

T.C.  
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ  
TIP FAKÜLTESİ  
ORTOPEDİ VE TRAVMATOLOJİ  
ANABİLİM DALI

**SINIRLI KARPAL FÜZYON SONRASI EL  
BİLEĞİ YÜK DAĞILIMININ İNCELENMESİ**

**DR. AHMET ÇAĞDAŞ BİÇEN**

**UZMANLIK TEZİ**

**İZMİR-2012**

T.C.  
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ  
TIP FAKÜLTESİ  
ORTOPEDİ VE TRAVMATOLOJİ  
ANABİLİM DALI

**SINIRLI KARPAL FÜZYON SONRASI EL  
BİLEĞİ YÜK DAĞILIMININ İNCELENMESİ**

**UZMANLIK TEZİ  
DR. AHMET ÇAĞDAŞ BİÇEN**

**TEZ DANIŞMANI  
PROF. DR. İZGE GÜNAL**

<b>TABLO LİSTESİ .....</b>	<b>II</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ.....</b>	<b>III</b>
<b>GRAFİK LİSTESİ.....</b>	<b>VI</b>
<b>KISALTMALAR.....</b>	<b>VII</b>
<b>TEŞEKKÜR .....</b>	<b>VIII</b>
<b>ÖZET .....</b>	<b>1</b>
<b>İNGİLİZCE ÖZET .....</b>	<b>3</b>
<b>GİRİŞ VE AMAÇ .....</b>	<b>5</b>
<b>GENEL BİLGİLER .....</b>	<b>6</b>
<b>GEREÇ VE YÖNTEMLER .....</b>	<b>42</b>
<b>BULGULAR.....</b>	<b>55</b>
<b>TARTIŞMA .....</b>	<b>63</b>
<b>SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>87</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>89</b>

## **TABLO LİSTESİ**

Tablo-1 Mayo Klinik Karpal İnstabilite Sınıflaması

Tablo-2 Larsen'in Karpal İnstabilite Sınıflaması

Tablo 3-Karpal bağ rijitlikleri

Tablo 4-Bağların uzunlukları

Tablo 5-Sağlam el bileğinde bağlara aktarılan yüklerin dağılımı

Tablo 6-STT füzyon yapılmış el bileğinde bağlara aktarılan yüklerin dağılımı

Tablo 7-DKF yapılmış el bileğinde bağlara aktarılan yüklerin dağılımı-implantlı model

Tablo 8-DKF yapılmış el bileğinde bağlara aktarılan yüklerin dağılımı-implantsız model

Tablo 9-DKF+skafoid Eksizyonu yapılmış el bileğinde bağlara aktarılan yüklerin dağılımı

Tablo 10-KH füzyon yapılmış el bileğinde bağlara aktarılan yüklerin dağılımı-implantlı model

Tablo 11-KH füzyon yapılmış el bileğinde bağlara aktarılan yüklerin dağılımı-implantsız model

Tablo 12-Füzyonlar sonrası aktardıkları yükte belirgin artış ve azalma olan bağlar.

## **SEKİL LİSTESİ**

Şekil 1: El bileğinin dorsalden görünümü

Şekil 2: El bileğinin volardan görünümü

Şekil 3: El bileği bağları

Şekil 4: XYZ koordinat sistemi üzerinde el bileği kinematik eksenleri

Şekil 5: El bileği stabilitesinden sorumlu temel bağlar

Şekil 6: Metakarplardan gelen yüklerin karpal kemikler üzerinden önkola iletilmesi

Şekil 7: Geleneksel teori

Şekil 8: Kolon teorisi

Şekil 9: Taleisnik teorisi

Şekil 10: Oval ring teorisi

Şekil 11: Uzunlamasına kolon teorisi

Şekil 12: Watson testi

Şekil 13: Skafolunat ballotman

Şekil 14: Nötral direkt grafide skafolunat dissosiasyon

Şekil 15: Hastanın radial deviasyondaki grafisinde skafolunat dissosiasyon

Şekil 16: Aynı hastanın ulnar deviasyondaki grafisinde skafolunat dissosiasyon

Şekil 17: Nondeplase skafoid kırığı

Şekil 18: Nondeplase skafoid kırığı

Şekil 19: Nondeplase skafoid kırığı

Şekil 20: Skafoid Avasküler Nekrozu

Şekil 21: Artro MR'da skafolunat bağın rüptüre görüntüsü

Şekil 22: Radioskafolunat füzyon

Şekil 23: STT füzyon+lunat eksizyonu

Şekil 24: Skafokapitat füzyon

Şekil 25: Lunokapitat füzyon+skafoid eksizyonu

Şekil 26: a)Kirschner telleri b)Staple c)Başsız kompresyon vidası d)Mini plak

Şekil 27: Kemik çevrelerinin korunması

Şekil 28: Kemik çevrelerinin korunması

Şekil 29: STT füzyon

Şekil 30: SLAC lezyonu

Şekil 31: SL instabilite

- Şekil 32: STT füzyon
- Şekil 33: STT Kirschner teli ile fiksasyon
- Şekil 34: STT vida ile füzyon
- Şekil 35: STT plak ile fiksasyon
- Şekil 36: STT plak ile fiksasyon
- Şekil 37: SNAC
- Şekil 38: Skafoid nonunion
- Şekil 39: DKF cilt insizyonu
- Şekil 40: DKF’de lunatum redüksiyonu
- Şekil 41: Kemiklerin birbirine bakan eklem yüzlerinin eksizyonu
- Şekil 42: Aradaki boşluğa greft konduktan sonraki görüntü
- Şekil 43: DKF staple ile fiksasyon
- Şekil 44: DKF staple ile fiksasyon
- Şekil 45: DKF tel ile fiksasyon
- Şekil 46: DKF vida ve tel ile fiksasyon
- Şekil 47: DKF plak ile fiksasyon
- Şekil 48: DKF sonrası nonunion
- Şekil 49: Lunatum kollapsı
- Şekil 50: Kapitohamat füzyon
- Şekil 51: Kadavra çalışması
- Şekil 52: Kemik benzeri madde
- Şekil 53: SAP 2000 kemikler
- Şekil 54: SAP 2000 bağlar
- Şekil 55: SAP 2000 sağlam el bileği
- Şekil 56: Yüklerin dağılımı
- Şekil 57: SAP 2000 STT füzyon
- Şekil 58: SAP 2000 DKF
- Şekil 59: SAP 2000 DKF+skafoid eksizyonu
- Şekil 60: SAP 2000 KH füzyon
- Şekil 61: Sağlam el bileğine yük aktarımının fazla olduğu bağlar
- Şekil 62: Sağlam el bileğinde yük aktarımının az olduğu bağlar
- Şekil 63: Sağlam el bileğinde yük dağılımının fazla ve az olduğu bağlar

Şekil 64:STT füzyonda implantlı modelde yük aktarımında belirgin artış olan bağlar  
Şekil 65:STT füzyonda implantsız modelde yük aktarımında belirgin artış olan bağlar  
Şekil 66:STT füzyonda implantlı modelde yük aktarımında belirgin düşüş olan bağlar  
Şekil 67:STT füzyonda implantsız modelde yük aktarımında belirgin düşüş olan bağlar  
Şekil 68: DKF sonrası implantlı modelde yük aktarımında belirgin artış olan bağlar  
Şekil 69: DKF sonrası implantlı modelde yük aktarımında belirgin düşüş olan bağlar  
Şekil 70: DKF sonrası implantsız modelde yük aktarımında belirgin artış olan bağlar  
Şekil 71: DKF sonrası implantsız modelde yük aktarımında belirgin düşüş olan bağlar  
Şekil 72: DKF+skafoid eksizyonu sonrası implantlı modelde yük aktarımında belirgin artış olan bağlar.  
Şekil 73: DKF+skafoid eksizyonu sonrası implantsız modelde yük aktarımında belirgin artış olan bağlar.  
Şekil 74: DKF+skafoid eksizyonu sonrası implantlı modelde yük aktarımında belirgin düşüş olan bağlar.  
Şekil 75:DKF+skafoid eksizyonu sonrası implantsız modelde yük aktarımında belirgin düşüş olan bağlar.  
Şekil 76: KH füzyon sonrası implantlı modelde yük aktarımında belirgin artış olan bağlar  
Şekil 77: KH füzyon sonrası implantlı modelde yük aktarımında belirgin düşüş olan bağlar  
Şekil 78: KH füzyon sonrası implantsız modelde yük aktarımında belirgin artış olan bağlar  
Şekil 79: KH füzyon sonrası implantsız modelde yük aktarımında belirgin düşüş olan bağlar

## **GRAFİK LİSTESİ**

Grafik 1-Sağlam el bileğinde bağların yük dağılımı, Newton cinsinden

Grafik 2-STT füzyon sonrası implantlı ve implantsız modellerde bağlardaki değişikliğin yüzde değerleri

Grafik 3-DKF sonrası implantlı modelde bağlardaki değişikliğin yüzde değerleri

Grafik 4-DKF sonrası implantsız modelde bağlardaki değişikliğin yüzde değerleri

Grafik 5-DKF+skafoid eksizyonu sonrası implantlı ve implantsız modellerde bağlardaki değişikliğin yüzde değerleri

Grafik 6-KH füzyon sonrası implantlı modelde bağlardaki değişikliğin yüzde değerleri

Grafik 7-KH füzyon sonrası implantsız modelde bağlardaki değişikliğin yüzde değerleri

## **KISALTMALAR**

**ROM:** Range of Motion

**DISI:** Dorsal Intercalated Segmental Instability

**VISI:** Volar Intercalated Segmental Instability

**CID:** Carpal Instability Dissociative

**CIND:** Carpal Instability Nondissociative

**CIC:** Carpal Instability Combined or Complex

**CIA:** Carpal Instability Adaptive

**TFCC:** Triangular Fibrocartilage Complex

**STT:** Skafotrapeziotrapezoid

**DKF:** Dört Köşe Füzyon

**KH:** Kapitohamat

**RBSM:** Rigit Body Spring Model

**AVN:** Avasküler Nekroz

**SLAC:** Scapholunate Advanced Collaps

**SNAC:** Scaphoid Nonunion Advanced Collaps

## **TESEKKÜR**

Asistanlık eğitimim boyunca bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, mesleğimi ellerinden öğrendiğim hocalarım; Prof.Dr. Emin ALICI, Prof.Dr. Şükrü ARAÇ, Prof.Dr. Osman KARAOĞLAN, Prof.Dr. Ahmet EKİN, Prof.Dr. Halit PINAR, Prof. Dr. Haluk BERK, Prof.Dr. Hasan TATARİ, Prof.Dr. Vasfi KARATOSUN, Prof.Dr. Mustafa ÖZKAN, Prof.Dr. Ömer AKÇALI, Prof.Dr. Can KOŞAY, Prof. Dr. Kadir BACAĞOĞLU'na çok teşekkür ederim.

Asistanlığımın son yılında çalışma fırsatı bulduğum Yrd.Doç.Dr. Mehmet ERDURAN ve Uzm.Dr. Onur HAPA'ya teşekkür ederim.

Anabilim dalı başkanımız Prof.Dr. Hasan HAVİTÇİOĞLU'na ve tez çalışmamın fikrini ortaya koyan ve tezimle ilgili her konuda bana yardımcı olan tez danışmanım Prof. Dr. İzge Günel'a çok teşekkür ederim.

Aramızdan çok erken ayrılan hocamız Prof.Dr. Önder BARAN'a şükran duygularımı sunarım.

Bilgi ve teknik desteğiyle tezime büyük katkılar sunan Dr. Hande Gökdemir ve Prof.Dr. Ruhi Aydın'a,

Birlikte çalışmaktan çok mutlu olduğum asistan arkadaşlarıma, servis ve ameliyathane hemşire ve personellerine teşekkür ederim.

Beni yetiştiren ve hayatta en büyük desteklerim olan babam Hüseyin Yüksel Biçen'e, annem Senem Biçen'e ve kardeşim Gülce Biçen'e, her zaman yanımda oldukları için çok teşekkür ederim.

Hayatımı anlamlandıran, tezimin her aşamasında, özellikle teknik sıkıntıları çözmemde çok yardım aldığım sevgili eşim Mukaddes Aslı Biçen'e çok teşekkür ederim.

**Ahmet Çağdaş BİÇEN**

## **1. ÖZET**

### **Sınırlı Karpal Füzyon Sonrası El Bileği Yük Dağılımının İncelenmesi**

Dr. Ahmet Çağdaş Biçen

Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi

Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı

İnciraltı İzmir

[cagdasbicen@hotmail.com](mailto:cagdasbicen@hotmail.com)

[cagdas.bicen@deu.edu.tr](mailto:cagdas.bicen@deu.edu.tr)

El bileği patolojileri sonrası Sınırlı Karpal Füzyonlar sık uyguladığımız ameliyatlarda arasındadır. Sınırlı Karpal Füzyonlar üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda kadavralar, kemik veya kemik benzeri maddelerle kurulan deney düzenekleri ve bilgisayar destekli modeller kullanılmıştır. Sınırlı Karpal Füzyonlar üzerine yapılan çalışmalarda el bileği yük dağılımındaki değişiklikler, klinik sonuçlar ve karşılaştırmalar, farklı implantların füzyonlarda kaynamaya etkisi incelenmiştir. Yapılan biyomekanik çalışmaların birçok soruya cevap bulmuş olmalarına karşın, henüz aydınlatamamış oldukları noktalar vardır. Bu tezin amacı Sınırlı Karpal Füzyonlar sonrası el bileği yük dağılımında daha önce incelenmemiş birkaç noktaya ışık tutmaktır.

Yapılan birçok biyomekanik çalışmada füzyonlar sonrası eklem aralıklarına gelen basınçlardaki değişiklikler incelenmiştir. Ancak el bileği bağlarına gelen yüklerdeki değişiklikler hiç incelenmemiştir. Farklı çalışmalarda, füzyonlarda kullanılan farklı implantların klinik sonuçları incelenmiştir; ancak implantların çıkarılmasının el bileği yük dağılımına etkisi hiç incelenmemiştir.

Bu tezde SAP 2000 programı kullanarak iki boyutlu bilgisayar modeli oluşturduk. Modelde basınç ve çekme uyguladık. Önce sağlam el bileğini modelledik. Sağlam el bileğinde çekme modelinde bağlara gelen yükleri ölçtük. Ardından basınç modelinde radius ve ulnaya gelen yükleri ölçtük. Sağlam el bileğinde ölçümleri tamamladıktan sonra Skafotrapeziotrapezoid Füzyon, Dört Köşe Füzyon ve Kapitoamat Füzyon uygulanmış implantlı el bileği modelleri oluşturarak, aynı ölçümleri bu modellerde de yaptık. Her üç füzyon için implantların çıkarıldığı modeller yaptık ve ölçümleri bunlarda da tekrarladık.

Bu tez Sınırlı Karpal Füzyonlar sonrası el bileği bağlarındaki yük dağılımının incelendiği ilk çalışmadır. Ayrıca füzyonlar sonrası implant çıkarılmasının yük dağılımına etkisinin de incelendiği ilk çalışmadır. Sonuçlarımızın literatürdeki verilerle uyumlu olması, daha önce yapılmış üç boyutlu modellerle uyumlu sonuçlar bulunması bize modelimizin uygulanabilirliğini göstermiştir.

Anahtar sözcükler: Karpal, füzyon, yük dağılımı, instabilite, bağlar

## **2. SUMMARY**

### **Analysis of Load Distribution Among Wrist After Limited Carpal Fusion**

Dr. Ahmet Çağdaş Biçen

Dokuz Eylül University Faculty of Medicine

Department of Orthopedics and Traumatology

Inciraltı Izmir

[cagdasbicen@hotmail.com](mailto:cagdasbicen@hotmail.com)

[cagdas.bicen@deu.edu.tr](mailto:cagdas.bicen@deu.edu.tr)

Limited Carpal Fusions are common operations that are performed after wrist pathologies. A lot of studies were made about Limited Carpal Fusions. In the studies cadavres, experimental models made by bone or bone like materials and computerised models were used. In the studies that are made about Limited Carpal Fusions; changes of load distribution among wrist, clinical results, comparisons and the effects of different implants over union after fusions were analysed. Lots of questions were answered by means of biomechanical studies but there are still many points to clarify. The purpose of this thesis is to find some answers to the points that were not viewed yet about load distribution after Limited Carpal Fusions.

In amount of biomechanical studies; the changes in the pressures at joint spaces after fusions were observed. But the changes in load distribution of ligaments have never been observed. In some other studies, the clinical results of different implants that are used in fusions were analysed. But the effect of implant removal in load distribution among wrist has not been investigated yet.

In this thesis we performed a two-dimension computerised model using SAP 2000 program. First of all we had a model of healthy wrist. In tension model of healthy wrist we measured the loads of the ligaments. Than we measured the loads that came to radius and ulna in pressure model. After finishing measurement in healthy wrist model, we had models of Scaphotrapeziotrapezoid Fusion, Four Corner Fusion and Capitoamate Fusion with implants. We measured the loads again in every model. After that we had models of three fusions without implants and we repeated measurements in these models.

This thesis is the first study that, the load distributions of wrist ligaments are observed after Limited Carpal Fusions. Also it is the first study in which the effect of implant removal over load distribution is observed after fusions. We found that our results are similar to the ones at the literature and also similar to the results of three-dimensional computerised models. This shows us that our model works.

Key words: Carpal, fusion, load distribution, instability, ligament.

### **3. GİRİŞ VE AMAC**

Eklem stabilitesi; hareketler esnasında eklem kararlı dengesinin korunması ve ROM'un (Range of Motion: Eklem Hareket Açıklığı) tam olması olarak tanımlanabilir. El bileği kemikleri için bu durumun korunamaması el bileği instabilitesi olarak adlandırılır. Karpal kemiklerde meydana gelen patolojiler veya; el bileği bağlarının rüptürü ya da dejenerasyonu sonucu karpal yük dağılımında ve hareketlerde gelişen düzensizlik ise karpal instabilite adını alır.

Skafoid nonuionu, skafoid avasküler nekrozu, Kienböck Hastalığı gibi el bileği patolojileri sonrasında da el bileğinde instabilite gelişebilir. Bu hastalıklarda ortak semptomlar el bileğinde ağrı ve hassasiyet, ROM kısıtlılığı ve el bileği fonksiyonlarının yerine getirilememesidir. Semptomların giderilmesi ve el bileğinin fonksiyonunu tekrar kazanabilmesi için bazı operasyonlar yapılmaktadır. Sınırlı Karpal Füzyonlar da bu amaçla uygulanan operasyonlardandır. Skafotrapeziotrapezoid Füzyon, Dört Köşe Füzyon, Kapitoamat Füzyon, Skafolunat füzyon, Radioskafolunat Füzyon Sınırlı Karpal Füzyonlara verilebilecek örneklerdendir.

Sınırlı Karpal Füzyonlar üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalar başlıca; füzyonlar sonrası eklem aralıklarına gelen basınç değişikliklerinin incelendiği biyomekanik çalışmalar, füzyonlarla diğer operasyonların (Örn: Proksimal Sıra Karpektomi-Dört Köşe Füzyon) karşılaştırıldığı, klinik takiplerin derlendiği çalışmalar ve füzyonlarda kullanılan farklı implantların (Dört Köşe Füzyonda plak-Kirschner teli kullanımı) klinik sonuçlarının karşılaştırıldığı çalışmalardır.

Biz Sınırlı Karpal Füzyonlar sonrası yapılan çalışmalarda daha önce incelenmemiş sorulara cevap bulmak için bir çalışma yaptık. Yapacağımız çalışmanın iki boyutlu bilgisayar destekli bir model üzerinde olmasına karar verdik. Füzyonlar sonrası el bileği bağlarının yük dağılımını, radiusla ulnaya gelen yüklerin dağılımını ve implantların çıkarılmasının bu yüklere etkisini araştırmak istedik. Çalışmamızda bulduğumuz sonuçların el bileği patolojileri ve Sınırlı Karpal Füzyonlar hakkında cevaplanmayı bekleyen bazı sorulara ışık tutabileceğini düşünmekteyiz.

## **4. GENEL BİLGİLER**

### **4.1 Anatomi**

El bileği sekiz karpal kemik, bunlarla eklem yapan beş metakarp, radius ve ulnayı da sayarsak 15 kemikten oluşur. 15 kemiğin birbiriyle yaptığı eklemler, 15 tendon ve yaklaşık 30 bağla beraber el bileği vücudun karmaşık bölgelerinden bir tanesidir.

#### **41.1 Kemikler (Şekil 1, 2)**

Radius: Önkol iskeletini yapan iki kemiğin lateralde bulunanıdır. El bileğinde skafoïd, lunatum ve ulnaya eklem yapar[1].

Ulna: Önkol iskeletini yapan iki kemiğin medialde bulunanıdır. El bileğinde lunatum, triquetrum ve radiusla eklem yapar. Lunatum ve triquetrumla ulnanın arasını diskus artikularis (triangularis) doldurur. El bileğinden kola geçen yüklere karşı ulnayı ve dirseği koruyan önemli bir yapıdır[2].

Karpal kemikler sekiz tanedir. Proksimal sıra lateralde medialde skafoïd, lunatum, triquetrum ve pisiform kemikten oluşur. Distal sıra lateralde medialde trapezium, trapezoideum, kapitatum ve hamatumdan oluşur.

Proksimal sıra:

Skafoïd: Proksimal sıranın en lateralindeki kemiktir. Proksimal sıranın en büyük kemiğidir. Radius, lunatum, kapitatum, trapezium ve trapezoideumla eklem yapar.

Lunatum: Radius, ulna, skafoïd, triquetrum, kapitatum ve hamatumla eklem yapar.

Triquetrum: Lunatum, pisiformis, hamatum ve diskus artikularis vasıtasıyla ulnaya eklem yapar.

Pisiformis: Proksimal sıranın en medialindeki kemiktir. Yalnız triquetrumla eklem yapar. Fleksör karpı ulnaris tendonu içerisine gömülmüş sesamoid bir kemiktir.

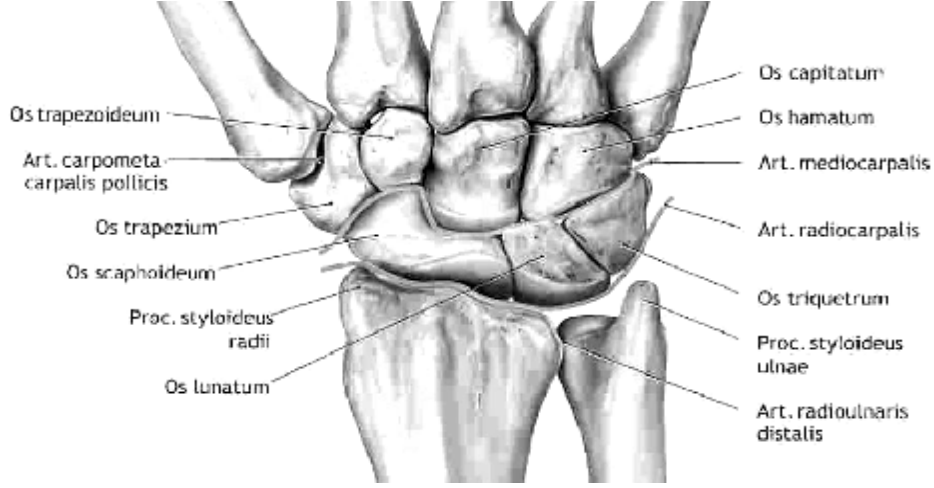
Distal sıra:

Trapezium: Distal sıranın en lateraldeki kemiğidir. Skafoïd, trapezoideum ve birinci metakarpla eklem yapar.

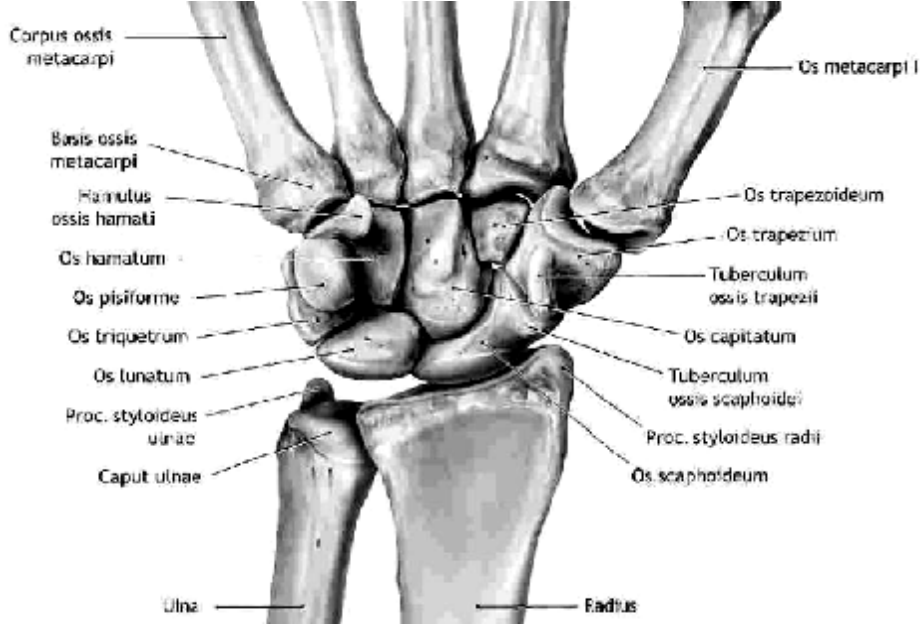
Trapezoideum: Skafoïd, trapezium, kapitatum ve ikinci metakarpla eklem yapar.

Kapitatum: Karpal kemiklerinin en büyüğüdür. Skafoïd, lunatum, trapezoideum, hamatum ikinci, üçüncü ve dördüncü metakarpla eklem yapar[2].

Hamatum: Distal sıranın en medialindeki kemiktir. Lunatum, triquetrum, kapitatum, dördüncü ve beşinci metakarpla eklem yapar.



Şekil 1: El bileğinin dorsalden görünümü



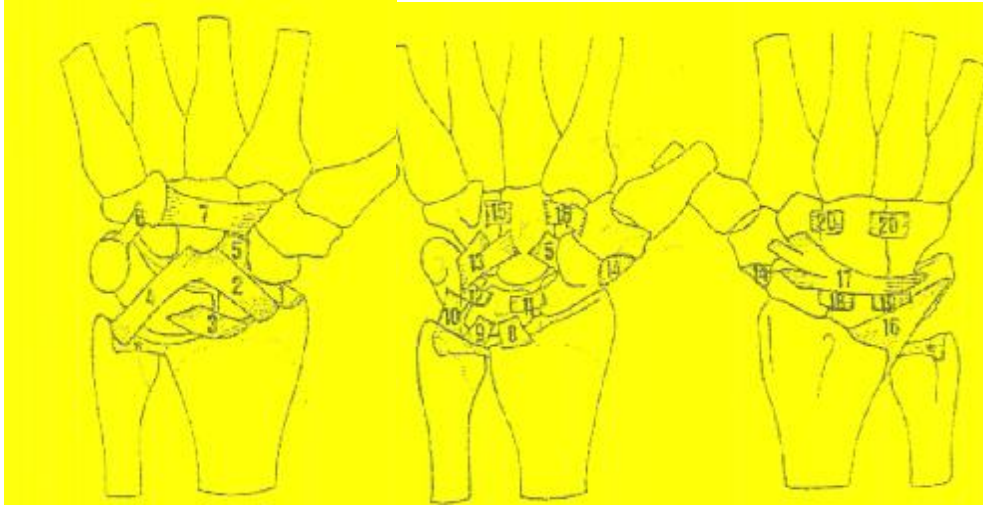
Şekil 2: El bileğinin volardan görünümü

#### 4.1.2 El Bileği Bağları

El bileği bağları için çok farklı tanımlamalar kullanılmıştır. Aynı bağın farklı tanımlamalarda farklı isimler aldığı görülebilmektedir.

Anatomik yerlerine göre: Palmar, dorsal bağlar olarak ikiye; palmar bağlar da kendi içinde yüzeysel ve derin olarak ikiye ayrılır [3,4] (Şekil 3).

Palmar yüzeysel bağlar yedi adettir. Radioskafoid, Radiokapitat, uzun Radiolunat, Ulnokapitat, Skafokapitat, Pisohamat, Transvers Karpal Bağ palmar yüzeysel bağlardır. Palmar yüzde derin yerleşimli sekiz bağ bulunmaktadır. Kısa Radiolunat, Ulnolunat, Ulnolunotriquetral, Skafolunat (Palmar lifler), Lunotriquetral (Palmar lifler), Triquetrohamatokapitat, Skafotrapezoid, distal sıranın palmar transvers inteosseöz bağı palmar tarafın derin bağlarıdır. Dorsal yüzün bağları da beş tanedir. Radiotriquetral, Triquetroskafotrapezotrapezoid, Skafolunat (dorsal lifler), Lunotriquetral (dorsal lifler), distal sıranın dorsal transvers interosseöz bağı dorsal yüzdeki bağlardır.



Palmar yüzeysel

Palmar derin

Dorsal

Palmar yüzeysel: 1 Radioskafoid, 2 Radiokapitat, 3 uzun Radiolunat, 4 Ulnokapitat, 5 Skafokapitat, 6 Pisohamat, 7 Transvers Karpal Bağ Palmar derin: 8 kısa Radiolunat, 9 Ulnolunat, 10 Ulnolunotriquetral, 11 Skafolunat (Palmar lifler), 12 Lunotriquetral (Palmar lifler), 13 Triquetrohamatokapitat, 14 Skafotrapezoid, 15 distal sıranın palmar transvers inteosseöz bağı. Dorsal bağlar: 16 Radiotriquetral, 17 Triquetroskafotrapezotrapezoid, 18 Skafolunat (dorsal lifler), 19 Lunotriquetral (dorsal lifler), 20 distal sıranın dorsal transvers interosseöz bağı.

Şekil 3-El bileği bağları[3]

El bileği bağlarının tanımlanmasında kullanılan başka bir yöntem de önkolla ilişkilerine göre yapılan sınıflamadır. Bu sınıflamaya göre el bileği bağları ekstrinsek ve intrinsek bağlar olarak ikiye ayrılır[5,6]. Ekstrinsek bağların başlangıç veya bitiş noktaları önkoldayken, intrinsek bağlar yalnız el bileğiyle sınırlıdır.

Ekstrinsek bağlar; Radioskafoid, Radioskafokapitat, Radiotriquetral, Radioskafolunat, uzun Radiolunat, kısa Radiolunat, Ulnotriquetral, Ulnolunat, Ulnokapitat bağlardır. (Bazı tanımlayıcılara göre Lunotriquetral bağ Radiolunotriquetral kompleks olarak değerlendirilir ve ekstrinsek kabul edilir)[5,6].

İntrinsek bağlar; Skafolunat, Skafokapitat, Skafotrapeziotrapezoid, Lunotriquetral, Triquetrokapitohamat, bağlardır[5,6].

#### **4.2 El Bileği Biyomekaniği**

El bileği sagittal planda fleksiyon-ekstansiyon, frontal planda ulnar-radial deviasyon hareketlerine sahiptir. Ayrıca tüm önkolu ilgilendiren supinasyon-pronasyon hareketine de dahil olur (Şekil 4). El bileği hareketlerini değerlendirmede el gonyometrisi, röntgen spektrofotometri, düşük frekanslı manyetik alan veya BT rekonstrüksiyonu gibi yöntemler kullanılmıştır. Çeşitli yöntemlerle yapılan el bileği ROM ölçümlerinde elde edilen sonuçlar birbirlerinden çok farklı değildir.

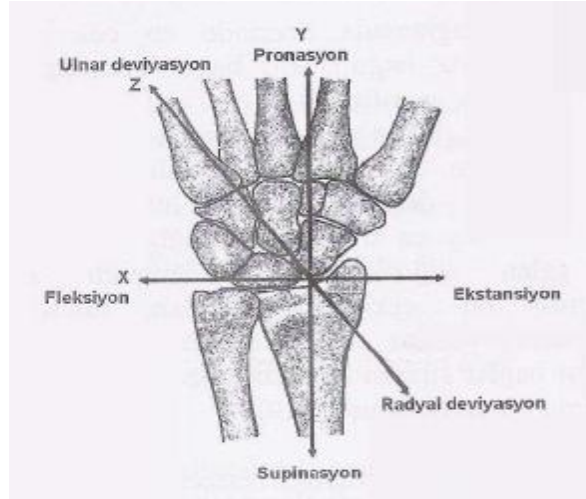
Fleksiyon-ekstansiyon: El bileğinde ortalama aktif ekstansiyon 80 derece, aktif fleksiyon 85 derece; pasif ROM'lar ise beşer derece daha fazladır. Dominant el bileğinde bu değerler biraz daha yüksektir[7]. El bileği radial veya ulnar deviasyona getirildiğinde fleksiyon-ekstansiyon hareket miktarı azalmaktadır. Önkol pronasyonunda da bu değerler azalmaktadır. Her iki duruma da el bileği bağlarının gerginliğinin artmasının yol açtığı bilinmektedir. Fleksiyon %40 radiokarpal eklemden, % 60 midkarpal eklemden sağlanır. Ekstansiyonda ise durum tersine % 65 radiokarpal eklemden, % 35 midkarpal eklemden sağlanır[8].

Radial-ulnar deviasyon: Radial deviasyon 15 derece, ulnar deviasyon 35 derece kadardır. Toplamda 50 derecelik radioulnar deviasyon miktarı vardır. Önkol supinasyonda ulnar deviasyon daha fazladır. El bileği fleksiyon veya ekstansiyonda radioulnar deviasyon yine bağların gerilmesine bağlı en kısıtlı halini alır. Deviasyon esnasında distal ve proksimal sıra ayrı yönlere hareket eder. Radial deviasyonda distal sıra radiale, proksimal sıra ulnare kayar. Ulnar deviasyon esnasında tersi sözkonusudur.

Ulnar deviasyonun radial deviasyondan daha fazla olması radial stiloidin kısıtlayıcı etkisine bağlıdır. Radioulnar deviasyon kişiler arasında da farklılık gösterir. Örneğin ulna minusların ulnar deviasyonu toplum ortalamasının üstündedir, ulna plusların da radial deviasyonu toplum ortalamasının üstündedir. Radioulnar deviasyonda pasif hareketlerde daha fazladır. Radial deviasyon dominant tarafta daha fazladır[9].

Fleksiyon, ekstansiyon, radial ve ulnar deviasyon hareketlerinin birleşmesiyle sirkümdiksiyon hareketi ortaya çıkar. Bu dönme hareketiyle karıştırılmamalıdır. Sirkümdiksiyonda el bileği ekstansiyon ve radial deviasyondan, fleksiyon ve ulnar deviasyona doğru ilerler. [10]

El bileği hareketlerinin incelendiği çalışmalar sonucunda 5 derece fleksiyon, 30 derece ekstansiyon, 10 derece radial deviasyon ve 15 derece ulnar deviasyonun günlük yaşam etkinlikleri için yeterli olduğu bulunmuştur. [11, 12]



Şekil 4: XYZ koordinat sistemi üzerinde el bileği kinematik eksenleri [13]

El bileği hareketleri sırasında karpal kemiklerde de farklı hareketler görülmektedir.

Skafoid: El bileği fleksiyonunda skafoid fleksiyon ve ulnar deviasyona gelir. El bileği ekstansiyonunda skafoid ekstansiyona ve radial deviasyona gelir.

Lunatum: Skafoidle aynı hareketleri yapar. Ancak el bileğinin en az hareket eden kemiğidir.

Kapitatum: Kapitatum el bileği hareketlerinin aynısını yapar. Uzun aksı el bileğine dik kalır.

Hamatum: Kapitatumla aynı hareketleri yapar, hareket miktarı daha azdır.

Triquetrum: El bileği ekstansiyonunda ekstansiyon, radial deviasyon, supinasyon yapar; el bileği fleksiyonunda fleksiyon, ulnar deviasyon, pronasyon yapar. Radial ve ulnar deviasyonda aynı hareketleri yapar. [14]

Trapezium-trapezoideum: Birinci metakarpın hareketlerini yapar. Karpal kemiklerin kendi hareketlerinin yanı sıra, birbirleri arasında da hareketleri vardır.

Dönme merkezi: Youm ve arkadaşları yaptıkları çalışmada el bileği hareketleri dönme merkezinin fleksiyon-ekstansiyon hareketi sırasında kapitatumun yukarı korteksinde ve uzun ekseninin üzerinde, radial-ulnar deviasyon esnasında ise uzun eksenin hemen ulnar tarafında ve 1/4 yukarı kısmında olduğunu belirlemişlerdir[15]. Daha sonra dönme merkezi kavramının yerini anlık dönme merkezi kavramının almasıyla; dönme merkezinin skafoid üzerinden radiusa doğru, açıklığı radiale bakan bir eğri çizdiği gösterilmiştir[16].

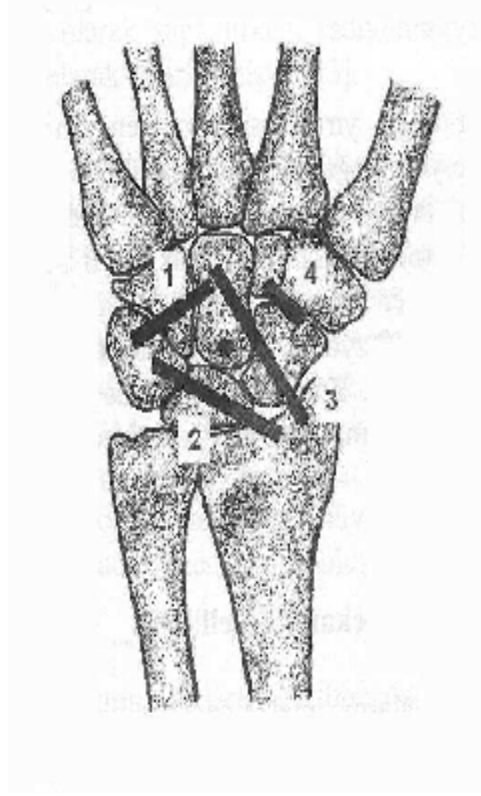
#### **4.2.1 El Bileği Kararlı Dengesi**

El bileği kararlı dengesi, yükler karşısında karpal kemiklerin tüm hareket genişliği boyunca birbirleriyle olan ilişkilerini ve uyumlarını koruyabilmeleridir. Bunun sağlanamadığı durum kararsız denge'dir. Kararlı dengeyi eklem yüzeyleri ve bağlar sağlar. El bileği dengesi konusunda hala birçok cevaplanamamış soru vardır. Bunun asıl sebebi bağlar konusunda yeterli bilgiye sahip olmamamızdır.

El bileği bağları dorsal, palmar ve interosseöz bağlar olarak üç gruba ayrılır. Bağların tam sayısı belli değildir. Klasik kaynaklarda el bileği bağlarının sayısı ve hatta isimleri bile farklıdır. 30-35 arası bağ tariflenmiştir. Bu bağların zedelenmesi sonucu el bileği kararsız dengesi olduğu öne sürülmektedir [17]. Ancak bir taraftan da, tüm bağların gerçek anlamıyla bağ yapısı taşımadığı, bazılarının kapsülün belirli yerlerde kalınlaşmasından oluştuğunu gösteren çalışmalar da vardır[18].

El bileği kararlı dengesini sağlamada en önemli bağın skafolunat bağ olduğu bilinmektedir. Bu bağın zedelenmesi, ciddi bir instabilite olan skafolunat dissosiasyona yol açar ve bu el bileği için kararsız bir durumdur.

Radiolunotriquetral,Skafotrapeizotrapezoid,Triquetrohmatokapitat,Radioskafokapitat bağların zedelenmesi de kararsız dengeye yol açmaktadır. Bu bağlar pisiform kemik dışında tüm karpal kemikleri ve radiusu birbirine bağlamaktadır (Şekil 5)[18].



Şekil 5: El bileği stabilitesinden sorumlu temel bağlar [13]

- 1-Triquetrohamatokapitat bağ
- 2-Radiolunotriquetral bağ
- 3-Radioskafokapitat bağ
- 4-Skafotrapeziotrapezoid bağ

Sonlu elemanlar metodu kullanılarak yapılan el bileği çalışmalarında 143 Newton çekme kuvveti sırasında en fazla yüklenmenin sırasıyla lunotriquetral, radiokapitat, ulnokapitat ve skafolunat bağlarda olduğu bulunmuştur. Radiotriquetral bağda ise hiç yüklenme saptanmamıştır. Yapılan bir çalışmada bağlar çıkarılarak yük dağılımı incelenmiştir. Bağların çıkarılmasıyla saptanan en önemli bulgu, interosseöz bağların tek başına yokluğunun sorun yaratmadığı, ancak bunları örten palmar bağların çıkarılmasının kararsız denge ile sonuçlandığı gerçeğidir. [19]

El bileğinde bir bağın veya kemiğin eksize edilmesi durumunda kararsız denge ile görülmekle beraber, tam tersi durumda da yani aksesuar kemik olması durumunda da kararsız denge oluşabilmektedir.

#### 4.2.2 Bağların Biyomekanik Özellikleri

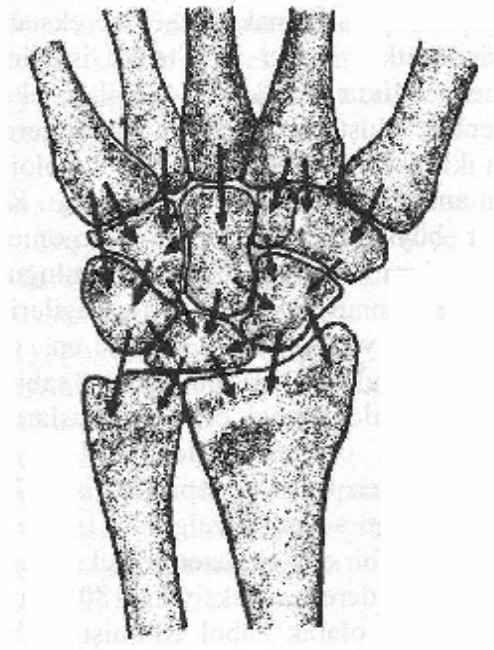
El bileğindeki bağların özelliklerini incelemeye yönelik çalışmalar, invitro yapılan germe, direnç, uzama gibi verilerle yapılmaktadır. Ancak invitro çalışmalarda bağlar uzunlamasına çekilerek değerlendirildiği için bulunan değerler, hiçbir zaman bağların yapıştığı karpal kemiklerin çok farklı eksenlerde yaptığı hareketlere uymamaktadır. Örneğin biyomekanik çalışmalarda skafolunat interosseöz bağ en kuvvetli bağlardan biri olarak saptansa da, klinikte en kolay yırtılan bağdır[20,21].

İnterosseöz bağlar diğer bağlara göre daha dirençli kabul edilmektedir. Ancak interosseöz bağlar aynı zamanda çok kısa bağlardır. Palmar bağlara kıyasla uzama miktarları çok daha fazla olsa da; uzunlukları palmar bağların 1/10'u kadar olduğu için interosseöz bağların yırtıldığı değerlerde palmar bağlarda yalnızca dejenerasyon izlenmektedir.

El bileği bağların direnç özellikleri aynı zamanda el bileği kararlı dengesini sağladığı için, bu bağların herhangi birinin rüptüre olması sonucu kararlı dengenin sağlanabilmesi için rüptüre olan bağın taşıdığı yük başka bağlara aktarılmaktadır. Aynı şekilde el bileğinde füzyonlar sonrası hem kırıkdağların kaldırılıp kemiklerin birleştirmesinden, hem de bağların eksize edilmesinden kaynaklı bağların taşıdıkları yükler değişmektedir.

#### 4.2.3 El Bileği Kinetiği

El bileği yük aktarımında da kompleks bir yapıya sahiptir. Normal bir el bileğinde nötral pozisyonda yüklerin % 75'i radiustan, % 25'i ulnadan iletilir (Şekil 6). Radial deviasyonda radius yükün % 85 kadarını alırken, ulnar deviasyonda radius ve ulna % 50 yük taşır. Ulnar ve radial deviasyonda fark olduğu gibi; ulna plus ve ulna minus el bileklerinde de yük dağılımında fark vardır.



Şekil 6: Metakarplardan gelen yüklerin karpal kemikler üzerinden önkola iletilmesi [13]

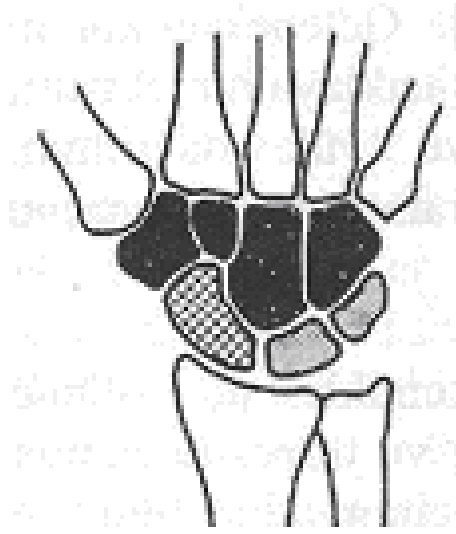
#### 4.2.4 Kineziyoloji

El bileğinde mevcut kasların beş tanesi yalnızca el bileği hareketi yaptırır. Ekstansör karpı ulnaris, ekstansör karpı radialis longus, ekstansör karpı radialis brevis, fleksör karpı ulnaris, fleksör karpı radialis. El bileğinde mevcut diğer kas ve tendonlar da el bileği hareketinde rol oynar. Hangi kasın daha fazla etkisi olacağı kasların momentlerine bağlıdır. Momenti etkileyen iki faktör kasın kesit alanı ve anlık dönme merkezine uzaklığıdır. Bu mantıkla yapılan hesaplamalar sonucu el bileğinde en etkin hareket fleksör karpı ulnariste bulunmuştur.

#### 4.3 Biyomekanik Modellemeler

El bileği hareketlerini ve yüklenmelerini biyomekanik olarak değerlendirmek için farklı teoriler öne sürülmüştür. Bunların içinde en çok kabul gören beş önemli teori vardır.

1-Geleneksel teori: Karpal kemikleri, pisiformu hesaba katmayarak üç gruba ayırır. Kapitatium, hamatum, trapezium, trapezoideum distal sıra, lunatum ve triquetrum proksimal sıra olarak kabul edilmekte, skafoid tek başına üçüncü grubu oluşturmaktadır (Şekil7) [22]. El bileği hareketlerini kabaca açıklayabilen bu teori, yük dağılımını açıklamakta yeterli olamamaktadır.



Şekil 7: Geleneksel teori

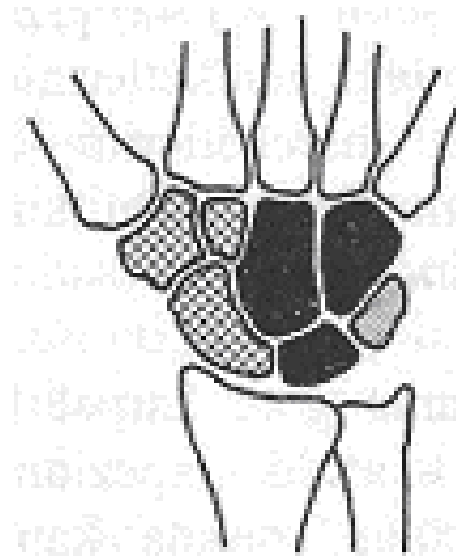
2-Kolon teorisi: Navarro tarafından tanımlanmıştır. El bileğini üç kolona ayırır (Şekil 8) [22].

Santral kolon: Kapitatum, hamatum ve lunatumdan meydana gelir. El bileği fleksiyon-ekstansiyonundan sorumludur.

Dış kolon: Skafoid, trapezium ve trapezoideumdan meydana gelir. Lateralde yük aktarımından sorumludur.

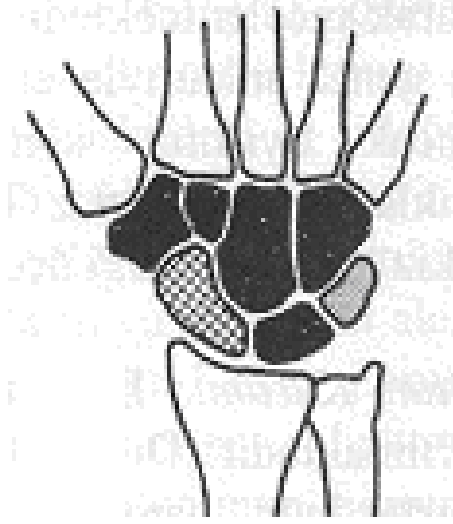
İç kolon: Triquetrum ve pisiformdan oluşur. İç-dış rotasyondan sorumludur.

Geleneksel teoriye göre daha detaylı değerlendirmeler yapılmış olmasına rağmen yük dağılımını açıklamada yeterli bir teori değildir.



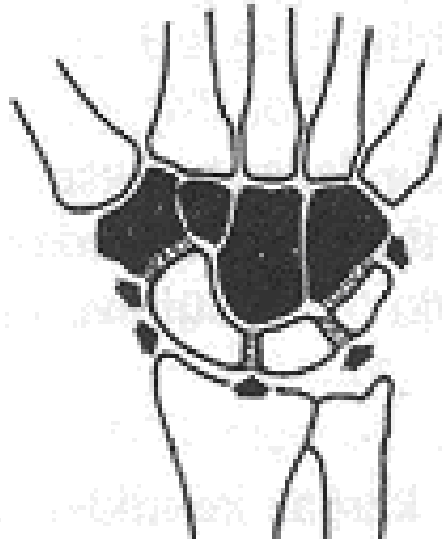
Şekil 8: Kolon teorisi

3-Taleisnik teorisi: Taleisnik, kolon teorisinde değişiklikler yaptığı bu teoriye kendi adını vermiştir. Trapezium ve trapezoideum santral kolona eklenmiş ve pisiform tamamen sistemden çıkarılmıştır(şekil 9)[22].



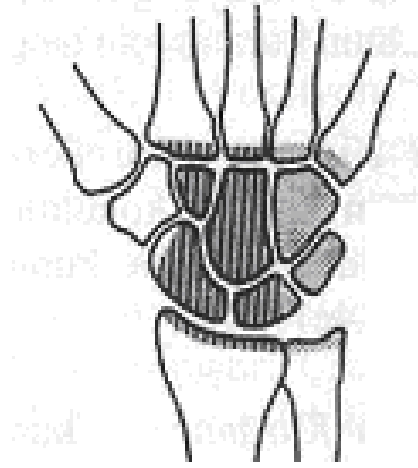
şekil 9: Taleisnik teorisi

4-Oval ring teorisi: Lichtman tarafından tanımlanmıştır. Trapezium, trapezoideum, kapitatum, hamatumdan oluşan distal sıra; skafoid, lunatum ve triquetrumdan oluşan proksimal sıraya triquetrohamat ve skafotrapezoid eklemler vasıtasıyla bağlanmaktadır (şekil 10) [22]. Bu teoriye göre el bileği hareketleri ve ylık dağılımı bu iki eklem üzerinden sağlanır. Diğer üç teoriye göre daha üstün bir teoridir.



şekil 10: Oval ring teorisi

5-Uzunlamasına kolon teorisi: Weber tarafından tanımlanmıştır. Weber el bileğini iki kolona ayırmıştır. Birinci kolon trapezoideum, kapitatum, skafoid ve lunatumun bir kısmından oluşur, yük taşıyan kolon olarak kabul edilir. İkinci kolon ise hamatum, triquetrum ve lunatumun bir kısmını kapsar ve kontrol kolonunu oluşturur. Trapezium ve skafoidin bir kısmı sistem dışında tutulmuştur (Şekil 11) [23]. El bileği yük dağılımını bu iki kolonun ilişkileriyle açıklayan bu teori, yük dağılımını en iyi açıklayan teoridir, ancak hareket konusunda bilgi vermemektedir.



Şekil 11: Uzunlamasına kolon teorisi

#### 4.4 Karpal İnstabilite

Eklem stabilitesi; yüklenmeler esnasında eklem kararlı dengesinin korunması ve ROM'un tam olması olarak tanımlanabilir. El bileği stabilitesi radius, ulna, karpal kemikler, metakarplar arasında normal yük aktarımı ve hareketlerin sağlanabilmesidir. El bileği kemikleri için bu durumun korunamaması el bileği instabilitesi olarak adlandırılır. Karpal kemiklerde meydana gelen patolojiler veya el bileği bağlarının rüptürü ya da dejenerasyonu sonucu karpal yük dağılımında ve hareketlerde gelişen düzensizlik ise karpal instabilite adını alır. Karpal instabilitenin sebepleri arasında travma (en sık sebep), iatrojenik durumlar, tümörler, inflamatuvar hastalıklar, konnektif doku hastalıkları, konjenital laksite ve aksesuar kemikler sayılabilir.

Karpal instabilite için farklı sınıflandırmalar yapılmış olsa da birçoğu klinik pratikte yer bulamamışlardır.

İlk olarak Dobyns 1972'de karpal instabiliteyi DISI, VISI ve radial epifizin dorsal deplasmanına neden olan kırıklara bağlı karpal instabilite olarak üçe ayırmıştır[24]. Bu üç grubu radyolojik değerlendirmeye dayanarak yapmıştır.

DISI (Dorsal İnterkaler Segment İnstabilitesi): Skafotrapezoidal bağ, skafolunat bağ zedelenmesi veya skafoid psödoartrozu sonucu gelişen değişikliklerin sebep olduğu instabiliteleri tanımlamada kullanılmıştır. Skafolunat disosiasyon bu grubun en önemli örneğidir.

VISI (Volar İnterkaler Segment İnstabilitesi): Skafotriquetral, lunotriquetral, radiotriquetral bağ zedelenmesi veya lunatum, skafoid psödoartrozları sonucunda gelişen instabiliteleri tanımlar. Lunotriquetral disosiasyon bu grubun örneğidir.

El bileği biyomekaniği konusunda önemli çalışmalar yapmış olan Taleisnik 1984'te yeni bir sınıflama yapmıştır. Karpal instabiliteyi statik ve dinamik instabilite olarak ikiye ayırmıştır[25].

Statik instabilite: İnterosseöz bağların total rüptürü (Skafolunat bağ zedelenmesi) sonrası lunatum ve skafoidin disosiasyonunun görüldüğü instabilitelerdir. Dobyns'in DISI olarak tarif ettiği durumdur.

Dinamik instabilite: Skafolunat yada lunotriquetral bağların kısmi rüptürüne bağlı instabiliteleri tarif eder.

Dobyns 1994'te karpal instabilitede yeni bir sınıflamaya gitmiştir. İnstabiliteyi CID, CIND, CIC ve CIA olarak dört gruba ayırmıştır[26].

CID (Karpal Disosiatif İnstabilite): Aynı sıra içindeki karpal kemiklerin ilişkisinin bozulduğu instabilitelerdir. İnterosseöz bağların rüptürü ya da skafoid, lunatum psödoartrozları sonucu gelişir. Skafolunat disosiasyon bu grupta değerlendirilebilecek bir örnektir. DISI ve VISI bu gruba dahil edilir.

CIND (Disosiatif Olmayan Karpal İnstabilite): Distal ve proksimal sıra her ikisi de kendi içlerinde dengeli bir durumdayken, birbiri aralarındaki ilişki bozulmuştur. İnflamatuar süreçler ve bağların (interkarpal uzun bağlar) zedelenmesi bu duruma yol açan en sık sebeplerdir.

CCI (Kompleks Karpal İnstabilite): CID ve CIND özelliklerinin görüldüğü gruptur. Meydana gelen olay sonrası proksimal ya da distal sıra kendi içinde ve diğer sırayla dengeli ilişkisini koruyamamaktadır. Lunatum dislokasyonu bu gruba bir örnektir.

CIA (Adaptif Karpal İnstabilite): İnstabiliteyle sonuçlanan bu durum ilk üç grubun aksine, karpal kemikler dışında bir yapıdan kaynaklanmaktadır. Dobyns'in ilk yaptığı sınıflamada tanımladığı üçüncü gruba uymaktadır.

Cooney de Dobyns'in sınıflamasına eklemeler yapmıştır. Mayo Klinik Dobyns'in yaptığı sınıflamayı modifiye ederek kendi sınıflamasını yapmıştır. Mayo Klinik Sınıflaması günümüzde en sık kullanılan sınıflamadır.

Tablo 1- Mayo Klinik Karpal İnstabilite Sınıflaması [27]

İsmi, tipi	Radyografik paterni
<b>I-CID</b>	
<b>1.1 Proksimal karpal sıra CID</b>	
a. İnstabil skafoïd kırığı	DISI
b. Skafolunat ayrışma	DISI
c. Lunotriquetral ayrışma	VISI
<b>1.2 Distal karpal sıra CID</b>	
a. Aksial Radial bozulma	RT veya PT
b. Aksial Ulnar bozulma	UT veya PT
c. Kombine AR ve AU bozulma	
<b>1.3 Kombine proximal and distal CID</b>	
<b>II. CIND</b>	
<b>2.1 Radiokarpal CIND</b>	
a. Palmar ligament yırtığı	DISI, tüm proksimal karpal sıranın UT'u, SL aralığın artması ile beraber UT; PT (aslında bir CIC)
b. Dorsal ligament yırtığı	VISI, DT
c. Radius malunion sonrası, Madelung deformitesi, skafoïd malunionu, lunat malunionu sonrası (Adaptif Karp'a bakın)	
<b>2.2 Midkarpal CIND</b>	
a. Palmar ligament hasarına bağlı ulnar MCI	VISI
b. Palmar ligament hasarına bağlı radial MCI	VISI
c. Kombine UMCI ve RMCI, palmar ligament	VISI
d. Dorsal ligament hasarına bağlı MCI	DISI
<b>2.3 Kombine radiokarpal-midkarpal CIND</b>	
a. Kapitolunat instabilite paterni	VISI, DISI, değişken
b. Radial ve santral ligamentlerin bozulması	VISI veya DISI ile birlikte ya da birlikte olmayan UT
<b>III. CIC</b>	
a. Radiokarpal instabilite ile beraber perilunat instabilite	DISI ve UT
b. Aksial instabilite ile beraber perilunat instabilite	AxUI ve UT
c. Aksial instabilite ile beraber radiokarpal instabilite	AxRI ve UT
d. UT ile beraber skafolunat ayrışma	DISI ve UT
<b>IV. Adaptif Karp</b>	
a. Distal radius malunionu ile birlikte karpların malpozisyonu	DISI veya DT
b. Skafoïd nonunionu ile birlikte karpların malpozisyonu	DISI
c. Lunat malunionu ile birlikte karpların malpozisyonu	DISI veya VISI
c. Madelung deformitesi ile birlikte karpların malpozisyonu	UT, DISI, PT

CID (Karpal İnstabilite Dissosiatif), CIND (Karpal İnstabilite Nondissosiatif), CIC (Karpal İnstabilite Kombine), DISI (Dorsal İnterkale Segment İnstabilitesi), VISI (Volar İnterkale Segment İnstabilitesi), RT (Radial Translasyon), PT (Proksimal Translasyon), DT (Dorsal Translation), UT (Ulnar Translasyon), AxUI (Aksial Ulnar İnstabilite), AxRI (Aksial Radial İnstabilite), MCI (Mid Karpal İnstabilite)

Yukarıda sayılan sınıflamalarda hastalar yalnız gruplandırılmaktadır. Larsen karpal instabilite sınıflamasına farklı bir yaklaşım getirmiştir. Larsen yaptığı değerlendirmeler sonucu karpal instabiliteyi süreleri, nedenleri, klinikleri ve yerleri dikkate alarak şematize etmiştir [28,29]. Bu şema sayesinde instabilite hastalarının kendi spesifik durumları değerlendirebilir ve hastalara uygun yaklaşım seçilebilir (Tablo 2).

Tablo 2- Larsen'in Karpal İnstabilite Sınıflaması (modifiye edilmiş haliyle)[29]

SÜRE	SABİTLİK	SEBEP	LOKALİZASYON	YÖNELİM	BİÇİM
Akut	Statik	Travmatik	Radiokarpal	VISI rotasyon	CID
Subakut	(düzeltililebilir)	İatrojenik	Proksimal interkarpal	DISI rotasyon	CIND
Kronik	(düzeltililemez)	Konjenital	Midkarpal	Ulnar yönelim	CIC
	Dinamik	Tümörler	Distal interkarpal	Radial yönelim	CIA
	Predinamik	Konnektif doku hst.	Karpometakarpal	Palmar yönelim	
		İnflamatuar hst.	Özel kemikler	Dorsal yönelim	
		Artritik		Proksimal yönelim	
		Aksesuar kemikler		Distal yönelim	

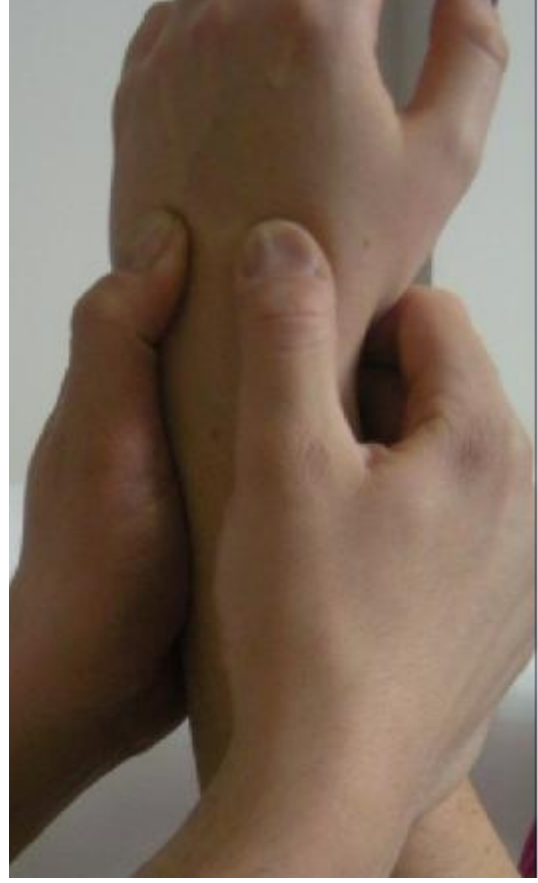
CID (Karpal İnstabilite Dissosiatif), CIND(Karpal İnstabilite Nondissosiatif), CIC (Karpal İnstabilite Kombine), CIA (Karpal İnstabilite Adaptif)

#### 4.5 KLİNİK

Hastaların bize başvurusu genelde travma sonrası ilk birkaç günde olur. El bileğinde ağrı ve hareket kısıtlılığı mevcuttur. El bileği muayenesinde radial-ulnar stiloid, Lister tüberküli, skafoid, lunatum ve kapitatum palpe edilerek hassasiyet olan bölgeler saptanmalıdır. Daha sonra el bileği hareketleri; fleksiyon, ekstansiyon, pronasyon, supinasyon, radial ve ulnar deviasyon aktif ve pasif olarak değerlendirilmelidir. Son olarak karpal instabilite için tanımlanmış ve sık kullanılan özel testler de yapılmalıdır. Sinovial irritasyon, Watson (Şekil 12), skafoid ballotman (Şekil 13), lunotriquetral ballotman (Kleinmann), Linscheid testleri en bilinenleridir.



Şekil 12: Watson testi



Şekil 13: Skafoid ballotman

Fizik muayeneden sonra görüntüleme yöntemlerinden faydalanırız. El bileği radyolojik değerlendirmesinde direkt grafi, bilgisayarlı tomografi, manyetik rezonans görüntüleme ve eklem içine opak madde verilerek çekilen artro BT ve artro MR izlenecek sıradır. Her görüntüleme yönteminin ayrı bir önemi ve kullanım alanı vardır.

AP-lateral el bileği direkt grafisi el bileği patolojileri düşünüldüğünde ilk istenecek radyolojik incelemedir. Distal radius, ulna ya da karpal kemiklerde kırık incelendiğinde ap-lateral grafi yeterlidir. Ancak instabilite düşünülüyorsa ya da disosiasyon olan olgularda el bileği açılarının (fizyolojik el bileği açılarıyla kıyaslamak için) daha doğru değerlendirilmesi için, radial ve ulnar deviasyonda direkt grafi çektirilmelidir. Karpal instabilite nedenli anomalileri değerlendirmek için supinasyonda ve pronasyonda oblik grafiler de istenebilir.



Şekil 14: El bileği nötral pozisyondaki grafisinde skafolunat dissosiasyon



Şekil 15: El bileği radial deviasyondaki grafisinde skafolunat dissosiasyon

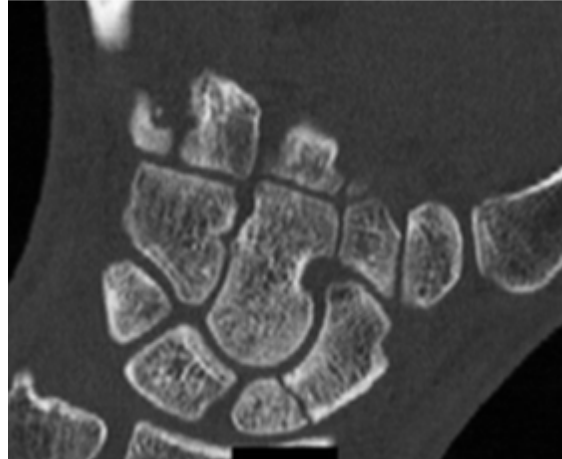


Şekil 16: El bileği ulnar deviasyondaki grafisinde skafolunat disosiasyon

Bilgisayarlı tomografi ise karpal kemiklerdeki kırıkları değerlendirmede oldukça duyarlıdır. Direkt grafilerle atlanabilecek nondeplase karpal kemik kırıklarını (skafoid, lunatum) saptamada bilgisayarlı tomografi çok faydalıdır (Şekil 17, 18).

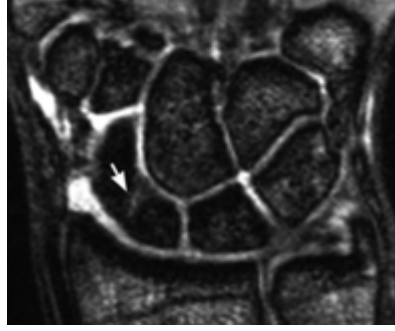


Şekil 17: Nondeplase skafoid kırığı

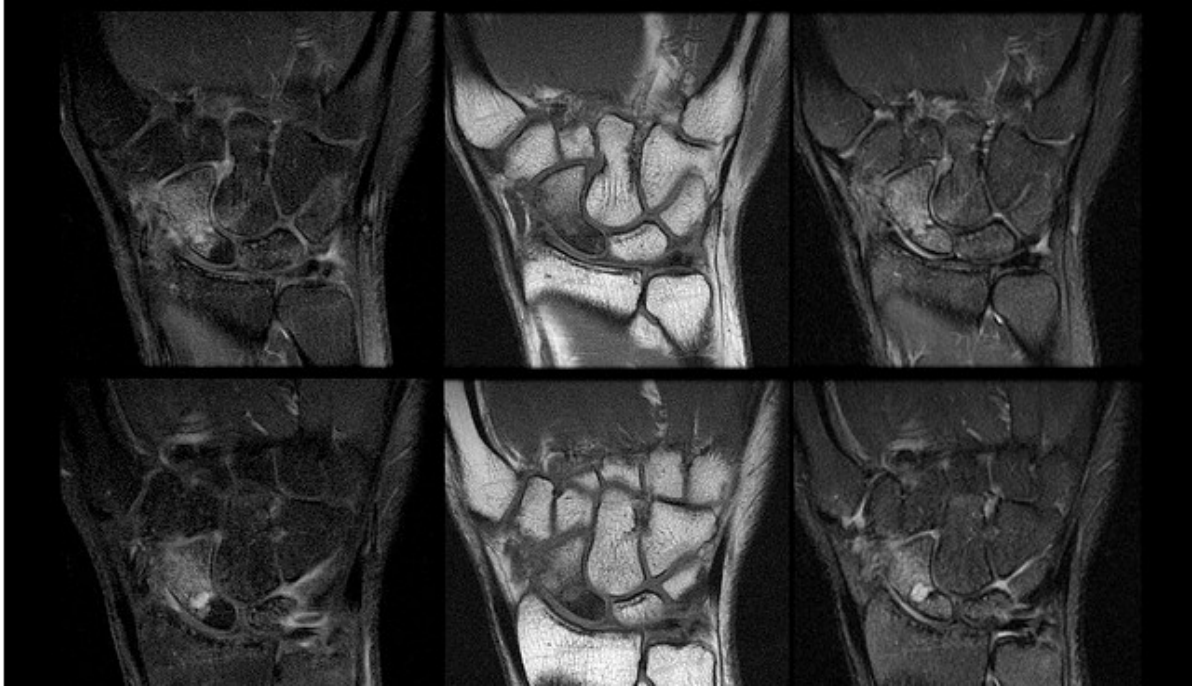


Şekil 18: Nondeplase skafoid kırığı

Manyetik rezonans görüntüleme el bileği ligamanlarının ve fibrokartilagenöz yapısının detaylı değerlendirilmesinde, direkt grafide ve bilgisayarlı tomografide saptanamayan kırıkların tespitinde (Şekil 19), karpal kemiklerin avasküler nekrozlarının (skafoid ve lunatum AVN) görüntülenmesinde kullanılır (Şekil 20).



Şekil 19: Nondeplase skafoid kırığı



Şekil 20: Skafoid Avasküler Nekrozu

İntraartiküler kontrast madde enjeksiyonuyla çekilen artro BT ve artro MR interosseöz bağların ve TFCC'nin (Triangular Fibrocartilage Complex) değerlendirilmesinde kullanılır (Şekil 21). Klinik pratikte sık kullanılmayan görüntüleme yöntemleridir.



Şekil 21: Artro MR'da skafolunat bağın rüptüre görüntüsü

#### 4.6 SINIRLI KARPAL FÜZYONLAR

Sınırlı karpal füzyonlar el bileği patolojilerinde oldukça sık başvurulan operasyonlardır. Eskiye nazaran daha iyi anlaşılmakta ve daha fazla kabul görmektedir. El bileği patolojileri sonrası; çok parçalı skafoid kırıkları, skafoid nonunion, skafoid avasküler nekrozu, Kienböck Hastalığı, çok parçalı lunatum kırıkları, skafolunat disosiasyon, lunatum çıkığı ve daha sayılabilecek pek çok patoloji sonrası el bileğinde instabilite gelişmektedir [30,31]. Bunun sonucunda el bileği ağrılı olmakta yada fonksiyonel mobilitelerini koruyamamaktadır. Ağrıyı giderme, el bileği fonksiyonlarını koruma, uzamış stres altında da ağrısız, fonksiyonel el bileği sağlamak için sınırlı karpal füzyonları uyguluyoruz. Sınırlı karpal füzyonlara verebileceğimiz örnekler: Kapitohamat Füzyon, Skafotrapeziotrapezoid Füzyon, Dört Köşe Füzyon, Radioskafolunat Füzyon, Skafokapitat Füzyon, Lunokapitat Füzyon (Şekil 22-25).



Şekil 22: Radioskafolunat füzyon



Şekil 23: STT füzyon+lunat eksizyonu

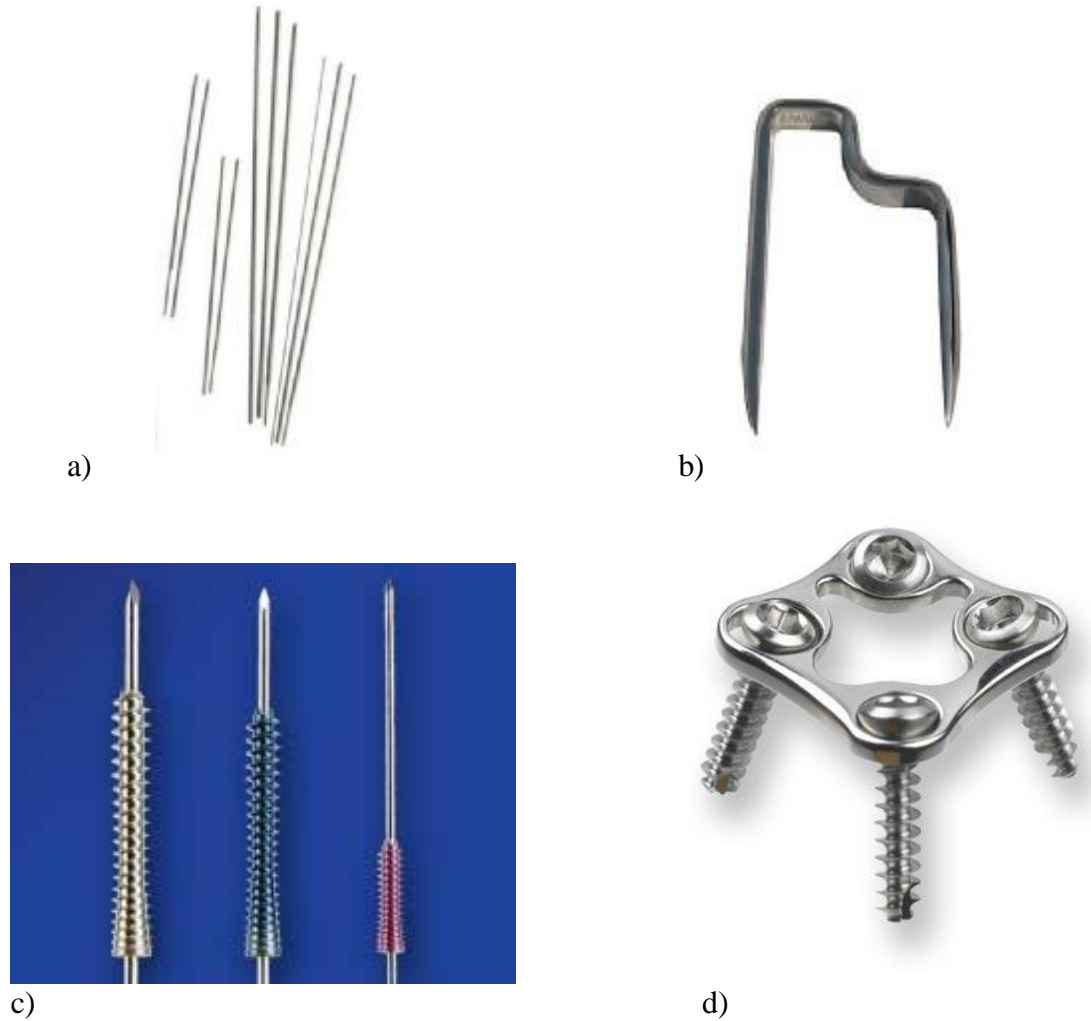


Şekil 24: Skafokapitat füzyon



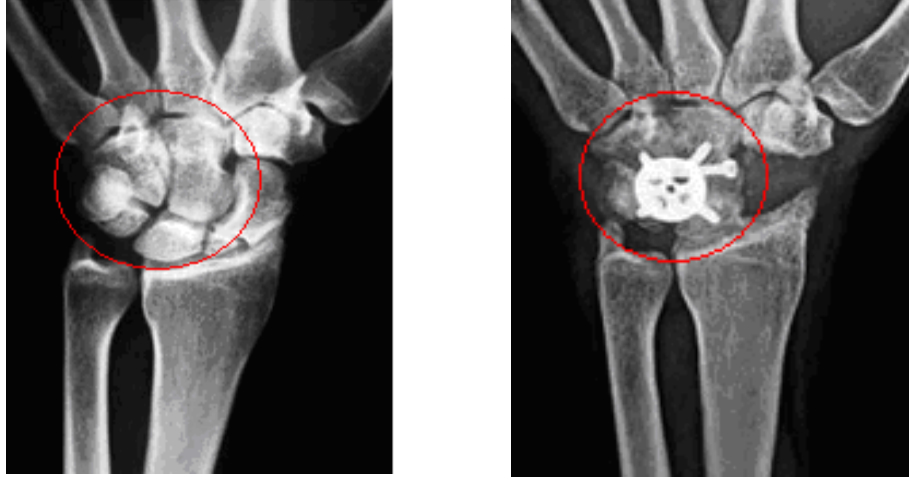
Şekil 25: Lunokapitat füzyon+skafoid eksizyonu

Sınırlı karpal füzyonların tümünde, füzyone edilecek kemiklerin birbirine bakan eklem yüzlerindeki kırıkdağlar alınır. Kemiklerin redüksiyonu için önce Kirschner telleri kullanılır. Redüksiyon sağlandıktan sonra kemikler arasındaki boşluğa greft konur. Fiksasyon için Kirschner telleri, staplelar, başsız kompresyon vidaları veya mini plaklar kullanılmaktadır (Şekil 26).

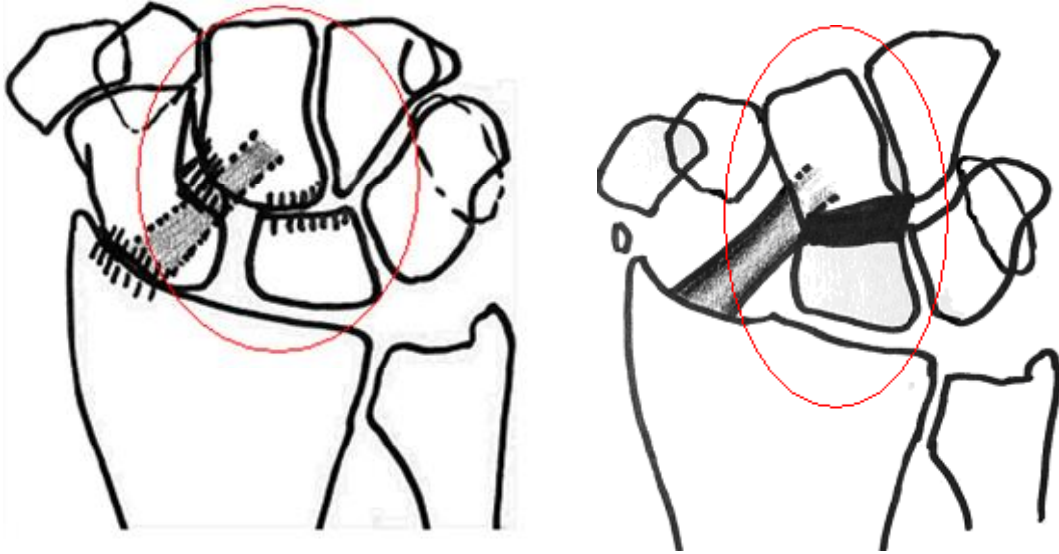


Şekil 26: a) Kirschner telleri b) Staple c) Başsız kompresyon vidası d) Mini plak

Fiksasyon sağlandığında füzyone edilen karpal kemiklerin çevrelerinin tamamen korunmuş olması gerekmektedir. Bu bir sınırlı karpal füzyon operasyonunun olmazsa olmazıdır (Şekil 27, 28).



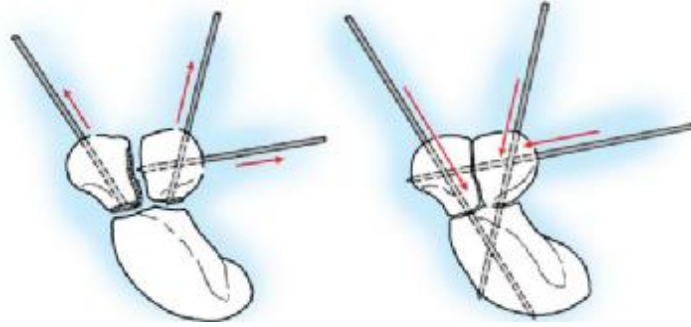
Şekil 27: Kemik çevrelerinin korunması



Şekil 28: Kemik çevrelerinin korunması

Biz sık uygulanan füzyonlar arasında Skafotrapeziotrapezoid Füzyon, Dört Köşe Füzyon ve Kapitoamat Füzyon'da yük dağılımlarını inceledik.

#### 4.6.1 STT (Skafotrapeziotrapezoid Füzyon, Triscape Füzyon)



Şekil 29: STT Füzyon

Skafoid, trapezium ve trapezoideum arasında yapılan füzyondur. Üç kemiğin arasındaki kıkırdaklar eksize edilerek, üç kemik tek kemik haline getirilmek üzere tespit edilir. Radiusa yük aktarımını sağlamada altın standart füzyondur. Osseöz veya ligamantöz patolojilerin giderilmesinde kullanılır. Endikasyonlar: Triscaphe artrit (STT dejeneratif artrit), Kienböck Hastalığı, rotatuar skafoid subluksasyonu, skafoid nonunion, radius dislokasyonu, DISI, SLAC (Skafolunat Advanced Collaps) (Şekil 30), midkarpal instabilite (Kronik skafolunat instabilitesi) (Şekil 31).

Kontrendikasyon: Radioskafoid artrit.

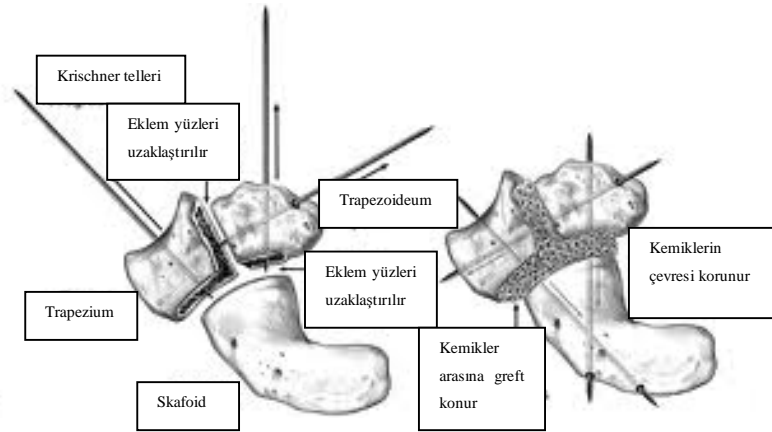


Şekil 30: SLAC lezyonu



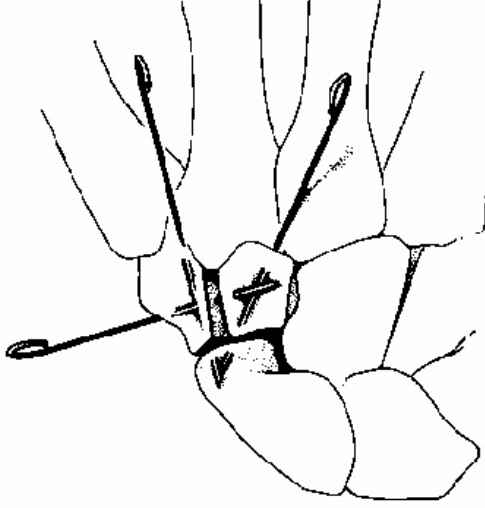
Şekil 31: SL instabilitesi

Cerrahi teknik: Triskafoid eklemin üstüne denk gelecek şekilde, el bileği dorsal yüzünde radial stiloidin ucunda, yaklaşık beş cm transvers insizyonla cilt, ciltaltı geçilir. Radial sinirin süperfisiyal dalı ve dorsalde mevcut venöz yapılar ekarte edilir. ECRB ve ECRL arasından, stiloidin ucunda radioskafoid eklem aralığından kapsül insizyonu yapılır. Skafoid, trapezium ve trapezoideumun birbirlerine bakan eklem yüzleri alınır, kansellöz kemik açığa çıkarılır. Duruma göre redüksiyon için, skafoide joystick olarak kullanılmak üzere bir adet Kirschner teli konulabilir (Şekil 32) [32]. Önce skafoidle trapeziumun fiksasyonu sağlanır. Sonra trapezoideum fiske edilir.

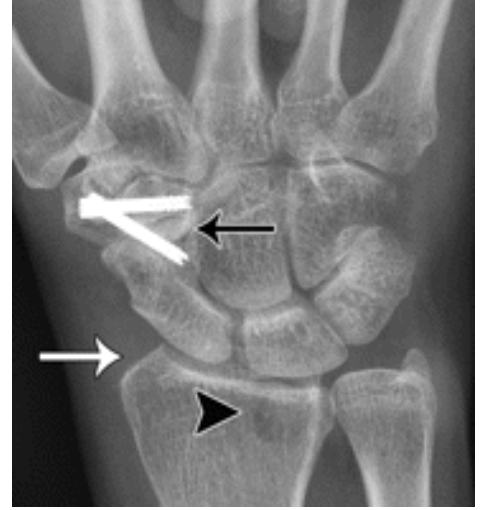


Şekil 32: STT füzyon

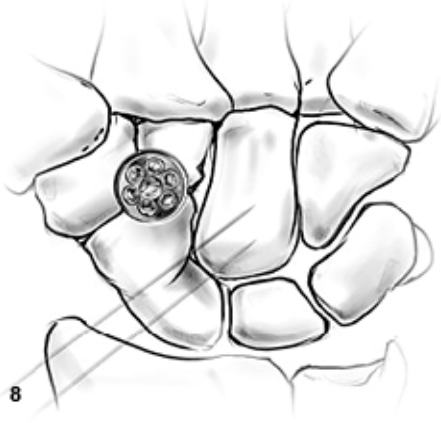
Radius distalinden veya iliak kemikten greft hazırlanır. Üç kemiğin arasında kalan boşluğa hazırlanan greftler yerleştirilir [27]. Fiksasyon sağlandığında skafoidin radiusun uzun aksıyla yaptığı açının 50 derece olması gerekir. Operasyonun sağlanması bu şekilde yapılır. STT füzyona bazı durumlarda radial stiloidektomi de eklenebilir. STT füzyon 8-10 hafta sonra çıkarılmak üzere perkütan ya da cilt altında bırakılan Kirschner telleriyle, başsız kompresyon vidalarıyla ya da sınırlı karpal füzyonlarda kullanılmak üzere dizayn edilmiş sirküler plaklarla yapılabilir (Şekil 33, 34, 35, 36).



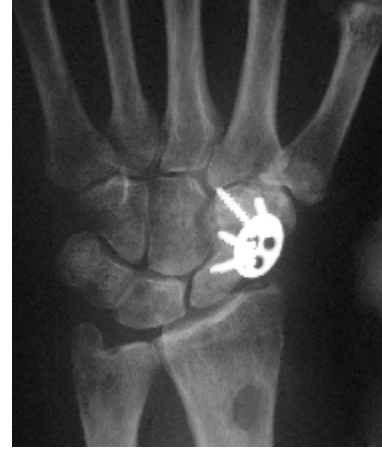
Şekil 33: STT Kirschner teli ile fiksasyon



Şekil 34: STT vida ile fiksasyon



Şekil 35: STT plak ile fiksasyon



Şekil 36: STT plak ile fiksasyon

Hastalar postop 4 hafta uzun kol atelde izlenir, sonrasında hastanın durumuna göre 2-6 hafta kısa kol atelde takip edilir[33]. Atel çıkarıldıktan sonra hasta fizik tedavi programına alınır. STT füzyon sonrası bir hastanın ortalama el bileği ROM'u, eski fleksiyon-ekstansiyonun %80'i, eski radial-ulnar deviasyonun %60'ı kadardır.

#### 4.6.2 DKF (Dört Köşe Füzyon)

Kapitatum, hamatum, lunatum ve triquetrum arasında yapılan füzyondur. Bu prosedürde kemiklerin birbirleriyle eklem yaptıkları kıkırdak yüzler eksize edilir ve dört kemik tek bir blok haline getirilir. DKF skafoid eksizyonunu da içeren bir operasyondur. Skafoid parsiyel ya da total eksize edilir. Proksimal sırayı ilgilendiren dejeneratif değişikliklerde tercih edilen füzyon DKF'dir. Endikasyonlar: Radioskafoid dejeneratif artrit, SNAC (Şekil 37), SLAC, skafoid nonunion (Şekil 38), radiusun skafoid eklem yüzü kırığı (skafoid fossa kırığı), skafolunat eklemin interosseöz ligaman rüptürü [34].



Şekil 37: SNAC

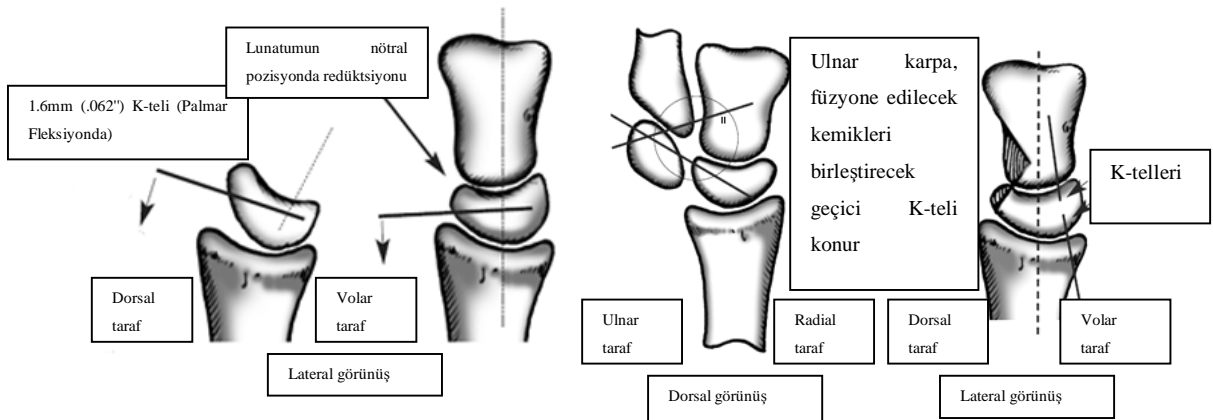
Şekil 38: Skafoid nonunion

Cerrahi teknik: Dorsal yüzde, el bileğini ortalayacak şekilde distale doğru longitudinal bir cilt insizyonu yapılır (Şekil 39). (Genelde longitudinal olmakla beraber horizontal insizyon da uygulanabilir). Ciltaltı geçildikten sonra, bu aşamada posterior interosseöz sinirin eksizyonu yapılabilir [35].



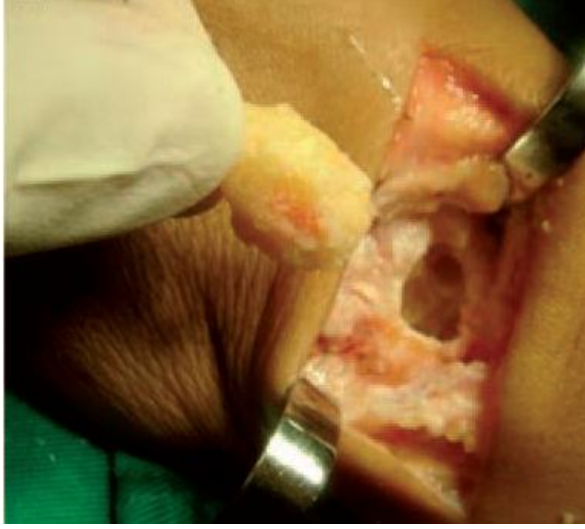
Şekil 39: DKF cilt insizyonu

Üçüncü dorsal kompartman açılır ve EPL radiale alınır. ECRL radiale, ECRB ulnare ekarte edilir. Üçüncü ve dördüncü kompartman arasından kapsüler insizyon yapılır ve skafoide ulaşılır. Skafoid eksize edilir. Skafoid eksizyonu sırasında palmar radiokarpal ligamanlara zarar vermemeye dikkat edilmelidir. Ardından lunatum, triquetrum, hamatum ve kapitatum ekspozuru yapılır. Skafoid eksizyonu yapılması planlanmayan, sadece dört kemiğin stabilizasyonunun yapılacağı operasyonlarda kapsüler insizyon dört ve beşinci dorsal kompartanlar arasında yapılır. Böylece direkt olarak füzyone edilecek dört kemiğe ulaşılır. Dört kemiğin ekspozuru tamamlandıktan sonra redüksiyon aşamasına geçilir. Burada lunatumun tam redüksiyonu referans alınarak diğer üç kemiğin redüksiyonu sağlanır. Bunun için lunatuma joystick olarak kullanılmak üzere bir adet Kirschner teli konulabilir (Şekil 40). Dört kemiğin redüksiyonu sağlandıktan sonra Kirschner telleriyle geçici tespit yapılır.



Şekil 40: DKF’de lunatum redüksiyonu

Dört kemiğin birbirine bakan kırıldak yüzeyleri rongeur, b r ve t rp  yardımıyla eksize edildikten sonra, çıkarılan skafoidden, radius distalinden veya iliak kemikten alınan greftler aradaki boşluğa doldurulur (Şekil 41, 42).

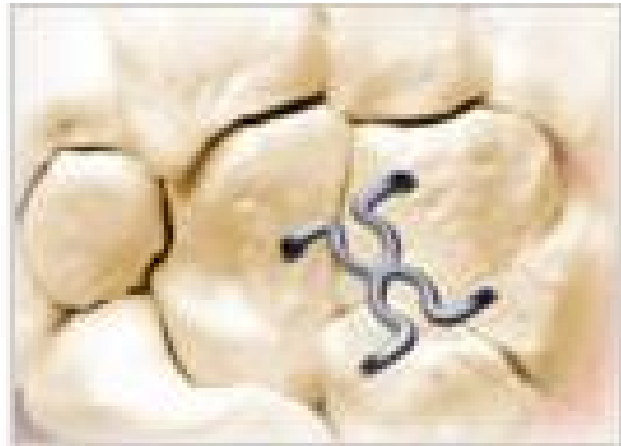


Şekil 41: Kemiklerin birbirine bakan eklem yüzlerinin eksizyonu.



Şekil 42: Aradaki boşluğa greft konduktan sonraki görüntü.

Kirschner telleri, stapleler, başsız kompresyon vidaları veya sirküler plak kullanılarak fiksasyon sağlanır. Radial stiloidektomi bazı hastalarda uygulanmaktadır (Şekil 43-47).



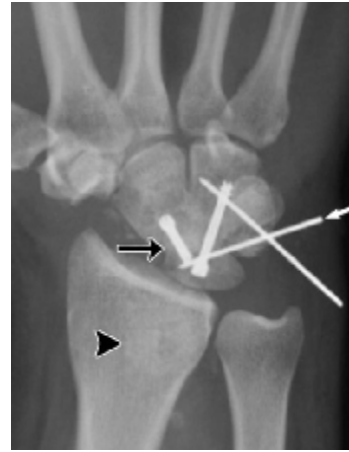
Şekil 43: DKF staple ile fiksasyon



Şekil 44: DKF+skafoid eksizyonu staple ile fiksasyon



Şekil 45: DKF+skafoid eksizyonu tel ile fiksasyon



Şekil 46: DKF+skafoid eksizyonu vida ve tel ile fiksasyon



Şekil 47: DKF+skafoid eksizyonu plak ile fiksasyon

Hastalar postop 4 hafta kısa kol atelde izlenir. Dördüncü haftanın sonunda el bileği hareketleri başlanır. El bileği iki hafta daha atelle korunur [35].



Şekil 48: DKF+skafoid eksizyonu sonrası nonunion

#### 4.6.3 KH (Kapitohamat Füzyon)

Kapitatum ve hamatum arasında yapılan füzyondur. Kienböck hastalığının tedavisinde kullanılan bir füzyondur. Diğer füzyonların aksine, KH füzyonun lunatum üzerine gelen yükü nasıl azalttığı henüz açıklanamamıştır. Bazı durumlarda kapitatum kısaltma da yapılabilir. Endikasyonlar: Lunatum kollapsı (Şekil 49), Kienböck hastalığı, hamatum AVN [36,37].



Şekil 49: Lunatum kollapsı



Şekil 50: Kapitohamat Füzyon

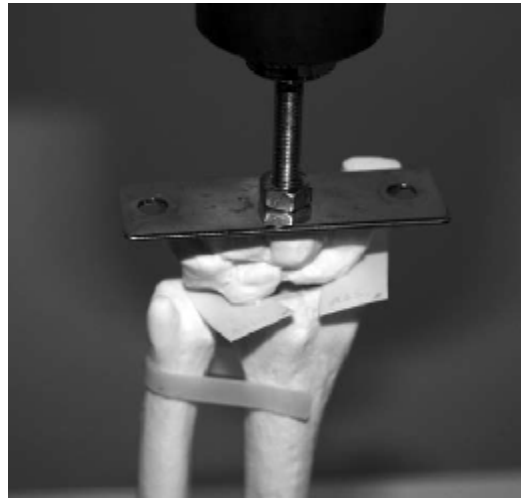
Cerrahi teknik: El bileği dorsalinde, Lister Tübükülü'nün biraz ulnarından başlayarak üçüncü metakarpın bazisine uzanan longitudinal bir cilt insizyonu yapılır. Ciltaltı geçildikten sonra radial sinirin duyu dalı ve lateral antebrakial sinirin kutanöz dalı ekarte edilmelidir. EPL bulunur. İkinci ve dördüncü kompartman arasından üçüncü dorsal kompartman açılır ve EPL radiale alınır. Posterior interosseöz sinir dördüncü kompartman altında bulunur ve rezekt edilir. Radius distal uçtan ters T şeklinde kapsülotomi yapılarak midkarpal eklemlerin ekspozuruna imkân bulunur. Kapitatum ve hamatum böylece açığa çıkarılır. Kapitatum kısaltma yapılacaksa bu aşamada yapılır. Ardından her iki kemiğin birbirine bakan eklem yüzleri diğer füzyonlarda olduğu gibi eksize edilir. Redüksiyonun ardından Kirschner teli, staple veya başsız kompresyon vidası kullanılarak fiksasyon sağlanır.

#### 4.7 El Bileği Yük Dağılımının İncelendiği Çalışmalar

El bileği patolojileri sonrasında el bileğinde meydana gelen değişiklikleri, instabilite, dejeneratif artrit, incelemede el bileği yük dağılımları da araştırılmıştır. Kemiklere, kıkırdaklara ve bağlara gelen yükler ayrı ayrı saptanmaya çalışılmıştır. Yük dağılımlarının incelenmesinde deneysel çalışmalar ve bilgisayar destekli çalışmalar yapılmıştır. Hayvan deneyleri, kadavra üzerinde yapılan incelemeler (Şekil 51), kemik benzeri maddeler (sert köpükten üretilmiş kemik modelleri) üzerinde yapılan incelemeler (Şekil 52) deneysel çalışmalara verilebilecek örneklerdir.



Şekil 51:Kadavra çalışması



Şekil 52:Kemik benzeri madde

Bilgisayar destekli çalışmalar ise asıl olarak iki boyutlu ve üç boyutlu modellemeleri içermektedir. Üç boyutlu modellemelerin taşıdığı güçlükler nedeniyle yapılan birçok modelleme iki boyutludur. Kemiklerin, kıkırdak ve bağların rijiditeleri tanımlanarak basınç ve çekme modelleri yapılmıştır. Çalışmaların çoğunda sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır. İki boyutlu modeller ilk başlarda birçok soruya yanıt bulamasa da, zamanla geliştirilmiştir. İki boyutlu modeller arasında belirgin saptamaların yapılabildiği çalışmalardan bazıları şunlardır.

Emiko Horii'nin modeli:1990'a kadar bilgisayar destekli çok az çalışma yapılmış, yapılan çalışmalar da çok anlamlı olmamıştır. 1990'da Horii ve arkadaşları iki boyutlu bilgisayar modelinde sonlu elemanlar metoduyla, Kienböck Hastalığı'nı incelemişlerdir[38]. Kienböck Hastalığı lunatumun izole bir hastalığı olarak değerlendirilemez, çünkü tüm el bileği biyomekaniğini etkiler. Kienböck Hastalığı sonrası uygulanan operasyonlar da el bileği biyomekaniği üzerinde önemli değişikliklere yol açmaktadır.

Önce bilgisayarlı tomografi yardımıyla el bileği kemikleri ve eklemleri ortaya konmuştur. Trapezium ve trapezoideum tek kemik olarak ele alınmıştır. 27 bağ olduğu kabul edilmiş ve 19 tanesi sisteme yerleştirilmiştir. Yük dağılımlarını saptamak için RBSM (Rigit Body Spring Model) sistemi kullanılmıştır. 143 Newton yük uygulanmış ve yük dağılımı incelenmiştir. Bağlar üzerinde yeterli bilgi elde edilememiştir. Yüklerin % 78'inin radiusa, %22'nin ulnaya geldiği bulunmuştur. Karpal kemikler arasında yük iletiminin hangi eklemler arasında olduğu konusunda da önemli veriler elde edilmiştir. Elde edilen bu verilerle Kienböck Hastalığında uygulanan operasyonlarda yüklerin nereye yöneldiğine ışık tutan bir çalışma olmuştur. El bileği yük dağılımını o dönem için oldukça detaylı incelemiş ve bir bilgisayar programı kullanarak böyle detaylı bir modelleme yapmış olmasıyla Horii ve arkadaşlarının çalışması çok ses getirmiştir.

Kentaro Watanabe Modeli:Watanabe ve arkadaşları yine Kienböck Hastalığı üzerine, Horii ve arkadaşlarının çalışmasına benzer iki boyutlu, sonlu elemanlar metoduna dayanan bir bilgisayar modeli yapmışlardır[39]. Kıkırdak elastisite modülü 10 N/mm, bağların elastisite modülü ise 100 N/mm olarak alınmıştır. Trapezium ve trapezoideum tek kemik olarak düşünülmüştür. Bu çalışmada da analizler için RBSM sistemi kullanılmıştır. Bu çalışmada Kienböck Hastalığı sonrası Radial Kama Osteotomisi uygulamasının yük dağılımına etkileri incelenmiştir. Sağlam bir el bileğindeki yük dağılımları ve aynı model üzerinde Radial Kama Osteotomisi sonrası yük dağılımları 210 N basınç uygulanarak incelenmiş, lunatuma gelen yüklerin operasyon sonrası berlirgin azaldığı bulunmuştur. Bu modelle yapılan operasyonların sonucunda veya yapılması teorik olarak planlanan operasyonların öncesinde el bileği yük dağılımlarının saptanmasının bilgisayar düzeneğinde mümkün olduğu görülmüştür.

Norimasa Iwasaki Modeli:1998 Iwasaki ve arkadaşları daha önceki çalışmaların benzeri yönde Kienböck Hastalığı'nı incelemek üzere, analizlerinde RBSM'i kullanmışlardır; ancak üç boyutlu bilgisayar modeli yapmışlardır[40]. Sisteme 27 bağ yerleştirilmiş ve 143 N yük uygulanmıştır. Bu modelde yalnız yük dağılımı değil karpal kemikler, metakarplar, ulna ve radiusun basınç karşısında hareketleri de analiz edilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada metakarplardan, karpal kemiklere, onlardan da ulna ve radiusa yük transferinin izlediği yol ortaya konmuştur.

E. Genda Modeli:2000'de Genda ve arkadaşları el bileğini yük dağılımını incelemek için bilgisayar destekli modellerinde yine RBSM kullanmışlar, üç boyutlu modelleme yapmışlardır[41]. Bu model oluşturulurken bilgisayarlı tomografiyle elde edilen kesitler kullanılmıştır. Nötral pozisyonun yanı sıra, el bileğinin fonksiyonel pozisyonda da yük

dağılımını incelemişler. Daha önceki bulguların aksine Genda ve arkadaşları el bileğinin yük dağılımında asıl rolün lunatumda değil skafoidde olduğunu bulmuşlardır.

Kurt Manal modeli:2002'de Manal ve arkadaşlarının yaptığı iki boyutlu modelde, diğer modellerden farklı olarak pisiform sistemden çıkarılmıştır [42]. Pisiformun yük taşımadığı daha önce deneysel çalışmalarda ortaya konduğu için bu modelde bu bilgi kullanılmıştır. Modellemenin yapılaş amacı sağlam el bileğiyle, inflamatuvar bir hadise geçirmiş el bileği arasındaki yük dağılımındaki farkları incelemektir. Önceki sistemlerde bağlar iki ucu rijit yapılar olarak kabul edilmiştir. Oysa bu modelde bağların bir ucu rijit bağlanmış, diğer ucu ise konum değiştirebilecek şekilde bağlanmıştır. İki farklı sistem ele alınmış. İki sistemde de el bileğine yük uygulandıktan sonra radius ve ulnaya gelen yüklerde belirgin değişiklik olmuştur. Ancak çalışmanın sonucunda bağlarda bir ucun konum değiştiren olarak kabul edildiği modelin daha iyi bir model olduğu saptanmıştır.

Norimasa Iwasaki modelinden sonra birçok çalışmacı iki boyutlu model geliştirse de üç boyutlu modellerde önemli bir artış olmuştur.

Shawn Carrigan Modeli:2003'e gelindiğinde üç boyutlu modellerde önemli bir gelişme de Carrigan ve arkadaşları tarafından kaydedildi[43]. Bu model önceki üç boyutlu modele göre anatomik dizilimi çok daha iyi sağlasa da metakarpları ve transvers karpal ligamanı sistem dışı bırakması en büyük eksikliğidir.

Xia Guo Modeli:2009'da Guo ve arkadaşları Carrigan Modeli kadar detaylı bir model yapmışlar ve metakarplarla transvers karpal ligamanı da sisteme almışlardır[44]. Yapıldığı tarihe kadar en detaylı ve el bileğini en iyi analize eden üç boyutlu modeldir.

Magnus Gislason Modeli:2009'da en çok ses getiren modellerden biridir[45]. Gislason ve arkadaşları el bileği modellemesini MR kesitlerinden yola çıkarak yapmışlardır. Kemikler yerleştirildikten sonra eklem arası ilişkiler Abaqus Bilgisayar programı kullanılarak oluşturulmuştur. Bağlar yerleştirildikten sonra sonlu elemanlar metodu kullanılarak, eklemlere gelen yükler incelenmiştir. Gislason ve arkadaşlarının üç boyutlu modelleri, başta fizyolojiye en yakın model olarak düşünülse de elde edilen verilerin daha önce iki boyutlu modellerle elde edilen sonuçlardan farklı olmadığı anlaşılmıştır.

Aryan Javanmardian Modeli:2010 yılında Javanmardian ve arkadaşları sonlu elemanlar metodu ile üç boyutlu bir model yapmışlardır[46]. Bilgisayarlı tomografiyle elde edilen kesitler kullanılarak üç boyutlu model yapılmış. Kompresif kuvvet uygulanarak eklemlere gelen yükler ölçülmüştür. Ardından sistemdeki bağların hepsi çıkarılmış ölçümler tekrar yapılmıştır. İki durum arasında anlamlı fark bulunamamıştır. Sonuçlar Guo Modeli'nin

sonuçlarıyla kıyaslanmış radioskafoid, ulnolunat ve midkarpal eklemlere gelen yükler Guo modeliyle uyumlu bulunmuştur. Çalışmanın sonunda Javanmardian ve arkadaşları, bağların kompresif yüklenme esnasında işlevsel olmadığı, el bileğinin fonksiyonelliğinde ve stabilitesinde rol aldığı sonucuna varmışlardır.

## 5.GEREÇ VE YÖNTEMLER

### 5.1 SAP 2000 Programı [47]

SAP 2000 inşaat mühendisliğinde kullanılan sonlu elemanlar metoduyla çalışan bir bilgisayar programıdır. İnşaat sistemlerinin planlama ve yapımında belli verileri değerlendirmek için kullanılan, üç boyutlu tasarlanan yapıları iki boyutlu olarak sisteme aktararak ölçüm yapılmasını sağlayan bir programdır. Programın önemli bir avantajı; tasarlanan proje iki boyutlu olarak modellendiğinde, modeli koruyarak boyut değiştirebilme ve model üzerinde değişiklik yapmaya olanak vermesidir. Modeller düğüm noktaları, çubuk eleman kesitleri, kabuk eleman kesitleri, kütle, özağırlık gibi bilgiler içerir. Parametreler kolaylıkla değiştirilebilir ve sonuçlar hem tablo, hem de grafik olarak alınabilir.

Modelleme yapılırken koordinat sistemi kullanılır. Koordinatlar global ve yerel eksen bütününden oluşur. X, Y, Z eksenleri global eksenler olarak tanımlanmış, sistemdeki her nesne için, (çubuk veya kabuk olarak yerleştirilen sonlu elemanlar) 1, 2, 3 olmak üzere 3 adet yerel eksen tanımlanmıştır. Eksenler oluşturulurken sağ el kuralı esas alınmıştır.

### 5.2 El Bileği Sonlu Elemanlar Modeli [47]

Model için sağlıklı ve gönüllü 24 yaşındaki bir erkeğin el bileğinin antero-posterior direkt grafisi alınmıştır. El bileğindeki kemiklerin dış sınırları 1:1 ölçeğinde milimetrik karelaj yapılarak kağıda dökülmüştür. Milimetrik karelaj SAP 2000’de koordinat eksenlerine paralel olacak şekilde konan çizgilerdir ve grid lines adını alır. Modelin oluşturulmasında kılavuz olarak kullanılan bu çizgiler çok önemlidir. Bu çizgiler rahatlıkla çoğaltılabilir, silinebilir, kaydırılabilir ve değiştirilebilir. Modelde el bileğini tamamen içine alacak şekilde 150x150’ lik bir grid ağ oluşturuldu. El bileğinde mevcut kemiklerin dış sınırları çok sayıda çubuk elemandan oluşturuldu ve çubuk elemanların içi membran ile dolduruldu. Membranlar düzgün elemanlardan, kare ve dikdörtgen, oluşturuldu. Kemik sınırın içi membranla doldurulduktan sonra çubuk elemanlar sistemden çıkarıldı ve kemiklerin yapımı tamamlanmış oldu.

Dörtgenler oluşturulurken açılar 90 derece olacak şekilde ayarlanmıştır. Dik açı sağlanamadığında açılar 45-135 derece arasında korunmuştur. Her düğüm noktasında açılar 180 dereceden küçük olacak şekilde ayarlanmıştır.

## 5.2 Modelleme ve Mekanik Özellikler

### 5.2.1 Sağlam El Bileği Modellenmesi

Modelin ölçümlerde doğru sonuç verebilmesi için; model üstündeki tüm yapıların fizyolojik özellikleri veri olarak her yapı için ayrı ayrı girildi. Kemikler, bağ ve kıkırdaklardan daha rijit yapılardır. Kemik elastisite modülü literatürden alınan verilerle sisteme girilmiştir. Christina L. Beardsley'in yaptığı ve 1999'da yayınladığı bir çalışmada[48] kemik elastisite modülü  $13.69 \pm 4.25$  GPa, 20000 MPa (N/mm<sup>2</sup>) olarak, Poisson oranı da Frederic Schuind'in çalışmasından[49]  $\nu=0.3$  olarak bulunmuştur. Bizde sistemde kemik rijitlik verilerini bu şekilde girdik. Kalınlıkları ise 1 mm olarak tanımlanmıştır.

Sisteme 13 kemik yerleştirilmiştir. Radius ve ulna sabit olarak kabul edilmiş. Karpal kemiklerden pisiformis sisteme alınmamıştır ve trapeziumla trapezoideum tek kemik olarak kabul edilmiştir. Pisiform kemik yük taşımadığı ve yük aktarımında rol oynamadığı için sistem dışı bırakılmıştır. Trapezium ile trapezoideum da AP direkt grafide üst üste bindikleri için net ayırt edilememişlerdir, bu yüzden tek kemik olarak modellenmelerinin daha sağlıklı olacağı düşünülmüştür (Şekil 53).

El bileği kemiklerinin yerleştirilmesi ve tanımlanması tamamlandıktan sonra, kemiklerin arasındaki kıkırdakların tanımlanmasına geçilmiştir. Tüm kemiklerin arasına kıkırdaklar yerleştirilmiştir. Kıkırdakların elastisite modülü Frederick H.Silver'in yaptığı çalışmada literatür verileri kullanılarak[50,51] 7000 N/mm<sup>2</sup> olarak saptanmıştır. Poisson oranı yine Frederic Schuind'in çalışması sonucunda[49]  $\nu=0.49$  olarak bulunmuştur. Kıkırdak rijiditeleri bu literatürlerde bulunan veriler esas alınarak sisteme girilmiştir. Kıkırdaklar kemiklerin arasına düzgün dörtgen elemanlar olarak 1 mm kalınlıkta yerleştirilmiştir.



Şekil 53: SAP 2000 kemikler

Kıkırdak yapılar da tamamlandıktan sonra bağlara geçilmiştir. Modelimiz iki boyutlu olduğu için, palmar ve dorsal bağlar aynı yüzeye yerleştirilmiştir (Şekil 54). Ulnokarpal, radiokarpal, midkarpal, karpometakarpal ve intermetakarpal toplam 29 bağ tanımlanmıştır. Pisiform kemik sisteme alınmadığı gibi pisohamat bağ da yük aktarımına katılmadığı için sistem dışı bırakılmıştır. Bağlar üç grupta ele alınır. Üçüncü sayfada Şekil 3'te mevcut bağların numarasıyla:

#### Palmar Yüzeyel Bağlar

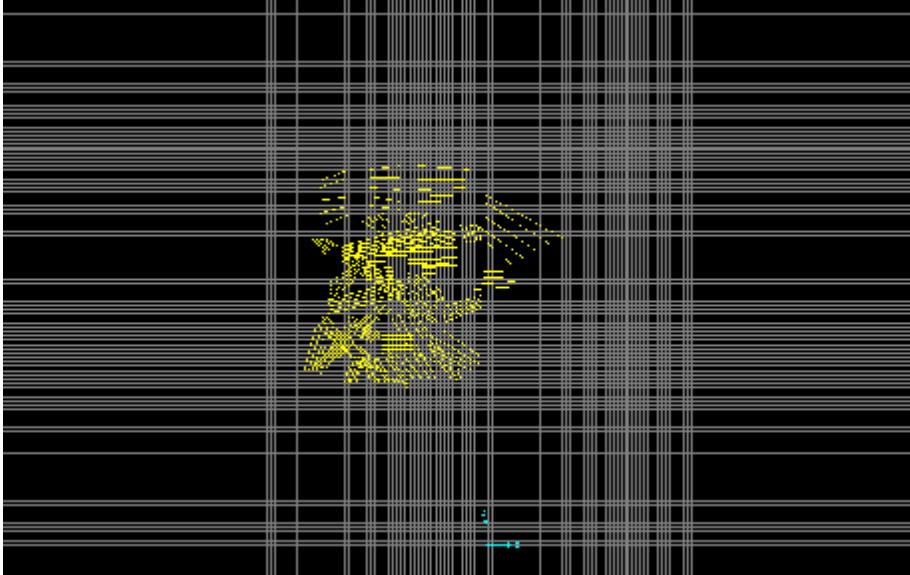
- 1-Radioskafoid
- 2-Radiokapitat
- 3-Uzun Radiolunat
- 4-Ulnokapitat
- 5-Skafokapitat
- 7-Transvers Karpal Ligaman

#### Palmar Derin Bağlar

- 8-Kısa Radiolunat
- 9-Ulnolunat
- 10-Ulnotriquetral
- 11 Skafolunat (Palmar lifler)
- 12-Lunotriquetral (Palmar lifler)

- 13-Triquetrohamatokapitat
- 14-Skafotrapeziotrapezoid
- 15-Distal Sıranın Palmar Transvers İnterosseöz Bağı
- Dorsal Bağlar
- 16-Radiotriquetral
- 17-Triquetroskafotrapeziotrapezoid
- 18-Skafolunat (Dorsal lifler)
- 19-Lunotriquetral (Dorsal lifler)
- 20-Distal sıranın Dorsal Transvers İnterosseöz Bağı

Bağlar mümkün olduğunca küçük ve düzgün dörtgenler olarak, el bileği kemik yüzeyindeki düğümler arasına çubuk elemanlar olarak kondu. Her bağ kendi içinde birbirine paralel 1 mm aralıklı 5 eleman olarak yerleştirildi. Bağlar iki ucu eklemlı çubuk elemanlar olarak tanımlandı. Her bağ kendi rijiditesine göre tanımlandı. Kıkırdak eklemler yüzeyleri arasında sürtünme çok az olduğu ve ihmal edilebileceği için bağların iki ucu eklemlı olarak tanımlandı. Böylece momentleri olmamakla beraber yalnız aksenal yük alırlar. Mümkün olduğunca bağların aynı grup içinde aynı boyda olması sağlanmış, kesit alanları sabit tutulmuştur.



şekil 54: SAP 2000 bağlar

Bağların rijiditeleri E. Horii'nin 1990'da yaptığı modelde kullandığı literatür verilerinden alınmıştır. Bağların uzunluğu programdan saptanmış, değerler daha önceki çalışmalarla uyumlu bulunmuştur.

Tablo 3-Karpal bağ rijitlikleri [38]

<b>KARPAL BAĞLAR</b>	<b>RİJİTLİK (N/mm)</b>
Palmar Radioskafoid	40
Palmar Radiokapitat	50
Palmar Radiolunat	75
Dorsal Radiotriquetral	75
Palmar Ulnolunat	40
Palmar Ulnotriquetral	40
Palmar Ulnokapitat	50
Palmar\Dorsal Skafolunat	230
Palmar\Dorsal Lunotriquetral	350
Palmar Skafokapitat	40
Palmar Skafotrapeziotrapezoidal	150
Dorsal Skafotriquetral	50
Palmar Kapitotriquetral	40
Palmar Hamatriquetral	50
Palmar\Dorsal Hamatokapitat	325
Palmar\Dorsal Kapitotrapezoid	300
Fleksör Retinakulum	130
Karpometakarpal	200
İntermetakarpal	200

Tablo 4-Bağların uzunlukları [47]

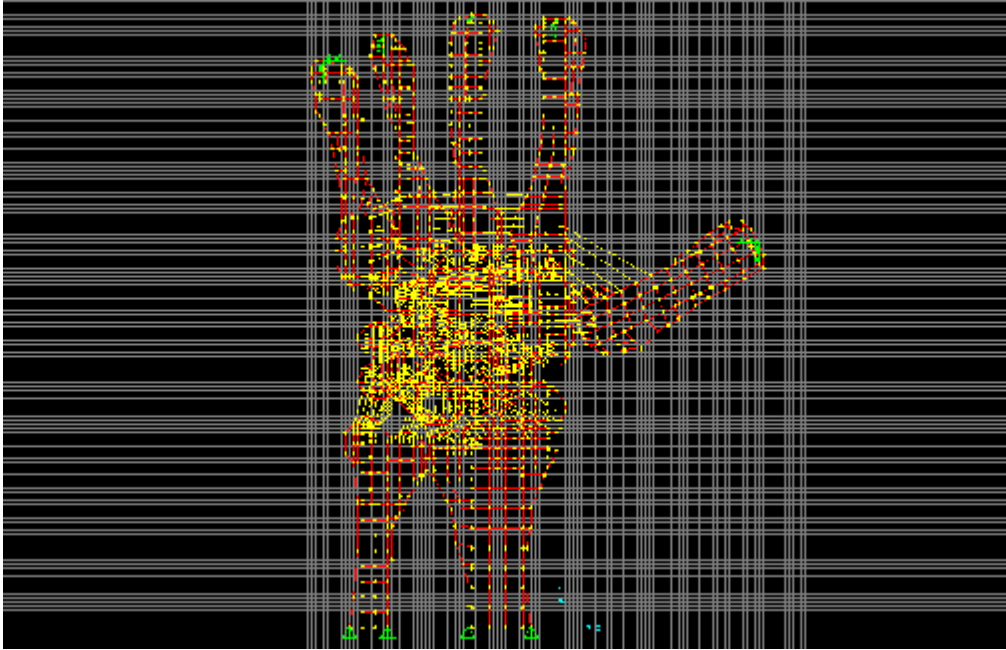
<b>BAĞLAR</b>	<b>UZUNLUKLAR (mm)</b>
Radioskafoid	13
Radiokapitat	23, 7
Uzun Radiolunat	11, 4
Ulnokapitat	26, 8
Skafokapitat	11, 2
Transvers Karpal Ligaman	27, 8
Kısa Radiolunat	7, 2
Ulnolunat	7, 2
Ulnotriquetral	13, 2
Skafolunat	8, 7
Lunotriquetral	9, 7
Triquetrohmatokapitat	15, 6
Skafotrapezial	10, 6
Transvers İnterosseöz	8, 2
Radiotriquetral	26, 9
Triquetroskafotrapeziotrapezoid	30, 2

Literatürdeki verilerde, daha önce yapılan çalışmalarda Pisohamat bağın yük aktarımında rolü olmadığı bulunmuştur. Rijidite ve uzunluğu da dikkate alınmamıştır. Bu yüzden biz de Pisohamat bağı sisteme koymadık.

Çalışmamızda iki farklı model kullanılmıştır. Biri çekme modeli, diğeri basınç modelidir.

Çekme modeli kemik ve bağlardan oluşur. Kıkırdaklar bu modelde yer almamaktadır. Çekme durumunda fizyolojik olarak kıkırdaklar fonksiyona sahip değildir. Ancak model yapıldığında kıkırdakların çekme durumunda bütün yükü üstlendiği görülmüştür. Bu yüzden normal fizyolojiye uygun olması için, kıkırdaklar çekme modelinde sisteme alınmamışlardır. Çekme uygulandığında yükler bağlar vasıtasıyla radius ve ulnaya iletilmektedir. Bu modelde bağlara gelen yükler incelenmiştir.

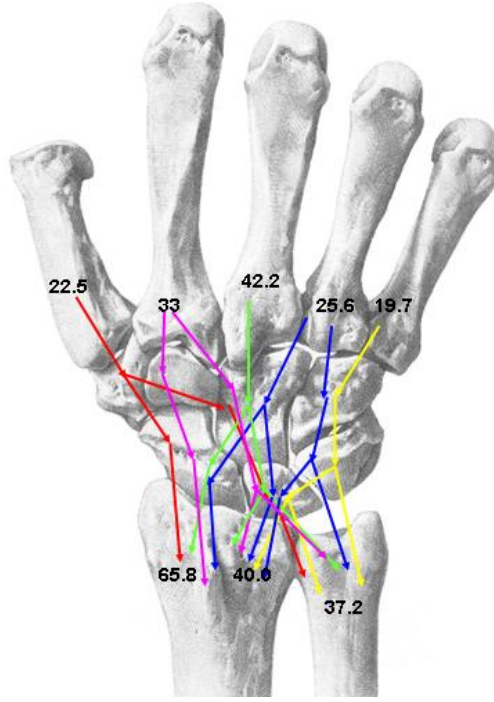
Basınç modelinde ise kıkırdaklar da modele eklenmiştir. Kıkırdaklar bağlardan çok daha rijit oldukları için yük aktarımında bağların ilettiği yük kıkırdakların yanında ihmal edilebilir. Bağlar çıkarılarak ölçümler tekrarlanmış ve sonuçta bir değişiklik olmadığı görülmüştür. Bu yüzden bağların bu modelde yerinde bırakılmasında sakınca görülmemiştir. Modeller oluşturulurken kemikler için 1002 eleman, kıkırdaklar için 59 membran elemanı kullanılmıştır. 29 bağ, kendi içinde uzunlukları aynı 5 paralel elemandan oluşan çubuk elemanlar olarak tanımlanmıştır. Modelde toplam 1647 düğüm noktası vardır. Tüm elemanların özellikleri literatürden elde edilen verilerle tanımlanmıştır (Şekil 55).



Şekil 55: SAP 2000 sağlam el bileği

Her iki modelde de 143 N yük nötral pozisyonundaki el bileğine uygulanmıştır. Çekme modelinde beş metakarpın orta eksenleri boyunca 143 N çekme uygulanarak, basınç modelinde ise beş metakarpın orta eksenleri boyunca 143 N basınç uygulanarak ölçüm yapılmıştır. Parmakların duruş şekillerine göre kuvvetlerin yatay ve dikey bileşenleri milimetrik karelemlerle ve grafiklerle belirlenmiştir.

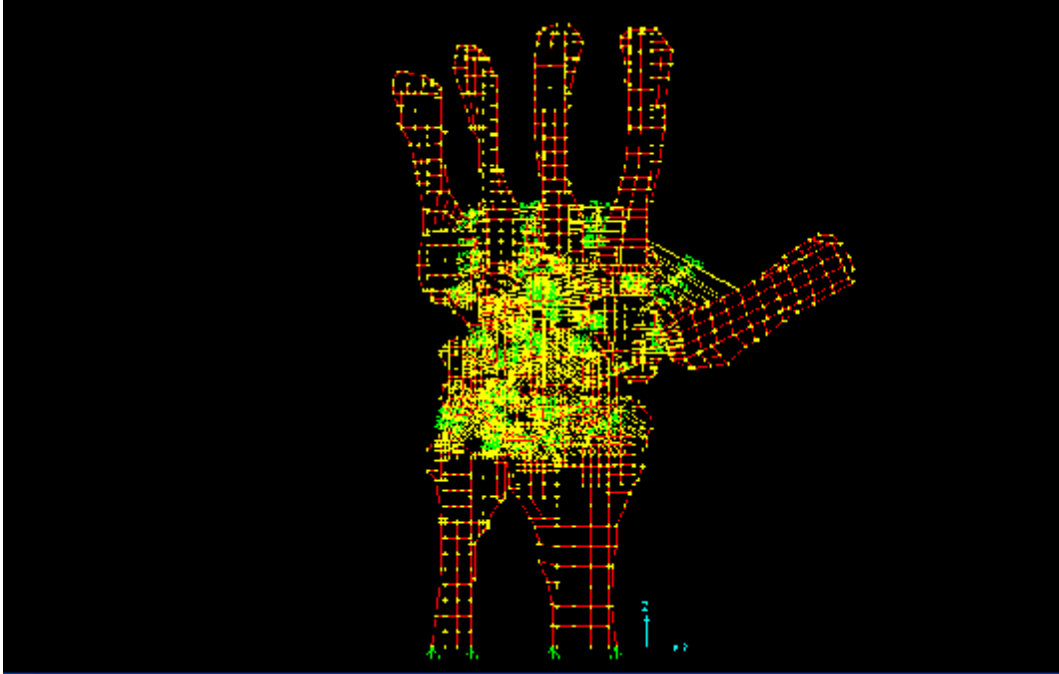
1. Parmağa 22,5 N; 20,4 N X ekseninde - 9,42 N Z ekseninde
2. Parmağa 33 N X ekseninde
3. Parmağa 42,2 N X ekseninde
4. Parmağa 25,6 N X ekseninde
5. Parmağa 19,7 N: 4,7 N X ekseninde - 19,1 N Z ekseninde uygulanmıştır(Şekil56).



Şekil 56: Yüklerin dağılımı; kırmızı birinci parmağa, pembe ikinci parmağa, yeşil üçüncü parmağa, mavi dördüncü parmağa, sarı beşinci parmağa gelen yükleri gösteriyor.

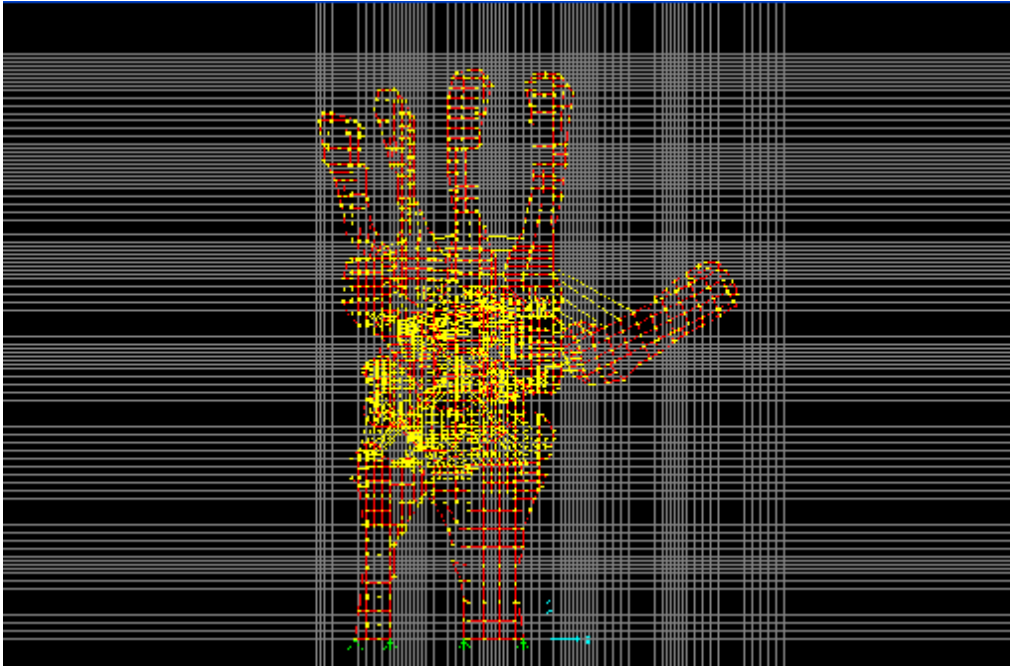
Biz çalışmamızda yalnız nötral pozisyonda sağlam el bileğinin yük aktarımını incelemedik. Ayrıca bazı operasyonlardan sonra el bileğinde yük dağılımının nasıl değiştiğini de inceledik. Skafotrapeziotrapezoid füzyon, skafoidin eksize edildiği ve korunduğu Dört Köşe Füzyon ve Kapitoamat Füzyon için basınç ve çekme modelleri yaptık. Dört durum için de implantlı ve implantsız modeller yaptık. İmplantlı model yapılırken implantın rijiditesi ve uzunluğu; implant hangi kemikler arasındaysa, o kemikler arasında eksize edilen bağın rijiditesi ve uzunluğuyla identik olarak tanımlandı. Her model için dört ölçüm yapıldı: İmplantlı basınç ve çekme, implantsız basınç ve çekme modellerinde ölçümler yapıldı. Tüm ölçümler beşer kere tekrarlandı.

**5.2.2 Skafotrapeziotrapezoid Füzyon (STT) Modellenmesi:** Sonlu elemanlar metoduna dayanarak SAP 2000 programı kullanılarak yapılan el bileği modelimizde Skafotrapeziotrapezoid Füzyon operasyonuna identik olacak şekilde bağlar çıkarıldı. Önce yukarıda modelin yapımında anlatıldığı gibi el bileği kemikleri yapıldı. Trapezium ve trapezoideum tek kemik olarak tanımlandı, pisiform kemik sistem dışı bırakıldı. Skafoid ve trapezoid kompleks arasındaki kırıkdağlar çıkarıldı. Bu üç kemik çevreleri tam korunarak, tek kemik olarak tanımlandı. Diğer kırıkdağlar yerleştirildi, sonra bağlara geçildi. Pisohamat bağ sisteme alınmadı. Önce tüm bağlar daha önceki yerlerine birbirine paralel beş eleman olarak kondu. Skafotrapeziotrapezoid Füzyon yapılırken eksiz edilen bağ, Skafotrapeziotrapezoid bağ, sistemden çıkarıldı (Şekil 57). Ardından implantlar yerleştirildi. İmplant olarak bağ yapısını oluşturduğumuzda kullandığımız paralel elemanlardan bir tanesi kullanıldı. Bu eleman iki kemik arasına bir adet yerleştirildi ve implant gibi davrandı. STT modelinde skafoid ve trapezoid kompleks arasına bir adet implant kondu. Basınç ve çekme modelleri oluşturuldu, analizler yapıldı. Ardından konulan implant çıkarıldı. Füzyone edilen üç kemik zaten tek kemik olarak tanımlandığı için implantlar sistemden uzaklaştırıldığında hiçbir elemanın diziliminde değişiklik olmadı. Basınç ve çekme modeli implantsız olarak da tanımlandı ve bu durumda analizler yapıldı.



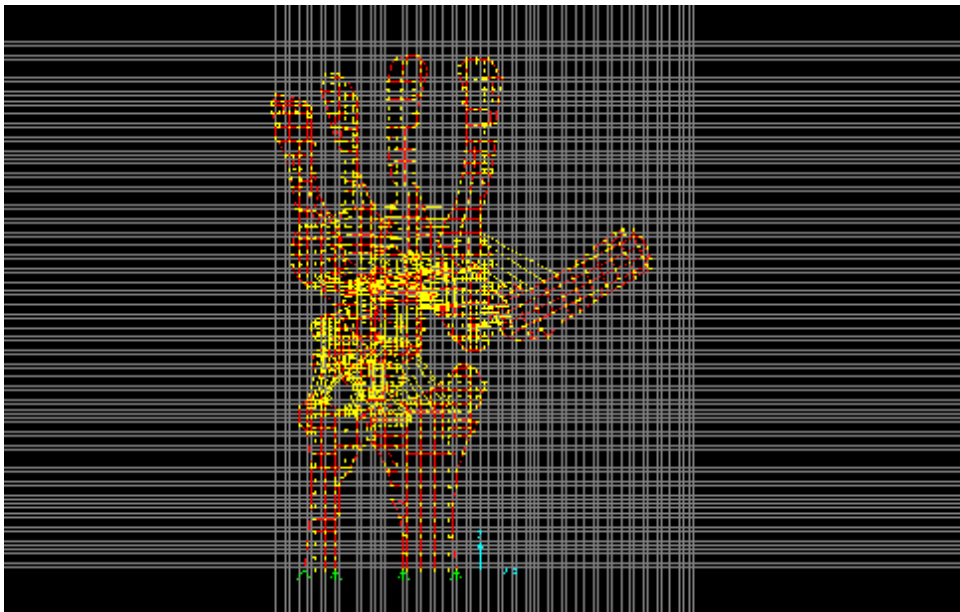
Şekil 57:SAP 2000 STT füzyon

**5.2.3 Dört Köşe Füzyon (DKF) Modellenmesi:** Sonlu elemanlar metoduna dayanarak SAP 2000 programı kullanılarak yapılan el bileği modelimizde dört köşe füzyon operasyonuna identik olacak şekilde bağlar çıkarıldı. Önce yukarıda modelin yapımında anlatıldığı gibi el bileği kemikleri yapıldı. Trapezium ve trapezoideum tek kemik olarak tanımlandı, pisiform kemik sistem dışı bırakıldı. Lunatum, triquetrum, hamatum ve kapitatumun arasındaki kıkırdaklar çıkarıldı. Bu dört kemik çevreleri tam korunarak, tek kemik olarak tanımlandı. Bu dört kemiğin arasında kalan kıkırdakların dışındaki kıkırdaklar yerleştirildi, sonra bağlara geçildi. Pisohamat bağ sisteme alınmadı. Önce tüm bağlar daha önceki yerlerine birbirine paralel beş eleman olarak kondu. Dört köşe füzyon yapılırken eksize edilen bağlar, Lunotriquetral, Triquetrohamatokapitat bağ, Transvers İnterosseöz bağın Kapitohamat bandı sistemden çıkarıldı (Şekil 58). Ardından implantlar yerleştirildi. İmplant olarak bağ yapısını oluşturduğumuzda kullandığımız paralel elemanlardan bir tanesi kullanıldı. Bu eleman iki kemik arasına bir adet yerleştirildi ve implant gibi davrandı. DKF modelinde triquetrum, lunatum, kapitatum ve hamatuma, her iki kemik arasına birer adet olacak şekilde dört adet implant kondu. Basınç ve çekme modelleri oluşturuldu, analizler yapıldı. Ardından konulan dört implant çıkarıldı. Füzyone edilen dört kemik zaten tek kemik olarak tanımlandığı için implantlar sistemden uzaklaştırıldığında hiçbir elemanın diziliminde değişiklik olmadı. Basınç ve çekme modeli implantsız olarak da tanımlandı ve bu durumda analizler yapıldı



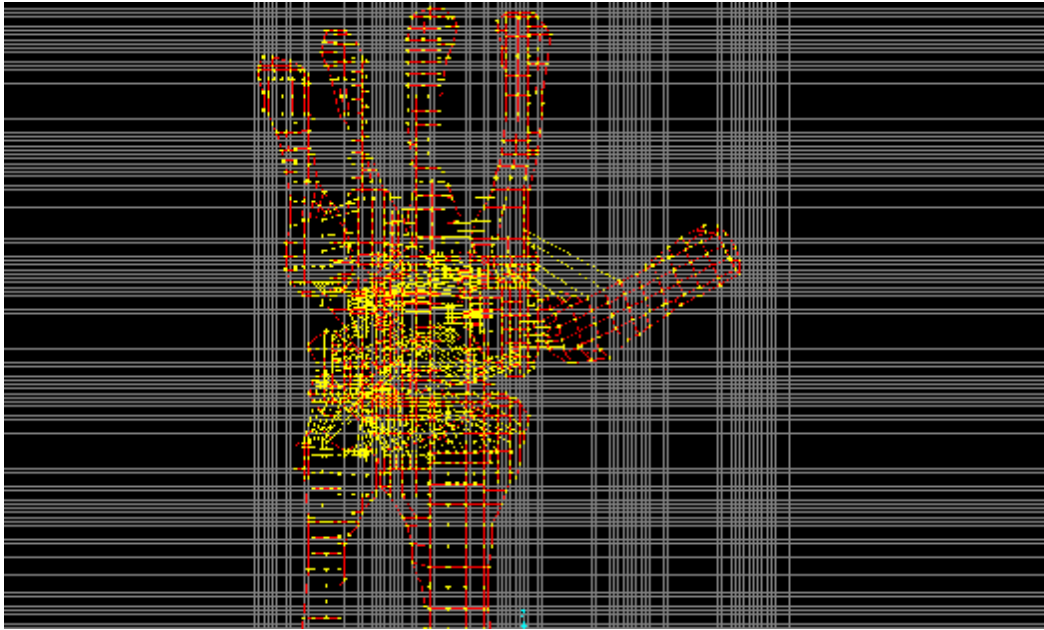
Şekil 58:SAP 2000 DKF

**5.2.4 Dört Köşe Füzyon+Skafoid Eksizyonu Modellenmesi:** Sonlu elemanlar metoduna dayanarak SAP 2000 programı kullanılarak yapılan el bileği modelimizde dört köşe füzyon+skafoid eksizyonu operasyonuna identik olacak şekilde bağlar ve skafoid çıkarıldı. Önce yukarıda modelin yapımında anlatıldığı gibi el bileği kemikleri yapıldı. Trapezium ve trapezoideum tek kemik olarak tanımlandı, pisiform kemik sistem dışı bırakıldı. Ancak skafoid sisteme alınmadı. Lunatum, triquetrum, hamatum ve kapitatumun arasındaki kıkırdaklar çıkarıldı. Bu dört kemik çevreleri tam korunarak, tek kemik olarak tanımlandı. Bu dört kemiğin arasında kalan kıkırdakların dışındaki kıkırdaklar yerleştirildi, sonra bağlara geçildi. Pisohamat bağ sisteme alınmadı. Önce tüm bağlar daha önceki yerlerine birbirine paralel beş eleman olarak kondu. Dört köşe füzyon+skafoid eksizyonu yapılırken eksizye edilen bağlar, Transvers İnterosseöz bağın Kapitohamat bandı, Radioskafoid, Skafokapitat, Skafolunat, Lunotriquetral, Triquetrohamatokapitat, Skafotrapeziotrapezoid bağ, sistemden çıkarıldı (Şekil 59). Ardından implantlar yerleştirildi. İmplant olarak bağ yapısını oluşturduğumuzda kullandığımız paralel elemanlardan bir tanesi kullanıldı. Bu eleman iki kemik arasına bir adet yerleştirildi ve implant gibi davrandı. DKF modelinde triquetrum, lunatum, kapitatum ve hamatuma, her iki kemik arasına birer adet olacak şekilde dört adet implant kondu. Basınç ve çekme modelleri oluşturuldu, analizler yapıldı. Ardından konulan dört implant çıkarıldı. Füzyone edilen dört kemik zaten tek kemik olarak tanımlandığı için implantlar sistemden uzaklaştırıldığında hiçbir elemanın diziliminde değişiklik olmadı. Basınç ve çekme modeli implantsız olarak da tanımlandı ve bu durumda analizler yapıldı.



Şekil 59: SAP 2000 DKF+Skafoid eksizyonu

**5.2.5 Kapitohamat Füzyon (KH) Modellenmesi:** Sonlu elemanlar metoduna dayanarak SAP 2000 programı kullanılarak yapılan el bileği modelimizde kapitohamat füzyon operasyonuna identik olacak şekilde bağlar çıkarıldı. Önce yukarıda modelin yapımında anlatıldığı gibi el bileği kemikleri yapıldı. Trapezium ve trapezoideum tek kemik olarak tanımlandı, pisiform kemik sistem dışı bırakıldı. Kapitatum ve hamatum arasındaki kıkırdaklar çıkarıldı. Bu iki kemik çevreleri tam korunarak, tek kemik olarak tanımlandı. Diğer kıkırdaklar yerleştirildi, sonra bağlara geçildi. Pisohamat bağ sisteme alınmadı. Önce tüm bağlar daha önceki yerlerine birbirine paralel beş eleman olarak kondu. Kapitohamat füzyon yapılırken eksize edilen bağ, Transvers İnterosseöz bağın Kapitohamat bandı, sistemden çıkarıldı (Şekil 60). Ardından implant yerleştirildi. İmplant olarak bağ yapısını oluşturduğumuzda kullandığımız paralel elemanlardan bir tanesi kullanıldı. Bu eleman iki kemik arasına bir adet yerleştirildi ve implant gibi davrandı. KH modelinde kapitatum ve hamatum arasına bir adet implant kondu. Basınç ve çekme modelleri oluşturuldu, analizler yapıldı. Ardından konulan implant çıkarıldı. Füzyone edilen iki kemik zaten tek kemik olarak tanımlandığı için implantlar sistemden uzaklaştırıldığında hiçbir elemanın diziliminde değişiklik olmadı. Basınç ve çekme modeli implantsız olarak da tanımlandı ve bu durumda analizler yapıldı.



Şekil 60: SAP 2000 KH füzyon

Füzyonlar yapıldıktan sonra, bağlardaki yük dağılımlarındaki değişiklikler incelendi. Sağlam el bileğinde taşıdığı yükten %10 daha fazla veya %10 daha az yük taşıyan bağlardaki fark anlamlı olarak değerlendirildi.

## **6. BULGULAR**

**6.1.1 Sağlam El Bileğinde Nötral Pozisyonda Çekme Modeli:** Bu modelde el bileğindeki 16 bağın kuvvet dağılımı analiz edildi ve Newton (N) birimiyle not edildi.

Tablo 5-Sağlam el bileğinde bağlara aktarılan yüklerin dağılımı

BAĞLAR	BAĞLARDAKİ KUVVET DAĞILIMI (N)
Radioskafoid	23,5
Radiokapitat	67,5
Uzun Radiolunat	14,5
Ulnokapitat	64
Skafokapitat	6
Transvers Karpal Ligaman	41,5
Kısa Radiolunat	8
Ulnolunat	31,5
Ulnotriquetral	16
Skafolunat	60,5
Lunotriquetral	74,5
Triquetrohmatokapitat	14
Skafotrapeziotrapezoid	53,5
Transvers İnterosseöz	Sol:Kapitohamat bant (KH bant): 19,5 Sağ:Kapitotrapezoid bant (KT bant): 10
Radiotriquetral	0
Triquetroskafotrapeziotrapezoid	42

Sağlam el bileğinde nötral pozisyonda yapılan çekme modelinde yapılan ölçümlerde elde edilen sonuçlar yukarıdaki tabloda verilmiştir. Radiotriquetral bağın hiç yük almadığı saptandı.

### **6.1.2 Sağlam El Bileğinde Nötral Pozisyonda Basınç Modeli**

Radius ve ulnaya gelen yükler ölçüldü. Yüklerin her iki kemik arasındaki oranı karşılaştırıldı. Her iki kemiğe gelen yüklerin vertikal ve horizontal komponentleri vardır. Her iki kemiğin vertikal yükleri kendi içinde toplanarak 143'e bölünerek yüzde değerinde oran alındı. Basınç altındaki yüklenmede el bileğine gelen yüklerin %81'inin radiusa, %19'unun ulnaya aktarıldığı saptandı.

### 6.1.3 STT Füzyon Yapılmış El Bileğinde Nötral Pozisyonda Çekme Modeli

Tablo 6-STT füzyon yapılmış el bileğinde bağlara aktarılan yüklerin dağılımı

BAĞLAR	BAĞLARDAKI KUVVET DAĞILIMI (N)
Radioskafoid	25,5 +
Radiokapitat	71,1
Uzun Radiolunat	23,4 +
Ulnokapitat	55,5 -
Skafokapitat	0 -
Transvers Karpal Ligaman	0 -
Kısa Radiolunat	4,3 -
Ulnolunat	18,2 -
Ulnotriquetral	16,5
Skafolunat	51,5 -
Lunotriquetral	66,2 -
Triquetrohamatokapitat	0 -
Skafotrapeziotrapezoid	Eksize
Transvers İnterosseöz	KH bant: 14,4 - KT bant: 5,8 -
Radiotriquetral	0
Triquetroskafotrapeziotrapezoid	5,5 -

+: anlamlı artış -: anlamlı düşüş

STT füzyon sonrası yapılan ölçümlerde bağlardaki yük dağılımında belirgin değişiklikler olduğu görülmüştür. Skafokapitat, Triquetrohamatokapitat, Transvers Karpal Ligamanların ise hiç yük taşımadığı görüldü. Radiotriquetral bağın yine yük taşımadığı görüldü. En belirgin artış uzun Radiolunat bağda, en belirgin düşüş Triquetroskafotrapeziotrapezoid bağda saptandı. Çekme modellerinde analizler implantlı ve implantsız yapıldı, sonuçlarda fark görülmedi.

#### 6.1.4 STT Füzyon Yapılmış El Bileğinde Nötral Pozisyonda Basınç Modeli

Radius ve ulnaya gelen yükler ölçüldü. Yüklerin her iki kemik arasındaki oranı karşılaştırıldı. Her iki kemiğe gelen yüklerin vertikal ve horizontal komponentleri vardır. Her iki kemiğin vertikal yükleri kendi içinde toplanarak 143'e bölünerek yüzde değerinde oran alındı. Önce implantlı modelde ölçümler yapıldı. Basınç altındaki yüklenmede el bileğine gelen yüklerin %74,6'sının radiusa, %24,3'ünün ulnaya aktarıldığı saptandı. Ardından ölçümler implantsız modelde tekrarlandı. Aynı basınç altında el bileğine gelen yüklerin %74'ünün radiusa, %25'inin ulnaya aktarıldığı görüldü.

#### 6.1.5 DKF Yapılmış El Bileğinde Nötral Pozisyonda Çekme Modeli

İmplantlı model

Tablo 7- DKF yapılmış el bileğinde bağlara aktarılan yüklerin dağılımı-implantlı model

BAĞLAR	BAĞLARDAKI KUVVET DAĞILIMI (N)	
Radioskafoid	39,8	+
Radiokapitat	49,4	-
Uzun Radiolunat	19,8	+
Ulnokapitat	108,6	+
Skafokapitat	6,7	+
Transvers Karpal Ligaman	0	-
Kısa Radiolunat	8,1	
Ulnolunat	9	-
Ulnotriquetral	0	-
Skafolunat	60,4	
Lunotriquetral	Eksize	
Triquetrohamatokapitat	Eksize	
Skafotrapeziotrapezoid	40,7	-
Transvers İnterosseöz	KH bant: Eksize	KT bant: 12,2 +
Radiotriquetral	0	
Triquetroskafotrapeziotrapezoid	41,7	

+: anlamlı artış -: anlamlı düşüş

DKF sonrası implantlı yapılan ölçümlerde bağların taşıdığı yüklerde anlamlı değişiklikler olduğu görüldü. Ulnotriquetral ve Transvers Karpal Ligamana hiç yük gelmediği görüldü. Radiotriquetral bağa yine yük gelmediği görüldü. Yük aktarımında en belirgin artış Ulnokapitat bağda, en belirgin düşüşse Ulnolunat bağda saptandı.

#### İmplantsız model

Tablo 8- DKF yapılmış el bileğinde bağlara aktarılan yüklerin dağılımı-İmplantsız model

BAĞLAR	BAĞLARDAKI KUVVET DAĞILIMI (N)
Radioskafoid	33,7 +
Radiokapitat	56,2 -
Uzun Radiolunat	21 +
Ulnokapitat	52,9 -
Skafokapitat	9,3 +
Transvers Karpal Ligaman	0 -
Kısa Radiolunat	21,5 +
Ulnolunat	34
Ulnotriquetral	4,9 -
Skafolunat	60,5
Lunotriquetral	Eksize
Triquetrohmatokapitat	Eksize
Skafotrapeziotrapezoid	44,9 -
Transvers İnterosseöz	KH bant: Eksize KT bant: 11,8 +
Radiotriquetral	0
Triquetroskafotrapeziotrapezoid	39,4

+: anlamlı artış -: anlamlı düşüş

DKF sonrası implantsız yapılan ölçümlerde bağların taşıdığı yüklerde anlamlı değişiklikler saptandı. Transvers Karpal Ligamana hiç yük gelmediği görüldü. Radiotriquetral bağın yine hiç yük aktarmadığı görüldü. Yük aktarımında en belirgin artış kısa Radiolunat bağda, en belirgin düşüşse Ulnotriquetral bağda saptandı.

### 6.1.6 DKF Yapılmış El Bileğinde Nötral Pozisyonda Basınç Modeli

Radius ve ulnaya gelen yükler ölçüldü. Yüklerin her iki kemik arasındaki oranı karşılaştırıldı. Her iki kemiğin vertikal yükleri kendi içinde toplanarak 143'e bölünerek yüzde değerinde oran alındı. Önce implantlı modelde ölçümler yapıldı. Basınç altındaki yüklenmede el bileğine gelen yüklerin %75,5'inin radiusa, %23,1'inin ulnaya aktarıldığı saptandı. Ardından ölçümler implantsız modelde tekrarlandı. Aynı basınç altında el bileğine gelen yüklerin %76,1'inin radiusa, %22,5'inin ulnaya aktarıldığı görüldü.

### 6.1.7 DKF+Skafoit Eksizyonu Yapılmış El Bileğinde Nötral Pozisyonda Çekme Modeli

İmplantlı ve implantsız ölçümlerde sonuçlar aynı bulundu.

Tablo 9- DKF+Skafoit Eksizyonu yapılmış el bileğinde bağlara aktarılan yüklerin dağılımı

BAĞLAR	BAĞLARDAKI KUVVET DAĞILIMI (N)
Radioskafoit	Eksize
Radiokapitat	45 -
Uzun Radiolunat	32,8 +
Ulnokapitat	45 -
Skafokapitat	Eksize
Transvers Karpal Ligaman	0 -
Kısa Radiolunat	25,7 +
Ulnolunat	32,2
Ulnotriquetral	0 -
Skafolunat	Eksize
Lunotriquetral	Eksize
Triquetrohamatokapitat	Eksize
Skafoitrapeziotrapezoid	Eksize
Transvers İnterosseöz	KH bant: Eksize KT bant: 43,4 +
Radiotriquetral	0
Triquetroskafoitrapeziotrapezoid	33,5 -

+ : anlamlı artış - : anlamlı düşüş

DKF+skafoid eksizyonu esnasında bağların çoğu çıkarılır. Kalan bağlardan yük aktarımında en belirgin artış Transvers İnterosseöz Bağ'ın Kapito-Trapezoid komponentinde, en belirgin düşüşse Radiokapitat bağda saptandı. Transvers Karpal Ligaman ve Ulnotriquetral bağların hiç yük taşımadığı, Radiotriquetral bağa ise yine hiç yük gelmediği görüldü.

#### **6.1.8 DKF+Skafoid Eksizyonu Yapılmış El Bileğinde Nötral Pozisyonda Basınç Modeli**

Radius ve ulnaya gelen yükler ölçüldü. Yüklerin her iki kemik arasındaki oranı karşılaştırıldı. Her iki kemiğin vertikal yükleri kendi içinde toplanarak 143'e bölünerek yüzde değerinde oran alındı. Önce implantlı modelde ölçümler yapıldı. Basınç altındaki yüklenmede el bileğine gelen yüklerin %97'sinin radiusa, %3'ünün ulnaya aktarıldığı saptandı. İmplantsız modelde de sonuçların aynı olduğu görüldü.

### 6.1.9 KH Füzyon Yapılmış El Bileğinde Nötral Pozisyonda Çekme Modeli

#### İmplantlı Model

Tablo 10-KH füzyon yapılmış el bileğinde bağlara aktarılan yüklerin dağılımı-implantlı model

BAĞLAR	BAĞLARDAKI KUVVET DAĞILIMI (N)
Radioskafoid	38,8 +
Radiokapitat	65,6
Uzun Radiolunat	17,4 +
Ulnokapitat	58,8
Skafokapitat	7,6 +
Transvers Karpal Ligaman	0 -
Kısa Radiolunat	5,9 -
Ulnolunat	23,3 -
Ulnotriquetral	15,7
Skafolunat	61,2
Lunotriquetral	70,4
Triquetrohamatokapitat	0 -
Skafotrapeziotrapezoid	43,7 -
Transvers İnterosseöz	KH bant: Eksize KT bant: 7 -
Radiotriquetral	0
Triquetroskafotrapeziotrapezoid	35,2 -

+: anlamlı artış -: anlamlı düşüş

KH füzyon sonrası implantlı yapılan ölçümlerde bağlara gelen yüklerde değişiklikler saptandı. Triquetrohamatokapitat ve Transvers Karpal Ligamana hiç yük gelmediği görüldü. Radiotriquetral bağın yine hiç yük taşımadığı görüldü. Yük aktarımında en belirgin artış Radioskafoid bağda, en belirgin düşüşse Tranvers İnterosseöz bağın Kapitrapezoid bandında saptandı.

## İmplantsız model

Tablo 11-KH füzyon yapılmış el bileğinde bağlara aktarılan yüklerin dağılımı-İmplantsız model

BAĞLAR	BAĞLARDAKI KUVVET DAĞILIMI (N)
Radioskafoid	35,5 +
Radiokapitat	69,2
Uzun Radiolunat	14,6
Ulnokapitat	61,8
Skafokapitat	10 +
Transvers Karpal Ligaman	0 -
Kısa Radiolunat	6,3 -
Ulnolunat	24,2 -
Ulnotriquetral	10,4 -
Skafolunat	63,5
Lunotriquetral	69,9
Triquetrohamatokapitat	0 -
Skafotrapeziotrapezoid	45 -
Transvers İnterosseöz	KH bant: Eksize KT bant: 10,4
Radiotriquetral	0
Triquetroskafotrapeziotrapezoid	39,5

+: anlamlı artış -: anlamlı düşüş

KH füzyon sonrası implantsız yapılan ölçümlerde bağlara gelen yüklerde değişiklikler saptandı. Triquetrohamatokapitat ve Transvers Karpal Ligamana hiç yük gelmediği görüldü. Radiotriquetral bağa yine hiç yük gelmediği görüldü. Yük aktarımında en belirgin artış Skafokapitat bağda, en belirgin düşüşse Ulnotriquetral bağda saptandı.

#### **6.1.10 KH Füzyon Yapılmış El Bileğinde Nötral Pozisyonda Basınç Modeli**

Radius ve ulnaya gelen yükler ölçüldü. Yüklerin her iki kemik arasındaki oranı karşılaştırıldı. Her iki kemiğin vertikal yükleri kendi içinde toplanarak 143'e bölünerek yüzde değerinde oran alındı. Önce implantlı modelde ölçümler yapıldı. Basınç altındaki yüklenmede el bileğine gelen yüklerin %74,6'sının radiusa, %24'ünün ulnaya aktarıldığı saptandı. Ardından ölçümler implantsız modelde tekrarlandı. Aynı basınç altında el bileğine gelen yüklerin %74,6'sının radiusa, %24'ünün ulnaya aktarıldığı görüldü.

## **7. TARTISMA**

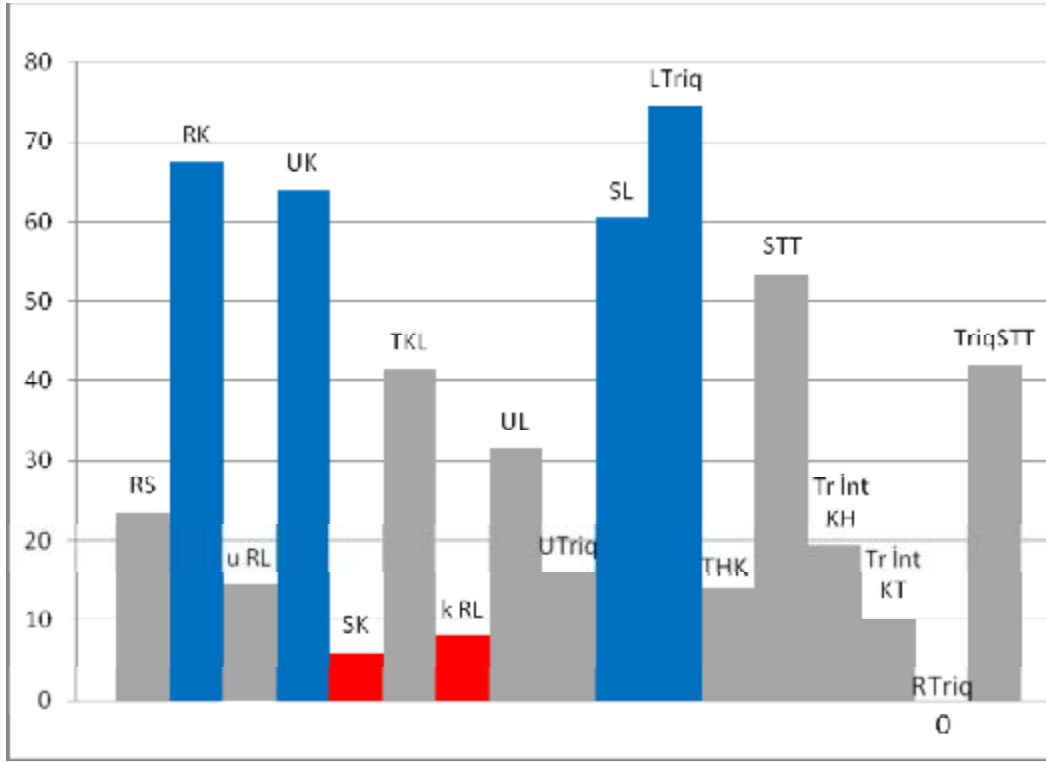
El bileği patolojilerini aydınlatmak, el bileğinde uygulanan operasyonların biyomekanik sonuçlarını incelemek ve operasyonların patolojileri hangi mekanizma ile giderdiğini anlamak için, el bileği yük dağılımları üzerine araştırmalar yapılmıştır. Bu konuda çok fazla çalışma yapılmış olmasına rağmen hala bir çok sorunun cevabı bulunamamıştır. Biz iki boyutlu bilgisayar modeli kullanarak, el bileğinde uygulanan sınırlı karpal füzyonlardan üçünü inceledik. Sınırlı karpal füzyon sonrası el bileği yük dağılımı üzerine daha önce yapılmış biyomekanik çalışmalarda sıklıkla eklemlerdeki basınç değişikliği ölçülmüştür. Ancak biz literatürde bağlardaki yük değişikliklerinin incelendiği bir çalışmaya rastlamadık.

Biz çalışmamızda sınırlı karpal füzyonlar sonrası el bileği bağlarındaki yük değişikliklerini ve radiusla ulnaya gelen yüklerin değişikliklerini araştırdık. Ayrıca füzyonlar sonrası implantlar çıkarıldığında meydana gelen değişiklikleri de inceledik. Bağlardaki yük değişiklerini çekme modeliyle, radius ve ulnaya gelen yüklerdeki değişiklikleri ise basınç modeliyle inceledik. Her uygulanan füzyon sonrası birçok bağda yük dağılımının değiştiğini saptadık. Mevcut yükünden % 10'dan fazla artış veya %10'dan daha fazla düşüş olan bağlardaki değişiklikleri anlamlı kabul ettik.

### **7.1 SAğLAM EL BİLEĞİ**

Nötral pozisyonda sağlam el bileğinde çekme ve basınç modellerini oluşturduk. Pisohamat bağın yük aktarımında rolü olmadığı için sisteme alınmadığından daha önce bahsetmiştik. Önce çekme modeli sonuçlarını inceledik. En fazla yük taşıyan bağın Lunotriquetral bağ olduğunu gördük. Karpal bağlar arasında en fazla yük taşıyan bağlar; Lunotriquetral, Skafolunat, Ulnokapitat ve Radiokapitat bağlardır (Şekil 61)(Grafik 1).

Grafik 1-Sağlam el bileğinde bağların yük dağılımı, Newton cinsinden.



Mavi: Belirgin fazla yük taşıyan bağlar

Kırmızı: Belirgin az yük taşıyan bağlar

Gri: Diğer bağlar

Nötral pozisyonda çekme modeli incelendiğinde en fazla yüklenmenin radius, skafoid, lunatum ve kapitatum arasında bir üçgende olduğu görülmektedir. Bu bulgu Mayfield'in karpal instabiliteleri değerlendirdiği çalışmayla uyumlu bulunmuştur[52]. Mayfield'in çalışmasında perilunat ve lunat çıkıkları analiz edilmiştir. En düşük dereceyi (Evre 1) Skafolunat diastazis, en yüksek dereceyi de (Evre 4) lunat çıkık oluşturmuştur. Mayfield ve arkadaşlarının yaptığı bu kadavra çalışmasında karpal instabilitenin en sık sebebi olan bu durumların Radioskafoid ve Skafolunat bağın rüptürüyle bağlantılı olduğu saptanmıştır. Mayfield çalışmasında anlık rotasyon merkezinin bizim yüklenmeyi fazla bulduğumuz bölgeden geçtiğini bulmuştur. Bu bölgenin tam ortasında lunatum bulunmaktadır. El bileğinin nötral pozisyondaki çekme modelinde en belirgin yük aktarımı perilunat bölgede olmaktadır. El bileğinin sık karşılaşılan ve en önemli patolojilerinden biri sayılan Kienböck Hastalığı oluşma mekanizması henüz aydınlatılamadı. Çalışmamızda elde ettiğimiz veriler doğrultusunda lunatumun sürekli belirgin yük altında kaldığı görülmüştür. Bu veri lunatumun avasküler nekrozunun neden sık olduğunu açıklayabilir.



Şekil 61: Sağlam el bileğinde yük aktarımının fazla olduğu bağlar

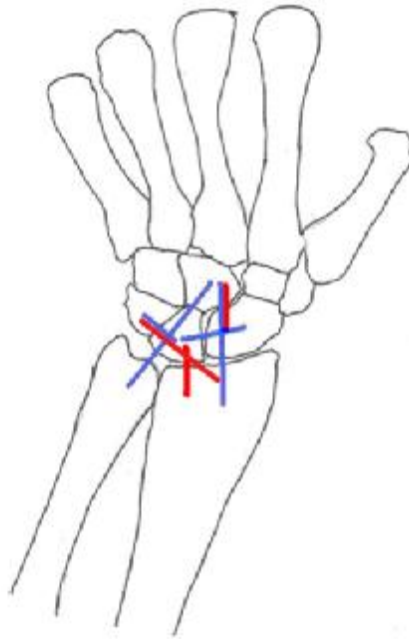
Seber ve arkadaşlarının 2008’de yaptığı çalışmada, iki boyutlu bilgisayar modeli kullanılarak el bileği bağları yük dağılımı incelenmiştir. 143 N çekme uygulanarak tüm bağlara gelen yükler ölçülmüş, bağlar tek tek veya ikili olarak çıkarılarak ölçümler tekrarlanmıştır. Bu çalışmada da en fazla yük taşıyan bağlar Lunotriquetral, Skafolunat, Ulnokapitat ve Radiokapitat bağlar olarak saptanmıştır[19]. Bu bulgular bizim çalışmamızla uyumlu bulunmuştur.

Sağlam el bileğinde en az yük taşıyan bağlar Skafokapitat, kısa Radiolunat ve Radiotriquetral bağlardır. Radiotriquetral bağın hiç yük taşımadığı görülmüştür(Şekil62) (Grafik1). Yukarıda bahsedilen Seber ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada da en az yük taşıyan bağlar Skafokapitat, kısa Radiolunat ve Radiotriquetral bağlardır[19]. Radiotriquetral bağın yük taşımadığı bu çalışmada da saptanmıştır. Bazı araştırmacıların bağ olarak kabul ettiği yapıları, diğer bazı araştırmacılar ise kapsüler kalınlaşma olarak kabul etmektedirler. Radiotriquetral bağın yük aktarımında rol almaması; bize bu açıdan değerlendirilmesi gerektirdiğini düşündürdü. Ancak bu bağın yapısının incelenmesi başka bir çalışmanın konusu olabilir.



Şekil 62: Sağlam el bileğinde yük aktarımının belirgin az olduğu bağlar

Bağların hepsinin sağlam olduğunda; belirli dengede oldukları ve herbirinin belirli bir tansiyona sahip oldukları bilinmektedir. Çalışmamızda; yük dağılımında bu denge korunurken, kompensasyonun aynı aks üzerinde bulunan bağlarda olduğu görülmüştür. Radiokapitat bağ en fazla yük taşıyan bağ iken, Skafokapitat bağ en az yük taşıyan bağlar arasındadır (Şekil 61, 62,63). Lunotriquetral bağ çok fazla yük taşıyor iken, Radiotriquetral bağın hiç yük taşıması da bu durumu desteklemektedir.



Şekil 63: Sağlam el bileğinde yük dağılımının belirgin fazla ve az olduğu bağlar

Çekme modelinin ardından sağlam el bileğinde nötral pozisyonda basınç modelinin sonuçlarını inceledik. El bileğine gelen yüklerin %81'inin radiusa, %19'unun ulnaya aktarıldığı görüldü. Bu değerler daha önce yapılan çalışmalarla uyumlu bulundu. Horii ve arkadaşlarının çalışmasında[38] yüklerin %78'inin radiusa ve %22'sinin ise ulnaya aktarıldığı saptanmıştır. Manal ve arkadaşlarının çalışmasında [42] yüklerin %72,8'inin radiusa, %27, 2'sinin ulnaya aktarıldığı görülmektedir. Genda ve arkadaşlarının çalışmasında[41] yüklerin %88'i radiusa, %12'si ulnaya gelmektedir. Çalışmamızın sonuçları bu çalışmalarla uyumludur. Iwasaki ve arkadaşlarının yaptığı, üç boyutlu bilgisayar simülasyonunun kullanıldığı çalışmada[40], yüklerin %83'ünün radiusa ve %17'sinin ise ulnaya aktarıldığı açıkça gözükmemektedir. Iwasaki ve arkadaşları çalışmalarında, bağlar arasındaki değerler incelemeseler de, proksimalde yükün % 40'ının Skafolunat ekleme, %60'ının ise Lunotriquetral ekleme aktarıldığını saptamışlardır. Bizim çalışmamızda da Lunotriquetral ve Skafolunat bağlar en fazla yük alan bağlar arasındadır. Çalışmamızda aynı zamanda Lunotriquetral bağın Skafolunat bağdan daha fazla yük taşıdığı da görülmektedir.

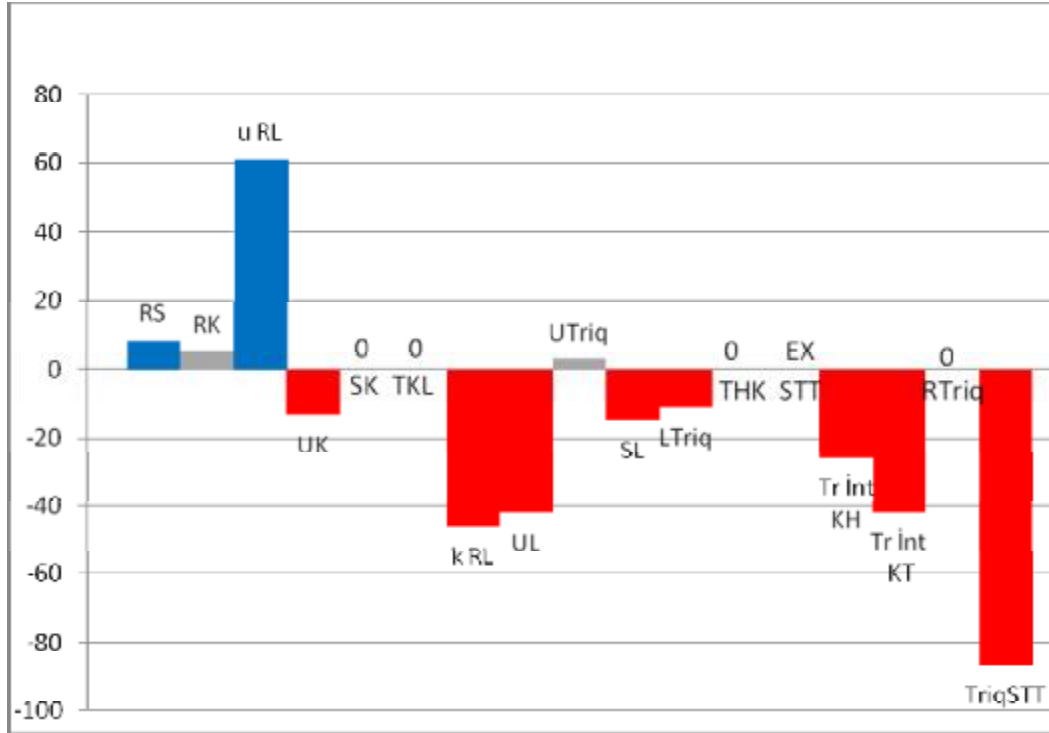
## **7.2 SKAFOTRAPEZİOTRAPEZOİD FÜZYON (STT)**

Çalışmamızda incelediğimiz füzyonlardan ilki STT füzyondur. STT füzyon için çekme değerlerini hem implantlı hem de implantsız iki farklı modelde gerçekleştirdik. Her iki modelde sonuçları aynı bulduk. İmplantlı ve implantsız durumda fark olmaması; operasyondan sonraki dönemde, füzyon gerçekleştikten sonra implantların çıkarılmasının biyomekanik açıdan gerekli olmadığını göstermektedir. Literatürde STT füzyon sonrası implant çıkarılması üzerine herhangi bir veri bulunmamaktadır. Çalışmamız bu anlamdaki ilk çalışmadır. Çekme modelinin ardından, STT sonrası Radius ve Ulna'ya gelen yükleri incelemek için basınç deneyi yaptık.

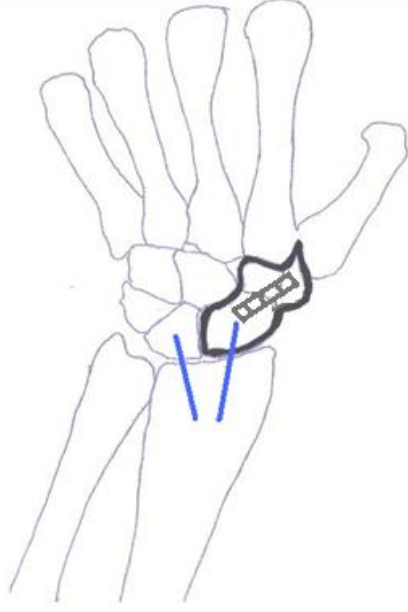
STT füzyon sonrası el bileği bağlarının tamamına yakınının etkilendiği görüldü. Uzun Radiolunat ve Radioskafoid bağlarda yük aktarımında belirgin artış saptandı (Şekil 64,65) (Grafik 2). Radioskafoid bağdaki yük artışının sağlam el bileğine kıyasla %8,5 olduğunu gördük. Anlamlı artışı bağın taşıdığı yükte % 10 ve üzeri değişiklik olarak belirtmiştik. Ancak STT füzyonda Radioskafoid bağda anlamlı değişikliğe yakın bu artışın klinik yansıması olabileceğini düşündük. Ve buradaki % 8,5'lik artışı anlamlı bulduk. Literatürde de STT füzyon sonrası Radioskafoid ekleme basınç artışı olduğunu destekleyen verilere rastladık. Klinik olarak da STT füzyon sonrası Radioskafoid ekleme dejeneratif değişiklik olduğunu

biliyoruz. Radioskafoid artrit STT füzyon sonrası postop önemli bir komplikasyon olmakla beraber; aynı zamanda STT füzyonun kontrendikasyonları arasındadır [53,54,55]. Radioskafoid bağa gelen yükün artması bu durumu desteklemektedir. Bu yüzden Radioskafoid bağdaki artışı anlamlı bulduk. Görüldüğü gibi yüklenmede artış radiusu karpal kemiklere bağlayan bağlarda olmaktadır. Yani STT füzyon yapılmış hastada hareket esnasında saydığımız bağlar doğrultusunda belirgin yük artışı olmaktadır.

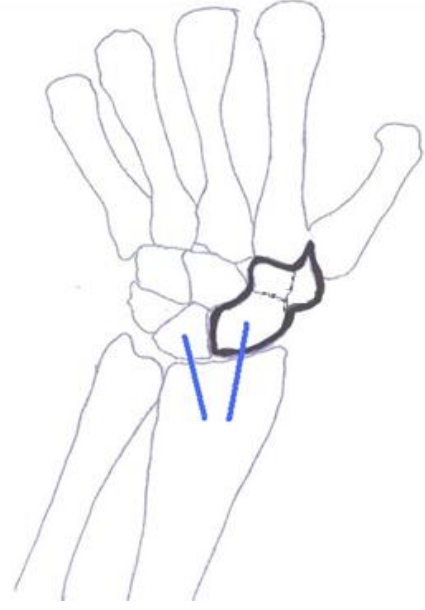
Grafik 2-STT füzyon sonrası implantlı ve implantsız modellerde bağlardaki değişikliğin yüzde değerleri



**Mavi:** Aktardıkları yükte belirgin artış olan bağlar **Kırmızı:** Aktardıkları yükte belirgin düşüş olan bağlar **Gri:** Aktardıkları yükte belirgin değişiklik olmayan bağlar

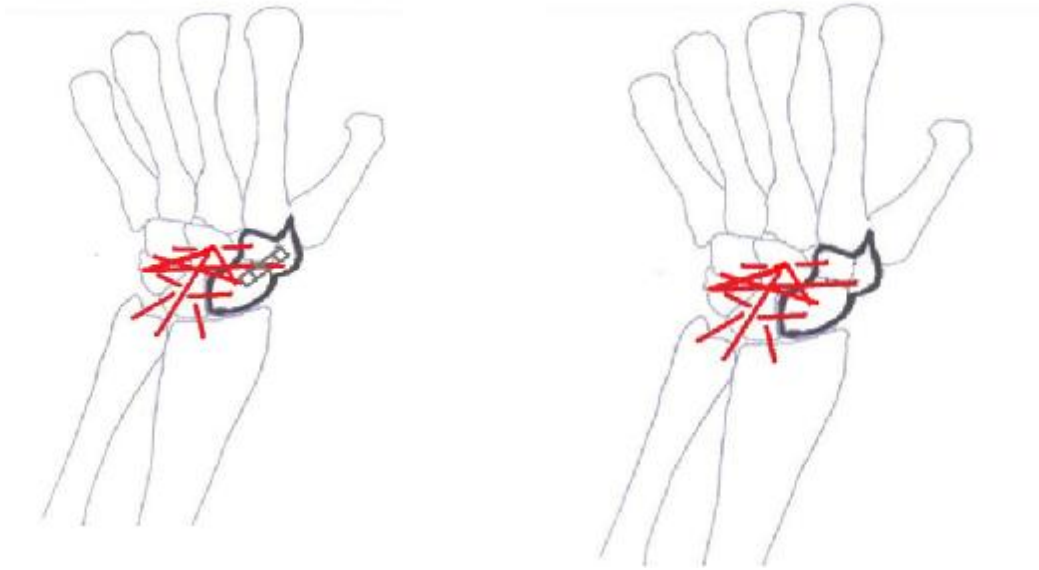


Şekil 64:STT füzyonda implantlı modelde yük aktarımında belirgin artış olan bağlar



Şekil 65: STT füzyonda implantsız modelde yük aktarımında belirgin artış olan bağlar

STT füzyon sonrası Triquetroskafotrapeziotrapezoid, Ulnokapitat, kısa Radiolunat, Ulnolunat, Skafolunat, Lunotriquetral ve Transvers İnterosseöz bağlara gelen yüklerde belirgin düşüş saptandı (Şekil 66,67) (Grafik 2). Transvers Karpal Ligaman, Skafokapitat ve Triquetrokapitohamat bağların hiç yük taşımadığı görüldü. Radiotriquetral bağa yine hiç yük gelmediği görüldü. Burada esas dikkati çeken nokta çok sayıda bağda yüklenmede azalma olmasıdır. Bu durum çekme momenti karşısında el bileğinin özellikle ulnar tarafında gerilme olmadığını, yukarı, istenildiği biçimde füzyon kitlesine aktarıldığı göstermektedir. Burada dikkat çeken bir nokta daha var: STT füzyon sonrası iki bağ dışında, Radiokapitat ve Ultriquetral, tüm bağlarda yüklenmede belirgin biçimde artma yada azalma olduğu görülmektedir. Burdan hareketle STT füzyonun el bileği biyomekaniğini tümüyle değiştirdiği görülmektedir.



Şekil 66:STT füzyonda implantlı modelde yük aktarımında belirgin düşüş olan bağlar Şekil 67:STT füzyonda implantsız modelde yük aktarımında belirgin düşüş olan bağlar.

Horii ve arkadaşları, 1990'da RBSM kullanarak iki boyutlu bir model yapmışlardır[38]. Ve bu modelde Kienböck Hastalığı tedavisinde kullanılan sınırlı karpal füzyonların el bileği yük dağılımına etkisini araştırmışlardır. STT füzyon sonrası Ulnotriquetral, Ulnolunat ve Radiolunat ekleme gelen yüklerde azalma saptamışlardır. Ancak Ulnolunat ve Radiolunat eklemdaki yük değişikliği anlamlı değildir. Radioskafoid ekleme gelen yükte ise artış saptanmıştır. Biz de çalışmamızda Radioskafoid bağa gelen yükte belirgin bir artış saptamıştık.

Kienböck Hastalığı tedavisinde kullanılan sınırlı karpal füzyonların incelendiği bir başka çalışma da Günel ve arkadaşlarının yaptıkları kadavra çalışmasıdır[56]. Sağlam el bileğine 140 N basınç uygulanmıştır. Radiokarpal ve midkarpal eklemlere basınç ölçümleri yapılmıştır. Ardından STT, Skafokapitat ve Kapitohamat füzyon el bileğine uygulanmış ve ölçümler tekrarlanmıştır. STT füzyon sonrası Radioskafoid eklemden yük aktarımında artış; Ulnotriquetral, Ulnolunat ve Radiolunat eklem aralığında ise yük aktarımında azalma saptanmıştır. Bu çalışmanın sonuçları Horii'nin çalışmasının sonuçlarıyla uyumludur. Farklı olarak Ulnolunat ve Radiolunat eklemlere gelen yüklerdeki azalma anlamlıdır. Bu çalışmada da eklemlere gelen yükler ölçülmüş, bağlara gelen yükler ölçülmemiştir. Ancak bulgular bizim çalışmamızda elde ettiğimiz değerlerle uyumlu bulunmuştur.

Augsburger ve arkadaşları 1992’de kadavra çalışması yapmıştır[57]. Yedi sağlam el bileğinde Skafolunat instabilite yaratılmış, ardından STT füzyon uygulanmıştır. Basınca duyarlı filmlerle eklemlere gelen yükler ölçülmüştür. STT füzyon sonrası yükün Radioskafoid ekleme aktarıldığı saptanmış, lunatuma gelen yükte ise belirgin azalma olduğu görülmüştür. Radioskafoid ekleme gelen yükteki artış, çalışmamızda saptadığımız Radioskafoid bağın yük artışını desteklemektedir.

Başka bir kadavra çalışması Short ve arkadaşlarının yaptığı çalışmadır[58]. Altı el bileğinde STT füzyon yapılmış, load cell ve basınca duyarlı film yardımıyla eklemlere gelen yükler değerlendirilmiştir. Short ve arkadaşları çalışmanın sonunda, STT füzyonun yükü Radioskafoid ekleme aktararak Radiolunat ekleme gelen yükü azalttığı, lunatumu böylelikle basınçtan kurtardığını bulmuşlardır. Bu STT füzyonun Kienböck Hastalığı’nın tedavisinde kullanılma prensibine açıklık getirecek bir bulgudur. Biz de çalışmamızda Short ve arkadaşlarının çalışmasına uyacak şekilde STT füzyon sonrası yükün Radioskafoid ekleme aktarıldığını saptadık.

Viegas ve arkadaşları yaptıkları deneysel modelde, sınırlı karpal füzyonların el bileği eklemlerinde yarattığı basınç değişikliklerini incelemişlerdir [59]. Basınca duyarlı filmlerle yaptıkları ölçümlerde beş farklı füzyonu tartışmışlardır. Evre 3 perilunat instabilite yarattıkları modelde, STT füzyon yaptıktan sonra, yük dağılımını sağlam el bileğiyle kıyaslamışlardır. Skafoid fossaya gelen yükte belirgin bir artış olduğunu, lunat fossaya gelen yükte ise belirgin azalma olduğunu görmüşlerdir. Bu deneysel çalışmadan elde edilen verilerle, çalışmamızın sonuçları birbiriyle uyumludur.

Fortin ve arkadaşları kronik skafolunat instabilite ve izole artroz tanısıyla STT füzyon uyguladıkları 19 hastanın uzun dönem takibini yapmışlardır. Hastaların bazılarında postop uzun dönemde ağrı şikayeti olmuştur. Bu hastalar değerlendirildiğinde beş hastada Radioskafoid artroz saptanmıştır[55]. Çalışmamızda saptadığımız STT füzyon sonrası Radioskafoid bağa gelen yükteki artış, STT füzyon sonrası uzun dönemde Radioskafoid artroz gelişmesini açıklamada anlamlı olabilir.

Minami ve arkadaşları Kienböck Hastalığı nedeniyle STT füzyon+lunatum eksizyonu uyguladıkları 15 hastada uzun dönem, 57 ay, takip sonuçlarını derlemişlerdir[60]. Beş hastada postop dönemde herhangi bir şikayet yokken, uzun dönemde ağrı şikayetinin geliştiğini görmüşler ve bu beş hastada Radioskafoid artroz geliştiğini saptamışlardır. Bu derlemede de STT sonrası uzun dönemde, klinik olarak Radioskafoid artrozun gelişebileceği, bunun hiç de

azımsanmayacak bir oranda olduğu gösterilmiştir. STT füzyon sonrası Radioskafoid bağı gelen yükte saptadığımız artış bu durumdan sorumlu olabilir.

Yukarıda saydığımız çalışmalar, bizim çalışmamızı destekler nitelikte olmakla beraber; çalışmamız diğerlerinden bir yönüyle farklıdır. Bugüne kadar STT füzyon üzerine yapılan bilgisayar destekli modeller ve kadavra çalışmalarında, yalnızca eklemlere gelen yükler incelenmiştir. Biz çalışmamızda bunlardan farklı olarak tek tek tüm bağlara gelen yükleri inceledik. Ayrıca STT füzyon sonrası implant çıkarılmasının el bileği yük dağılımına etkisi de ilk defa incelenmiştir.

STT füzyon yapılmış el bileğinde, basınç modelinde Radius ve Ulnaya gelen yükler incelendi. Önce implantlı modelde ölçümler yapıldı. Normal el bileğiyle karşılaştırıldığında belirgin bir fark saptanmadı. Ardından implant çıkarılarak ölçümler tekrarlandı. İmplant çıkarıldığında radius ve ulnaya gelen yükler değişti; ancak ne implantlı model ile ne de sağlam el bileğiyle arasında anlamlı bir fark saptanmadı. Ölçümlerde ulnaya gelen yükte bir miktar artış radiusa gelen yükte ise düşüş görüldü.

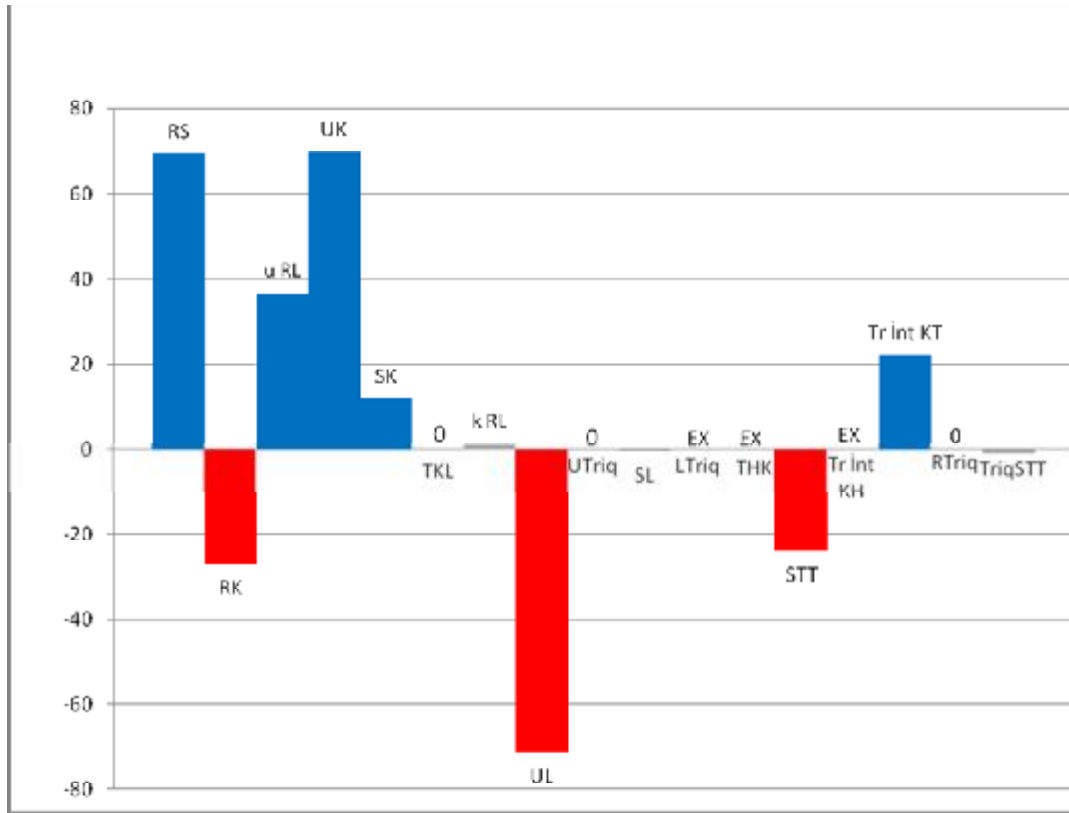
### **7.3 DÖRT KÖŞE FÜZYON (DKF)**

El bileği sınırlı karpal füzyonları üzerine birçok çalışma yapılmıştır. DKF'nin incelendiği çalışmaların çoğu hastaların uzun dönem takiplerinin ve farklı mataryeller kullanılarak yapılan füzyonların sonuçlarının karşılaştırıldığı derlemelerdir. Bu çalışmaların çoğunda kaynama, ROM ve grip değerlendirilmiştir. Çalışmalarda çoğunlukla DKF ile diğer füzyonlar değil Proksimal Sıra Karpektomi karşılaştırılmıştır. DKF'nin el bileği üzerine mekanik etkilerinin incelendiği çalışmalar çok sınırlıdır. Bunlardan en önemli ikisi Skie'nin[61] yaptığı ve Kobza'nın[62] yaptığı çalışmalardır. Biz çalışmamızda, DKF'de skafoidin korunduğu ve eksize edildiği durumların biyomekanik etkilerini karşılaştırdık. Çalışmamız DKF'de implantlı ve implantsız durumların karşılaştırılmasının yapıldığı ilk çalışmadır. Çalışmamızın DKF üzerine daha önce yapılmış çalışmalardan bir farkı da, bağlara gelen yüklerin incelenmiş olmasıdır.

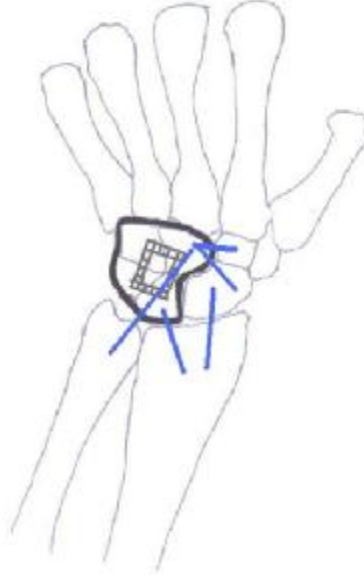
DKF yapılırken farklı yöntemler izlenebilir. Skafoid korunabilir, skafoidin parsiyel eksizyonu veya total eksizyonu uygulanabilir. Radiusun skafoid fossa kırığı ve skafolunat eklemin interosseöz ligaman rüptürü gibi durumlarda skafoid eksize edilmeyebilir. Biz skafoidin eksize edildiği ve eksize edilmediği durumları inceledik.

Önce DKF yapılmış, skafoid eksize edilmemiş el bileğinde implantlı çekme modelinde ölçümler yapıldı. DKF’de bu prosedür sonrası Ulnotriquetral ve Transvers Karpal Ligamannın hiç yük taşımadığı görüldü. Radiotriquetral bağa yine hiç yük gelmediği görüldü. Ulnokapitat, Radioskafoid, Skafokapitat, Transvers İnterosseöz bağın Kapitotrapezoid bandı ve uzun Radiolunat bağlara gelen yüklerde belirgin artış olduğu saptandı (Şekil 68). Radiokapitat, Ulnolunat ve Skafotrapeziotrapezoid bağlara gelen yüklerde anlamlı düşüş görüldü (Şekil 69) (Grafik 3).

Grafik 3-DKF sonrası implantlı modelde bağlardaki değişikliğin yüzde değerleri



**Mavi:** Aktardıkları yükte belirgin artış olan bağlar **Kırmızı:** Aktardıkları yükte belirgin düşüş olan bağlar **Gri:** Aktardıkları yükte belirgin değişiklik olmayan bağlar



Şekil 68: DKF sonrası implantlı modelde yük aktarımında belirgin artış olan bağlar

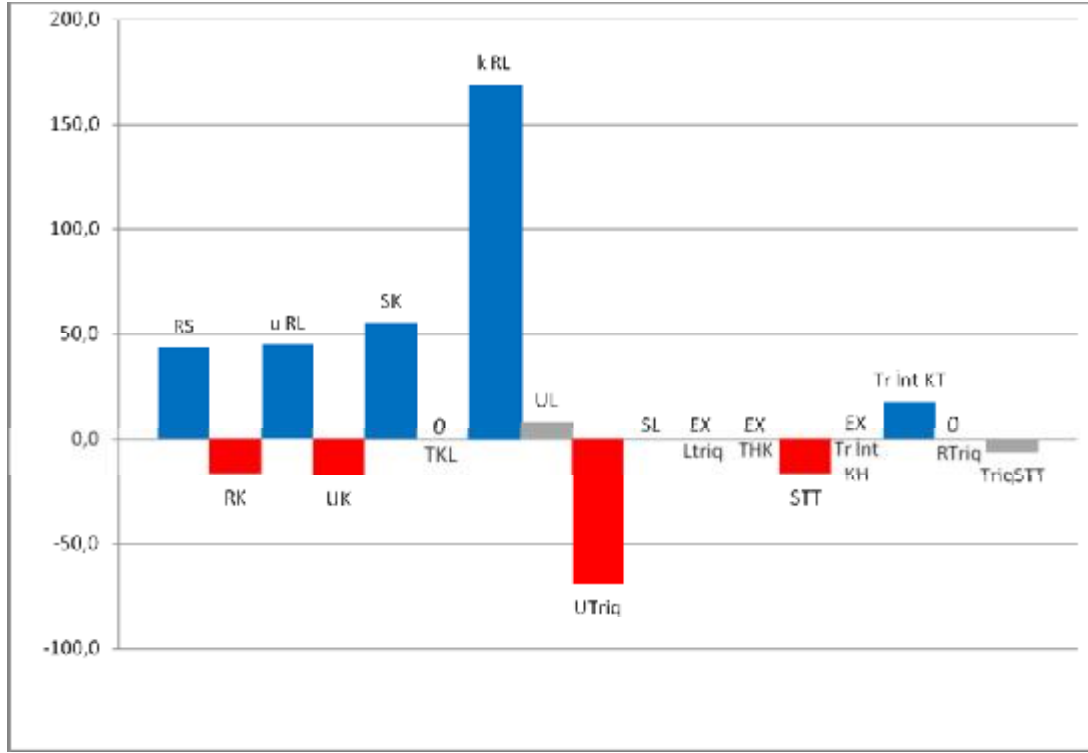


Şekil 69: DKF sonrası implantlı modelde yük aktarımında belirgin düşüş olan bağlar

Skafoidin korunduğu durumda implantların çıkarılması sonrası ölçümler tekrarlandığında değişiklikler saptanmıştır. Transvers Karpal Ligamanın yine yük taşımadığı; Ulnotriquetral bağa ise tekrar yük geldiği görülmüştür. Ulnotriquetral bağa gelen yükün sağlam el bileğiyle kıyaslandığında belirgin ölçüde azalmış olduğu görülmüştür. İmplantlar çıkarıldıktan sonra Radiokapitat, uzun ve kısa Radiolunat, Ulnotriquetral, Ulnolunat, Skafokapitat ve Skafotrapeziotrapezoid bağlara gelen yüklerde artış olduğu görülmüştür. Radioskafoid ve Ulnokapitat bağlara gelen yüklerin ise implantlar çıkarılınca azaldığı

saptanmıştır. Ancak yükler sağlam el bileğiyle kıyaslandığında; Radioskafoid, uzun ve kısa Radiolunat, Transvers İnterosseöz bağın Kapitotrapezoid bandı ve Skafokapitat bağların daha fazla yük taşıdığı, Radiokapitat, Ulnokapitat, Ulnotriquetral ve Skafotrapeziotrapezoid bağların ise daha az yük taşıdığı görülmüştür (Şekil 70,71) (Grafik 4).

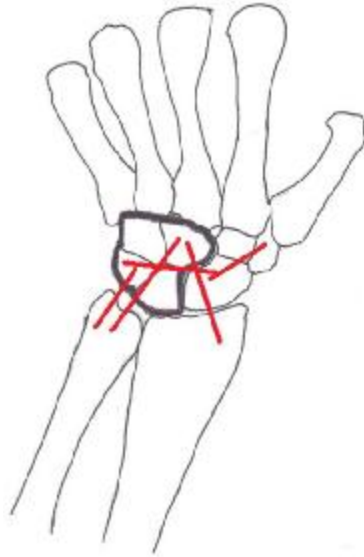
Grafik 4-DKF sonrası implantsız modelde bağlardaki değişikliğin yüzde değerleri



**Mavi:** Aktardıkları yükte belirgin artış olan bağlar **Kırmızı:** Aktardıkları yükte belirgin düşüş olan bağlar **Gri:** Aktardıkları yükte belirgin değişiklik olmayan bağlar



Şekil 70: DKF sonrası implantsız modelde yük aktarımında belirgin artış olan bağlar

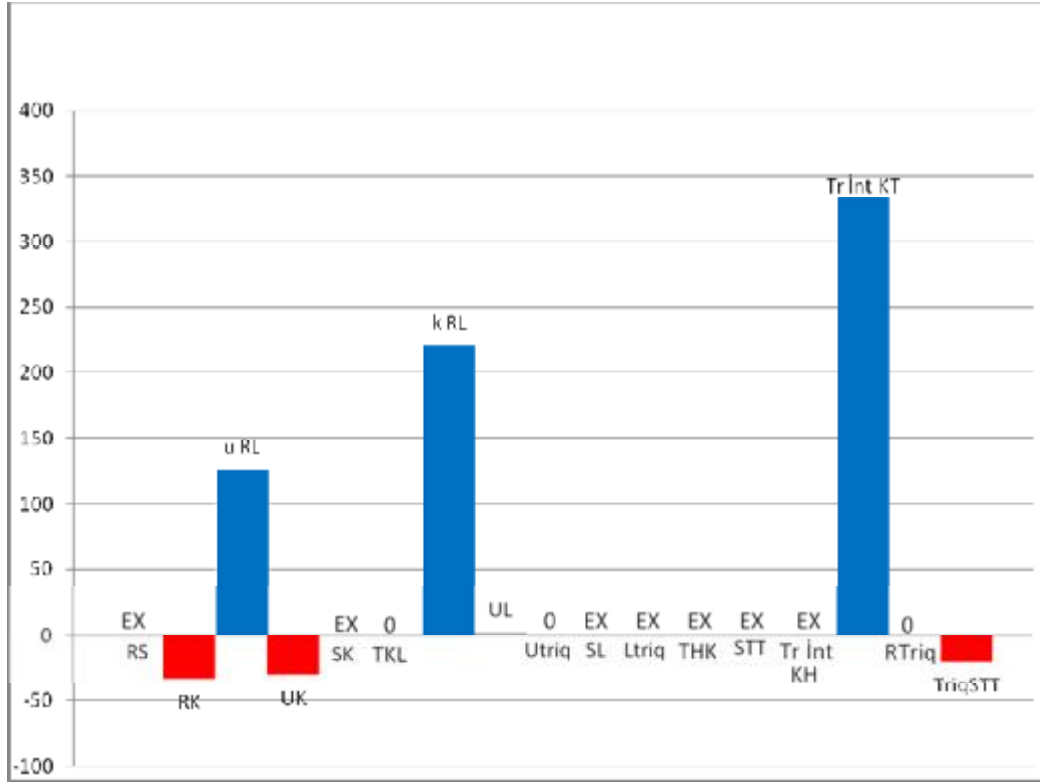


Şekil 71: DKF sonrası implantsız modelde yük aktarımında belirgin düşüş olan bağlar

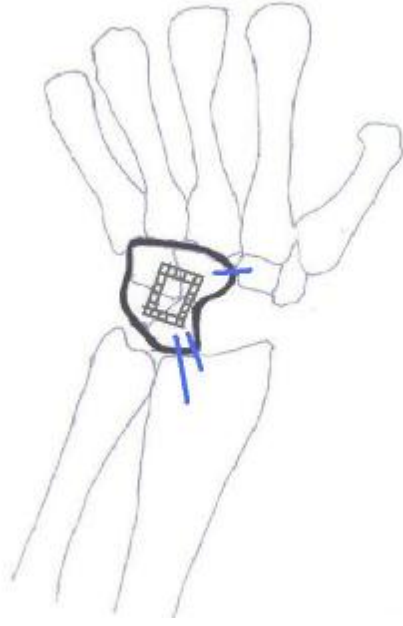
Skafoidin korunduğu DKF’de implantları çıkardığımızda önemli bulduğumuz nokta Radiolunat bağlara gelen yükün artmasıdır. Diğer bağlardaki değişikliklerin kliniğe yansması hakkında tahmin yürütemeyiz. Ancak Radiolunat bağdaki yük artışının postop gelişen Radiolunat artritlerle bağlantılı olabileceğini düşünebiliriz. Radiolunat artrit DKF sonrası beklediğimiz bir komplikasyon[63]. Füzyon geliştikten sonra implantların çıkarılmasının bu komplikasyonu artırıcı bir rolü olduğu düşünülebilir.

Skafoidin korunduğu modelin ardından; DKF yapılmış, skafoid eksize edilmiş el bileğinde implantlı çekme modelinde ölçümler yapıldı. İmplantlı ve implantsız modelde sonuçlar aynı bulundu. Bu prosedür sonrası Ulnotriquetral ve Transvers Karpal Ligamannın hiç yük taşımadığı görüldü. Radiotriquetral bağa yine yük gelmediği görüldü. Uzun Radiolunat, kısa Radiolunat ve Transvers İnterosseöz bağın Kapitotrapezoid bandına gelen yüklerde belirgin artış olduğu saptandı (Şekil 72,73). Triquetroskafotrapeziotrapezoid, Radiokapitat ve Ulnokapitat bağlara gelen yüklerde anlamlı düşüş görüldü (Şekil 74,75) (Grafik 5).

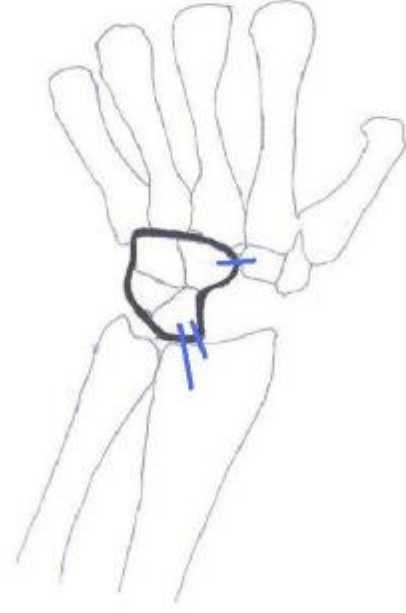
Grafik 5-DKF+skafoid eksizyonu sonrası implantlı ve implantsız modellerde bağlardaki değişikliğin yüzde değerleri



**Mavi:** Aktardıkları yükte belirgin artış olan bağlar **Kırmızı:** Aktardıkları yükte belirgin düşüş olan bağlar **Gri:** Aktardıkları yükte belirgin değişiklik olmayan bağlar



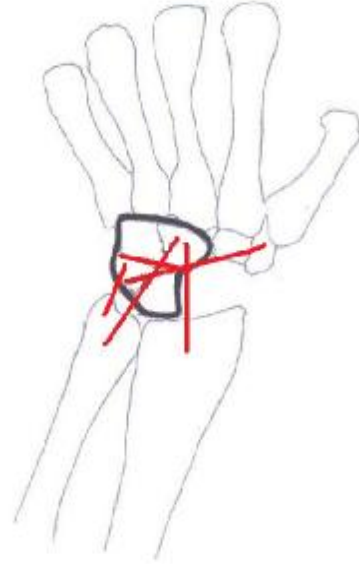
Şekil 72: DKF+Skafoid eksizyonu sonrası implantlı modelde yük aktarımında belirgin artış olan bağlar



Şekil 73: DKF+Skafoid eksizyonu sonrası implantsız modelde yük aktarımında belirgin artış olan bağlar



Şekil 74: DKF+Skafoid eksizyonu sonrası implantlı modelde yük aktarımında belirgin düşüş olan bağlar



Şekil 75: DKF+Skafoid eksizyonu sonrası implantsız modelde yük aktarımında belirgin düşüş olan bağlar

Yukarıda bahsettiğimiz gibi Radiolunat artrit DKF'in komplikasyonları arasındadır. Radiolunat artrit aynı zamanda DKF'nin kontrendikasyonlarından[64]. Çalışmamız sonucunda DKF sonrası (tüm ihtimaller değerlendirildiğinde) Radiolunat bağa gelen yükte belirgin artış olduğu görülmüştür. Çalışmamızda saptadığımız bulgunun, her iki durumu aydınlayabileceğini düşünmekteyiz.

Allison DKF yaptığı 29 hastanın üç yıllık takip sonuçlarını 2010'da yayınladı[65]. Hastaların çoğunluğunda endikasyon SLAC ve SNAC'ti. Bir hastada her iki el bileği de opere edildi. 23 hastaya DKF uygulandı, altı hastada ise Triquetrum artrodeze dahil edilmedi (dejeneratif proses nedeniyle). Üç yıllık takip sonrasında iki hastada ağrı nedeniyle cerrahi müdahale gerekti. Her iki hastada da sorun Radiolunat eklemde ileri harabiyetti. Biz çalışmamızda DKF sonrası Radiolunat bağa gelen yükte belirgin artış saptadık. Bu bulgumuz DKF sonrası Radiolunat dejenerasyonu destekler niteliktedir.

Kobza ve arkadaşları 2003'te yayınladıkları bir çalışmada DKF'de skafoidin etkilerini incelemişler; onlar da DKF'nin Radiolunat eklem üzerindeki etkileri üzerinde yoğunlaşmışlardır[62]. Yedi taze donmuş kadavra el bileği kullanılan çalışmada, bir grup el bileğinde Dört Köşe Füzyona skafoid füzyonu da eklenmiş, bir grupta yalnız dört kemik füzyone edilmiş skafoid füzyone edilmemiş, bir grupta da DKF yapılmış ve skafoid eksize edilmiştir. Sağlam el bileğinde ve her üç grupta; Radioskafoid ve Radiolunat eklem gelen yükler basınç duyarlı filmle ölçülmüştür. Skafoid füzyona dahil edildiğinde ve füzyon dışı bırakıldığında her iki eklem gelen yüklerin değişmediği saptanmıştır. Ancak skafoidin eksize edildiği durumda Radiolunat eklem gelen yükte artış saptanmıştır.

2007'de Skie ve arkadaşları sağlam el bilgisiyle DKF+skafoid eksizyonu yapılmış el bileğini kıyaslayan biyomekanik bir çalışma yapmışlardır[61]. 15 kadavra el bileği kullanarak yaptıkları çalışmada önce 15 el bileğinde skafoid fossa ve lunat fossa basınçları basınca duyarlı filmle ölçülmüştür. Ardından 15 el bileğinde DKF uygulanmış ve skafoidler eksize edilmiş. Yapılan ölçümler sonucunda DKF+skafoid eksizyonu sonrası skafoid fossada basıncın belirgin azaldığı, lunat fossada ise basıncın arttığı ancak skafoid fossadaki kadar anlamlı olmadığı bulunmuştur. Ancak yine de yük aktarımının Radioskafoid eklem yüzünden Radiolunat eklem doğru kaydığını düşünmüşlerdir.

Biz çalışmamızda DKF'nin skafoidin korunduğu ve eksize edildiği modellerini yaptık ve her iki durumda el bileği bağlarına gelen yükleri ölçtük. DKF yapılan vakaların derlendiği çalışmalar incelendiğinde çoğunda skafoidin eksize edildiğini görülür. DKF+skafoid eksizyonunda el bileğinde çok fazla bağ eksize edilmektedir. Kalan bağlara gelen yüklerin, diğer füzyonlarla kıyaslandığında çok fazla değiştiğini ve bunun biyomekanik olarak el bileği için çok uygun olmadığını gördük. Ancak elde ettiğimiz sonuçları Kobza ve Skie'nin çalışmalarının sonuçlarıyla uyumlu bulduk. Skafoidin korunduğu DKF çekme modelinde implantlı modelde Radioskafoid bağa ve uzun Radiolunat bağa gelen yükte artış saptadık. İmplantlar çıkarılınca uzun Radiolunat bağa gelen yükün biraz daha arttığını, kısa Radiolunat bağa gelen yükte de belirgin artış olduğunu gördük. DKF+skafoid eksizyonu yapılan çekme modelinde ise implantlı ve implantsız durumda sonuçları aynı bulduk. Skafoid eksize edilirken Radioskafoid bağ da eksize edilir. Bu yüzden bu bağa ait bir ölçüm bu modelde bulunmamaktadır. Skafoidin korunduğu modelle kıyasladığımızda uzun Radiolunat bağın çok daha fazla yük aldığı, ek olarak kısa Radiolunat bağa gelen yükü de çok arttığını saptadık. Bunun ışığında DKF yapılırken skafoid eksizyonunun Radiolunat bağa gelen yükü skafoidin korunduğu duruma göre çok daha fazla artırdığını söyleyebiliriz.

Skafoidin korunduğu durumdaki sonuçlarımızı Kobza ve Skie'nin çalışmasıyla bağdaştırmak çok uygun olmamaktadır [61,62]. Çünkü onlar çalışmalarında skafoidi eksize ettikten sonra radiusun skafoidle yaptığı eklem yüzeyindeki kontakt basıncı ölçmüşlerdir. Bizse radiusla skafoid arasında yük aktarımı olduğunu öngörerek ölçümlerimiz yaptık. Radioskafoid bağa gelen yükte belirgin artış saptadık. Radiolunat bağda saptadığımız artışı bu iki çalışmayla kıyaslamamızın çok uygun olmadığını düşünmekteyiz. Skafoidin eksize edildiği modelde ise Radiolunat bağlara gelen yüklerde belirgin artış olması iki çalışmanın sonuçlarıyla uyumludur. Kobza ve arkadaşları bu artışın klinik olarak anlamlı olup olmadığını değerlendiremediklerini söylemişlerdir. Bu iki çalışmanın ve bizim çalışmamızın ortaya koyduğu verilerle bu basınç artışının klinik yansıması konusunda tek başına yargıya varılamaz. Ancak literatürdeki verilerle değerlendirildiğinde DKF sonrası Radiolunat artrit görüldüğü belirtilmektedir. Verilerimizi bu vakalarla değerlendirdiğimizde Radiolunat bağdaki ve Radiolunat eklemdaki yük artışının klinik açıdan anlamlı olduğunu düşünmekteyiz.

Çekme ölçümlerinden sonra basınç modellerine geçilmiştir. DKF yapılmış, skafoid korunmuş el bileğinde basınç modelinde önce implantlı durumda Radius ve Ulnaya gelen yükler incelenmiştir. Bulunan değerler normal el bileğiyle karşılaştırmıştır, belirgin bir

değişiklik saptanmamıştır. İmplantlar çıkarılarak ölçümler tekrarlandığında, Radius ve Ulnaya gelen yüklerde bir miktar değişiklik saptanmıştır. Ancak bu yüklerin implantlı model ve sağlam el bileğiyle birbirine yakın değerlerde olduğu görülmüştür.

DKF+skafoid eksizyonu yapılmış el bileğinde basınç modelinde bulduğumuz sonuçların sağlam el bileğinden çok farklı olduğunu gördük. Basınç altındaki yüklenmede el bileğine gelen yüklerin %97'sinin radiusa, %3'ünün ulnaya aktarıldığı saptandı. İmplantsız modelde de sonuçların aynı olduğu görüldü.

DKF+skafoid eksizyonu üzerine daha önce yapılan çalışmalarda eklemlere gelen yükler ve klinik sonuçlar incelenmiştir. Biz ise bu çalışmamızda bağlara gelen yükleri inceledik ve sonuçlarımızı biyomekanik ve klinik çalışmalarla karşılaştırdık. Ve bazı çalışmalarla sonuçlarımızı uyumlu bulduk. DKF+skafoid eksizyonu yapılmış hastaların uzun dönem sonuçlarının incelendiği bazı çalışmalarda ROM, ağrı ve fonksiyonlar açısından hasta memnuniyetinin çok yüksek olmadığını görülmektedir. DKF'de skafoid eksize edildiğinde çok fazla bağ çıkarılmaktadır. Diğer füzyon verileriyle kıyasladığımızda bağlardaki yük değişikliğinin normal sınırlarda olmadığı gözlemledik. Biz DKF ile beraber skafoid eksize edildiğinde; çok fazla bağ çıkarıldığı için el bileğinin normal fonksiyonlarını yerine getirmesinin mümkün olmadığını düşünmekteyiz. Çalışmamızdan çıkardığımız sonuçlar ışığında; DKF yapılırken skafoid korunmalı, eksize edilmesinin zorunlu olduğu durumlarda ise parsiyel eksize edilmelidir.

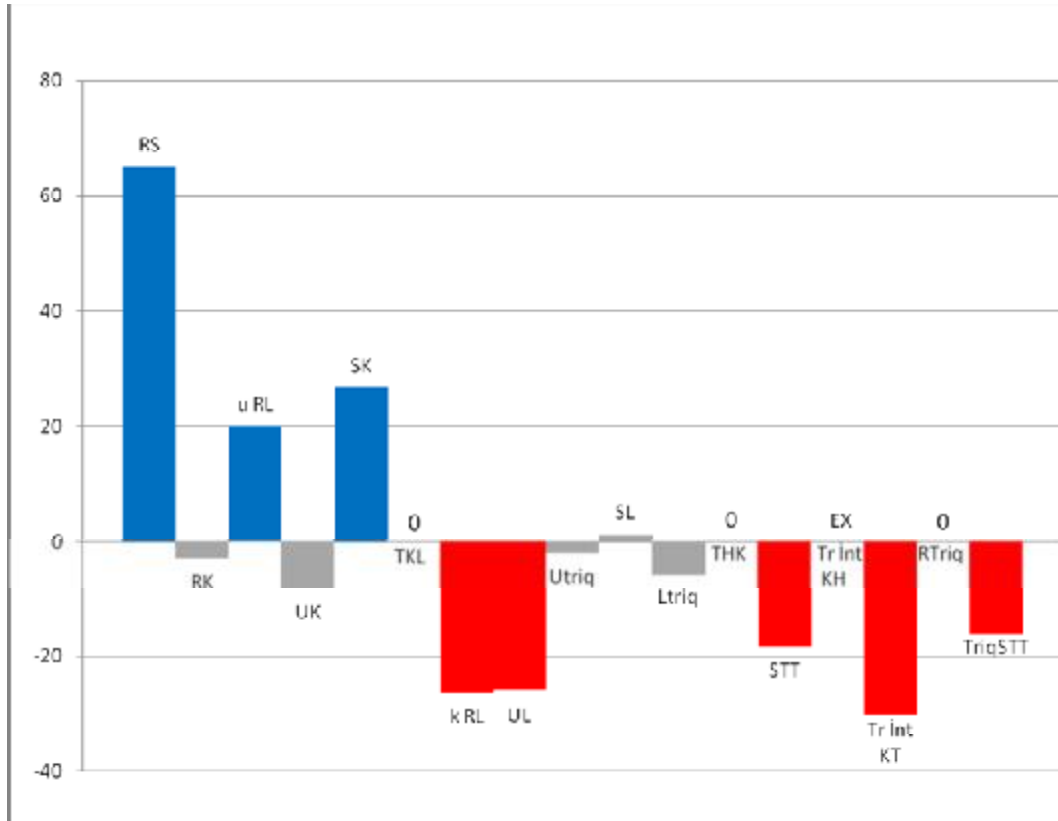
#### **7.4 KAPİTOHAMAT FÜZYON(KH)**

KH füzyonun, Kienböck Hastalığı, lunatum kollapsı ve hamatum AVN gibi durumlar sonrası uygulandığında hastaların bu operasyondan fayda gördüğü bilinen bir gerçek. Fakat bunun hangi mekanizmayla olduğu hala bilinmiyor. Kienböck Hastalığı'nda lunatuma gelen yükün sorumlu olduğu düşünülmektedir, ancak bu durum da henüz netlik kazanmamıştır. KH füzyon, teorik olarak lunatuma gelen yükü azaltmak için yapılmaktadır. Fakat bazı biyomekanik çalışmalarda KH füzyon sonrası lunatuma gelen yüklerde artış saptanmıştır. Bunun tam tersini ortaya koyan çalışmalar da vardır. KH füzyon pratikte faydalı sonuçlara sahiptir, ancak teorik olarak çelişkiler taşımaktadır. Biz de çalışmamızdan elde ettiğimiz verilerle bu sorular cevap bulmaya çalıştık.

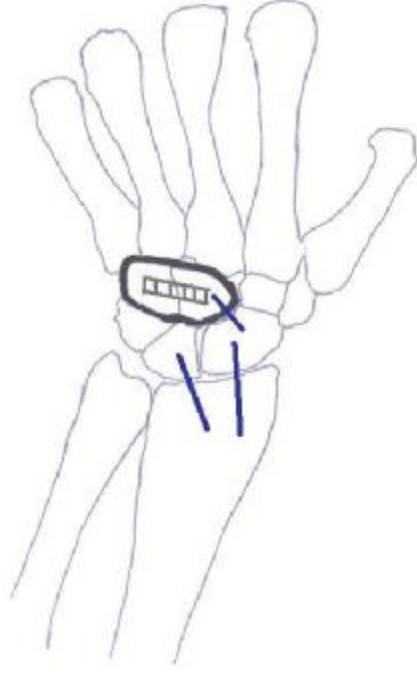
KH Füzyon sonrası el bileği yük dağılımını aynı şekilde implantlı ve implantsız modelde inceledik. Yine önce çekme modelinde bağlara gelen yükleri, sonra basınç modelinde ulna ve radiusa gelen yükleri gözlemledik.

Önce KH füzyon yapılmış el bileğinde implantlı çekme modelinde ölçümler yapılmıştır. KH füzyon sonrası Triquetrohamatokapitat ve Transvers Karpal Ligamanlara hiç yük gelmediği gözlemlenmiştir. Radiotriquetral bağın yine yük taşımadığı görülmüştür. Radioskafoid, uzun Radiolunat ve Skafokapitat bağların aktardıkları yüklerde artış saptanmıştır (Şekil 76). Ulnolunat, kısa Radiolunat, Skafotrapeziotrapezoid, Transvers İnterosseöz bağın Kapitotrapezoid bandı ve Triquetroskafotrapeziotrapezoid bağların ilettikleri yüklerde ise belirgin düşüş gözlemlenmiştir (Şekil 77) (Grafik 6).

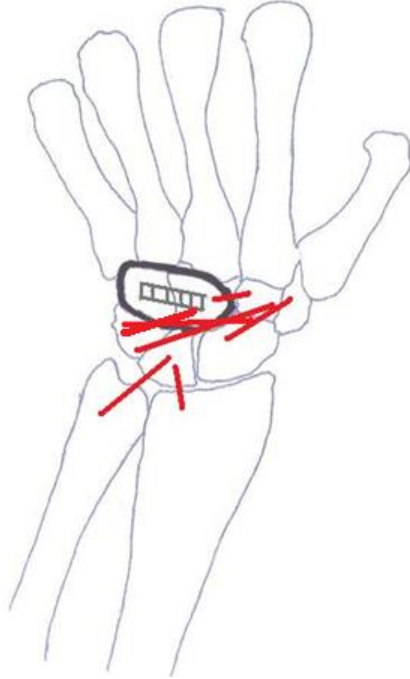
Grafik 6-KH füzyon sonrası implantlı modelde bağlardaki değişikliğin yüzde değerleri



**Mavi:** Aktardıkları yükte belirgin artış olan bağlar **Kırmızı:** Aktardıkları yükte belirgin düşüş olan bağlar **Gri:** Aktardıkları yükte belirgin değişiklik olmayan bağlar



Şekil 76: KH füzyon sonrası implantlı modelde yük aktarımında belirgin artış olan bağlar



Şekil 77: KH füzyon sonrası implantlı modelde yük aktarımında belirgin düşüş olan bağlar

KH füzyon biyomekanik olarak üzerinde en az bilgiye sahip olunan füzyondur. STT füzyon ve DKF füzyon üzerine literatürde yapılmış çalışmalarda benzer biyomekanik sonuçlar olduğunu; sonuçların bizim çalışmamızla da uyumlu yanları olduğunu gördük. Ancak KH füzyon üzerine literatürdeki çalışmalara bakıldığında; birçok çalışmada birbiriyle tamamen zıt sonuçların elde edildiği görülmektedir. Bizim sonuçlarımızda birçok çalışmayla ters düşmektedir.

Viola ve arkadaşları Kienböck Hastalığı tedavisinde KH füzyon ve Kapitat Kısaltmanın biyomekanik sonuçlarını bir kadavra çalışmasında incelemiştir[66]. 10 kadavra el bileğinde basınca duyarlı film kullanarak ölçüm yapmışlardır. Viola ve arkadaşları ölçümleri sonrasında KH füzyon ve Kapitat Kısaltma'nın Radioskafoid eklem basıncını artırdığını, Radiolunat eklem basıncını ise azalttığını bulmuşlardır. Biz çalışmamızda KH füzyon sonrası Radioskafoid bağa gelen yükün arttığını gördük. Bunun Viola'nın çalışmasıyla uyumlu olduğunu düşünüyoruz. Radiolunat bağa gelen yükte ise net birşey söylememiz pek mümkün olmadı. Uzun Radiolunat bağa gelen yükte belirgin artış saptadık, kısa Radiolunat bağa gelen yükte ise belirgin azalma gördük. Buna ek olarak Ulnolunat bağa gelen yükte de belirgin azalma saptadık. Bu durum bize KH füzyonun lunatuma gelen yükü azalttığını düşündürdü.

Horii ve arkadaşları 1990'da RBSM sistemi kullanarak iki boyutlu bir model yapmışlardır[38]. Bundan STT füzyonda bahsetmiştik. Bu modelde Kienböck Hastalığı tedavisinde kullanılan sınırlı karpal füzyonların el bileği yük dağılımına etkisini incelendiğini söylemiştik. Horii ve arkadaşları bu çalışmada KH füzyon ve KH füzyon+Kapitat Kısaltma'yı da incelemiştir. KH füzyon sonrası Ulnotriquetral eklem basıncında belirgin bir düşüş görmüşlerdir. Radioskafoid eklemde basınçta azalma Ulnolunat ve Radiolunat eklemde basınçta artış bulmuşlar, ancak bu değişikliklerin anlamlı olmadığını saptamışlardır. Yukarıda da bahsettiğimiz gibi KH füzyon üzerine yapılan çalışmaların sonuçları birbirinden çok farklı olabiliyor. Bu çalışmada Horii ve arkadaşları KH füzyon sonrası lunatuma gelen yükün azalmadığını, KH füzyon+Kapitat Kısaltma yapıldığında ise lunatuma gelen yüklerde %66 azalma olduğunu saptamışlardır. Bizim çalışmamızın sonuçlarıyla Horii ve arkadaşlarının sonuçları hiç uyumluluk göstermemektedir.

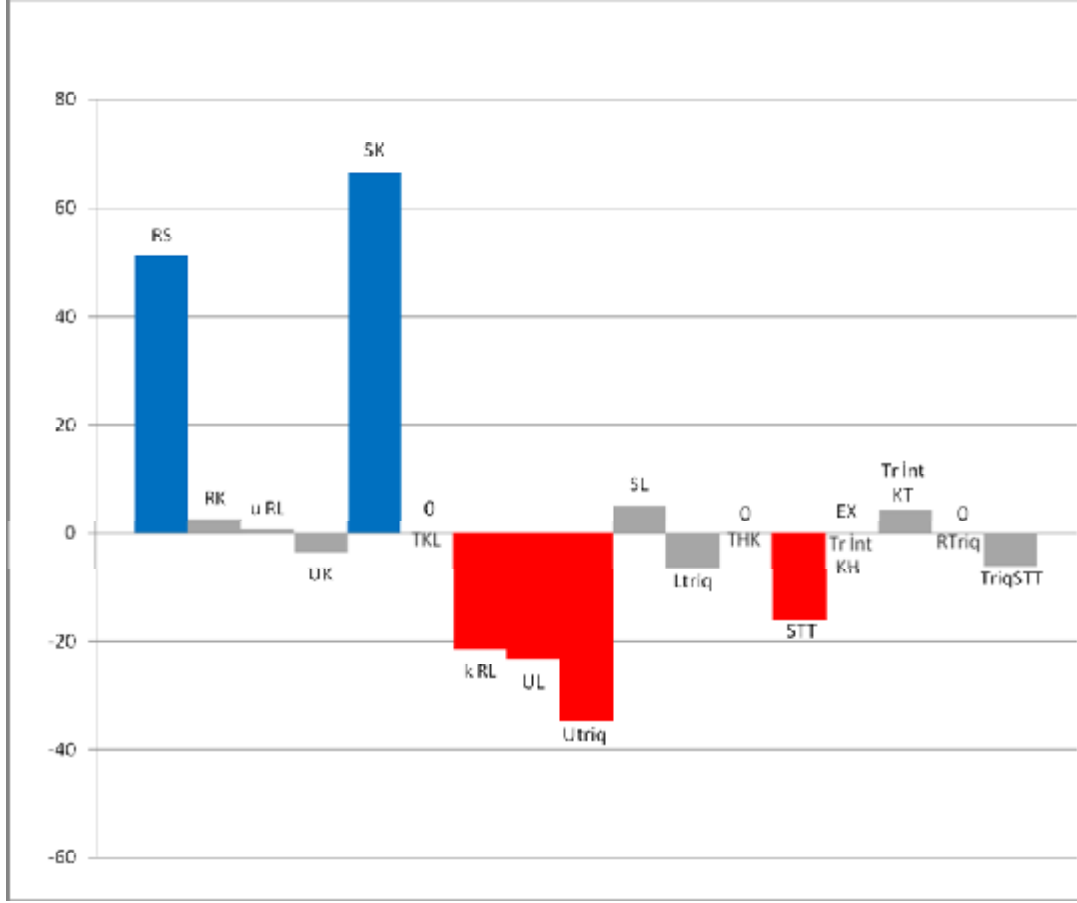
Kienböck Hastalığı tedavisinde kullanılan sınırlı karpal füzyonların incelendiği bir başka çalışma olan Günal ve arkadaşlarının yaptıkları kadavra çalışmasından da STT füzyonda bahsetmiştik. Aynı çalışmada incelenen diğer bir füzyon da KH füzyondur[56]. Günal ve arkadaşları KH füzyon sonrası Ulnolunat ve Radiolunat eklem aralığında yük aktarımında artış; Ulnotriquetral ve Radioskafoid eklemlerde ise yük aktarımında azalma olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu çalışmanın sonuçları Horii'nin çalışmasının sonuçlarıyla uyumludur. Ancak bu çalışmada da bulgular bizim çalışmamızda elde ettiğimiz değerlerle uyumlu değildir.

Trumble ve arkadaşları 1986'da Kienböck Hastalığı tedavisinde kullanılan yöntemleri karşılaştırdıkları bir çalışmada, KH füzyonun lunatum üzerine gelen yükleri azaltmadığını saptamışlardır[67]. Palmer ve Werner 1988'de aynı şekilde Kienböck Hastalığı tedavisinde kullanılan operatif tedavilerin biyomekanik karşılaştırmasını yapmışlar onlar da KH füzyon sonrası lunatuma gelen yükte bir azalma saptamamışlardır[68]. Iwasaki ve arkadaşları 1998'de aynı konuda yaptıkları üç boyutlu modelde, KH füzyonun el bileği biyomekaniği üzerinde belirgin bir değişiklik oluşturmadığını gözlemlemişlerdir[40].

Kienböck Hastalığı tedavisinde önemli bir alternatif olan KH füzyonun lunatum üzerindeki yükleri azalttığı birçok çalışmada gösterilememektedir. Ve bu çalışmalar KH füzyonun hangi mekanizmayla Kienböck Hastalığı'nda el bileğini kurtardığını aydınlatamamışlardır. Biz çalışmamız sonucunda, KH füzyon sonrası lunatuma gelen yüklerin azaldığını, Kienböck Hastalığı'nda bu mekanizmayla tedavi edici olduğunu düşünmekteyiz.

İmplantlı ölçümler tamamlandıktan sonra implantlar çıkarılarak çekme modelinde ölçümler yapılmıştır. Bu prosedür sonrası Triquetrohmatokapitat ve Transvers Karpal Ligamanın hala yük taşımadıkları görülmüştür. Radiotriquetral bağa yine yük gelmediği görülmüştür. İmplantlar çıkarılınca; Radiokapitat, Ulnokapitat, Skafokapitat, kısa Radiolunat, Transvers İnterosseöz bağın Kapitotrapezoid bandında ve Triquetroskafotrapeziotrapezoid bağlara gelen yüklerin çok anlamlı olmamakla birlikte arttığı, uzun Radiolunat ve Ulnotriquetral bağlara gelen yüklerin ise azaldığı saptanmıştır. Sağlam el bileğiyle kıyaslandığında; Radioskafoid ve Skafokapitat bağlar gelen yüklerde belirgin artış olduğu (Şekil 78), kısa Radiolunat, Ulnolunat, Ulnotriquetral ve Skafotrapeziotrapezoid bağlar gelen yüklerde ise belirgin düşüş olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 79) (Grafik 7) .

Grafik 7-KH füzyon sonrası implantsız modelde bağlardaki değişikliğin yüzde değerleri



**Mavi:** Aktardıkları yükte belirgin artış olan bağlar **Kırmızı:** Aktardıkları yükte belirgin düşüş olan bağlar **Gri:** Aktardıkları yükte belirgin değişiklik olmayan bağlar

KH füzyon sonrası implant çıkarıldığında kliniğe yansiyabilecek tek anlamlı değişiklik uzun Radiolunat bağa gelen yükün azalmasıdır. Bu lunatuma gelen yükün azalacağını göstergesi olabilir. Bu bize KH füzyon takibinde kaynama sağlandıktan sonra implantların çıkarılınca, lunatuma gelen yükte bir miktar daha azalma olabileceğini düşündürür.



Şekil 78: KH füzyon sonrası implantsız modelde yük aktarımında belirgin artış olan bağlar



Şekil 79: KH füzyon sonrası implantsız modelde yük aktarımında belirgin düşüş olan bağlar

Çekme modelinde implantsız ölçümler de tamamlandıktan sonra basınç modelleri analiz edilmiştir. KH füzyon yapılmış el bileğinde basınç modelinde önce implantlı durumda Radius ve Ulnaya gelen yükler incelenmiştir. Bulunan değerler normal el bileğiyle karşılaştırıldığında belirgin bir değişiklik saptanmamıştır. İmplantlar çıkarılarak ölçümler tekrarlandığında Radius ve Ulnaya gelen yüklerin implantlı durumla aynı olduğu görülmüştür.

Tablo 12- Füzyonlar sonrası aktardıkları yükte belirgin artış ve azalma olan bağlar.

BAĞLAR	STT implantlı	STT implantsız	DKF implantlı	DKF implantsız	DKF+skafoid eks. implantlı	DKF+skafoid eks. implantsız	KH implantlı	KH implantsız
Radioskafoid	+	+	+	+	Eksize	Eksize	+	+
Radiokapitat			-	-	-	-		
Uzun Radiolunat	+	+	+	+	+	+	+	
Ulnokapitat	-	-	+	-	-	-		
Skafokapitat	-	-	+	+	Eksize	Eksize	+	+
Transvers Karpal Ligaman	-	-	-	-	-	-	-	-
Kısa Radiolunat	-	-		+	+	+	-	-
Ulnolunat	-	-	-				-	-
Ulnotriquetral			-	-	-	-		-
Skafolunat	-	-			Eksize	Eksize		
Lunotriquetral	-	-	Eksize	Eksize	Eksize	Eksize		
Triquetrohamatokapitat	-	-	Eksize	Eksize	Eksize	Eksize	-	-
Skafotrapeziotrapezoid	Eksize	Eksize	-	-	Eksize	Eksize	-	-
Transvers İnterosseöz KH\KT	-/-	-/-	Eksize\+	Eksize\+	Eksize\+	Eksize\+	Eksize\-	Eksize\
Triquetroskafotrapeziotrapezoid	-	-			-	-	-	

+:Belirgin artış olan bağlar -.:Belirgin azalma olan bağlar

Dört füzyona tablo üzerinden göz attığımızda bazı sonuçlar çıkardık. Lunatuma gelen yükleri azaltmak planlandığında (Örn:Kienböck Hastalığı) seçilecek füzyon Kapitohamat Füzyon olmalıdır. Çünkü lunatuma gelen yüklerin en belirgin azaldığı füzyon Kapitohamat Füzyondur. Skafoidin eksize edildiği Dört Köşe Füzyonda çok fazla bağın çıkarıldığı görülmektedir, bunun da el bileği fonksiyonları açısından çok uygun olmadığını düşünüyoruz. Cerrahi seçimi etkileyebilecek tek direkt sonucumuzun bu olduğu görülmektedir.

Füzyonlar sonrası implant çıkarmak, yük dağılımını Skafoidin korunduğu Dört Köşe Füzyonda ve Kapitohamat Füzyonda etkilemektedir. Eğer operasyonda amaç lunatuma gelen yükü azaltmaksa Kapitohamat Füzyon sonrasında ise implantlar çıkarılmalıdır. Dört Köşe Füzyon sonrası implantları çıkarmaktan; hem lunatuma gelen yükleri artıracak, hem de Radiolunat artrit gelişme riskini artıracak için kaçınılmalıdır.

İncelediğimiz füzyonlar sonrası(eksiz edilmedikleri durumlarda); Radioskafoid bağın aktardığı yükte her zaman artış olduğu, Skafotrapeziotrapezoid bağın aktardığı yükte ise her zaman düşüş olduğu görülmüştür. Transvers Karpal Ligaman ve Triquetrohmatokapitat bağın füzyonlar sonrası hiç yük almadığı saptanmıştır.

Genel olarak bakıldığında füzyonlar sonrası taşıdığı yükte azalma olan bağların, taşıdığı yükte artış olan bağlardan daha çok olduğunu görmekteyiz. Bu değişiklik sonrası el bileğinin bazı bölgeleri daha az yük almakta ve zayıf kalabilmektedir. Bu bizim aklımıza iki soru getirdi. Füzyonlar sonrası az yük taşıyan bağların yerine; bunların yük aktarımını dengeleyecek bir madde üretilmesi söz konusu olabilir mi? Ya da az yük taşıyan bağları kuvvetlendirebilecek yeni yöntemler bulunarak; füzyonlar sonrası el bileğini daha sağlam hale getirmek mümkün olabilir mi?

El bileği yük dağılımları hakkında hala cevaplanmayı bekleyen birçok soru mevcut. Sınırlı karpal füzyonlar üzerine yapılmış çalışmalar da henüz yeterli değildir. Biz de çalışmamız sonucunda sınırlı karpal füzyonlar sonrası el bileği yük dağılımı hakkında bazı yeni bilgilere sahip olduk. Elde ettiğimiz verilerin tartışılması ile birlikte bazı konuların açıklığa kavuşabileceği gibi, ek olarak bu verilerin yeni araştırmalara da zemin hazırlaması da beklenmektedir.

Çalışmamızda bulduğumuz sonuçların kadavra modellerinin sonuçlarıyla uyumlu olması; sistemimizin işlerliğinin göstergesidir. Çalışmamızın sonuçları kadar; iki boyutlu bilgisayar modellerinin de el bileği araştırmalarında kullanılabilmesini göstermesi önemlidir. Kadavra çalışması yapmak bazı zorluklar içermektedir. Kadavra bulmada güçlük, maliyet, bulunan kadvraların yaşları, bulunan el bileğinde artroz olması gibi değişkenler yüzünden

sonuçların standardize edilememesi kadavra çalışmalarının dezavantajlarıdır. İki boyutlu bilgisayar modellerinde ise standardizasyonun kolaylığı, maliyetinin nispeten düşük olması, uygulanabilirliğinin kadavra çalışmalarına göre çok daha kolay olması avantajlardır. Bu sebeplerden dolayı iki boyutlu bilgisayar modelleri el bileği yük dağılımlarının incelenmesinde öncelikli olarak kullanılabilir ve kadavra modellerine alternatif olabilir.

Her çalışmada olduğu gibi, bizim çalışmamızda da eksik yönler var. Çalışmamızın bilgisayar destekli bir modelle yapılmış olması eksik yönlerinden biridir. Bilgisayar modellemesiyle tabiki el bileğinin birebir simülasyonunu yapmak mümkün değildir. Ancak bilindiği gibi bilgisayar modelleri daha önce de el bileği modellemesinde gerçeği yansıtacak şekilde kullanılmıştır. Biz çalışmamızda iki boyutlu model kullandık. Örneklerini de verdiğimiz gibi; el bileği üzerine yapılan çalışmalarda üç boyutlu modeller de kullanılmaktadır. Her ne kadar iki boyutlu modellerden elde edilen sonuçlarla, üç boyutlu modellerden elde edilen sonuçlar benzerlik gösterse de, çalışmamızın iki boyutlu modelle yapılmış olması eksik bir yönüdür. Diğer bir eksikimiz çalışmamızda tek bir implant modellemiş olmamızdır. Sınırlı Karpal Füzyon uygulanırken farklı implantlar kullanılmaktadır. Kullanılan implantın tel, vida veya plak olması mutlaka yük dağılımını farklı etkileyecektir. Bu implantların herbirinin çıkarılmasından sonra mutlaka yük dağılımları birbirinden farklı olacaktır. Biz çalışmamızda farklı rijiditelere sahip aynı tip implant modelleyebildik. Bu da çalışmamızda eksik kaldığımızı düşündüğümüz durumlardan biridir.

## **8. SONUC VE ÖNERİLER**

1-Çekme kuvveti uygulandığında yükler esas olarak el bileğinde dört bağdan geçer. Bunlar Lunotriquetral, Skafolunat, Ulnokapitat ve Radiokapitat bağlardır.

2-Çekme kuvveti uygulandığında el bileğinde en az yük alan bağlar Skafokapitat ve kısa Radiolunat bağlardır. Radiotriquetral bağ hiç yük almaz.

3-Basınç kuvveti uygulandığında el bileğine gelen yüklerin %81'i Radius'tan, %19'u Ulna'dan geçer.

4-STT füzyon sonrası aktardıkları yükte belirgin artış olan bağlar: Uzun Radiolunat ve Radioskafoid bağ.

5-STT füzyon sonrası aktardıkları yükte belirgin azalma olan bağlar: Ulnokapitat, Skafokapitat, kısa Radiolunat, Ulnolunat, Skafolunat, Lunotriquetral, Triquetroskafotrapeziotrapezoid, Transvers İnterosseöz, Triquetrohmatokapitat ve Transvers Karpal Ligaman.

6-STT füzyon sonrası implant çıkarılması el bileği bağlarının yük dağılımını değiştirmiyor.

7-STT füzyon sonrası implantlı ve implantsız durumda Radius ve Ulna'ya gelen yükler değişmiyor.

8-DKF sonrası aktardıkları yükte belirgin artış olan bağlar: Ulnokapitat, Skafokapitat Radioskafoid, Transvers İnterosseöz bağın Kapitotrapezoid bandı ve uzun Radiolunat bağ.

9-DKF sonrası aktardıkları yükte belirgin azalma olan bağlar: Radiokapitat, Skafotrapeziotrapezoid, Ulnolunat, Ulnotriquetral ve Transvers Karpal Ligaman.

10-DKF sonrası implantlar çıkarıldığında aktardıkları yükte belirgin artış olan bağlar: Radioskafoid, uzun Radiolunat, Skafokapitat, Transvers İnterosseöz bağın Kapitotrapezoid bandı ve kısa Radiolunat bağ.

11-DKF sonrası implantlar çıkarıldığında aktardıkları yükte belirgin azalma olan bağlar: Radiokapitat, Ulnokapitat, Ulnotriquetral, Skafotrapeziotrapezoid ve Transvers Karpal Ligaman

12-DKF sonrası implantlı ve implantsız durumda Radius ve Ulna'ya gelen yükler değişmiyor.

13-DKF+skafoid eksizyonu sonrası aktardıkları yükte belirgin artış olan bağlar: Uzun Radiolunat, kısa Radiolunat bağ ve Transvers İnterosseöz bağın Kapitotrapezoid bandı.

14-DKF+skafoid eksizyonu sonrası aktardıkları yükte belirgin azalma olan bağlar: Radiokapitat, Ulnokapitat, Ulnotriquetral, Triquetroskafotrapeziotrapezoid ve Transvers Karpal Ligaman.

15-DKF+skafoid eksizyonu sonrası implant çıkarılması el bileği bağlarının yük dağılımını değiştirmiyor.

16-DKF+skafoid eksizyonu sonrası implantlı durumda; el bileğine gelen yüklerin %97'si Radiusa, %3'ü Ulna'ya geliyor.

17-DKF+skafoid eksizyonu sonrası implantlar çıkarıldığında; el bileğine gelen yüklerin %97'si Radius'a, %3'ü Ulna'ya geliyor.

18-KH füzyon sonrası aktardıkları yükte belirgin artış olan bağlar: Radioskafoid, uzun Radiolunat ve Skafokapitat bağ.

19-KH füzyon sonrası aktardıkları yükte belirgin azalma olan bağlar: Kısa Radiolunat, Ulnolunat, Triquetrohamatokapitat, Skafotrapeziotrapezoid, Transvers İntrosseöz bağın Kapitotrapezoid bandı, Triquetroskafotrapeziotrapezoid ve Transvers Karpal Ligaman.

20-KH füzyon sonrası implantlar çıkarıldığında aktardıkları yükte belirgin artış olan bağlar: Skafokapitat ve Radioskafoid bağ

21-KH füzyon sonrası implantlar çıkarıldığında aktardıkları yükte belirgin azalma olan bağlar: Kısa Radiolunat, Ulnolunat, Ulnotriquetral, Triquetrohamatokapitat, Transvers Karpal Ligaman, Skafotrapeziotrapezoid bağ.

22-KH füzyon sonrası implantlı ve implantların çıkarıldığı durumda Radius ve Ulna'ya gelen yükler değişmiyor.

23-Transvers Karpal Ligaman STT, DKF ve KH füzyon sonrası yük taşıyor.

24-Triquetrohamatokapitat Ligaman STT ve KH füzyon sonrası yük taşıyor.

25-Radiotriquetral bağ hiçbir şekilde yük almaz.

## **9. KAYNAKLAR**

- [1] Lewis OJ, Hamshere RJ, Bucknill TM: The anatomy of the wrist joint. *J Anatomy* 1970 106 (3): 539-552
- [2] Gökmen FG: Sistematik anatomi. Sayfa: 67-73, 114-117. Güven Kitabevi, İzmir, 2003.
- [3] Marc GE, Geissler WB. Carpal Instability Green DP(ed). *Operative Hand Surgery Fifth Edition*. Page 14 535-605
- [4] Mayfield JK: Wrist ligamentous anatomy and pathogenesis of carpal instability. *Orthop Clin North Am*. 1984 Apr; 15(2):209-216.
- [5] Ekenstam F, Hagert CG. Anatomical studies of the geometry and stability of the DRUJ. *Scand J Plast Surg* 1985; 19(1):17-25.
- [6] Snell RS. *Clinical Anatomy*. Page 381-507. Little, Brown and Company 1998.
- [7] Gunal I, Köse N, Erdogan O, Gokturk E, Seber S. Normal range of motion of the joints of the upper extremity in male subjects, with special reference to side. *J Bone Joint Surg Am*. 1996 Sep; 78 (9) : 1401-1404.
- [8] Sarrafian SK, Melamed JK, Goshgarian GM. Study of wrist motion in flexion and extension. *Clin Orthop Relat Res*. 1977 Jul-Aug; (126) : 153-159
- [9] Unver B, Gocen Z, Sen A, Gunal I, Karatosun V. Normal ranges of ulnar and radial deviation with reference to ulnar variance. *J Int Med Res*. 2004 May-Jun; 32 (3) : 337-340.
- [10] Li ZM, Kuxhaus L, Fisk JA, Christopher TH. Coupling between wrist flexion-extension and radial-ulnar deviation. *Clin Biomech (Bristol Avon)*. 2005 Feb ; (2) 20:177-183
- [11] Palmer AK, Werner FW, Murphy D, Glisson R. Functional wrist motion: a biomechanical study. *J Hand Surg Am*. 1985 Jan; 10 (1) : 39-46.
- [12] Ryu J, Cooney WP, Askew LJ. Functional ranges of motion of the wrist joint. *J Hand Surg Am*. 1991 May; 16 (3) : 409-419.
- [13] Gunal I. El Bileği Biyomekaniği. Akçalı İD, Ün K, Gülşen M (eds). *Kas İskelet Sistemi Biyomekaniği*. Sayfa:879-896. Nobel Tıp Kitapevleri, Ankara, 2009
- [14] Moojen TM, Senl JG, Ritt MJPF, Kauer JM, Venema HW, Bos KE. Three-dimensional carpal kinematics in vivo. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2002 Aug; 17 (7) :506-514.
- [15] Youm Y, Murty RY, Flatt AE, Gillespie TE. Kinematics of the wrist. I. An experimental study of radial-ulnar deviation and flexion-extension. *J Bone Joint Surg Am*. 1978 Jun; 60 (4): 423-431.

- [16] Evans JS, Blair WF, Andrews JG, Crowninshield RD. The in vivo kinematics of the rheumatoid wrist. *J Orthop Res.* 1986; 4 (2) :142-151.
- [17] Mayfield JK, Gilula LA, Totty WG. Static carpal instabilities. In: Gilula LA(ed) *The traumatized hand and wrist. Radiographic and anatomic correlation.* WB Saunders, Philadelphia 1992, p:315.
- [18] Ozcelik A, Gunal I, Köşe N, Seber S, Omeroglu H. Wrist ligaments: their significance in carpal instability. *Ulus Travma Acil Cerrahi Derg.* 2005 Apr; 11 (2) :115-120.
- [19] Seber S, Gokdemir H, Ozcelik A, Gunal I, Aydin R, Köse N. A two-dimensional wrist model for carpal instability and force transmission. *Joint Dis Rel Surg* 2008; 19 (3) :127-132
- [20] Nowak MD, Logan SE. Distinguishing biomechanical properties in intrinsic and extrinsic human wrist ligaments. *J Biomech Eng.* 1991 Feb; 113 (1): 85-93.
- [21] Mayfield JK. Mechanism of carpal injuries. *Clin Orthop Relat Res.* 1980 Jun; (149):45-54.
- [22] Lichtman DM, Schneider JR, Swafford AR, Mack GGR. Ulnar midcarpal instability. Clinical and laboratory analysis. *J Hand Surg Am.* 1981 Sep; 6 (5): 515-523.
- [23] Weber ER. Concepts governing the rotational shift of the intercalated segment of the carpus. *Orthop Clin North Am.* 1984 Apr; 15 (2): 193-207.
- [24] Linscheid RL, Dobyns JH, Beabout JW, Bryan RS. Traumatic instability of the wrist. Diagnosis, classification, and pathomechanics. *J Bone Joint Surg Am.* 1972 Dec; 54(8):1612-1632.
- [25] Taleisnik J. Classification of carpal instability. *Bull Hosp Jt Dis Orthop Inst.* 1984 Fall; 44 (2): 511-531.
- [26] Wright TW, Dobyns JH, Linscheid RL, Macksoud W, Siegert J. Carpal instability non-dissociative. *J Hand Surg Br.* 1994 Dec; 19 (6):763-773.
- [27] Wright EP. Wrist Disorders. Canale ST(ed). *Campbell's Operative Orthopaedics* 10th edition. Page: 3543-3607. Mosby, 2003
- [28] Larsen CF, Amadio PC, Gilula LA, Hodge JC. Analysis of carpal instability: I. Description of the scheme. *J Hand Surg Am.* 1995 Sep; 20 (5): 757-764.
- [29] Garcia-Elias M. The treatment of wrist instability. *J Bone Joint Surg Br.* 1997 Jul; 9 (4): 684-690
- [30] Middleton A, MacGregor D, Compson JP. An anatomical database of carpal bone measurements for intercarpal arthrodesis. *J Hand Surg Br.* 2003 Aug; 28 (4): 315-318.

- [31] Watson HK, Weinzweig J, Guidera PM, Zeppieri J, Ashmead D. One thousand intercarpal arthrodeses. *J Hand Surg Br.* 1999 Jun; 24 (3): 307-315.
- [32] Watson HK, Hempton RF. Limited wrist arthrodesis. I. The triscaphoid joint. *J Hand Surg Am.* 1980 Jul; 5 (4): 320-327.
- [33] Minami A , Kato H, Suenaga N , Iwasaki N. Scaphotrapeziotrapezoid fusion: long-term follow-up study. *J Orthop Sci* 2003 8: 319–322
- [34] Manovani G, Mathoulin C, Fukushima WY, Cho AB, Aita MA, Aargintar E. Four corner arthrodesis limited to the centre using a scaphoid one piece graft and a dorsal circular plate. *J Hand Surg Eur Vol.* 2010 Jan; 35 (1): 38-42.
- [35] Unglaub F, Manz S, Leclère FM, Dragu A, Hahn P, Wolf MB. Clinical outcome of rearthrodesis in cases of non-union following four-corner fusion. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2011 Nov; 131 (11): 1567-1572.
- [36] Inoue G. Capitate-hamate fusion for Kienböck's disease. *Acta Orthop Scand.* 1992 Oct; 63 (5): 560-562
- [37] Telfer JR, Evans DB, Bingham JB. Avascular necrosis of the hamate. *J Hand Surg Br.* 1994 Jun; 19 (3): 389-392.
- [38] Horii E, Garcia-Elias M, Bishop AT, Cooney WP, Linscheid RL, Chao EY. Effect on force transmission across the carpus in procedures used to treat Kienböck's disease. *J Hand Surg Am.* 1990 May; 15 (3): 393-400.
- [39] Watanabe K, Nakamura R, Horii E, Miura T. Biomechanical analysis of radial wedge osteotomy for the treatment of Kienböck's disease. *J Hand Surg Am.* 1993 Jul; 18 (4): 686-690.
- [40] Iwasaki N, Genda E, Barrance PJ, Minami A, Kaneda K, Chao EYS. Biomechanical analysis of limited intercarpal fusion for the treatment of Kienboeck's disease: a three-dimensional theoretical study. *J Orthop Res.* 1998 Mar; 16 (2): 256-263.
- [41] Genda E, Horii E. Theoretical stress analysis in wrist joint--neutral position and functional position. *J Hand Surg Br.* 2000 Jun; 25 (3): 292-295.
- [42] Manal K, Lu X, Nieuwenhuis MK, Helders PJ, Buchanan TS. Force transmission through the juvenile idiopathic arthritic wrist: a novel approach using a sliding rigid body spring model. *J Biomech.* 2002 Jan; 35 (1): 125-133.
- [43] Carrigan SD, Whiteside RA, Pichora DR, Small CF. Development of a three-dimensional finite element model for carpal load transmission in a static neutral posture. *Ann Biomed Eng.* 2003 Jun; 31 (6): 718-725.

- [44] Guo X, Fan Y, Li ZM. Effects of dividing the transverse carpal ligament on the mechanical behavior of the carpal bones under axial compressive load: a finite element study. *Med Eng Phys.* 2009 Mar; 31 (2): 188-194.
- [45] Gislason MK, Nash DH, Nicol A, Kanellopoulos A, Bransby-Zachary M, Hems T, Condon B, Stansfield B. A three-dimensional finite element model of maximal grip loading in the human wrist. *Proc Inst Mech Eng H.* 2009 Oct; 223 (7): 849-861.
- [46] Javanmardian A, HaghPanahi M. Three dimensional finite element analysis of the human wrist joint without ligaments under compressive loads. 6 th World Congress of Biomechanics (WCB 2010). August 1-6, 2010 Singapore IFMBE Proceedings, 2010, Volume 31, Part 2, 628-631
- [47] Gökdemir H. El bilek kemiklerindeki gerilmelerin sonlu elemanlar metodu ile araştırılması. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı 2002. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi
- [48] Beardsley CL, Heiner AD, Marsh JL, Brown TD. Mechanical characterization of a bone fracture surrogate. *Proceedings of the 23rd American Society of Biomechanics* 1999 p98
- [49] Schuind F, An KN, Cooney WB. *Advances in the biomechanics of the hand and wrist* NATO ASI Series A: Life Sciences, Volume 256.
- [50] Silver FH, Bradica G, Tria A. Elastic energy storage in human articular cartilage: estimation of the elastic modulus for type II collagen and changes associated with osteoarthritis. *Matrix Biol.* 2002 Mar; 21 (2): 129-37 137
- [51] Kempson GE, Spivey CJ, Swanson SAV, Freeman MAR. Patterns of cartilage stiffness on normal and degenerate human femoral heads. *J Biomech.* 1971 Dec; 4 (6): 597-609.
- [52] Mayfield JK. Patterns of injury to carpal ligaments. A spectrum. *Clin Orthop Relat Res.* 1984 Jul-Aug; (187): 36-42
- [53] Rogers WD, Watson HK. Radial styloid impingement after triscaphe arthrodesis. *J Hand Surg Am.* 1989 Mar; 14 (2 ): 297-301.
- [54] Watson HK, Ryu J, Akelman E. Limited triscaphoid intercarpal arthrodesis for rotatory subluxation of the scaphoid. *J Bone Joint Surg Am.* 1986 Mar; 68 (3): 345-349.
- [55] Fortin PT, Louis DS. Long-term follow-up of scaphoid-trapezium-trapezoid arthrodesis. *J Hand Surg Am.* 1993 Jul; 18 (4): 675-681.

- [56] Günal İ, Özcan Ö, Uyulgan B, Baran Ö, Arman C, Karatosun V. Kienböck hastalığı tedavisinde sınırlı karpal füzyonların yük aktarma özelliklerinin biyomekanik analizi . *Acta Orthop Traumatol Turc* 2005; 39 (4): 351-355
- [57] Augsburg S, Necking L, Horton J, Bach AW, Tencer AF. A comparison of scaphoid-trapezium-trapezoid fusion and four-bone tendon weave for scapholunate dissociation. *J Hand Surg Am.* 1992 Mar; 17 (2) :360-369.
- [58] Short WH, Werner FW, Fortino MD, Palmer AK. Distribution of pressures and forces on the wrist after simulated intercarpal fusion and Kienböck's disease. *J Hand Surg Am.* 1992 May; 17 (3): 443-449.
- [59] Viegas SF, Patterson RM, Peterson PD, Pogue DJ, Jenkins DK, Sweo TD, Hokanson JA. Evaluation of the biomechanical efficacy of limited intercarpal fusions for the treatment of scapho-lunate dissociation. *J Hand Surg Am.* 1990 Jan; 15 (1): 120-128.
- [60] Minami A, Kimura T, Suzuki K. Long-term results of Kienböck's disease treated by triscaphe arthrodesis and excisional arthroplasty with a coiled palmaris longus tendon. *J Hand Surg Am.* 1994 Mar; 19 (2): 219-228.
- [61] Skie M, Grothaus M, Ciocan DP, Goel V. Scaphoid excision with four-corner fusion:A biomechanical study. *Hand (N Y).* 2007 Dec; 2 (4): 194-198.
- [62] Kobza PE, Budoff JE, Yeh ML, Luo ZP. Management of the scaphoid during four-corner fusion. A cadaveric study. *J Hand Surg Am.* 2003 Nov; 28 (6): 904-909.
- [63] Ashmead D, Watson HK, Damon C, Herber S, Paly W. Scapholunate advanced collapse wrist salvage. *J Hand Surg Am.* 1994 Sep; 19 (5): 741-750.
- [64] Garcia-López A, Perez-Ubeda MJ, Marco F, Molina M, López-Duran L. A modified technique of four-bone fusion for advanced carpal collapse (SLAC/SNAC wrist). *J Hand Surg Br.* 2001 Aug; 26 (4): 352-354.
- [65] Allison DM. A new plate for partial wrist fusions: results in midcarpal arthrodesis. *J Hand Surg Eur Vol.* 2011 May; 36 (4): 315-319.
- [66] Viola RW, Kiser PK, Bach AW, Hanel DP, Tencer AF. Biomechanical analysis of capitate shortening with capitate hamate fusion in the treatment of Kienböck's disease. *J Hand Surg Am.* 1998 May; 23 (3): 395-401.
- [67] Trumble T, Glisson RR, Seaber AV, Urbaniak JR. A biomechanical comparison of the methods for treating Kienböck's disease. *J Hand Surg Am.* 1986 Jan; 11 (1): 88-93.
- [68] Palmer AK, Werner FW. A biomechanical evaluation of operative procedures performed for the treatment of Kienböck's disease. *Hand Clin.* 1993 Aug; 9 (3): 431-443.