu kullanılır (şekil 2.27).

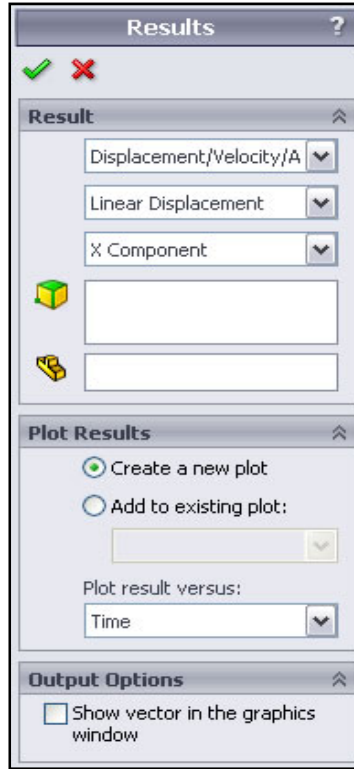


şekil 2.26 CosmosMotion Araç ubuğu/Result Komutu.

CosmosMotion yazılımı ile elde edilen sonuçlar neticesinde aşağıda sıralanan problemlere çözümler üretilebilir.

- Motor büyüklükleri,
- Güç gereksinimleri,
- Sürtünmelerin güç gereksinimini nasıl etkilediği,
- Yay ve damper sertliklerinin belirlenmesi
- Hidrolik sistemlerin tasarımı,
- Dinamik veriler arasındaki ilişkilerin tanımlanması,
- Titreşimlerin azaltılması ve sistemdeki dengesizliklerin nedenlerinin araştırılması,
- Gerilme analizi için sınır şartlarının belirlenmesi,
- Hareketli sitemlerin tasarım kontrolleri

a. Results and Plot Yönetim Paneli



Şekil 2.27 Sonuç Yönetim Paneli.

Result / Trace Path: Parçalar üzerinde seçilen noktanın hareket esnasında takip ettiği yolu çizer.

Result / Displacemet-Velocity-Acceleration : İstenilen bir eksendeki doğrusal veya dairesel yer değiştirme, hız ve ivme sonuçları alınır. Aynı zamanda x, y ve z koordinat bilgileri çıkarılır.

Result / Forces : Etki kuvveti, tepki kuvveti, sürtünme kuvveti ve kontak bölgelerinde oluşan kuvvet sonuçları çıkarılır.

Result / Momentum-Energi-Power : Momentum, kinetik enerji, potansiyel enerji ve güç tükemine ait sonuçlar alınır.

Result / Other Quantities: Adım, yuvarlanma, sapma, Euler açıları, Rodriguez parametreleri, Bryant açısal sonuçları alınır.

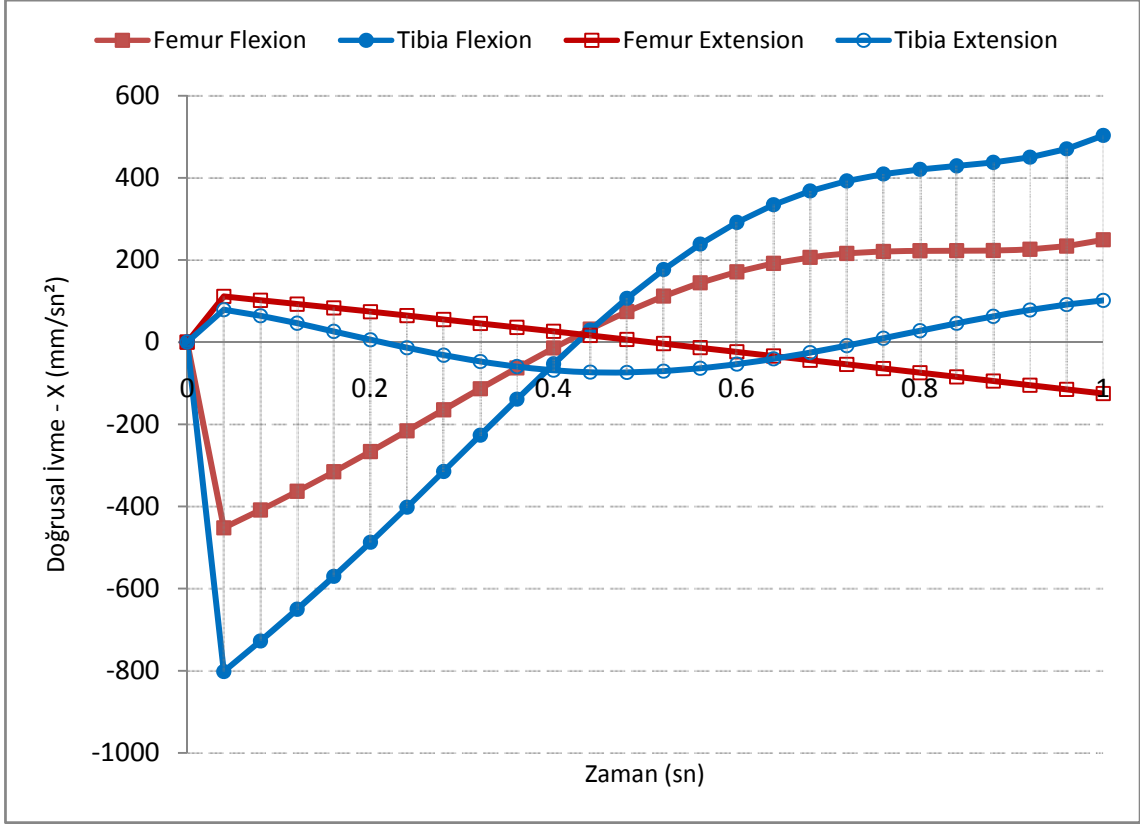
b. Sonuçların Video ve Grafik Olarak Çıkarılması

Hareket simülasyonları CosmosMotion araç çubuğunda bulunan “Animasyonu Kaydet” komutu kullanılarak .mpeg1, .mpeg4, .avi, .wmf gibi video formatlarında kaydedilebilir (Şekil 2.29). Kayıt yapılacak dosya uzantısı seçildikten sonra kayıt kalitesi ve hızı ayarlanarak işlem tamamlanır.



Şekil 2.28 CosmosMotion Araç Çubuğu/Save Animation Komutu.

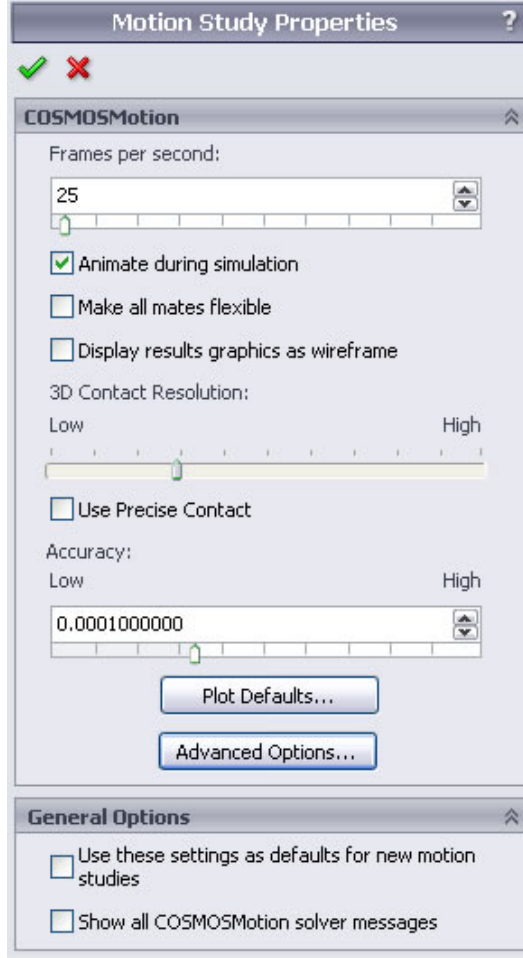
Sonuçların grafik olarak çıkarılması için CosmosMotion unsur ağacındaki “Result” unsuru kullanılır. Result altındaki sonuçlardan excel grafik dosyası olarak çıkarılmak istenen sonuca sağ tıklanarak “Export the Spreadsheet” komutu seçilir ve grafikler elde edilir (Şekil 2.30). Aynı zamanda verileri tablo olarak çıkarmak için istenilen grafik üzerine sağ tıklanarak “Export CSV” komutu kullanılır.



Şekil 2.29 Sonuçların Grafik Olarak Çıkarılması.

J. Genel Çalışma Ayarları

Çalışma ve çözümü esnasında kullanılan genel özelliklerin ayarlandığı bölümdür. CosmosMotion araç çubuğunda bulunan “Motion Study Properties” komutu kullanılarak çalışma ayarları yönetim paneli açılır.



Şekil 2.30 Çalışma ayarları yönetim paneli.

Frames per second: Saniyedeki kare sayısıdır. Simülasyonun hızı ve akıcılığını ifade etmektedir. Kare sayısı artıkça hareketli görüntüyü oluşturan resimler arası geçişler gözle hissedilmez ve akıcı bir izlenim gerçekleşir. Bunun yanında kare sayısının artması görüntü dosyasının boyutunun yükselmesine ve simülasyon kayıt süresinin uzamasına neden olur.

Animate during simulation: Simülasyon sırasında canlandırma yapmak için kullanılır.

Make all mates flexible: Tüm birleştirmeleri esnek yani hareket edebilir duruma getirir.

Display results graphics as wireframe: Sonuç ekranındaki görünüm seçeneğini tel kafes olarak belirler.

3D Contact resolution: Çözünürlük ayarıdır. Yükseldikçe görüntü kalitesi artarken, simülasyon ve diğer işlemlerin süresi uzar.

Accuary: Sonuçların doğruluk derecesini belirler. Güvenilirlik yükseldikçe çözümleme süresi de artar. Eğer kullanılan teknoloji ve donanım yetersiz ise doğruluk derecesinin yüksek olduğu durumlarda işlemler sırasında sorunlar oluşabilir.

General Options / Use this settings as defaults for new motion studies: Düzenlediğimiz ayarların ileride yapılacak yeni çalışmalar için varsayılan ayarlar olmasını sağlar.

General Options / Show all CosmosMotion solver messages: Çözüm esnasında tüm mesajların görünmesini sağlar.

3. MATERYAL VE METOT

3.1 Materyal

Çalışmamızda kullanacağımız iri ırk erişkin erkek köpeğe ait arka bacak iskeletini oluşturan coxae, femur, ve tibia kemikleri Adnan Menderes Üniversitesi Anatomi Anabilim dalı kemik arşivinden alınmıştır.

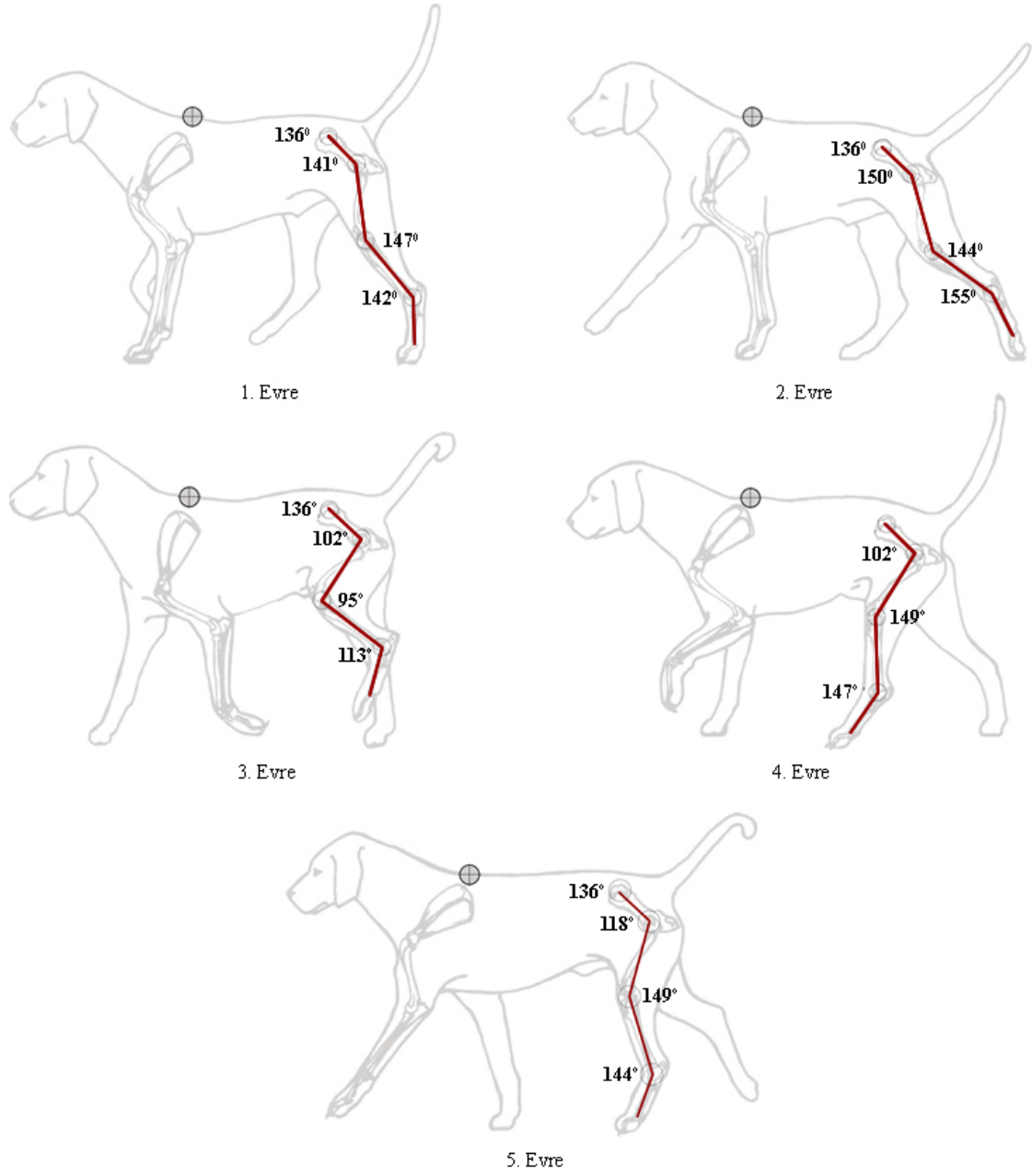
Bilgisayar ortamında hareket analizi yapılarak incelenecek olan köpek arka bacağının fleksiyon ve ekstensiyon hareketlerinde, aşağıdaki tabloda gösterilen açısal değerler kullanılmıştır (Tablo 3.1).

Çizelge 3.1 Fleksiyon ve Ekstensiyon hareketlerinde kalça eklemi ve diz ekleminde oluşan açılar. (Nicholson et al. 2007)

Hareket Tipi	Ortama Değer	Standart Sapma	Aralık Değerler
Kalça eklemi Fleksiyon	71.75	8.20	60,50 – 87,50
Kalça eklemi Ekstensiyon	128.10	9.20	112,00 – 146,00
Diz eklemi Fleksiyon	50.60	6.64	37,50 – 63,50
Diz eklemi Ekstensiyon	144.72	8.86	127,50 – 161,50
Bilek Eklemi Fleksiyon	109.61	10.22	91,50 – 133,00
Bilek Eklemi Ektansiyon	158.38	9.59	136,50 – 174,50

Yine bilgisayar ortamında incelenecek ve karşılaştırılacak olan yürüme ve tırıs koşma (yürüme ve hızlı koşma arasındaki hareket türü) hareketleri beşer evrede gerçekleşmektedir. Bu evreler sırasında şekillenen arka bacak iskelet yapısına ait resimler (Adams 2004) Autocad programına eklenerek arka bacak iskeletini oluşturan kemikler ve eklemler vektörel olarak modellenmiştir. Eklemlerde oluşan açısal değişimleri belirlemek için kemiklerin ağırlık merkezlerinden ve eklemlerin temas yüzeyinin merkezinden geçen referans eksenler oluşturulmuştur. Bu eksenler arasındaki açılar, yürüme hareketinin her evresi için ayrı ayrı hesaplanarak analiz esnasında

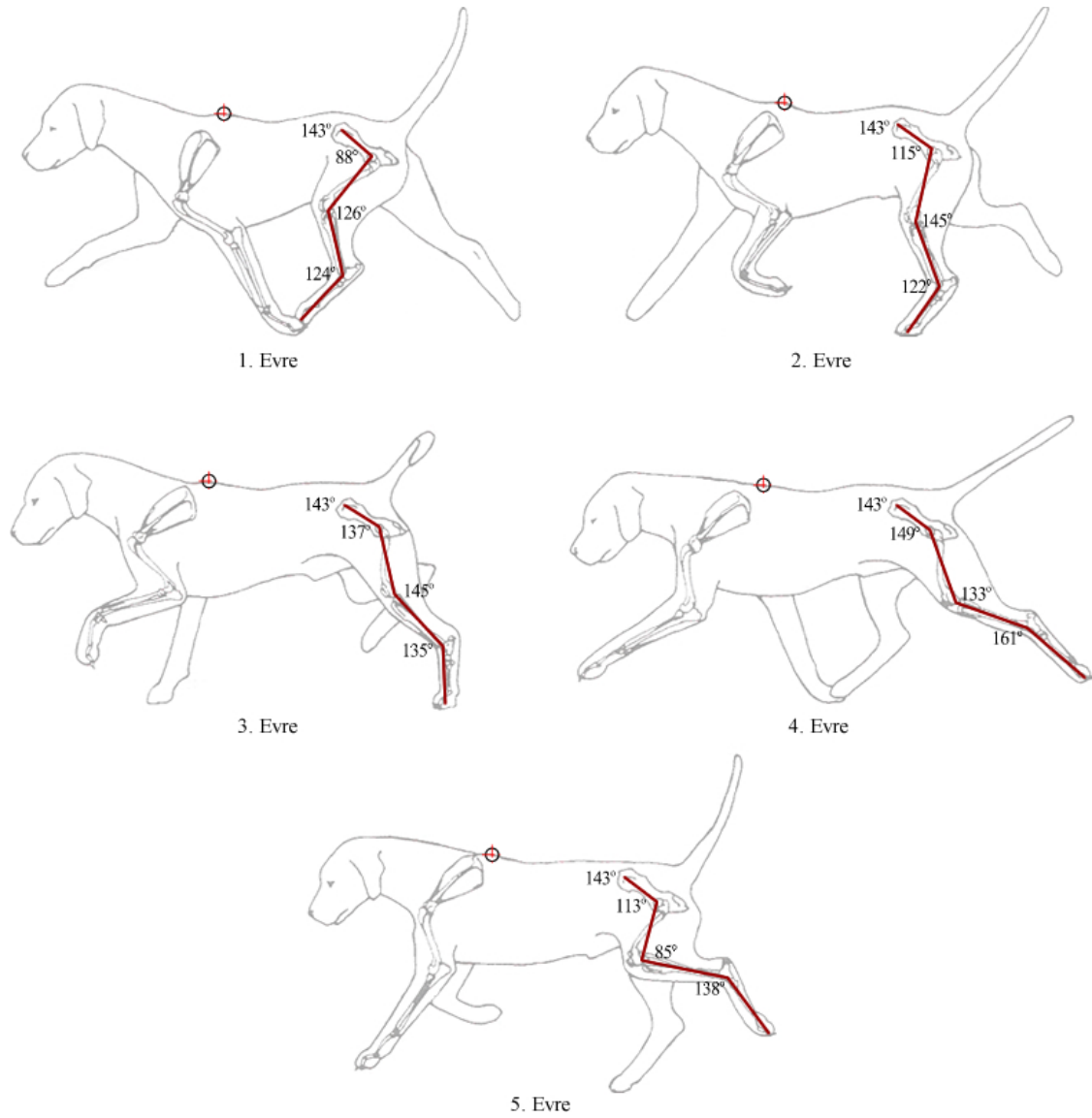
kullanılacak veriler elde edilmiştir (Şekil 3.1-3.2). Söz konusu açılar ayrıca tablo 3.2 ve tablo 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.1 Yürüme Evreleri (Adams 2004).

Çizelge 3.2 Yürüme Evrelerinde Oluşan Eklem Açıları.

Eklemler	Açısal Değişimler (derece)									
	1.Evre		2.Evre		3.Evre		4.Evre		5.Evre	
	Baş.	Bit.	Baş.	Bit.	Baş.	Bit.	Baş.	Bit.	Baş.	Bit.
Kalça eklemi	141	150	150	102	102	102	102	118	118	141
Diz Eklemi	147	144	144	95	95	149	149	149	149	147
Bilek Eklemi	142	155	155	113	113	147	147	144	144	142



Şekil 3.2 Tırıs Koşma Evreleri (Adams 2004).

Çizelge 3.3 Tırıs Koşma Evrelerinde Oluşan Eklem Açılırları.

Eklemler	Açısal Değişimler (derece)									
	1.Evre		2.Evre		3.Evre		4.Evre		5.Evre	
	Baş.	Bit.	Baş.	Bit.	Baş.	Bit.	Baş.	Bit.	Baş.	Bit.
Kalça eklemi	88	115	115	137	137	149	149	113	113	88
Diz Eklemi	126	145	145	145	145	133	133	85	85	126
Bilek Eklemi	124	122	122	135	135	161	161	138	138	124

Hareketin gerek yürümede gerekse tırıs koşma esnasında 1 sn sürede gerçekleştiği kabul edilmiştir. Bununla beraber yürüme esnasında bir adımda alınan mesafe ile tırıs koşma esnasında alınan bir adım mesafe arasında yaklaşık olarak 2 kat fark vardır.

3.2 Metot

Bu bölümde, çalışma esnasında kullanılan kemiklerin modellenmesi, montajı ve hareket analizi sırasında yapılan işlemler hakkında detaylı bilgi verilmiştir.

3.2.1 Kemiklerin Sayısallaştırılması

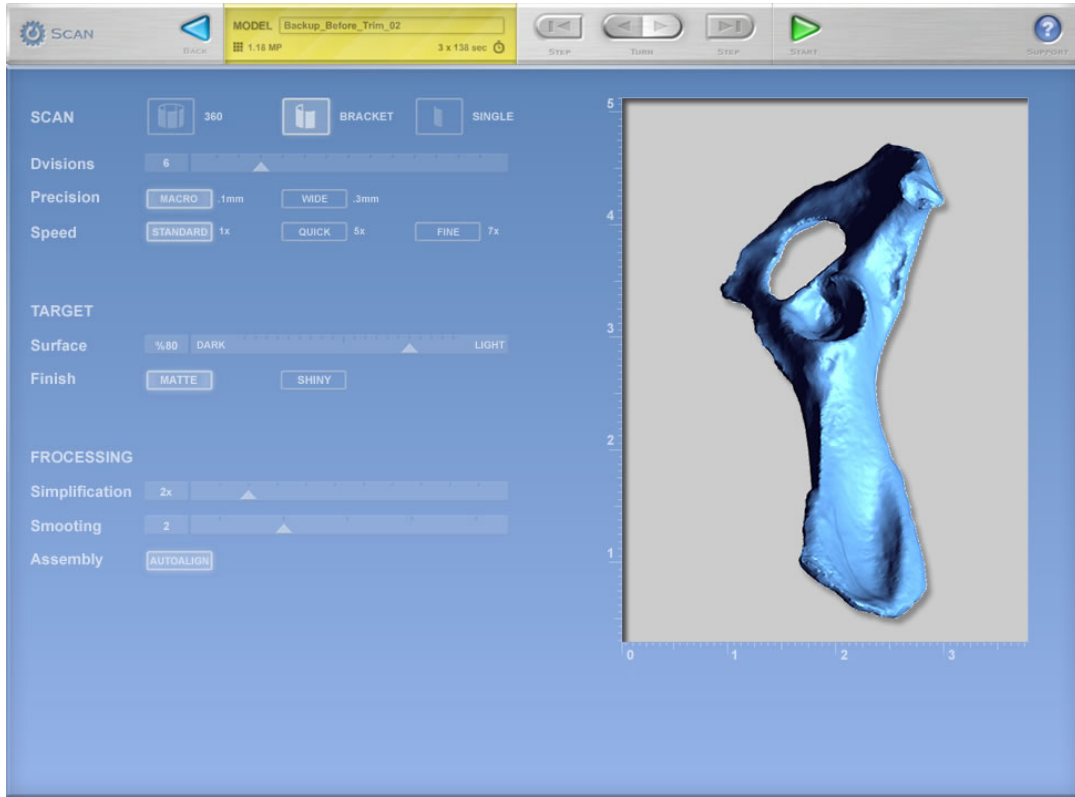
Köpek arka bacağına ait coxae, femur ve tibia kemiklerinin bilgisayar ortamına aktarılması için ilk olarak lazer tarama cihazı ile sayısallaştırma işlemi yapılmıştır. Verilerin elde edilme süresini kısaltmak ve doğruluğunu artırmak amacıyla tarama işlemi öncesinde kemikler temizlenerek yüzeylerinde noktalar ve rakamlardan oluşan işaretler oluşturulmuştur. Bu işaretler, elde edilen verilerin birleştirilmesi esnasında referans olarak kullanılmıştır.

Sayısallaştırma işlemi SolidWorks yazılımına tam entegre çalışan ve hassasiyeti 0.1 mm olan NextEngine (Resim 3.1) masaüstü lazer tarama cihazı ile yapılmıştır. Elde edilen nokta bulutu dataların işlenmesi ve ağ yapısına dönüştürülmesi için cihaz ile birlikte gelen ScanStudio Core yazılımı kullanılmıştır.



Resim 3.1 Next Engine Tarama Cihazı.

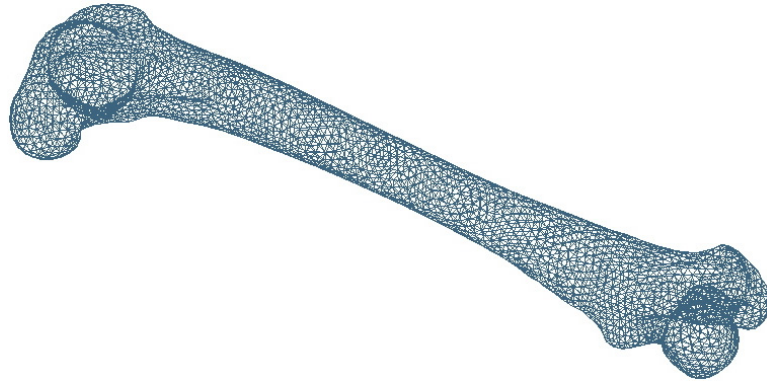
Tarama sırasında, kamera görüş alanı macro, tarama hızı fine, yüzey %65 koyulukta ve mat, mesh sayısı çarpanı 1 ve mesh birleşimleri smooth olarak belirlenmiştir (Resim 3.2).



Şekil 3.3 Tarama Seçeneklerinin Ayarlanması.

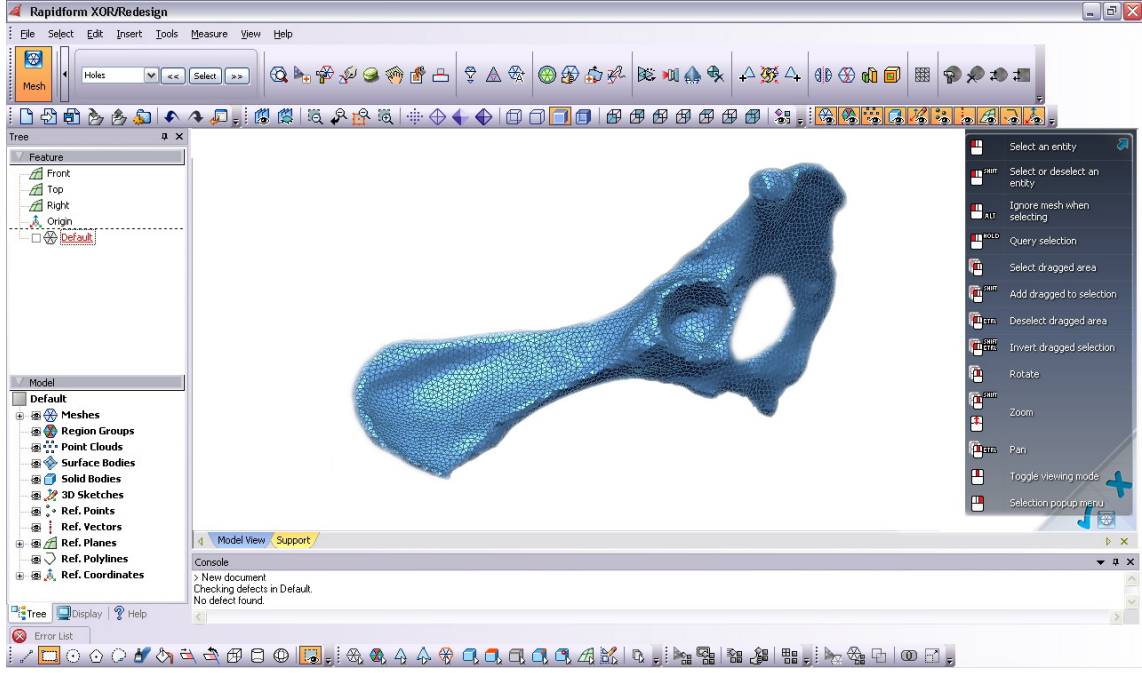
Sayısal model, üst ve alt yüzeyler birer, tüm yanal çevre ise toplam 6 defa taranarak elde edilmiştir. Yanal yüzeylerin tarama işlemi sırasında cihazın kemik bağlı olan platformu her tamamladığı işlemde sonra 60° dönerek bir sonraki işleme geçmektedir. Tarama esnasında bir defada 90° açığı içine alan bölge tarandığı için, arka arkaya yapılan işlemler sonucunda elde edilen mesh datalar üzerinde ortak bölgeler oluşmuştur. Tarama öncesi bu ortak bölgelerde yapılan işaretlemeler ağ yapıdaki yüzeylerin birleştirilmesi esnasında referans olarak kullanılmıştır.

Birleştirilme işleminden sonra üst üste çakışan ortak yüzeyler ve kamera görüş açısında bulunan model dışındaki geometriler temizlenerek temel ağ yapıdaki model elde edilmiştir (Şekil 3.4). Ancak cihaz ile birlikte gelen ScanStudio Core yazılımı başlangıç seviyesinde fonksiyonlar barındırdığından model üzerindeki ayrıntılı hataların düzenlenmesinde yetersiz kalmıştır. Ayrıca edilen model üzerinde, tarama esnasında lazer ışığının gidemediği bölgelerde boşluklar oluşmuştur. Bu boşluklara kemiğin geometrik formuna uygun olarak ağ örülmesi gerekmektedir.



Şekil 3.4 Femur Mesh Modeli.

Tarama işlemi ile bilgisayar ortamına aktarılan model, üzerindeki boşluklara ağ örmek ve ayrıntılı hataları düzeltmek için çok daha fonksiyonel bir tersine mühendislik yazılımı olan Rapidform'a aktarılmıştır (Resim 3.3). Birinci aşamada Rapidform yazılımına aktarılan model üzerindeki kusurlar "Find Defection" komutu ile tespit edilerek "Healing Wizard" komutu ile onarılmıştır.

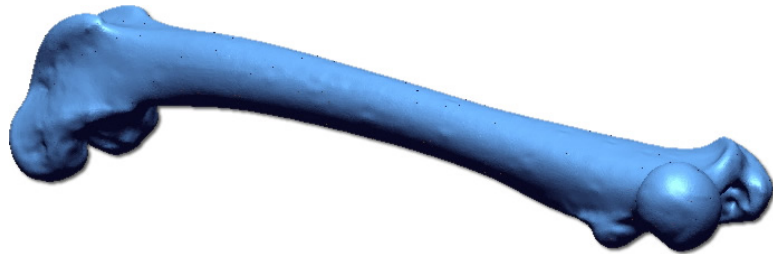


Resim 3.3 Rapidform Yazılımı Arayüzü

İkinci aşama olarak ağ yapısındaki model üzerinde bulunan boşluklara “Fill Holes” komutu ile model formuna uygun ağ örülerek tüm yüzey kapatılmıştır.

3.2.2 Kemiklerin Yüzey ve Katı Modellerinin Oluşturulması

Rapidform yazılımı ile ağ yapısında oluşturulan kemik modelinden “Auto Surfacing” komutu ile yüzeyler elde edilmiştir. Kemiğin dış geometrisini oluşturan yüzeyler birleştirilerek her tarafı kapalı bir kemik modeli elde edilmiştir (Şekil 3.5).



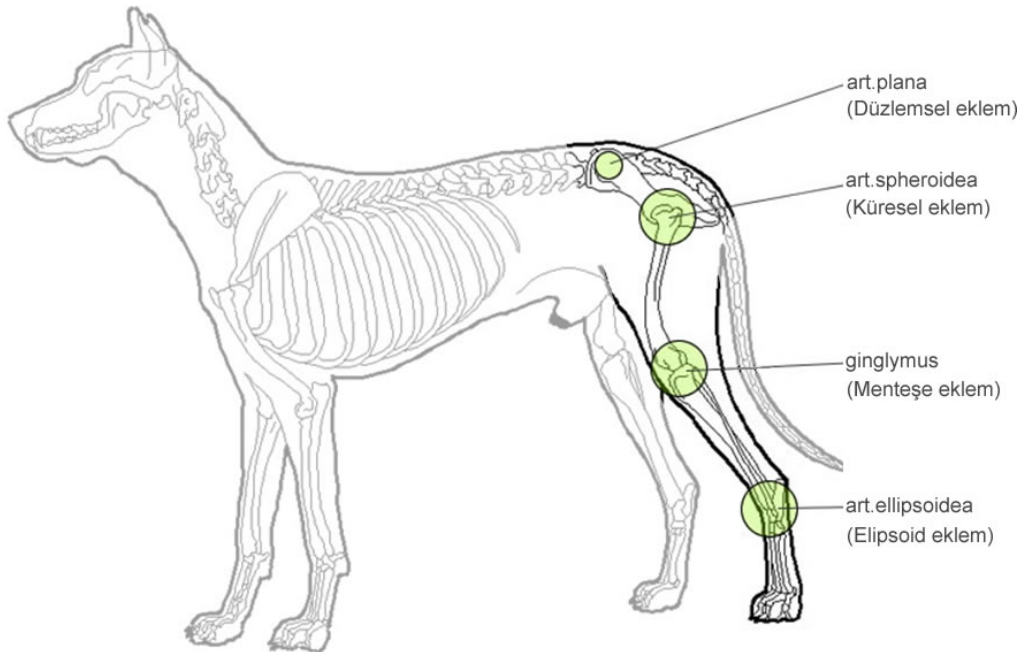
Şekil 3.5 Femur yüzey modeli.

Oluşturulan kemik modelleri SolidWorks ortamına aktarılmak için .igs formatı ile kaydedilmiştir. SolidWorks yazılımı ile açılan modeller kapalı bir geometriye sahip olduğundan unsur ağacına katı model olarak eklenmiş ve her biri .sldprt (solidworks part dosya uzantısı) uzantısıyla kaydedilmiştir.

Daha sonraki aşamada oluşturulan kemik modelleri üzerinde, montaj esnasında kemiklerin birleştirilmesinde referans olarak kullanılmak üzere, noktalar, eksenler, yörüngeler ve koordinat sistemleri oluşturulmuştur.

3.2.3 Kemiklerinin Montajı ve Arka Bacak İskeletinin Oluşturulması

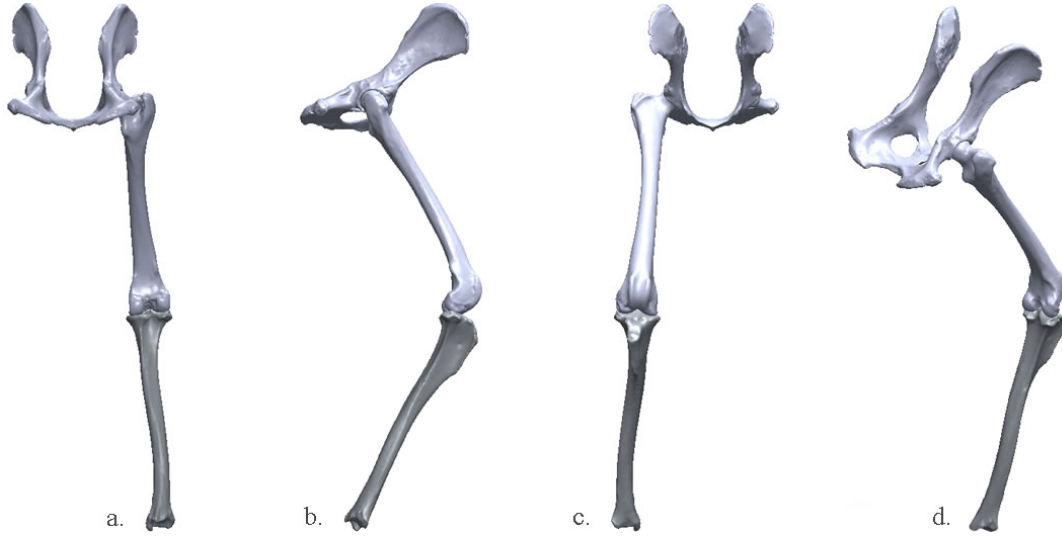
Katı modelleri oluşturulan kemikler SolidWorks montaj sayfasına eklenerek, köpeğin arka bacak iskelet yapısı ve eklem tipleri dikkate alınarak montaj yapılmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 Arka Bacak Eklem Tipleri.

Montaj aşamasında öncelikle sabit eleman olarak bir pim tanımlanmış ve 0,0,0 koordinatına konumlandırılmıştır. İkinci aşamada coxae sabit pime düzlemsel eklemle birleştirilmiş ve vücuttaki konumuna getirilerek sabitlenmiştir. Diğer aşamalarda coxae.

ve femur küresel eklemlerle, femur ve tibia menteşe tipi (döner) eklemlerle birleştirilmiştir. Ayak bilek kemikleri (tarsi) ve ayak kemikleri karmaşık anatomik yapılarından dolayı tek parça olarak modellenmiş ve yaptığı hareket göz önünde bulundurularak tibia ile elipsoid eklem kullanılarak birleştirilmiştir (Şekil 3.7).

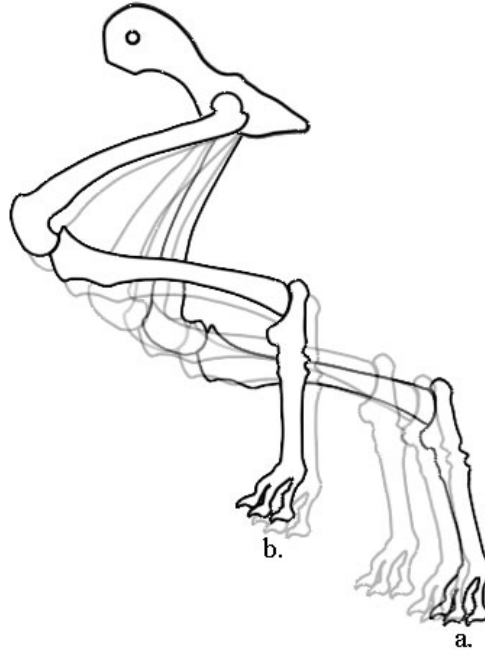


Şekil 3.7 Köpeğin Arka Bacak Montaj Görünüşleri.

a, Arka. **b**, Sol Yan. **c**, Ön. **d**, Perspektif.

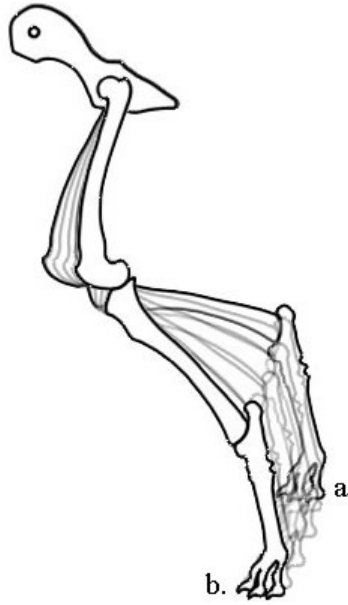
3.2.3 Fleksiyon ve Ekstensiyon Hareketlerinin Tanımlanması ve Simülasyonu

Montajı tamamlanan köpek arka bacak iskeleti Cosmosmotion hareket analizi yazılımına aktarılarak köpeğin Şekil 3.8.a'da görülen ilk konumundan fleksiyona geldiğinde (Şekil 3.8.b) oluşan açısal değişkenler tanımlanarak bilgisayar ortamında simüle edilmiştir. Hareketin ilk konumu ve fleksiyonu arasında geçen süre 1 sn olarak kabul edilmiştir.



Şekil 3.8 Köpek Arka Bacağının,
a, İlk Konumu. b, Fleksiyonu.

Arka bacağın ekstensiyon hareketi de aynı şekilde köpeğin Şekil 3.9.a'da görülen ilk konumundan ekstensiyona geldiğinde şekil 3.9.b'de oluşan açısal değişkenler tanımlanarak bilgisayar ortamında simüle edilmiştir.



Şekil 3.9 Köpek Arka Bacağının,
a, İlk Konumu. b, Ekstensiyonu.

Fleksiyon ve ekstensiyon hareketlerini bilgisayar ortamında tanımlamak için konumlar esnasında şekillenen eklemler arasındaki açısal farklar (Tablo 3.2) belirlenerek arka bacak iskeletini oluşturan femur, tibia ve tarsi kemiklerine “Rotary Motor” (rotasyon) hareketi uygulanmış ve simülasyon hesaplanmıştır.

Hareketin hesaplanmasından sonra arka bacak iskeletini oluşturan uzuvlara ve eklemlere ait kinematik değişkenler (yer değiştirme, hız, ivme, vb.) grafik ve tablo formatında elde edilmiştir.

3.2.4 Yürüme ve Tırıs Koşma Hareketlerinin Tanımlanması ve Simülasyonu

Yürüme ve tırıs koşma hareketlerinin analizi ve simülasyonu için öncelikle evreler arasında şekillenen eklemlere ait açısal farklar belirlenerek (Tablo 3.3), bu farklar bilgisayar ortamında rotary motor hareketi ile model üzerindeki uzuv ve eklemlere uygulanmış ve hareket hesaplanmıştır.

Hareketin hesaplanmasından sonra arka bacak iskeleti diz eklemi ile femur ve tibia kemiklerine ait kinematik değişkenler elde edilmiştir.

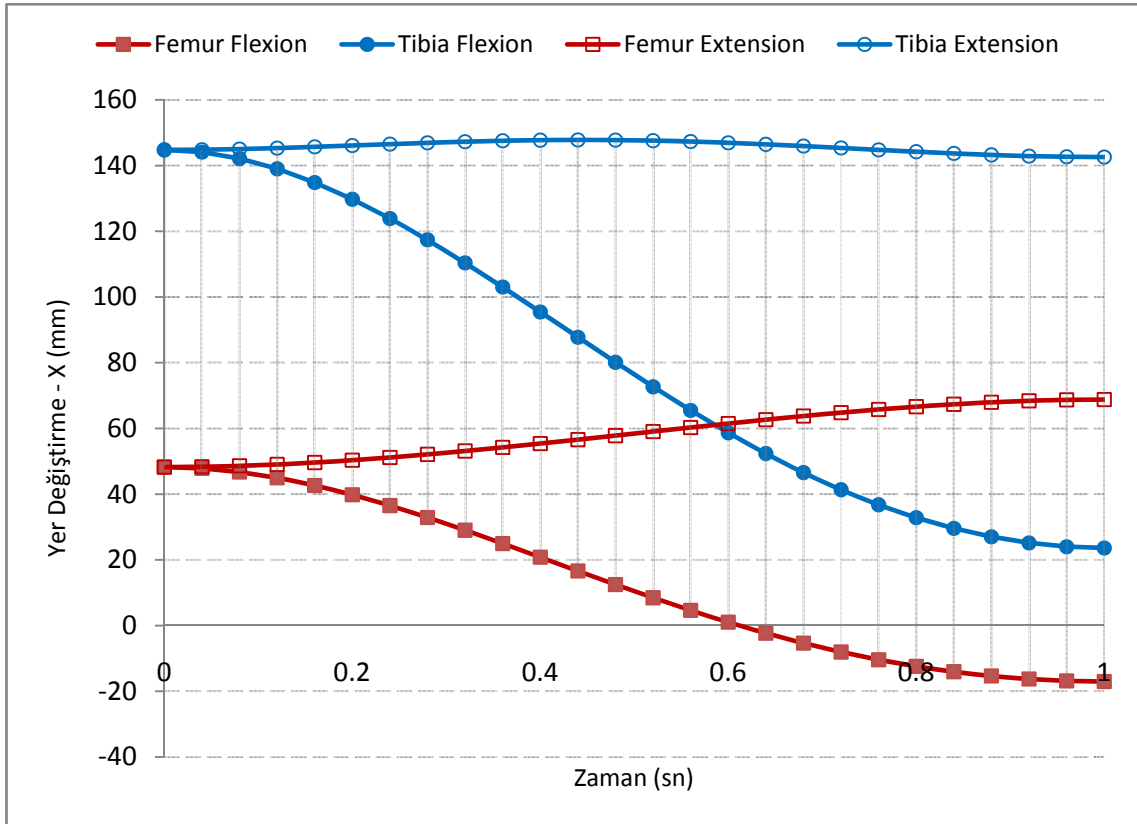
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Fleksiyon ve Ekstensiyon Hareketlerinin Analizi ve Karşılaştırılması

Hazırlanan modeller üzerinde fleksiyon (flexion) ve ekstensiyon (extension) hareketleri simülasyon yapılarak arka bacak bölgesindeki eklemlerin ve kemiklerin kinematik parametreleri elde edilmiştir.

Elde edilen bu sonuçlar sırasıyla arka bacağın fleksiyonunda ve ekstensiyonunda femur, tibia ve arka bacakta bulunan eklemlerin yer değiştirmeleri, hızları ve ivmeleri grafikler üzerinde gösterilerek bu bölgeler arasındaki kinematik farklılıklar ortaya konmuştur.

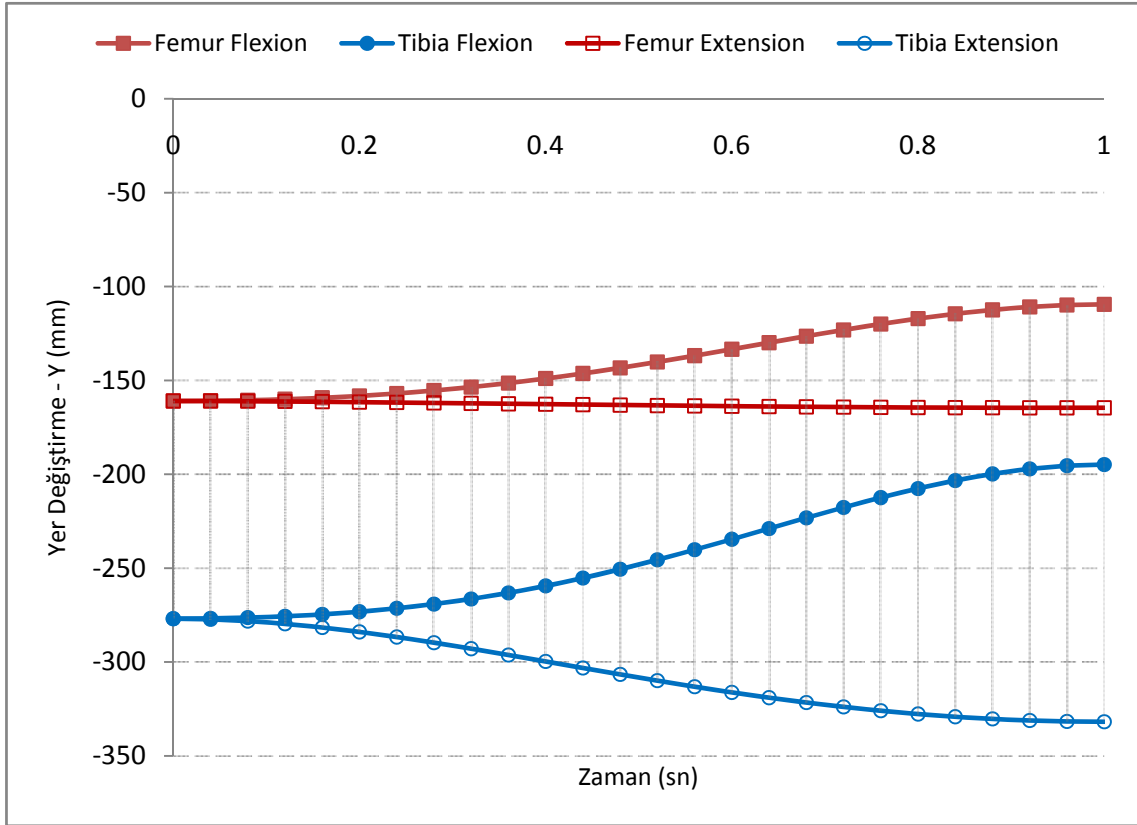
Arka bacağın fleksiyonu ve ekstensiyonu sırasında femur ve tibia'nın x eksenindeki yer değiştirmeleri şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1 Femur ve Tibia X Eksenindeki Yer Değiştirme – Zaman Grafiği

Arka bacağın fleksiyonunda femur 48 mm civarından harekete başlayıp -17 mm civarına kadar yaklaşık 65 mm yatay ekseninde yer değiştirmektedir. Buna karşılık tibia'da toplam yer değiştirme miktarı 121 mm dolayında gerçekleşmektedir. Ekstensiyon durumunda ise her iki kemik için daha az yer değiştirme görülmektedir. Sırasıyla toplam yatay yer değiştirme femur ve tibia için 20 mm ve 3 mm olarak gerçekleşmektedir (Şekil 4.1).

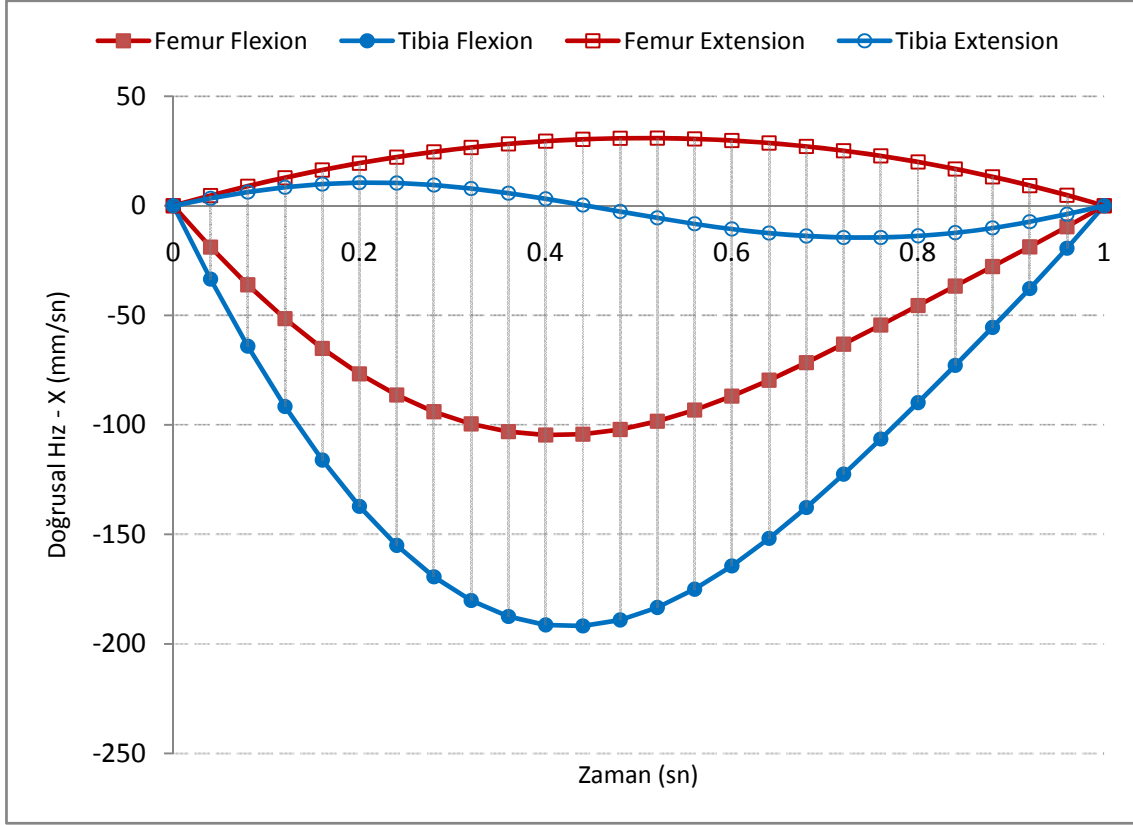
Arka bacağın fleksiyonu ve ekstensiyonu sırasında femur ve tibianın y eksenindeki yer değiştirmeleri şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.2 Femur ve Tibia Y Eksenindeki Yer Değiştirme – Zaman Grafiği

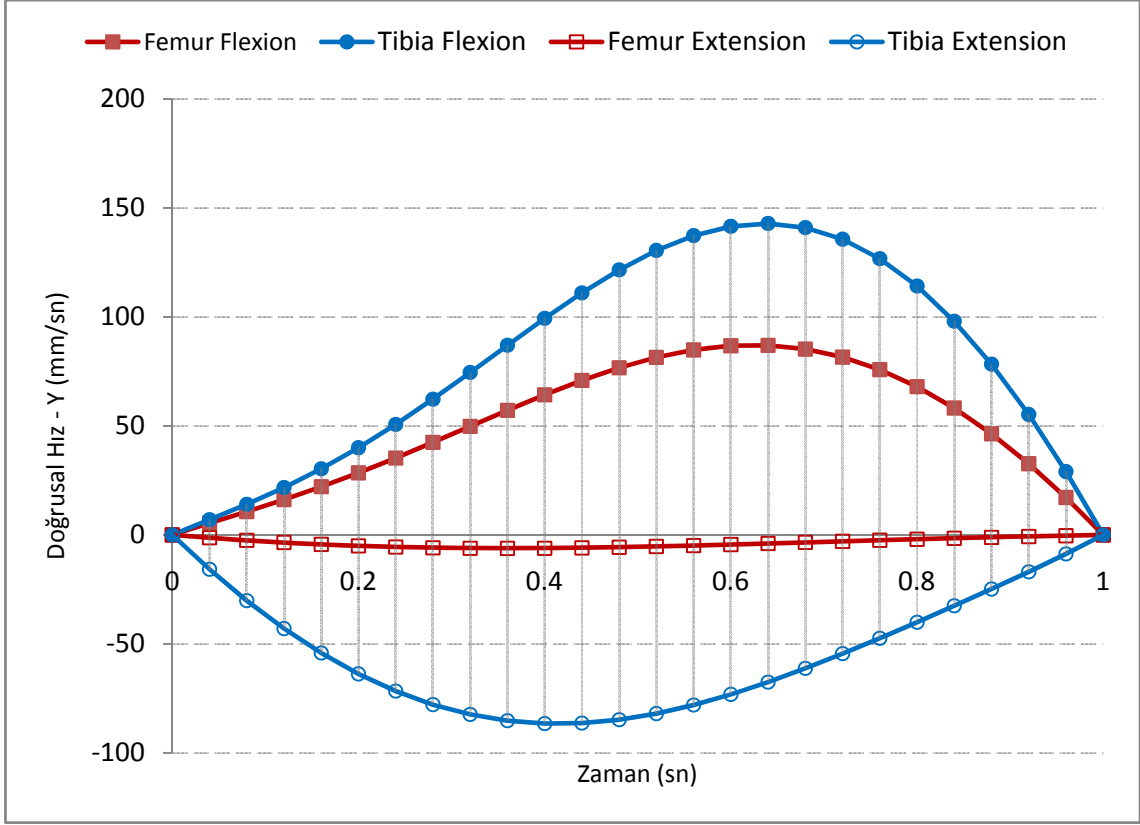
Arka bacağın fleksiyonunda femur -160 mm'den -110 mm civarına gelerek toplam 50 mm yer değiştirirken tibia -277 mm'den -195 mm civarına gelerek 82 mm yer değiştirmiştir. Arka bacağın ekstensiyonunda ise femur düşey ekseninde sadece 3 mm yer değiştirirken tibia -277 mm'den -331 mm'ye gelerek toplam 54 mm yer değiştirmiştir (Şekil 4.2).

Arka bacağın fleksiyon ve ekstensiyon anındaki doğrusal hızları şekil 4.3 ve 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.3 Femur ve Tibia X Eksenindeki Doğrusal Hız – Zaman Grafiği

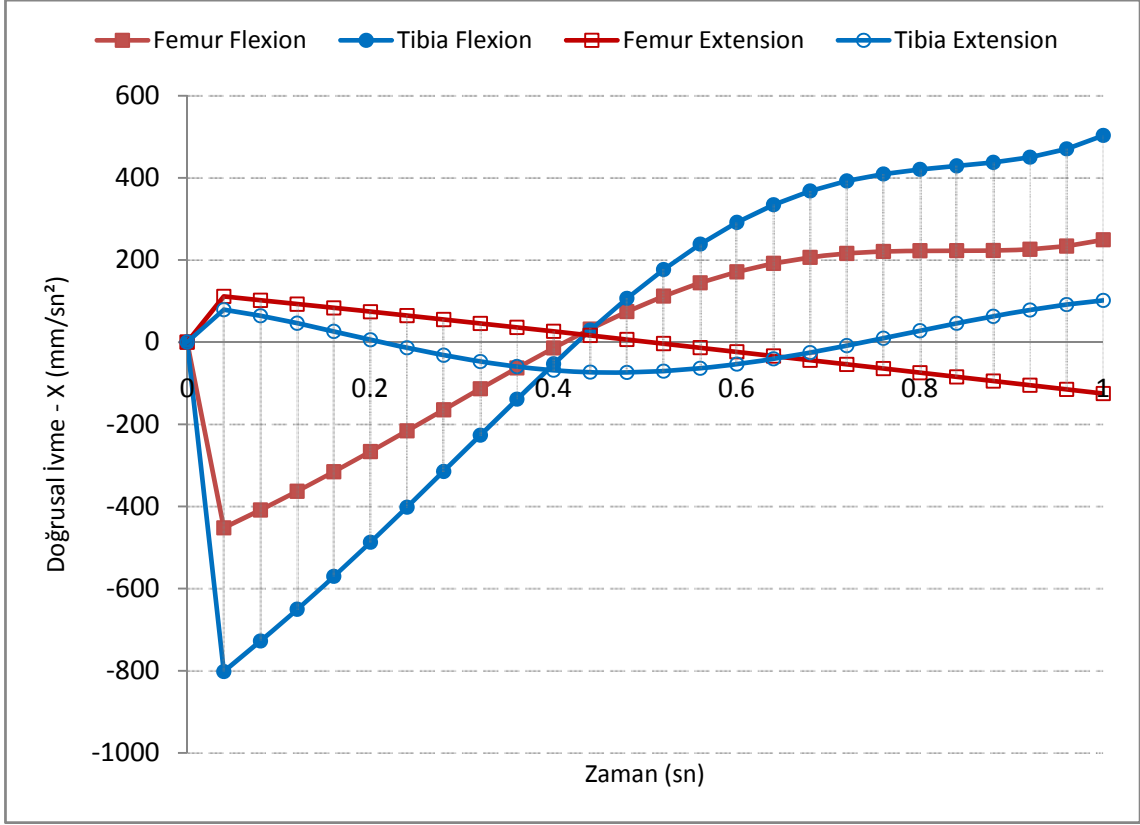
Yatay ekseninde en büyük hız değerleri sırasıyla -192 mm/sn ve -104 mm/sn ile fleksiyon anında tibiada ve femurda görülmektedir. Buna karşılık ekstensiyon anında ise femur 31 mm/sn hıza ulaşırken tibia önce 10 mm/sn ve sonra -15 mm/sn hızla hareket etmektedir. Özellikle fleksiyon anında önce tibia ve sonra femurda ani hızlanma ve yavaşlanma görülürken ekstensiyon anında ani hızlanma ve yavaşlanma görülmemektedir (Şekil 4.3).



Şekil 4.4 Femur ve Tibia Y Eksenindeki Doğrusal Hız – Zaman Grafiği

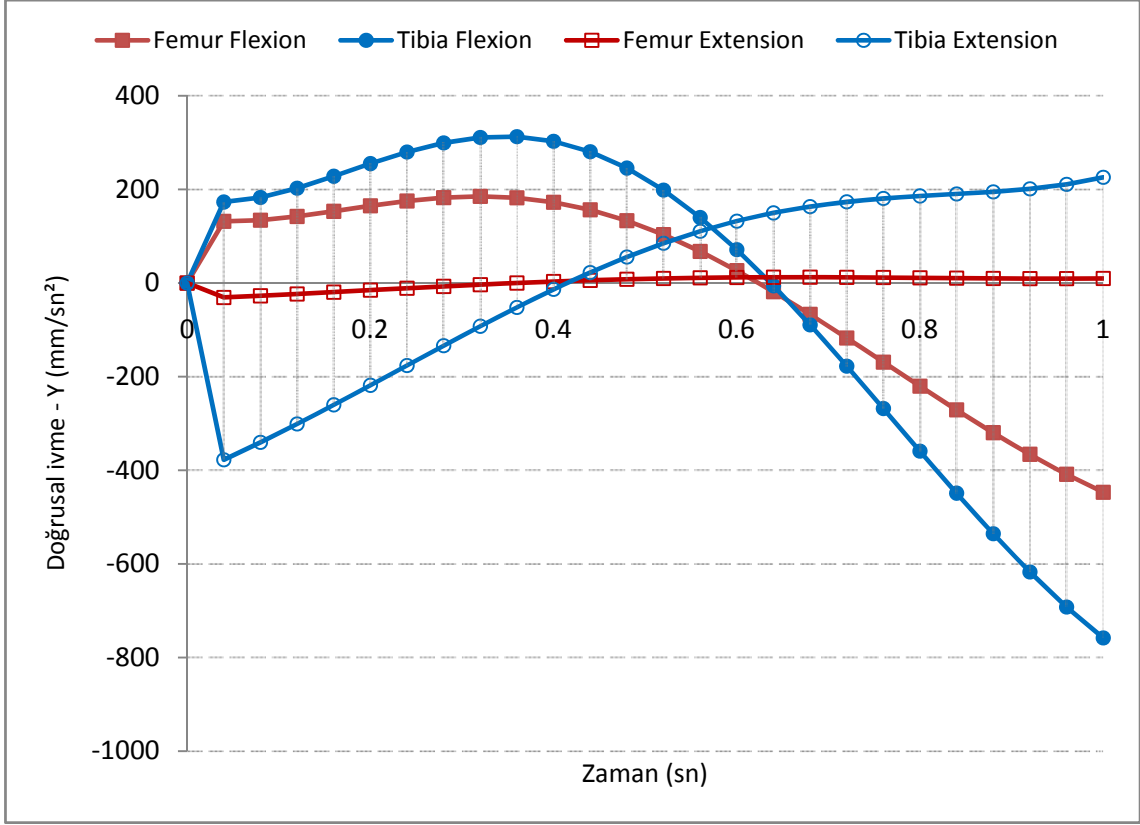
Düşey eksenindeki hız değişkenleri incelendiğinde arka bacağın fleksiyonunda tibianın 143 mm/sn ve femurun 87 mm/sn hızlarına ulaştığı görülmektedir. Ekstensiyon durumunda ise tibianın -86 mm/sn hıza ulaşırken femurun yaklaşık sabit bir hızla hareket ettiği görülmektedir (Şekil 4.4).

Fleksiyon ve ekstensiyon hareketlerinin analizi sonucunda elde edilen teğetsel ivmenin yatay eksenindeki bileşenine ait sonuçlar şekil 4.5 ve düşey eksenindeki bileşenine ait sonuçlar şekil 4.6’da verilmiştir.



Şekil 4.5 Femur ve Tibia X Eksenindeki Doğrusal İvme – Zaman Grafiği

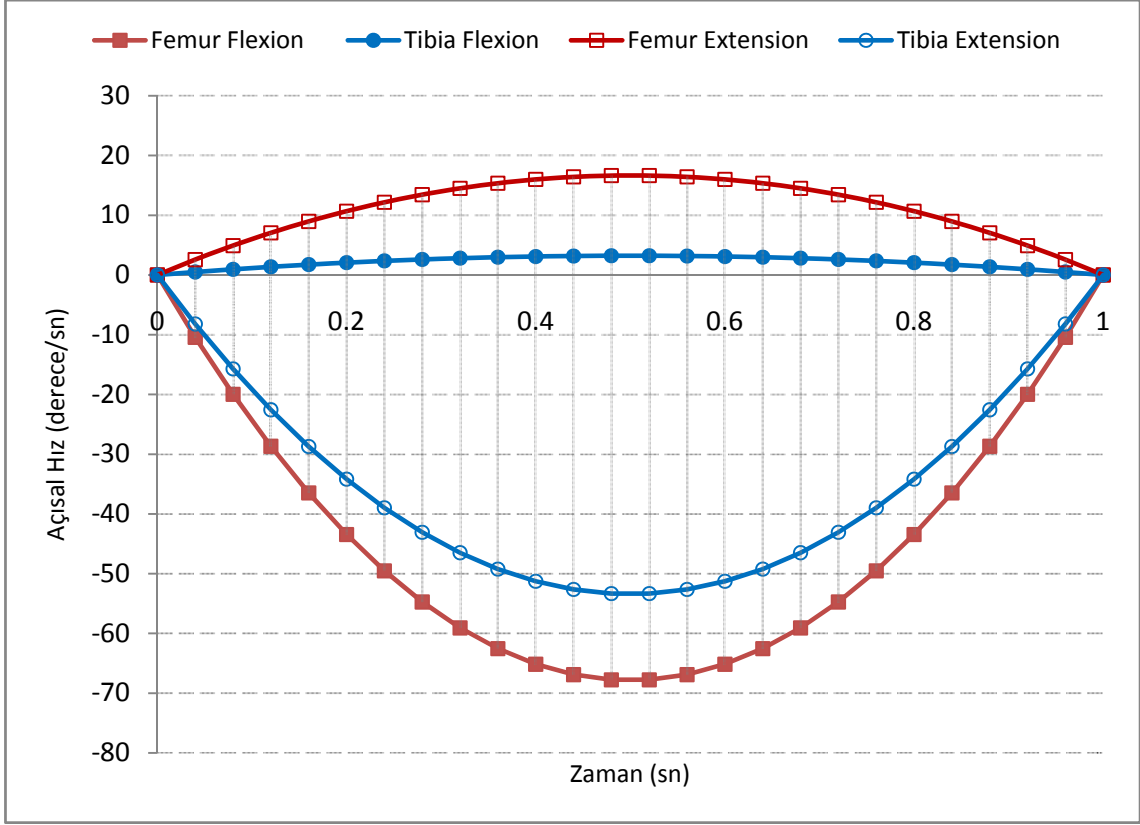
Şekil 4.5'te görüldüğü gibi yatay eksenindeki en büyük ivmeler fleksiyon durumunda tibiada ve femurda ortaya çıkmaktadır. Başlangıçta arka bacağın fleksiyonunda tibianın ve femurun ivmeleri sırasıyla -800 mm/sn^2 ve -452 mm/sn^2 iken hareketin sonunda bu değerlerin 503 mm/sn^2 ve 249 mm/sn^2 olduğu görülmektedir. Ekstensiyon hareketinin başlangıcında femur ve tibia açısal ivmeleri sırasıyla 111 mm/sn^2 ve 79 mm/sn^2 değerlerine ulaşırken hareketin sonunda bu değerler -125 mm/sn^2 ve 101 mm/sn^2 değerlerine ulaşmaktadır.



Şekil 4.6 Femur ve Tibia Y Eksenindeki Doğrusal İvme – Zaman Grafiği

Arka bacağın fleksiyonunda femur düşey eksenindeki hareketine 132 mm/sn² ivmeyle başlarken hareketin sonundaki ivmesi -447 mm/sn² olmaktadır. Buna karşılık ekstensiyon durumunda ise femur yaklaşık olarak sabit bir ivmeyle hareket etmektedir. Arka bacağın fleksiyona gelmesi durumunda tibia 172 mm/sn²'lik ivme ile harekete başlayıp ve hareketin 0.4. saniyesinde ivmesi 302 mm/sn² değerine gelmekte ve ani bir değişimle -758 mm/sn² ivmeye hareketi bitirmektedir. Ekstensiyon sırasında ise tibianın düşey eksenindeki ivmeleri hareketin başlangıcında ve sonunda sırasıyla -377 mm/sn² ve 225 mm/sn² değerlerine ulaşmaktadır. Yine yatay eksenindeki hareketinde olduğu gibi başlangıçta pozitif olan değerler hareketin sonunda negatif ve başlangıçta negatif olan değerler hareketin sonunda pozitif olmaktadır. Düşey ekseninde ise en büyük kuvvetin fleksiyon hareketi sonunda tibiada ortaya çıkacağı ve en büyük zorlanmanın bu bölgede oluşacağı söylenebilir (Şekil 4.6).

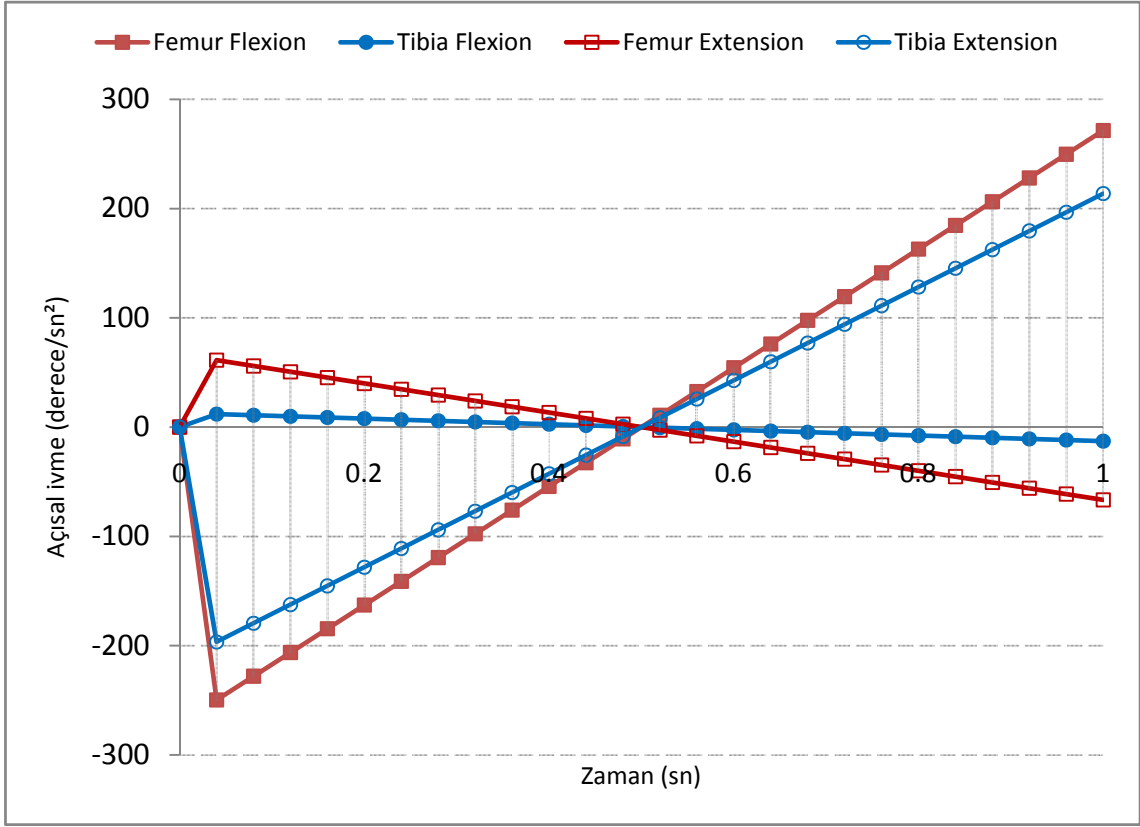
Fleksiyon ve ekstensiyon hareketlerinin analizi sonucunda elde edilen femur ve tibia uzuvlarına ait açısal hız değerleri şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7 Femur ve Tibia Açısal Hız – Zaman Grafiği

Şekil 4.7’de görüldüğü gibi fleksiyonun başlangıç ve bitişinde femurda, ekstensiyonun başlangıç ve bitişinde ise tibiada görülen açısal hız değerleri birden artmakta ve azalmaktadır. Buna karşılık hareketin ortasında yaklaşık sabit bir değerde seyretmektedir. En büyük hızlar fleksiyon anında femurda ve ekstensiyon anında tibiada görülmekte ve femur -67 derece/sn açısal hıza ulaşırken tibia -53 derece/sn hıza ulaşmaktadır. Ekstensiyon durumunda tibianın ve fleksiyon durumunda femurun hızları sabit bir değerde seyrederken bu iki harekete ait en büyük değerler sırasıyla 3 derece/sn ve 16 derece/sn olarak görülmektedir. Her iki durumda kemiğin fleksiyonu ve ekstensiyonunda açısal hız davranışları arasında büyük farklıklar görülmektedir.

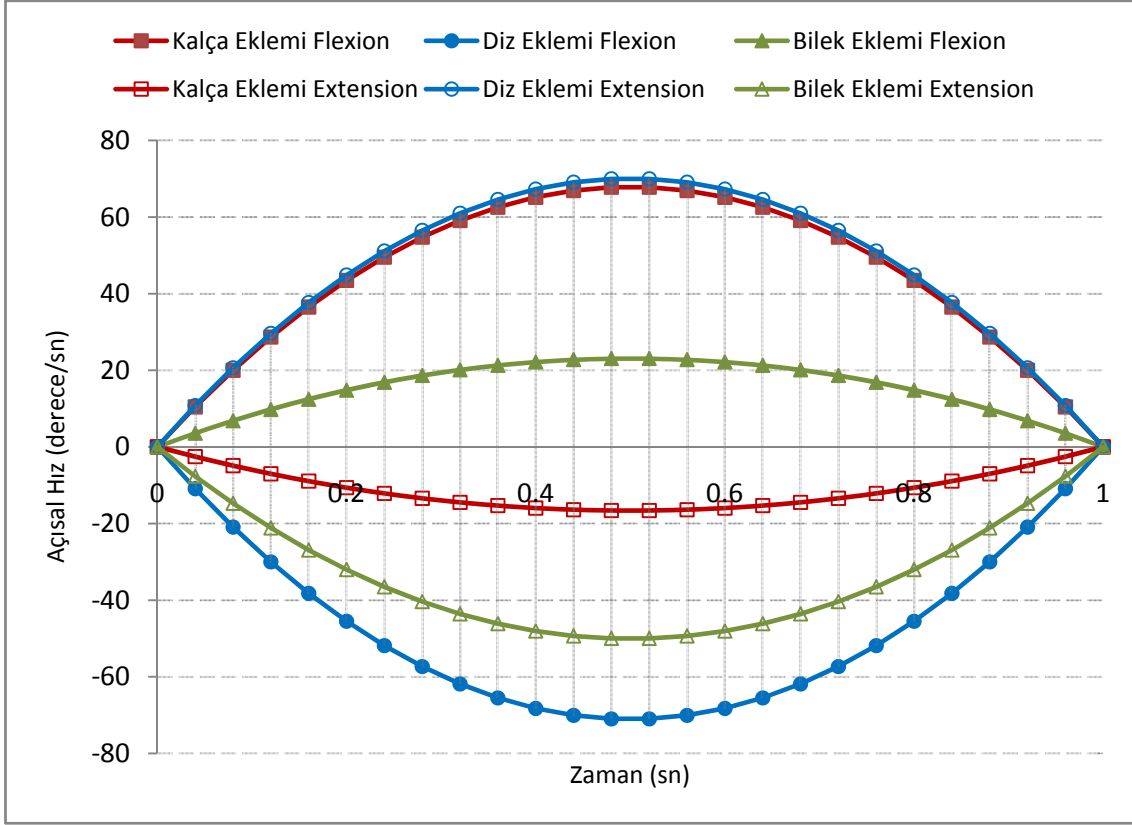
Fleksiyon ve ekstensiyon hareketlerinin analizi sonucunda elde edilen femur ve tibia uzunlarına ait açısal ivme sonuçları şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.8 Femur ve Tibia Açısal İvme – Zaman Grafiği

Şekil 4.8’de görüldüğü gibi en büyük ivmeler fleksiyon durumundaki femurda ve ekstensiyon durumundaki tibiada ortaya çıkmaktadır. Başlangıçta fleksiyon anındaki femurun ve tibianın açısal ivmeleri sırasıyla -250 derece/sn² ve 12 derece/sn² iken hareketin sonunda bu değerlerin 271 derece/sn² ve -13 derece/sn² olduğu görülmektedir. Ekstensiyon hareketinin başlangıcında femur ve tibia açısal ivmeleri sırasıyla 61 derece/sn² ve -196 derece/sn² değerlerine ulaşırken hareketin sonunda bu değerler -66 derece/sn² ve -213 derece/sn² değerlerine ulaşmaktadır. Hareket boyunca ivme değerleri doğrusal olarak değişmekte başlangıçta negatif olan değerler hareketin sonunda pozitif, başlangıçta pozitif olanlar hareketin sonunda negatif değerlere sahip olmaktadır. İvmelerin büyük olması nedeniyle en büyük kuvvetler hareketin başlangıç ve bitişinde ortaya çıkacaktır. Ayrıca en büyük ivmeler fleksiyona başlangıç ve bitiş anlarında femurda ve ekstensiyonun başlangıç ve bitişinde tibiada görüldüğü için hareket anında bu bölgelerde daha fazla zorlanmaların olacağı söylenebilir.

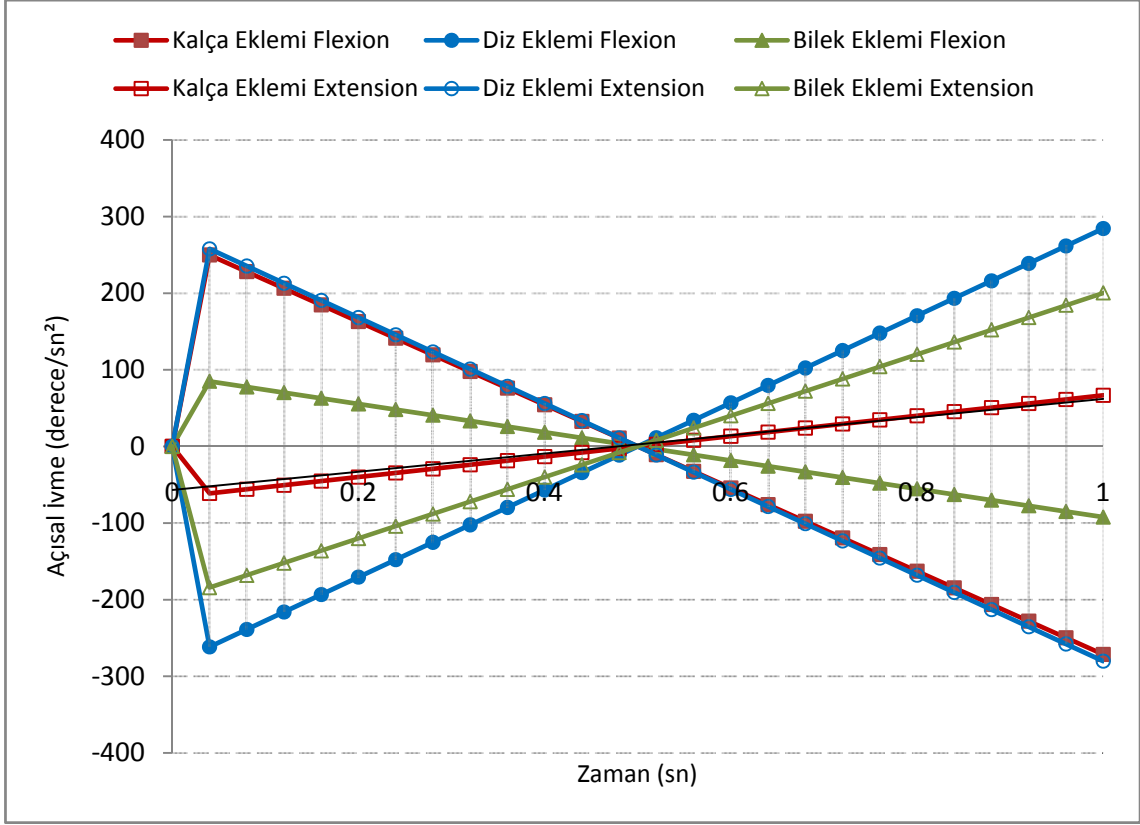
Fleksiyon ve ekstensiyon hareketlerinin analizi sonucunda elde edilen arka bacak kalça, diz ve bilek eklemlerine ait açısal hız sonuçları şekil 4.9’da verilmiştir.



Şekil 4.9 Kalça, Diz ve Bilek Eklemleri Açısal Hız – Zaman Grafiği

Şekil 4.9’da görüldüğü gibi açısal hız değerleri hareketin başlangıcında ve bitiminde hızla artmakta ve azalmaktadır. Buna karşılık hareketin ortasında yaklaşık sabit bir değerde bulunmaktadır. En büyük hızlar kalça ekleminin fleksiyonunda ve diz ekleminin ekstensiyonunda görülmektedir. Hız davranışında ki en büyük fark kalça ve daha sonra bilek ekleminde ortaya çıkmaktadır.

Fleksiyon ve ekstensiyon hareketlerinin analizi sonucunda elde edilen arka bacak kalça, diz ve bilek eklemlerine ait açısal ivme sonuçları şekil 4.10’da verilmiştir.



Şekil 4.10 Kalça, Diz ve Bilek Eklemleri Açısal İvme – Zaman Grafiği

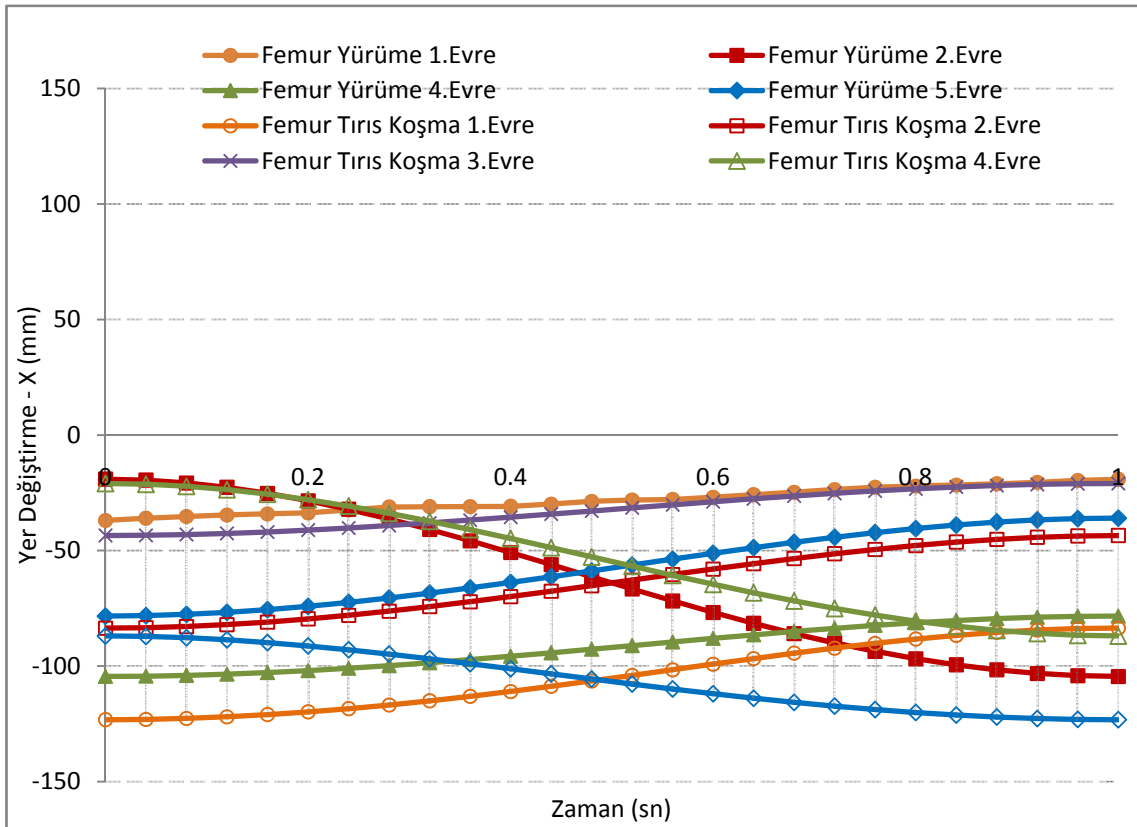
Şekil 4.10’da görüldüğü gibi en büyük ivmeler diz ekleminde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca diz eklemi için fleksiyon ve ekstensiyonda ivme değerleri mutlak değerce birbirine yakındır. Buna karşılık kalça eklemi ve bilek ekleminin fleksiyon ve ekstensiyon ivme durumları farklılık göstermektedir. Başlangıçta kalça eklemi için fleksiyonda 250 derece/sn², ekstensiyonda ise -70 derece/sn² iken bilek eklemi için bu değerler 90 derece/sn² ve -190 derece/sn² olduğu görülmektedir. Hareket boyunca ivme değerleri doğrusal olarak değişmekte başlangıçta negatif olan değerler hareketin sonunda pozitif, başlangıçta pozitif olanlar hareketin sonunda negatif değerlere sahip olmaktadır. İvmelerin büyük olması nedeniyle en büyük kuvvetler hareketin başlangıç ve bitişinde ortaya çıkacaktır. Ayrıca en büyük ivmeler kalça ve diz ekleminde olduğundan dolayı bu bölgelerin daha fazla zorlanacağı söylenebilir.

4.2 Yürüme ve Tırs Koşma Hareketlerinin Analizi ve Karşılaştırılması

Bilgisayar ortamında oluşturulan köpek arka bacak 3 boyutlu modeli üzerinde yürüme ve tırs koşma hareketleri simüle edilerek diz bölgedeki femur ve tibia kemikleri ile diz ekleminin kinematik parametreleri elde edilmiştir.

Elde edilen bu sonuçlar sırasıyla yürüme ve tırs koşma esnasında femur, tibia ve diz ekleminin yer değiştirmeleri, hızları ve ivmeleri grafikler üzerinde gösterilerek bu bölgeler arasındaki kinematik farklılıklar ortaya konmuştur.

Yürüme ve tırs koşma evrelerinde femurun x eksenindeki yer değiştirmeleri şekil 4.11’de verilmiştir.

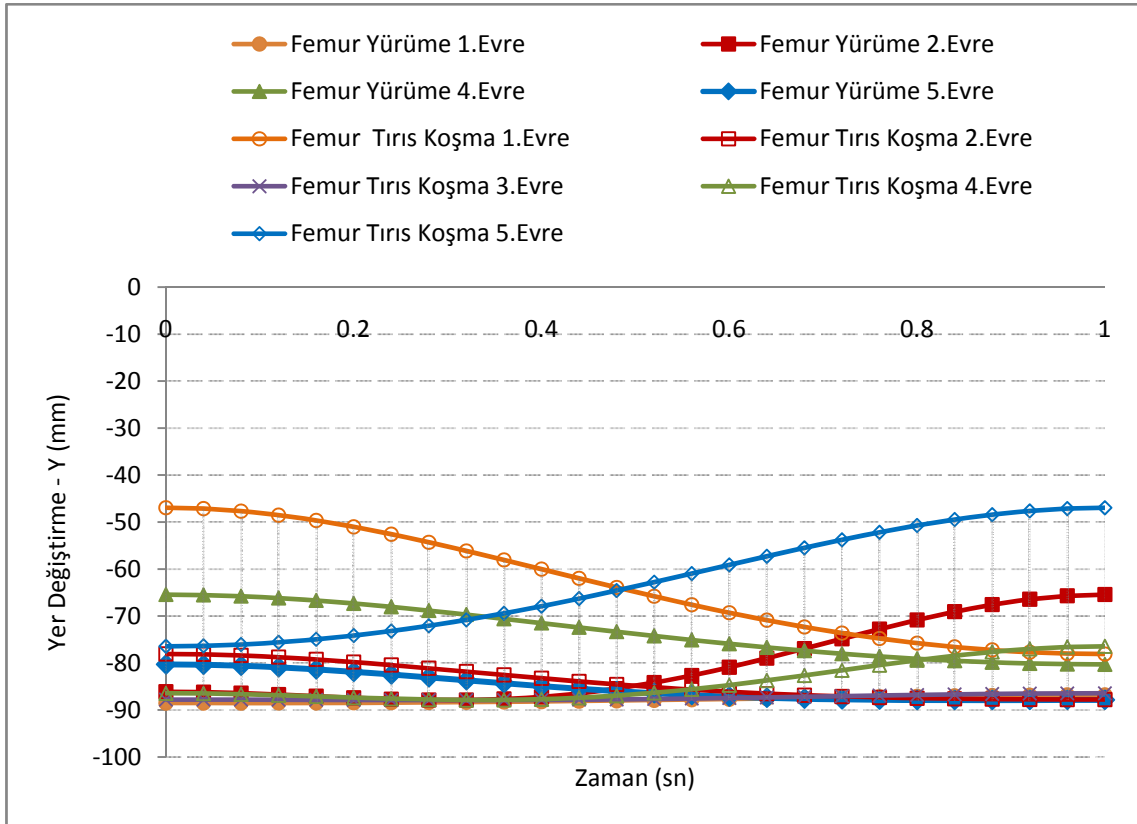


Şekil 4.11 Femur Yürüme ve Tırs Koşma Yer Değiştirme (X) – Zaman Grafiği

Femur yürümenin 1. evresinde yatay ekseninde hareketine -36 mm civarından başlayıp -19 mm civarında bitirerek toplam 17 mm yer değiştirmesi yapmıştır. Buna karşılık tırs

koşmanın 1. evresinde hareketine -123 mm civarından başlayıp -83 mm civarında bitirerek toplam 40 mm yer değiştirmiştir. Yürüme tırıs koşma hareketlerinin 2. evrelerinde femur sırasıyla toplam 85 mm ve 40 mm yer değiştirmiştir. Yürümenin 3. evresinde yer değiştirme gerçekleşmezken tırıs koşmanın 3. evresinde toplam 22 mm yer değiştirme gerçekleşmiştir. Femur hareketlerin 4. evresinde sırasıyla 26 mm ve 66 mm yer değiştirmiştir. Femur yürümenin 5. evresinde hareketine -78 mm civarından başlayıp -36 mm civarında sonlandırmış ve toplam 42 mm yer değiştirmiştir. Buna karşılık tırıs koşmanın 5. evresinde -87 mm civarından başlayıp -123 mm civarında bitirmiş ve toplam 37 mm yer değiştirmiştir. Yürüme hareketinde yatay eksenindeki en büyük yer değiştirme 2. evrede gerçekleşirken tırıs koşma hareketinde 4. evrede gerçekleşmektedir (Şekil 4.11).

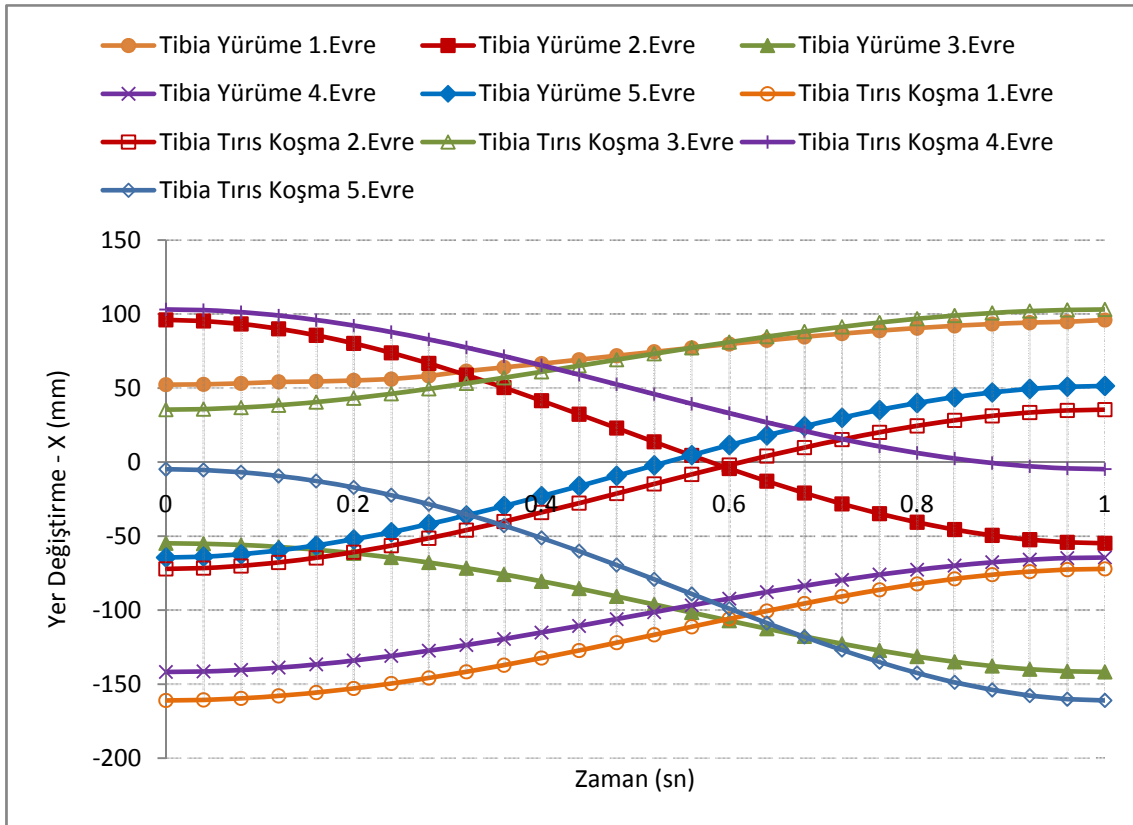
Yürüme ve tırıs koşma evrelerinde femurun y eksenindeki yer değiştirmeleri şekil 4.12’de verilmiştir.



Şekil 4.12 Femur Yürüme ve Tırıs Koşma Yer Değiştirme (Y) – Zaman Grafiği

Yürüme hareketinde düşey eksendeki en büyük yer değiştirme femurun harekete -86 mm civarından başlayıp -65 mm civarında sonlandırdığı 2. evresinde gerçekleşmektedir. Buna karşılık tırıs koşmada en büyük yer değiştirme femurun harekete -46 mm civarından başlayıp -78 mm civarında bitirdiği 1. evrede gerçekleşmektedir. Bu değerleri yürümenin 4. evresi ve tırıs koşmanın 5. evresi takip etmekte ve sırasıyla 15 mm ve 30 mm yer değiştirme görülmektedir. Hareketlerin diğer evrelerinde ise yer önemli değişikliklerin görülmediği söylenebilir (Şekil 4.12).

Yürüme ve tırıs koşma evrelerinde tibianın x eksenindeki yer değiştirmeleri şekil 4.13’de verilmiştir.

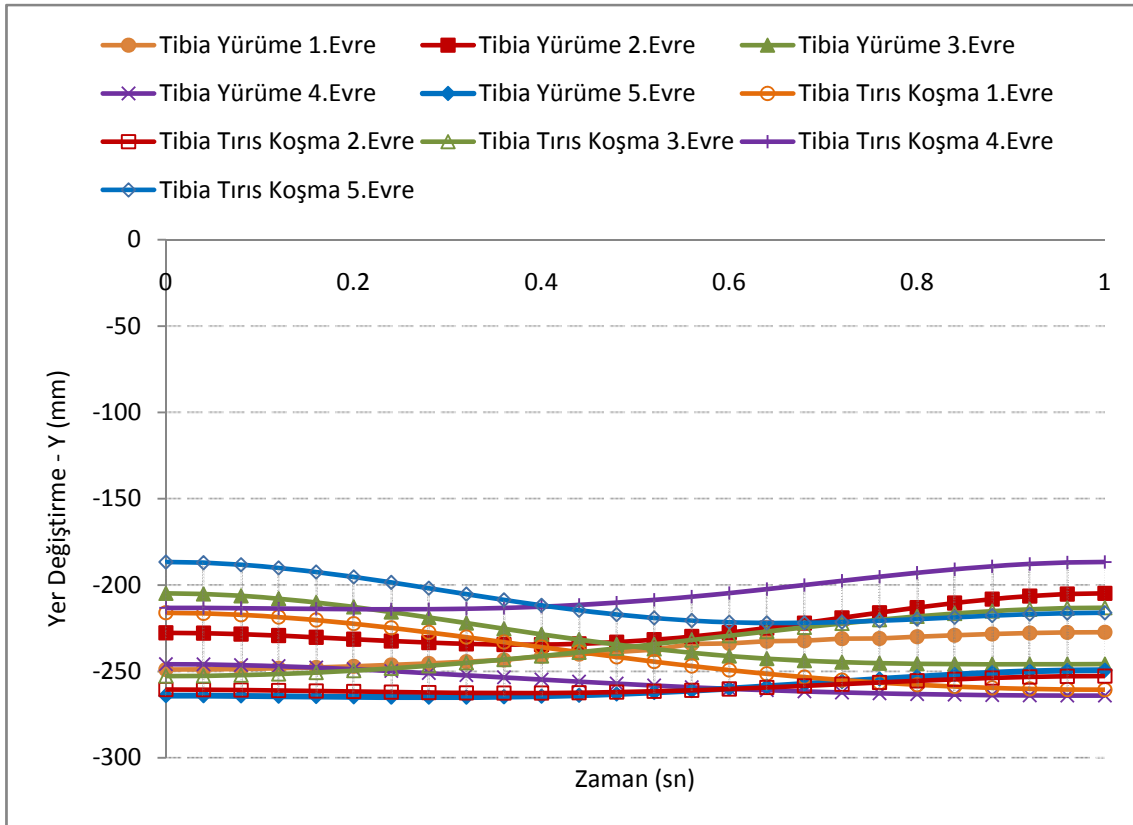


Şekil 4.13 Tibia Yürüme ve Tırıs Koşma Yer Değiştirme (X) – Zaman Grafiği

Tibia yürümenin 1. evresinde yatay ekseninde hareketine 52 mm civarından başlayıp 96 mm civarında bitirerek toplam 44 mm yer değiştirme yapmıştır. Buna karşılık tırıs koşmanın 1. evresinde hareketine -161 mm civarından başlayıp -72 mm civarında bitirerek toplam 88 mm yer değiştirmiştir. Yürümenin ve tırıs koşmanın 2. evresinde

tibia sırasıyla harekete 96 mm civarından başlayıp -54 mm civarında sonlandırarak toplam 150 mm yer değiştirirken, koşma hareketine -72 mm civarından başlayıp 35 mm civarında bitirerek toplam 107 mm yer değiştirmiştir. Yürümenin ve tırıs koşmanın 3. evresinde tibia sırasıyla 86 mm ve 68 mm, 4. evresinde ise 77 mm ve 55 mm yer değiştirmiştir. Tibia yürümenin 5. evresinde hareketine -64 mm civarından başlayıp 51 mm civarında sonlandırmış ve toplam 115 mm yer değiştirmiştir. Buna karşılık tırıs koşmanın 5. evresinde -48 mm civarından başlayıp -161 mm civarında bitirmiş ve toplam 113 mm yer değiştirmiştir. Yürüme hareketinde düşey eksendeki en büyük yer değiştirme 2. evrede gerçekleşirken tırıs koşma hareketinde 5. evrede gerçekleşmektedir (Şekil 4.13).

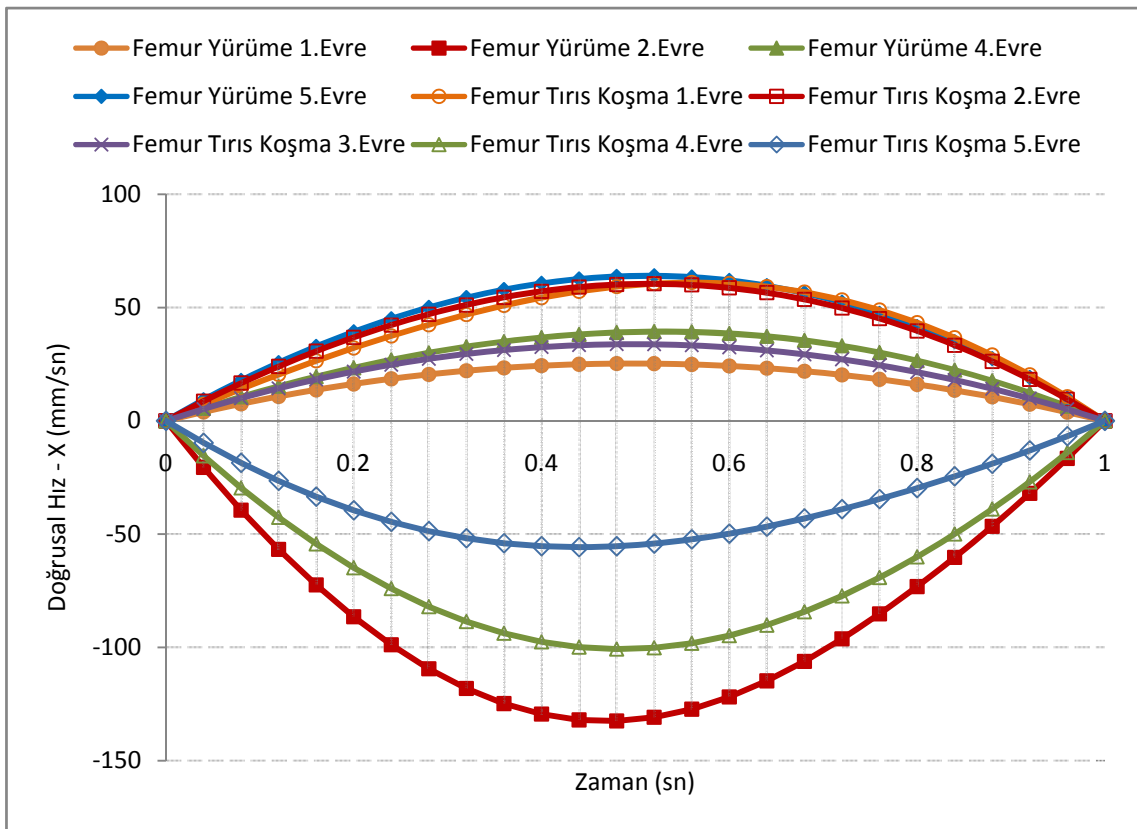
Yürüme ve tırıs koşma evrelerinde tibiyanın y eksenindeki yer değiştirmeleri şekil 4.14’te verilmiştir.



Şekil 4.14 Tibia Yürüme ve Tırıs Koşma Yer Değiştirme (Y) – Zaman Grafiği

Tibiannın düşey eksenindeki yer değiştirmeleri şekil 4.14 üzerinde incelendiğinde en büyük değerler yürümenin 3. evresinde 41 mm ve tırıs koşmanın 1. evresinde 44 mm olarak görülmektedir. Yürümenin diğer evrelerindeki yer değiştirmeler yaklaşık olarak 15 mm – 21 mm arasında gerçekleşirken bu değerler koşma hareketinde 8 mm – 39 mm arasında değişmektedir (Şekil 4.14).

Yürüme ve tırıs koşma evrelerinde femurun x eksenindeki doğrusal hızı şekil 4.15’de verilmiştir.

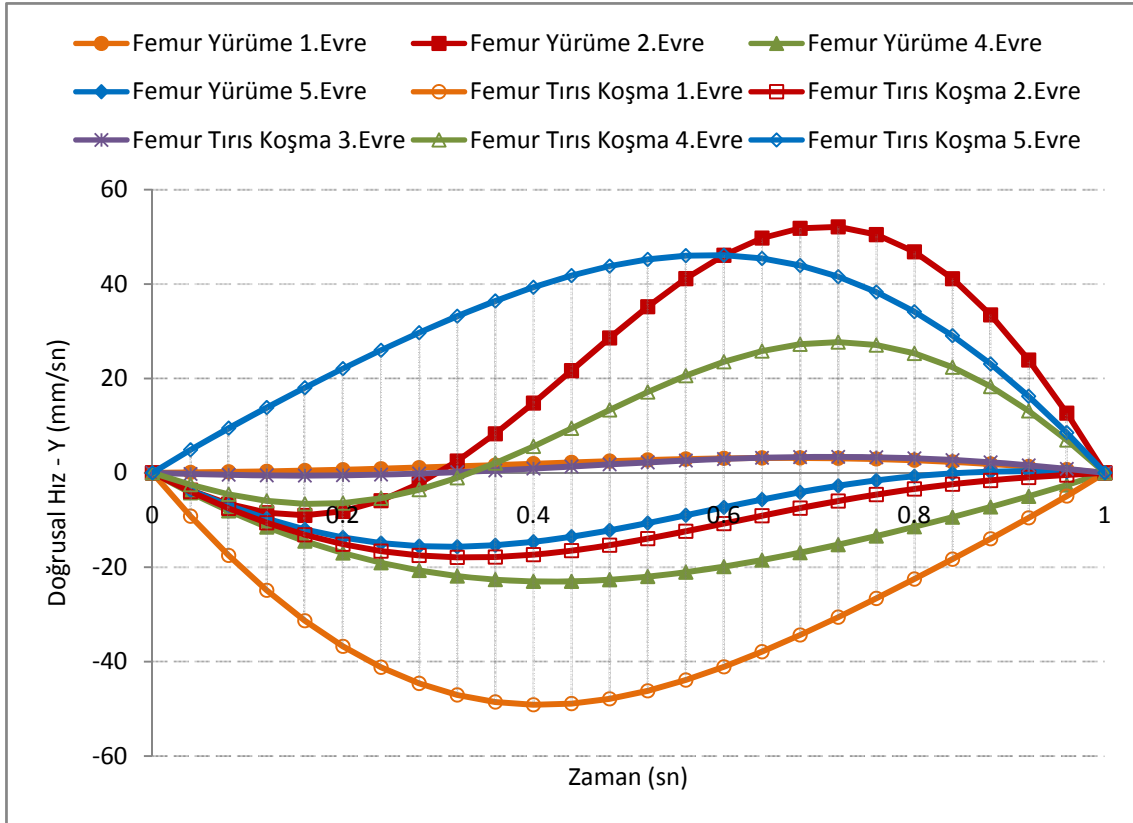


Şekil 4.15 Yürüme ve Tırıs Koşma Hareketlerinde Femurun Yatay Eksendeki Doğrusal Hız - Zaman Grafiği

Hareket evrelerinde femurun yatay eksenindeki en yüksek hızları yürümenin 2. evresinde ve koşmanın 4. evresinde görülmektedir ve hızları sırasıyla -132 mm/sn ve 100 mm/sn civarındadır. (Şekil 4.3). Yürümenin 5. evresinde ve koşmanın 1. evresinde femurun hızı mutlak değerce birbirine yakındır. Benzer bir durum yürümenin 1. ve 4. evresinde ve koşmanın 3. ve 5. evrelerinde geçerlidir. Yürümenin 3. evresinde ise femurun hızı yaklaşık olarak

sıfırdır. Yürüme ve koşma hareketleri süresince femurun hız davranışındaki en büyük farklar sırasıyla 3. ve 4. evrede gerçekleşmektedir.

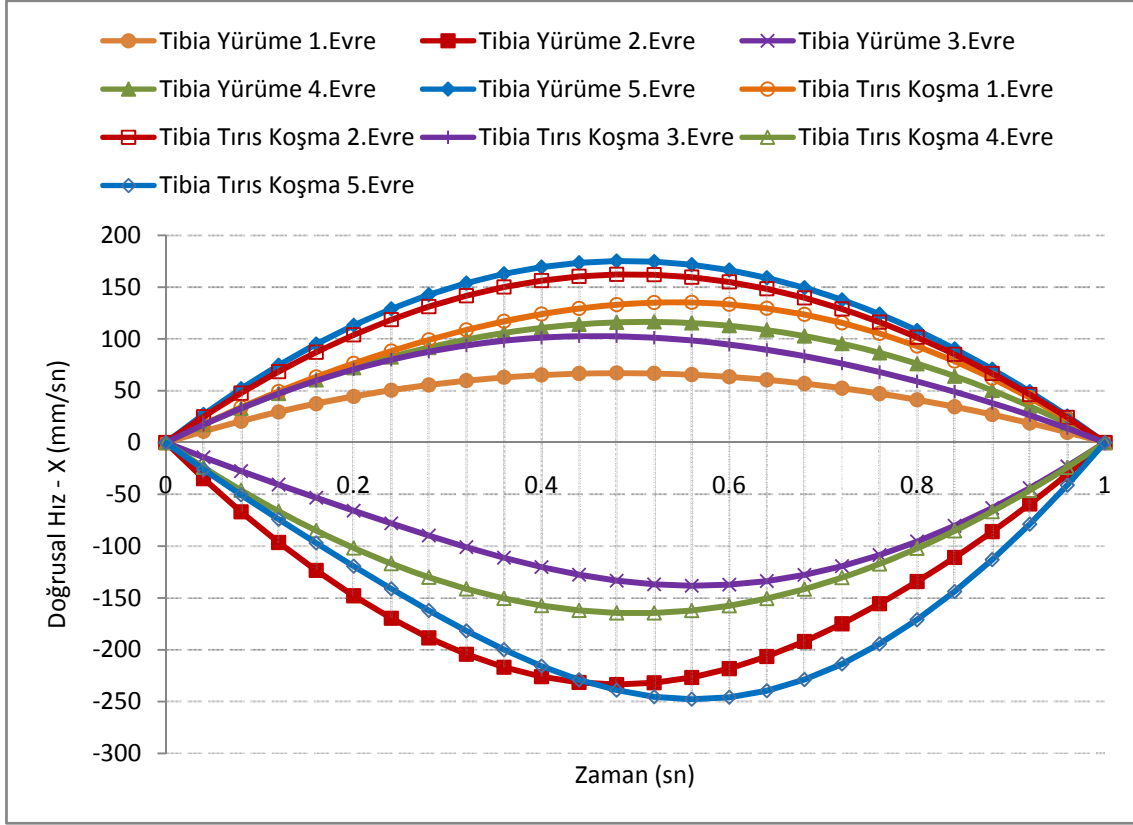
Yürüme ve tırs koşma evrelerinde femurun y eksenindeki doğrusal hızı şekil 4.16'da verilmiştir.



Şekil 4.16 Yürüme ve Tırs Koşma Hareketlerinde Femurun Düşey Eksendeki Doğrusal Hız - Zaman Grafiği

Yürüme esnasında femurun düşey eksenindeki en yüksek hızı hareketin 2. evresinde gerçekleşirken koşma esnasında ise 1. evrede gerçekleşmektedir ve hızları sırasıyla 52 mm/sn ve -49 mm/sn' dir. En yüksek hızların görüldüğü periyot ise yürümede evrenin 0.72. saniyesi, koşmada ise 0.4. saniyesidir. Düşey eksendeki diğer hızlar incelendiğinde yürümenin 4. ve 5. evresinde yaklaşık olarak aynı hız değerleri okunmaktadır ve bu değer yaklaşık olarak -20 mm/sn civarındadır. Yürüme ve koşma hareketleri süresince femurun hız davranışındaki mutlak değerler en büyük farklar sırasıyla 1. ve 5. evrede gerçekleşmektedir.

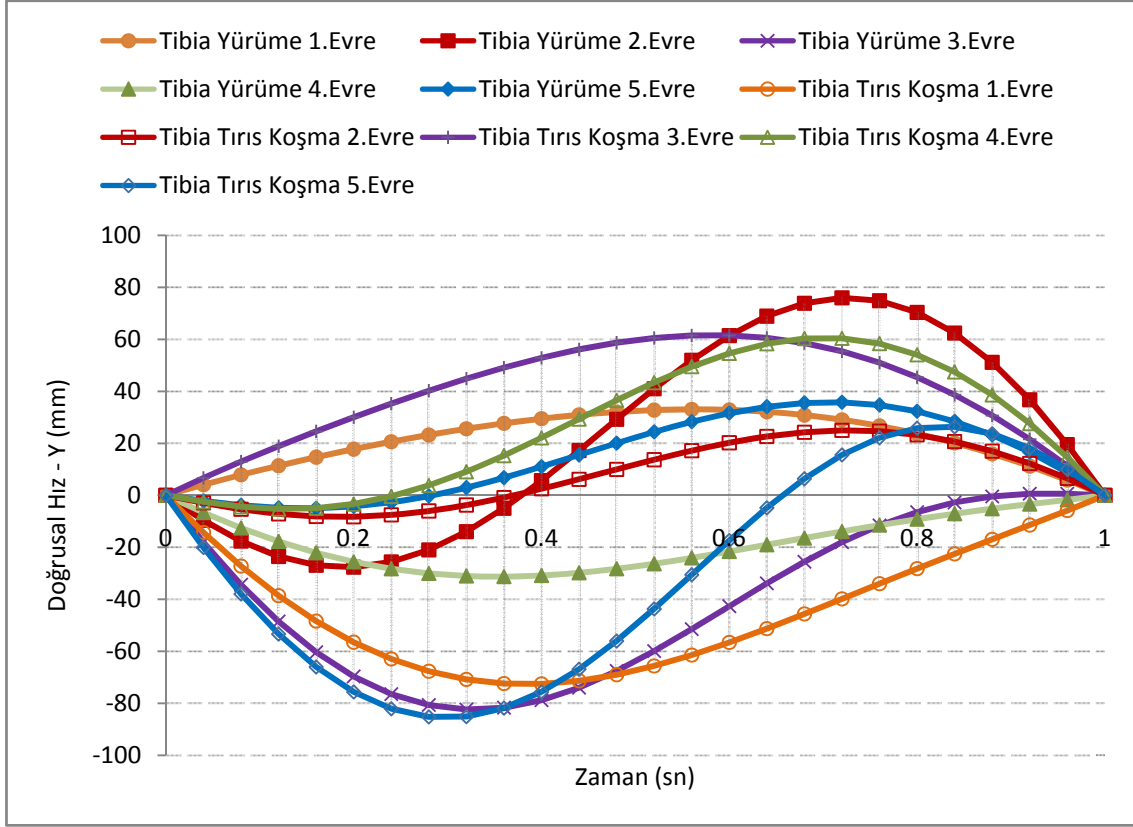
Yürüme ve tırıs koşma evrelerinde tibianın x eksenindeki doğrusal hızı şekil 4.17’de verilmiştir.



Şekil 4.17 Yürüme ve Tırıs Koşma Hareketlerinde Tibianın Yatay Eksendeki Doğrusal Hız - Zaman Grafiği

Yürüme esnasında tibianın yatay eksendeki en yüksek hızı hareketin 2. evresinde gerçekleşirken koşma esnasında ise 5. evrede gerçekleşmektedir ve hızları sırasıyla -233 mm/sn ve -247 mm/sn’ dir. En yüksek hızların görüldüğü periyot ise yürümede evrenin 0.48. saniyesi, koşmada ise 0.56. saniyesidir. Düşey eksendeki diğer hızlar incelendiğinde yürümenin 5. koşmanın 2. evrelerinde hızları yaklaşık olarak 170 mm/sn civarındadır. Yürüme ve koşma hareketleri süresince tibianın hız davranışındaki en büyük fark sırasıyla 5. ve 1. evrelerde gerçekleşmektedir (Şekil 4.17).

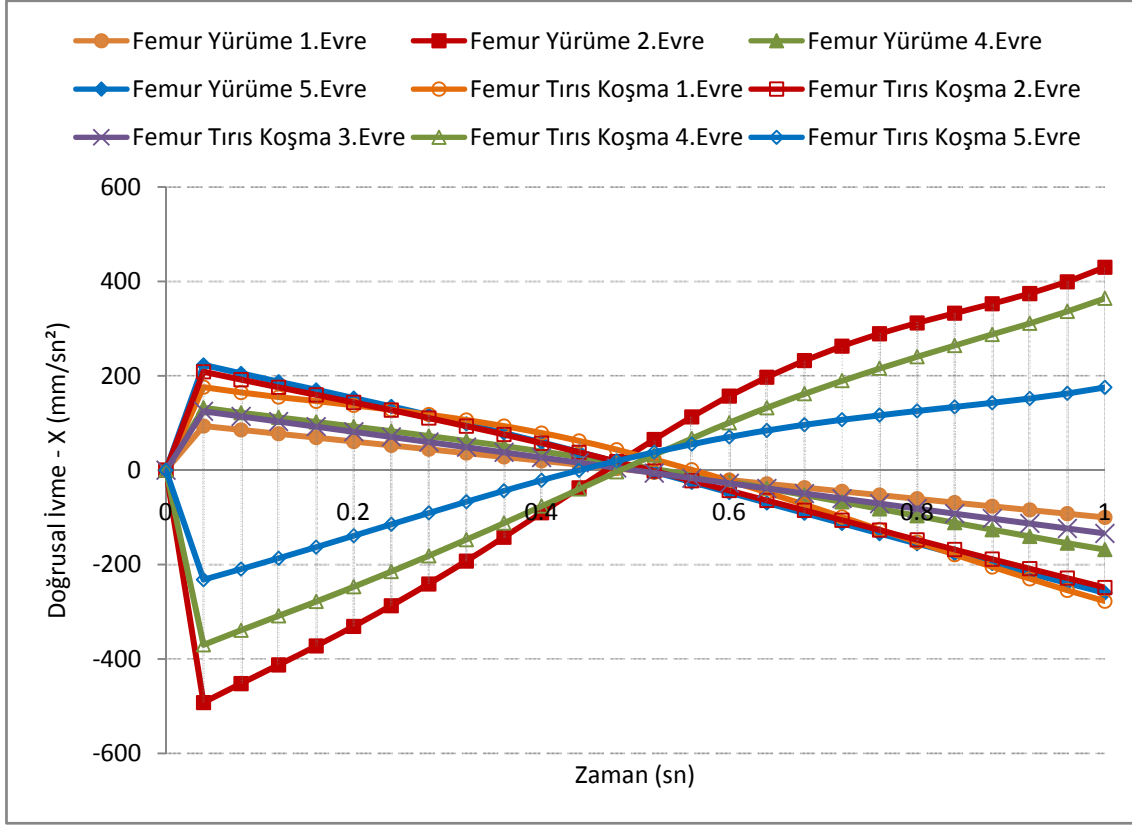
Yürüme ve tırıs koşma evrelerinde tibianın y eksenindeki doğrusal hızı şekil 4.18’de verilmiştir.



Şekil 4.18 Yürüme ve Tırıs Koşma Hareketlerinde Tibianın Düşey Eksendeki Doğrusal Hız - Zaman Grafiği

Yürüme esnasında tibianın düşey eksendeki en yüksek hızı hareketin 3. evresinde gerçekleşirken koşma esnasında ise 5. evrede gerçekleşmektedir ve hızları sırasıyla -82 mm/sn ve -85 mm/sn' dir. En yüksek hızların görüldüğü periyot ise yürümede evrenin 0.32. saniyesi, koşmada ise 0.28. saniyesidir. Düşey eksendeki diğer hızlar incelendiğinde tibianın 2.,3.,4. ve 5. evrelerde benzer davranış sergilediği görülebilir. Yürüme ve koşma hareketleri süresince tibianın hız davranışındaki en büyük fark sırasıyla 2. ve 1. evrelerde gerçekleşmektedir (Şekil 4.17).

Yürüme ve tırıs koşma hareketlerinin analizi sonucunda femur için elde edilen teğetsel ivmenin yatay eksenindeki bileşenine ait sonuçlar Şekil 4.19’da verilmiştir.

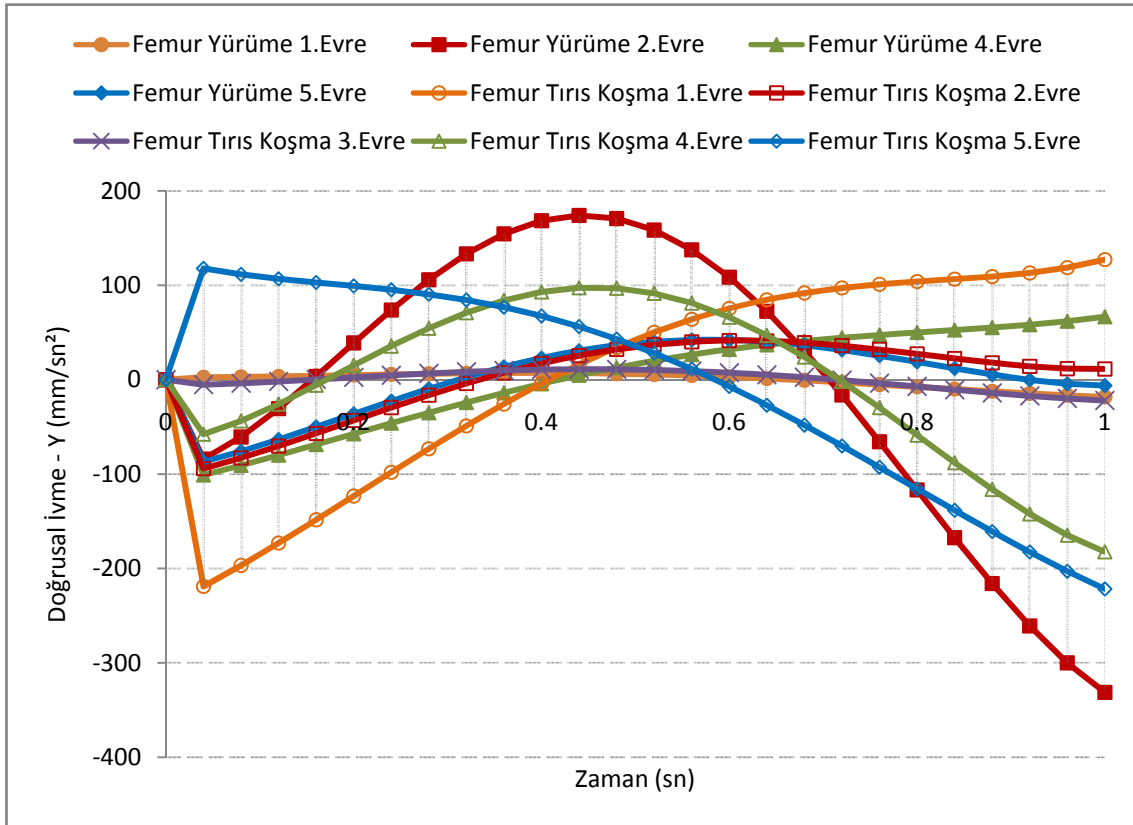


Şekil 4.19 Yürüme ve Tırıs Koşma Hareketlerinde Femurun Yatay Eksendeki Doğrusal İvme - Zaman Grafiği

Şekil 4.19’da görüldüğü gibi yürüme ve tırıs koşma esnasındaki yatay eksenindeki en büyük ivmeler yürümenin 2. evresinde ve koşmanın 4. evresinde ortaya çıkmaktadır. Yürümede ve koşmada görülen maksimum ivmeler hareketin başlangıç ve bitiminde olmaktadır. Her iki hareket göz önünde alındığında ivme davranışındaki en büyük fark 2. evrede ortaya çıkmaktadır. Yürümenin 2. evresinde başlangıçta -492 mm/sn^2 olan ivme hareket sonunda 430 mm/sn^2 olmakta, koşmanın 2. evresinde başlangıçta 208 mm/sn^2 olan ivme hareket sonunda -24 mm/sn^2 olmaktadır. Yürüme ve koşma hareketlerinin 4. Evrelerindeki ivmeleri karşılaştırdığımızda yürümede başlangıçta 132 mm/sn^2 olan ivme hareket sonunda -168 mm/sn^2 olmakta, koşmada ise başlangıçta -370 mm/sn^2 olan ivme hareket sonunda 364 mm/sn^2 olmaktadır. Femurun genel ivme davranışına baktığımızda başlangıçta pozitif olan değerler hareketin sonunda negatif ve

başlangıçta negatif olan değerler hareketin sonunda pozitif olmaktadır. En büyük ivmeler hareket başlangıcında ve bitiminde görüldüğü için en büyük kuvvetler ve zorlanmaların bu anlarda görüleceği söylenebilir.

Yürüme ve tırıs koşma hareketlerinin analizi sonucunda femur için elde edilen teğetsel ivmenin düşey eksenindeki bileşenine ait sonuçlar şekil 4.20'de verilmiştir.

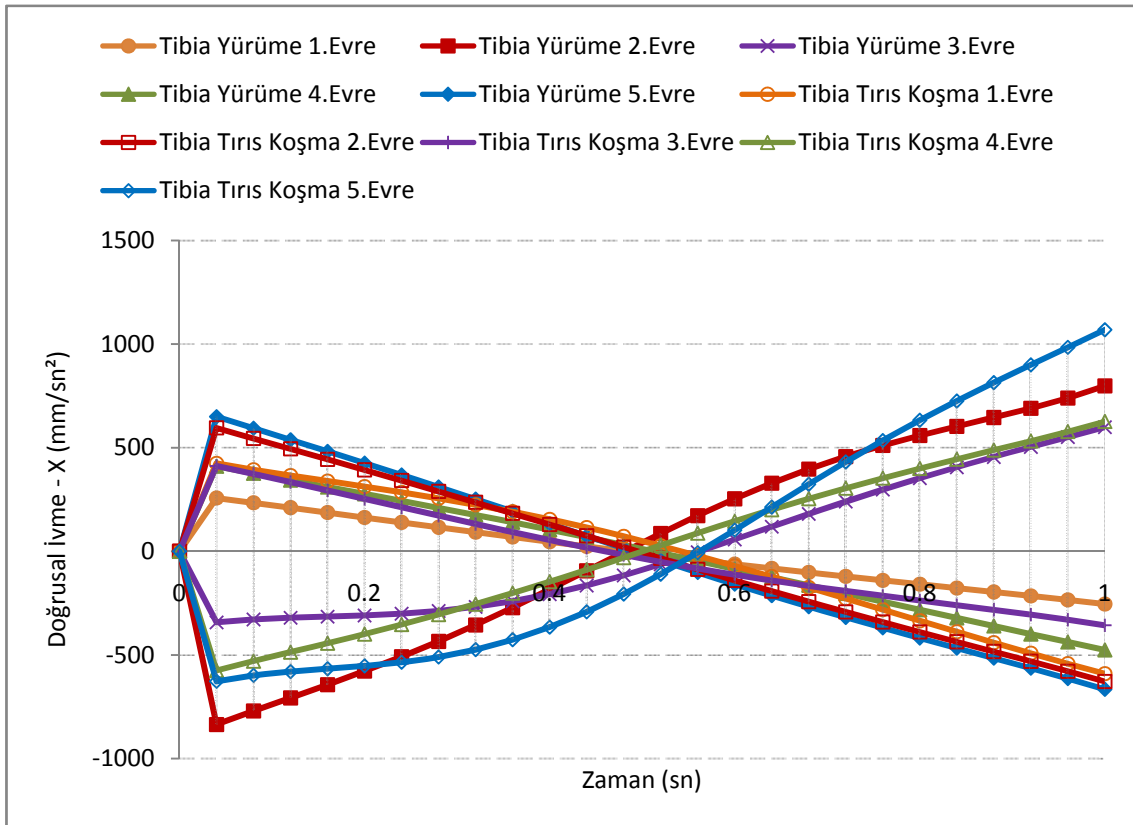


Şekil 4.20 Yürüme ve Tırıs Koşma Hareketlerinde Femurun Düşey Eksendeki Doğrusal İvme - Zaman Grafiği

Şekil 4.20'da görüldüğü gibi yürüme ve tırıs koşma esnasındaki düşey eksenindeki en büyük ivmeler yürümenin 2. evresinde ve koşmanın sırasıyla 1., 4. ve 5. evrelerinde ortaya çıkmaktadır. Bu ivmeler sırasıyla yürümenin 2. evresinde başlangıçta -84 mm/sn^2 hareketin ortasında 174 mm/sn^2 ve sonunda -313 mm/sn^2 , koşmanın 1. evresinde başlangıçta -219 mm/sn^2 ve hareketin bitiminde 127 mm/sn^2 , 4. evresinde hareket başlangıcında -57 mm/sn^2 ortasında 97 mm/sn^2 ve sonunda -182 mm/sn^2 ve son olarak 5. evresinde başlangıçta 118 mm/sn^2 ve hareketin sonunda -221 mm/sn^2 olarak

görülmektedir. Yürüme ve tırs koşma evrelerinde ivme davranışı önemli farklılıklar göstermektedir. Yürümenin 2. koşmanın ise 3. ve 4. evrelerinde başlangıçta ivme negatifken hareketin ortalarına doğru pozitif ve hareketin sonunda negatif olmakta ve en büyük değerine ulaşmaktadır. Diğer evrelerde ise başlangıçta pozitif olan ivme hareket sonunda negatif, başlangıçta negatif olan ivme hareket sonunda pozitif olmaktadır. En büyük ivmeler genelde hareket başlangıcında ve bitiminde görülürken yürümenin 2. evresinde koşmanın 4. evresinde hareketin ortalarına doğru da yüksek ivmeler oluşmaktadır. Bu durumda için en büyük kuvvetlerin ve zorlanmaların grafiklerdeki bu bölgelerde görüleceği söylenebilir.

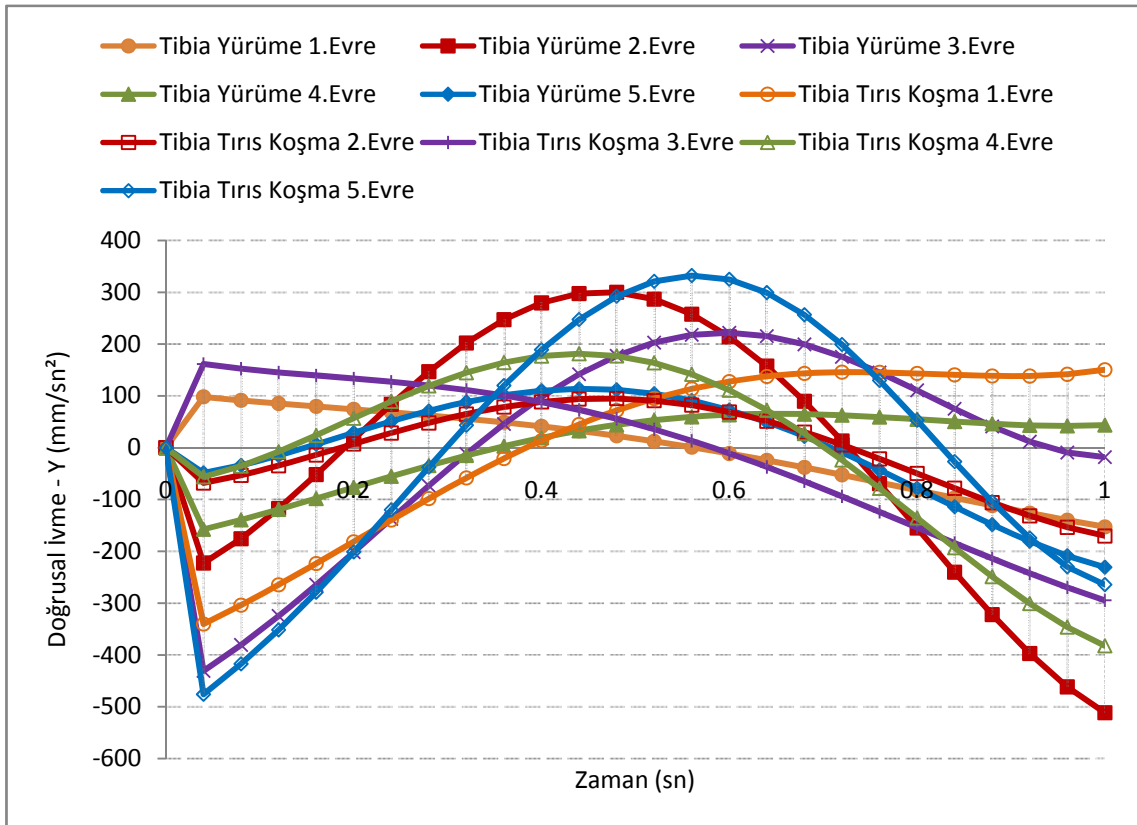
Yürüme ve tırs koşma hareketlerinin analizi sonucunda tibia için elde edilen teğetsel ivmenin yatay eksenindeki bileşenine ait sonuçlar şekil 4.21’de verilmiştir.



Şekil 4.21 Yürüme ve Tırs Koşma Hareketlerinde Tibianın Yatay Eksendeki Doğrusal İvme - Zaman Grafiği

Şekil 4.21’de görüldüğü gibi yürüme ve tırıs koşma sürecinde tibianın yatay eksendeki en büyük ivmeleri yürümenin 2. evresinde ve koşmanın 5. evresinde ortaya çıkmaktadır. Yürümenin 2. evresinde başlangıçta -835 mm/sn^2 olan ivme hareket sonunda 798 mm/sn^2 olmakta, koşmanın 5. evresinde başlangıçta -627 mm/sn^2 olan ivme hareket sonunda 1069 mm/sn^2 olmaktadır. Tibianın genel ivme davranışına baktığımızda başlangıçta pozitif olan değerler hareketin sonunda negatif ve başlangıçta negatif olan değerler hareketin sonunda pozitif olmaktadır. En büyük ivmeler hareket başlangıcında ve bitiminde görüldüğü için en büyük kuvvetler ve zorlanmaların bu anlarda görüleceği söylenebilir.

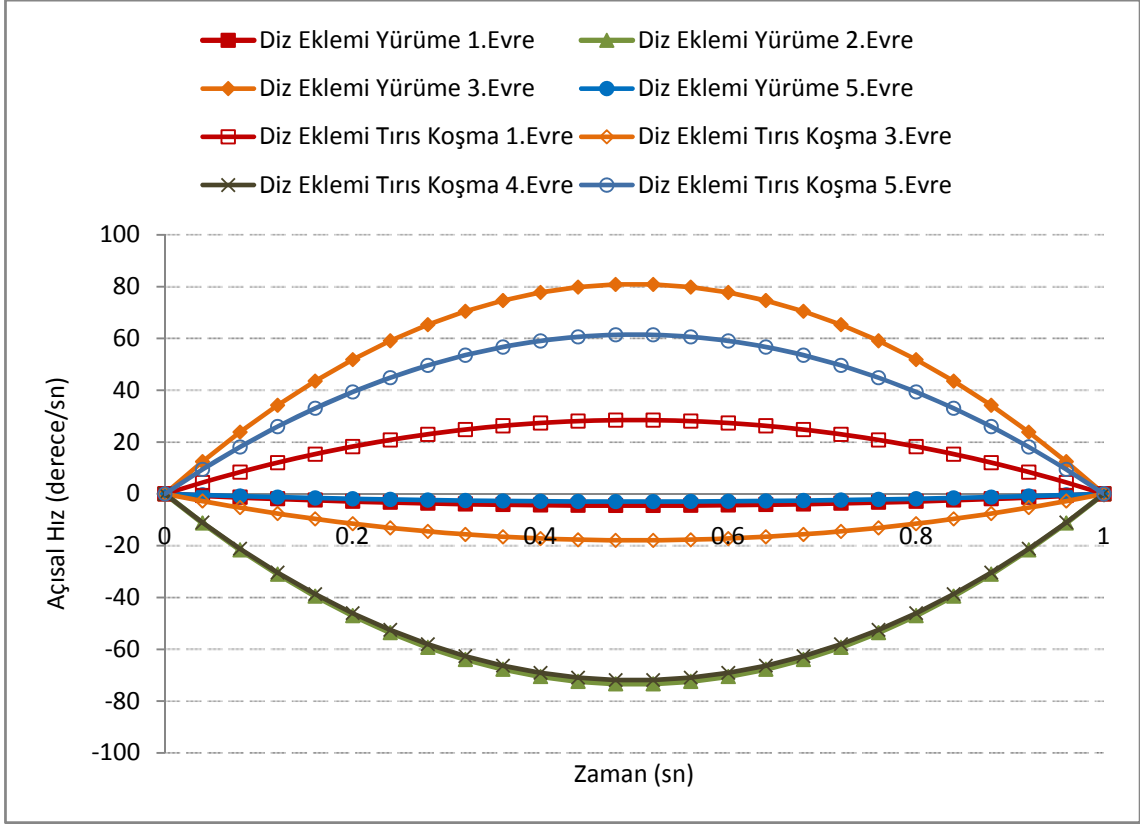
Yürüme ve tırıs koşma hareketlerinin analizi sonucunda tibia için elde edilen teğetsel ivmenin düşey eksendeki bileşenine ait sonuçlar şekil 4.22’de verilmiştir.



Şekil 4.22 Yürüme ve Tırıs Koşma Hareketlerinde Tibianın Düşey Eksendeki Doğrusal İvme - Zaman Grafiği

Şekil 4.22’de görüldüğü gibi yürüme ve tırıs koşma esnasındaki düşey eksendeki en büyük ivmeler yürümenin 2. ve 3. evrelerinde ve koşmanın sırasıyla 3., 4. ve 5. evrelerinde ortaya çıkmaktadır. Bu ivmeler sırasıyla yürümenin 2. evresinde başlangıçta -222 mm/sn^2 hareketin ortasında 300 mm/sn^2 ve sonunda -511 mm/sn^2 , 3. evresinde başlangıçta -430 mm/sn^2 hareketin ortasında 221 mm/sn^2 ve sonunda -18 mm/sn^2 , koşmanın 3. evresinde başlangıçta 161 mm/sn^2 ve hareketin bitiminde -294 mm/sn^2 , 4. evresinde hareket başlangıcında -56 mm/sn^2 ortasında 181 mm/sn^2 ve sonunda -382 mm/sn^2 ve son olarak 5. evresinde başlangıçta -476 mm/sn^2 , hareketin ortasında 324 mm/sn^2 ve sonunda -264 mm/sn^2 büyüklüğündedir. Yürüme ve tırıs koşma evrelerinde ivme davranışı önemli farklılıklar göstermektedir. Yürümenin 2. ve 3. koşmanın ise 2., 4. ve 5. evrelerinde başlangıçta ivme negatifken hareketin ortalarına doğru pozitif ve hareketin sonunda negatif olmakta ve en büyük değerine ulaşmaktadır. Diğer evrelerde ise başlangıçta pozitif olan ivme hareket sonunda negatif, başlangıçta negatif olan ivme hareket sonunda pozitif olmaktadır. En büyük ivmeler genelde hareket başlangıcında ve bitiminde görülürken yürümenin 2. ve 3. evrelerinde koşmanın 4. ve 5. evrelerinde hareketin ortalarına doğru da yüksek ivmeler oluşmaktadır. Bu durumda için en büyük kuvvetlerin ve zorlanmaların grafiklerdeki bu bölgelerde görüleceği söylenebilir.

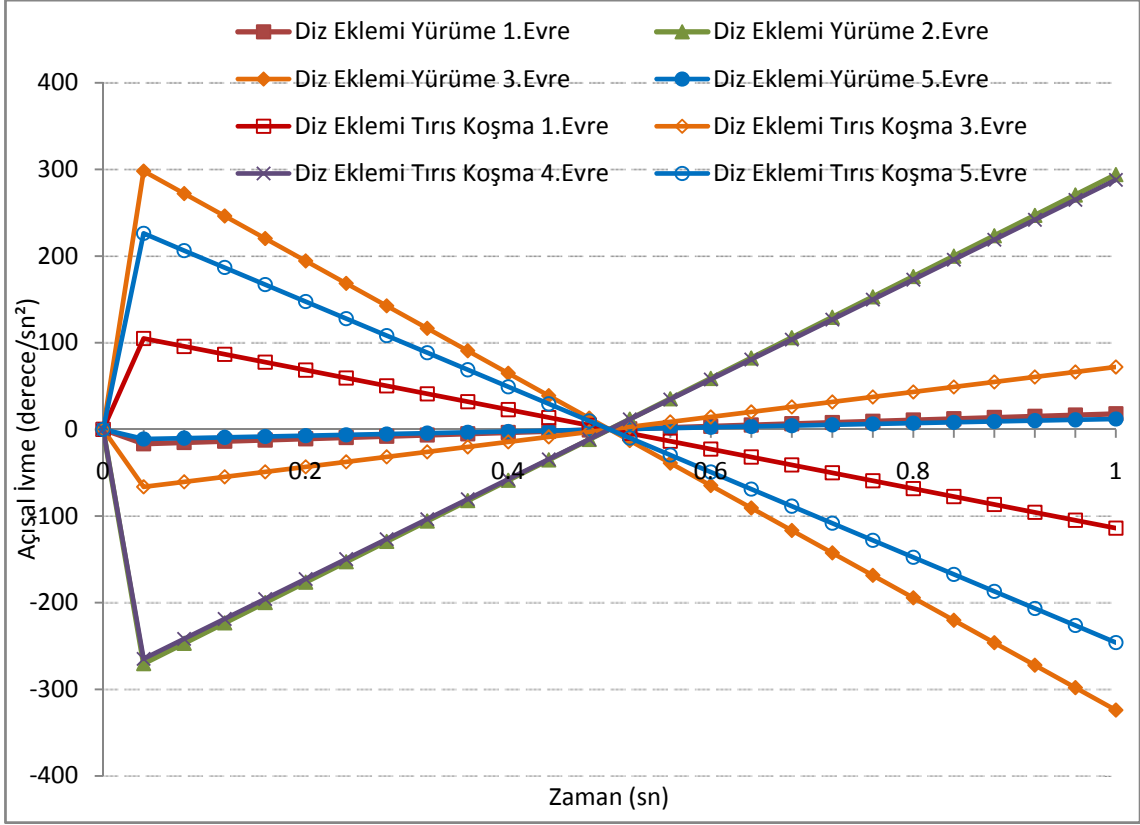
Şekil 4.23’de Yürüme ve tırıs koşma evrelerindeki açısal hız değişkenine ait sonuçlar verilmektedir.



Şekil 4.23 Diz Eklemi Yürüme ve Tırıs Koşma Açısal Hız – Zaman Grafiği

Şekil 4.23’de görüldüğü gibi açısal hız değerleri hareketin başlangıcında ve bitiminde hızla artmakta ve azalmaktadır. Buna karşılık hareketin ortasında yaklaşık sabit bir değerde bulunmaktadır. En büyük hızlar yürüme hareketinde 2. (-73 derece/sn) ve 3. (81 derece/sn) evrelerde koşma hareketinde ise 4. (-72 derece/sn) evrede görülmektedir. Hız davranışında ki en büyük fark 3. ve 5. evrelerde ortaya çıkmaktadır.

Şekil 4.24’de Yürüme ve tırıs koşma evrelerindeki açısal ivme değişkenine ait sonuçlar verilmektedir.



Şekil 4.24 Diz Eklemi Yürüme ve Tırıs Koşma Açısal İvme – Zaman Grafiği

Şekil 4.24’de görüldüğü gibi en büyük ivmeler yürümenin 2. ve 3. evrelerinde koşmanın ise 4. evresinde ortaya çıkmaktadır. Başlangıçta yürümenin 2. evresi için -270 derece/sn² olan ivme, hareketin sonunda 294 derece/sn² olmakta, 3. evresi için başlangıçta 298 derece/sn² olan ivme hareketin sonunda -324 derece/sn² olmakta ve koşma hareketinin 4. evresinde başlangıçta -265 derece/sn² olan ivme hareket sonunda 288 derece/sn² olmaktadır. Hareket boyunca ivme değerleri doğrusal olarak değişmekte başlangıçta negatif olan değerler hareketin sonunda pozitif, başlangıçta pozitif olanlar hareketin sonunda negatif değerlere sahip olmaktadır. İvmelerin büyük olması nedeniyle en büyük kuvvetler hareketin başlangıç ve bitişinde ortaya çıkacaktır. Ayrıca en büyük ivmeler 2, 3 ve 4. evrelerde görüldüğü için hareketin bu dönemlerinde daha fazla zorlanmalar oluşacağı söylenebilir.

5. SONUÇLAR

Biyomekanik biliminin amacı, mekanik kavram ve ilkeleri canlı sistemlerin nitelik ve nicelikleriyle ilişkilendirip, elde ettiği sonuçlarla insan ve hayvanların yaşam kalitesini iyileştirmeye yönelik çıktılar ortaya koymaktır. Günümüzde hızlı teknolojik gelişmelerle birlikte, hareket sisteminin sağlıklı insan ve hayvanlarda anlaşılabilmesi yanında, klinik uygulamalarda tanı, tedavi planlaması ve tedavi sonucunun takip edilebilmesi amacıyla kinetik ve kinematik analizlerinin kullanılması giderek yaygınlaşmaktadır. Özellikle, nöromusküler ve ortopedik hastalıklarda çeşitli kas iskelet sistemi sorunlarının tanısında ve tedavisinde yürüme analizi giderek önemli bir yer tutmaktadır.

Bu çalışmada köpekte ekstensiyon ve fleksiyon durumundaki arka bacak eklem açıları ölçülmüş ve bilgisayar ortamında hazırlanan model üzerine aktarılmıştır. Analizi yapılacak hareketler Cosmosmotion yazılımı kullanılarak, model üzerinde simüle edilmiştir. Bilgisayar ortamında uygulanan bu yürüme analizi simülasyonu ile femur, tibia, kalça eklemi, diz eklemi ve ayak bilek eklemine ait yer değiştirme, hız ve ivme sonuçları elde edilmiştir. Arka bacağın fleksiyonu ve ekstansiyonu esnasında en büyük yer değiştirme, hız ve ivme tibiada görülmüş ve her iki pozisyonda da en büyük ivmeler hareketin başlangıcında ve bitişinde oluşmuştur. Hareket sırasında en büyük kuvvetlerin ve gerilmelerin hareketin başlangıcında ve bitişinde oluşacağı sonucuna varılmıştır.

Bu çalışma ile gerek veteriner klinikte önemli bir yeri olan gerekse insandaki çeşitli hastalıklar için deneysel hayvan modeli olarak kullanılan köpeklerde, eklem hareketlerinin, üç boyutlu arka bacak modeli oluşturularak bilgisayar ortamında simülasyonu yöntemi tanımlanmıştır. Bu tür simülasyonlar köpek arka bacak hareket mekanizmasına ait normal ve patolojik durumların canlı hayvan kullanılmadan bilgisayar ortamında incelenebilmesine olanak sağlayabileceği gibi köpeklerde kalça ve diz eklemine ilişkin çeşitli implantların tasarlanmasında kullanılabilir.

6. KAYNAKLAR

- Adams D.R. 2004. Canine Anatomy. Iowa State Press, 8, 165-172.
- Akalan N.E., Özkan M., Gülçür H.Ö. ve Temelli Y. 2005. Pasif diz fleksiyonunun 3 boyutlu biyomekanik simülasyonu. Biyomedikal Mühendisliği Ulusal Toplantısı, BİYOMUT 2005, İstanbul, TÜRKİYE.
- Akdoğan A., Görür B.V., Yurci M.E. and Durakbaşa M.N. 2003. Comparison of coordinate Measuring machines digitizing capability and an optical digitizer. Proceedings of 4th. Workshop on European Scientific and Industrial Collaboration, University of Miskole. 261 p, Hungary
- Bahadır A., Yıldız H. 2004. Veteriner Anatomi I. Ezgi Kitabevi, 91-95, 111-114, Bursa.
- Bennet R.L., DeCamp C.E., Flo G.L., Hauptman J.G. and Stajich M. 1996. Kinematic gait analysis in dogs with hip dysplasia. Am J Vet Res. 57(7), 966-971
- Çilli M. 2007. İnsan hareketlerinin modellenmesi ve benzeşiminde temel bileşenler analizi yönteminin kullanılması. Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, ANKARA
- DeCamp C.E., Robert W., Hauptman J., Oliver B., Braden T. And Walton A. 1993. Kinematic gait analysis of the trot in healthy Greyhounds. Am J Vet Res. 59(6), 680-685.
- Dyce K.M., Sack W.O. and Wensing C.J. 1987. Textbook of Veterinary Anatomy.
- Gürer R. and Seçkin B. 2001. Diz Biyomekaniği. Romatizma, 16, 2, 114-124
- Harrison H.R. and Nettleton T. 1997. Advanced Engineering Dynamics. Formerly Department of Mechanical Engineering & Aeronautics City University, 299 p, London.
- Hottinger H.A., DeCamp C.E., Oliver N.B., Hauptman J.G. and Soutas-Little R.W. 1996. Noninvasive kinematic analysis of the walk in healthy large-breed dogs. Am J Vet Res. 57(3), 381-388
- Josephs H. And Huston R.L. 2002. Dynamics of mechanical Systems. CRC Press LLC, 753 p, Florida
- Knudson D. 2007. Fundamentals of Biomechanics. Springer Science+Business Media, LLC, 309 p, USA

- Lee D.V., Stakebake Eric F., Walter Rebecca M. and Carrier David R. 2004. Effects of mass distribution on the mechanics of level trotting in dogs. *The Journal of Experimental Biology*, 207, 1715-1728.
- Lee D.V., Bertram J.E.A. and Todhunter R.J. 1999. Acceleration and balance in trotting dogs. *The Journal of Experimental Biology*, 202, 3565-3373.
- Lexander R., McN. 2003. Modellenig approaches in biomechanics. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* 358, 1429-1435.
- Marghitu D.B. 2001. *Mechanical Engineer's Handbook*. Department of Mechanical Engineering, Auburn University, Auburn, Alabama. Academic Press, 847 p, USA.
- Muller M. And Ruijter De M. 1998. The derivation of knee joint types from the geometry of the cruciate ligament four-bar system. *J. Theor. Biol.*, 193, 507-518.
- Muybridge E. 1985. *Horses and other animals in motion*. Dover Publications, Inc., 91 pp, USA.
- Nicholson H.L., Osmotherly P.G., Smith B.A. and McGowan C.M. 2007. Determinants of passive hip range of motion in adult Greyhounds. *Australian Veterinary Journal*, 85,6,217-221.
- Peterson D.R. and Bronzino J.D. 2008. *Biomechanics Principles and Applications*, CRC Press, 342 p, USA.
- Peterson D.R. and Bergmann T. 2002. *Chiropractic Technique*. Hardborn, 531 p,
- Ruina A. And Pratap R. 2002. *Statics and Dynamics*. Oxford University Press, 837 p, USA.
- Sato t., Koga Y., Sobue T., Omori G. Tanabe Y. And Sakamoto M. 2007. Quantitative 3-dimensional analysis of preoperative and postoperative joint lines in total knee arthroplasty. *The Journal of Arthroplasty*, article in pres.
- Schaefer S.L., DeCamp C.E., Hauptman J.G. and Walton A. 1998. Kinematic gait analysis of hind limb symmetry in dogs at the trot. *Am J Vet Res.* 59(6), 680-685.
- Shahar R. and Bank-Sills L., 2002. Biomechanical analysis of the canine hind limb: Calculation of forces during three-legged. *The Veterinary Journal*, 163, 240-250.

Tashman S., Anderst W., Kolowich P., Havstad S. And Arnoczky S. 2004. Kinematics of the ACL-deficient canine knee during gait: serial cahanges ovet two years. Journal of Orthopaedic Research, 22, 931-941.

6.1 İnternet Kaynakları

- 1- <http://biomech.hacettepe.edu.tr>
- 2- <http://www.me.metu.edu.tr/biomechanics>
- 3- <http://mekanizma.me.metu.edu.tr/ch2/>
- 4- http://www.shawlein.com/The_Standard/Index_Page/Index_Page.htm
- 5- <http://www.turk-ortopedi.net/yurumeanalizi.htm>