

TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİSEPS UZUN BAŞININ TENODEZİNDE KULLANILAN FİKSASYON
TEKNİKLERİNİN FÜZYON ÖNCESİ VE SONRASI BİYOMEKANİK
KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Pelin COŞKUN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Teyfik DEMİR

AĞUSTOS 2019

Fen Bilimleri Enstitüsü Onayı

.....
Prof. Dr. Osman EROĞUL
Müdür

Bu tezin Yüksek Lisans derecesinin tüm gereksinimlerini sağladığını onaylarım.

.....
Doç. Dr. Murat Kadri AKTAŞ
Anabilim dalı Başkanı

TOBB ETÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 161511083 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Pelin Coşkun**'unun ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "**Biceps Uzun Başının Tenodezinde Kullanılan Fiksasyon Tekniklerinin Füzyon Öncesi ve Sonrası Biyomekanik Karşılaştırılması**" başlıklı tezi **06.08.2019** tarihinde aşağıda imzaları olan jüri tarafından kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Teyfik DEMİR**
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

Eş Danışman : **Doç. Dr. Tolga TOLUNAY (Başkan)**
Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Mesut Emre YAMAN**
Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, alıntı yapılan kaynaklara eksiksiz atıf yapıldığını, referansların tam olarak belirtildiğini ve ayrıca bu tezin TOBB ETÜ Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

Pelin Coşkun

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BİSEPS UZUN BAŞININ TENODEZİNDE KULLANILAN FİKSASYON TEKNİKLERİNİN FÜZYON ÖNCESİ VE SONRASI BİYOMEKANİK KARŞILAŞTIRILMASI

Pelin Coşkun

TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Teyfik Demir

Tarih: Ağustos 2019

Omuz ekleminde hareketi engelleyen kemik türü bir yapı olmadığından, bu eklemden stabiliteden bir miktar ödün vererek geniş hareket açıklığını neredeyse tamamen yumuşak dokularla sağlar. Bu durum omuz bölgesi yumuşak dokularının daha sık travmaya maruz kalmalarına sebep olmaktadır. Günümüzde biceps tendon patolojilerinin görülme sıklığı her geçen gün artmakta ve bu durum tedavinin önemini de arttırmaktadır. Tedavinin başarısızlığı omuz bölgesinde çok şiddetli ağrı ile hareket kısıtlılığına neden olarak hastaların yaşam kalitelerini ciddi oranda azaltmaktadır. Bu çalışmada en sık kullanılan iki tedavi yöntemi olan interferans vida ile tenodez ve sütür ankor ile tenodez yöntemi füzyon öncesi ve sonrası biyomekanik açıdan karşılaştırılmıştır. Kortikal kemik kalınlığının ve trabeküler kemik yoğunluğunun bu tedavi yöntemlerinin biyomekanik dayanımlarına olan etkileri de araştırılmıştır. Kemik yapısını taklit etmek için ASTM F 1839-08 standartlarına göre farklı kortikal kemik kalınlığında ve trabeküler kemik yoğunluğunda Poliüretan kemik blokları hazırlanmıştır. Kortikal kemik kalınlığının etkisinin araştırılacağı

numunelerde trabeküler kemik yoğunluğu, trabeküler kemik yoğunluğunun etkilerinin araştırılacağı numunelerde kortikal kemik kalınlığı sabit tutulmuştur. Füzyon öncesi çekip çıkarma dayanımlarını belirlemek için yapay kemik bloklarına vidalar ve yapay tendonlar cerrahi yöntemle uygun bir şekilde yerleştirilmiştir. Füzyon sonrası dönem taklit etmek için vidalar ve yapay tendonlar, yapay kemik bloğunun üretilme aşamasında numuneye dahil edilmiştir. İki fiksasyon yöntemi için çekip çıkarma deneyleri yapılmıştır. Statik çekip çıkarma deneylerinde yük ve yer değiştirme değerleri kaydedilmiştir. Çevrimsel yükleme deneylerinde 10 N ön yüklemenden sonra çevrimsel olarak 50 N uygulanmıştır. Cerrahi sonrası bir ay taklit etmek için yük oranı 10, dalga biçimi sinüzoidal, çevrim frekansı 1 Hz ve başarılı sayılan çevrim sayısı kırılma/kopma gerçekleşmeksizin 1.000 çevrim seçilmiştir. Çevrimsel yükleme deneyleri sonrası statik çekip çıkarma deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlarda füzyon öncesi ve füzyon sonrası dönemde suture ankor ile tenodes yönteminin biyomekanik performansının interferans vidasına göre anlamlı derecede daha iyi performansa sahip olduğu görülmüştür. Füzyon öncesi ve sonrası süreçte suture ankor ile tenodes yönteminin mekanik performansı trabeküler kemik yoğunluğundan ve kortikal kemik kalınlığından ve çevrimsel yüklemenden etkilenmemiştir. Füzyon öncesi dönemde interferans vidası ile tenodes yönteminin biyomekanik performansının hem statik hem çevrimsel yükleme sonrası yapılan deneylerde trabeküler kemik yoğunluğu düştükçe azaldığı tespit edilmiştir. Füzyon öncesi ve sonrası dönemde interferans vidası ile fiksasyon tekniğinin biyomekanik performansı kortikal kalınlıktan etkilendiği tespit edilmiştir. Füzyon sonrası dönemde interferans vidası ile fiksasyonun füzyon öncesine göre çok daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir. İnterferans vidası ile fiksasyon tekniğinin çekip çıkarma dayanımı füzyon öncesi çevrimsel yüklemenden etkilenmezken, füzyon sonrası dönemde ileri osteoporotik ve osteoporotik gruplarda çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma dayanımının düştüğü gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar bilimsel açıdan tedavi protokollerinin gözden geçirilmesini sağlamıştır. Bu çalışma sonucunda elde edilen veriler göz önüne alınırsa interferans vidası ile tenodes yöntemi rehabilitasyona başlama zamanı için füzyon sonrası dönem beklemenin uygun olacağı sonucuna varılmıştır. Elde edilen füzyon öncesi ve sonrası tüm veriler göz önünde bulundurulduğunda suture ankor ile tenodes yönteminin kullanılması biyomekanik açıdan tavsiye edilmektedir. İleri osteoporotik hastalarda dahi cerrahi

sonrasında hemen rehabilitasyon sürecine başlanabilmesi açısından sütur ankor ile tenodez yöntemi her yönden interferans vidasından üstün biyomekanik performans göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Biseps uzun başı tenodezi, Biyomekanik, Omuz cerrahisi



ABSTRACT

Master of Science

BIOMECHANICAL COMPARISON OF PRIMER AND POST-FUSION STABILITY OF LONG HEAD OF BICEPS TENODESIS FIXATION METHODS

Pelin Coskun

TOBB University of Economics and Technology
Graduate School of Engineering and Science
Mechanical Engineering Programme

Supervisor: Prof. Dr. Teyfik Demir

Date: August 2019

Since there is no bone-like structure that prevents movement in the shoulder joint, the wide range of motion is achieved almost exclusively by soft tissues, making some compromise in stability in this joint. This causes the shoulder tissue to be exposed to trauma more frequently. Today, the incidence of biceps tendon pathologies is increasing day by day and this situation increases the importance of treatment. Failure of the treatment results in severe pain in the shoulder area and limitation of movement, which significantly reduces the quality of life of the patients. In this study, primer and post fusion biomechanical features of fixation with frequently used techniques which are tenodesis with interference screw and tenodesis with suture-anchor for pathologies of the long head of the biceps brachii were compared. The effect of different cortical layer thickness and bone densities also investigated. To mimic the bone structure, bone simulating Polyurethane foam blocks with different cortical bone thickness and trabecular bone density was prepared according to ASTM F 1839-08 standards. The screws and artificial tendons were embedded into artificial bone blocks to determine the ex-situ pull-out strength of primer fixation. Besides, to investigate the post fusion effect on the in situ

biomechanical performance, the screw and artificial tendon were embedded into the blocks. The fixation strength performance of these methods for long head of biceps brachii was evaluated in terms of patient treatment. Pullout test were conducted to both fixation methods. During the static tests, load and displacement values were recorded. In dynamic loading tests 50 N was applied cyclically after preloading 10 N. The load ratio was 10, the waveform was sinusoidal, the frequency was 1 Hz. Runout endurance limit cycle accepted as 1,000 cycles without failure. Axial pullout tests were performed after the cyclic loading. Results showed that tenodesis with suture anchor was significantly superior in terms of pullout strength both primer and post-fusion tests. The mechanical performance of the suture anchor tenodesis method was not affected by the level of trabecular bone density, cortical bone thickness or cyclic loading regardless of pre-fusion or post-fusion models. Our findings suggest that interference screw fixation pull-out strength is radically decreased with decreasing the degree of trabecular bone density in primer and post-fusion period in both static and cyclic loading tests. It was determined that biomechanical performance of the fixation technique with interference screw was affected by cortical thickness primer and post-fusion period. The pull-out strength of the post-fusion period was significantly greater than primer strength of interference screw fixation method. While the pull-out strength of the fixation technique with interference screw was not affected by cyclical loading in the primer fusion period, it was observed that the pull-out strength decreased after cyclic loading in advanced osteoporotic and osteoporotic groups in the post-fusion period. These results have led to a scientific review for treatment protocols. The data obtained from this study suggest that for interference screw fixation method, it would be appropriate to wait for the post-fusion period for rehabilitation. However, considering all the data obtained primer and post fusion, we strongly recommend the use of suture anchor tenodesis fixation method. Even in advanced osteoporotic patients, the suture anchor tenodesis method performed superior to the interference screw in all aspects in order to start the rehabilitation process immediately after surgery.

Keywords: Long head of biceps tenodesis, Biomechanics, Shoulder surgery

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren, bilgi birikimini benimle paylaşan ve her ihtiyaç duyduğumda desteğini eksik etmeyen çok değerli hocam **Prof. Dr. Teyfik Demir**'e, kıymetli tecrübelerinden faydalandığım **Doç. Dr. Tolga Tolunay**'a, yüksek lisans eğitimim boyunca bana burs veren **TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi**ne, bana verdikleri büyük destek ve güzel dostlukları yanı sıra iyi günümde kötü günümde benimle sevinen, üzölen **Dr. Fatma Kübra Erbay Elibol**'a, **Sırma Saral Kul**'a, **Dr. Aysu Aydınöğlü**'na, **Talat Yalçım** ve tüm biyomekanik laboratuvarı arkadaşlarıma, desteğini ve sevgisini her zaman yanımda hissettiğim, her konuda beni teşvik ve takdir eden, biricik sevgilim **Atilla Fırat Şenol**'a ve hayatım boyunca beni her konuda destekleyen, varlıkları ile bana güç veren ve bana bu satırları yazma mutluluğunu yaşatan annem **Saime Coşkun** ve babam **Ahmet Coşkun** ile canım ablam **Melek Fösun Türkyılmaz**'a sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
TEZ BİLDİRİMİ	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR	ix
İÇİNDEKİLER	x
ŞEKİL LİSTESİ	xii
ÇİZELGE LİSTESİ	xvi
KISALTMALAR	xviii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	2
2. OMUZ ANATOMİSİ ve BİYOMEKANİĞİ	3
2.1 Sert Doku.....	3
2.1.1 Kemiğin yapısı	3
2.1.2 Kemiğin mekanik özellikleri	4
2.1.2.1 Trabeküler kemiğin mekanik özellikleri	7
2.1.2.2 Kortikal kemiğin mekanik özellikleri	7
2.1.3 Humerus	10
2.1.4 Klavikula	11
2.1.5 Skapula.....	11
2.2 Eklem Çeşitleri	11
2.2.1 Glenohumeral eklem	11
2.3 Yumuşak Doku.....	12
2.3.1 Kas dokusu	12
2.3.2 Tendon dokusu	13
2.3.2.1 Biseps uzun başı tendonu	13
3. BİSEPS UZUN BAŞI TENDONU PATALOJİLERİ	15
3.1 Tenosinovit.....	15
3.2 Biseps Tendinitisi	15
3.3 İnstabilite	15
4. TEDAVİ YÖNTEMLERİ	17
4.1 İnterferans Vidası ile Tenodez.....	18
4.2 Sütür Ankor ile Tenodez	19
4.3 İnterferans Vidası ile Tenodez vs Sütür Ankor ile Tenodez	20
5. YÖNTEM	23
5.1 Deney Numunesi Oluşturma	23
5.2 Poliüretan Köpük Üretimi	26
5.3 Sistem Elemanlarının Deneyleri.....	30
5.3.1 Burma deneylerinin gerçekleştirilmesi.....	30
5.3.2 Çekip çıkarma deneyleri.....	31
5.4 Füzyon Öncesi Deney Düzeneği Hazırlanması	32
5.4.1 İnterferans vidası ile fiksasyon için deney düzeneği hazırlanması	32

5.4.2 Sütür ankor ile fiksasyon için deney numunesi hazırlanması	33
5.5 Füzyon Sonrası Deney Numunesi Hazırlanması.....	33
5.5.1 Füzyon sonrası interferans vidası için deney numunelerinin hazırlanması	34
5.5.2 Füzyon sonrası sütür ankor için deney numunesinin hazırlanması.....	34
5.6 Deneylerin Gerçekleştirilmesi.....	36
5.6.1 Statik çekip çıkarma deneylerin gerçekleştirilmesi	36
5.6.2 Çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma deneyleri.....	38
6. DENEY SONUÇLARI.....	39
6.1 İnterferans Vidası Sonuçlar	39
6.1.1 Sistem elemanları deneyleri	39
6.1.2 İnterferans vidası için füzyon öncesi statik çekip çıkarma deneyleri	42
6.1.3 İnterferans vidası için füzyon öncesi çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma deneyleri	45
6.1.4 Füzyon sonrası statik çekip çıkarma deneyleri	47
6.1.5 Füzyon ve çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma deneyi	49
6.2 Sütür Ankor Sonuçlar	54
6.2.1 Sistem elemanlarının deneyleri	54
6.2.2 Füzyon öncesi statik çekip çıkarma deneyleri	58
6.2.3 Füzyon öncesi çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma deneyi.....	60
6.2.4 Füzyon sonrası çekip çıkarma deneyleri	62
6.2.5 Füzyon ve çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma deneyleri.....	65
6.3 İnterferans Vidası ile Fiksasyon ve Sütür Ankor ile Fiksasyon Karşılaştırması.....	69
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	77
EKLER.....	83
KAYNAKLAR	85
ÖZGEÇMİŞ.....	91

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Omuz Anatomisi [2]	3
Şekil 2.2: Kemiğin yapısı	4
Şekil 2.3: Dört yönde çekme deneyi sonucu gerilme-gerinim diyagramı [6]	5
Şekil 2.4: Kemiğin viskoelastik davranışı	5
Şekil 2.5: Kortikal kemik için gerilme-gerinim eğrisi	6
Şekil 2.6: Serbest yoğunluğa göre gerilme-gerinim eğrisi [6]	6
Şekil 2.7: Omzu oluşturan kemikler; Humerus, klavikula ve skapula	10
Şekil 2.8: (a) Humerus başının şaft açısı (b) Başın retrovert açısı (c) yatayla yapılan açısı [16]	10
Şekil 2.9: Serratus anterior ve Subskapulari kasının görünümü [6]	12
Şekil 2.10: Biseps Kası	13
Şekil 4.1: İnterferans vida ile tenodez [42]	18
Şekil 4.2: A. D. Mazzocca ve arkadaşlarının [44] artroskopik interferans vidası ile tenodez yöntemi	19
Şekil 4.3: Sütür ankor ile fiksasyon; (a) humerusa kılavuz deliği açılır, (b) tendonun proksimal ucu sütura bağlanır, (c) tendon kemiğe sabitlenir [46]	19
Şekil 4.4: A. D. Mazzocca ve arkadaşlarının artroskopik sütür ankor ile tenodez yöntemi [44]	20
Şekil 5.1: Yüksek mukavemetli polyester ipliğin çekme deneyi sonuçları	25
Şekil 5.2: Kaplanmış yüksek mukavemetli polyester ipliğin çekme deney sonuçları	25
Şekil 5.3: (a) Poliöl, (b) Polizosiyanat	27
Şekil 5.4: Aşamalı olarak hacim sınırlaması olmayan kaptaki tepkimeye giren Poliöl ve Polizosiyanat	28
Şekil 5.5: (a) Farklı derinliklere sahip kalıp başlıkları, (b) demonte edilmiş alt kalıp parçaları, (c) monte edilmiş kalıp	28
Şekil 5.6: (a) Kortikal kalınlığı 5,5 mm olan C grubunun kalıp başlığı, (b) kortikal kalınlığı 4,5 mm olan B grubunun kalıp başlığı, (c) kortikal kalınlığı 3,5 mm olan A grubunun kalıp başlığı, (d) kortikal katman kalıba döküldükten sonra kullanılan kalıp başlığı	29
Şekil 5.7: Kompozit yapıda üretimi tamamlanmış PU köpük bloğu	29
Şekil 5.8: Soldan sağa sırasıyla interferans vidası ve sütür ankor	30
Şekil 5.9: Burma deney düzeneği	30
Şekil 5.10: Çekip çıkarma deney düzeneği	31
Şekil 5.11: Füzyon sonrası köpürme işlemi	31
Şekil 5.12: (a) İnterferans vidası, (b) sütür ankor ile fiksasyon	32
Şekil 5.13: İnterferans vidası deney numunesi hazırlanış aşamaları: (a) kılavuz deliği, (b) yapay tendonun yapay kemik bloğuna yerleştirilmesi, (c) interferans vidasının yapay kemik bloğuna gönderilmesi, (d) tamamlanmış deney numunesi	32

Şekil 5.14: Sütür ankor deney numunesinin hazırlanış aşamaları: (a) kılavuz deliği, (b) sütür ankorun yapay kemik bloğuna gönderilmesi, (c) sütür ankorun seviyelenmesi, (d) sütür ankorun sütünrları ile yapay tendonun bağlanması- tamamlanmış deney numunesi.....	33
Şekil 5.15 Füzyon sonrası numuneler için kullanılan kalıp başlıkları	34
Şekil 5.16: Füzyon sonrası interferans vidası için deney numunesinin hazırlanma aşamaları: (a) vidanın ve yapay tendonun kalıp başlığına yerleştirilmesi, (b) trabeküler katmanı oluşturulmuş yapay kemik numunesi, (c) kortikal katman oluşturulmak için tekrar kalıba yerleştirilmiş kemik numunesi, (d) füzyon sonrası interferans vidası ile fiksasyon deneyleri için kullanılacak numune	35
Şekil 5.17: Füzyon sonrası sütür ankor için deney numunesinin hazırlanma aşamaları: (a) sütür ankor vidasının kalıp başlığına yerleştirilmesi, (b) trabeküler katmanı oluşturulmuş yapay kemik numunesi, (c) kortikal katman oluşturulmak için tekrar kalıba yerleştirilmiş, sütür ile yapay tendonu bağlanmış kemik numunesi, (d) füzyon sonrası sütür ankor ile fiksasyon yöntemi deneyleri için kullanılacak numune	36
Şekil 5.18: Çekip çıkarma deney düzeneği görseli (a) interferans vidası (b) sütür ankor.....	37
Şekil 5.19: Çekip çıkarma deney düzeneği (a) interferans vidası (b) sütür ankor	37
Şekil 5.20: Çevrimsel Yükleme deney düzeneği (a) interferans vidası (b) sütür ankor.....	38
Şekil 6.1: İnterferans vidasının tork-burulma açısı grafiği örneği.....	39
Şekil 6.2: İnterferans vidasının çekip çıkarma deneyleri için hazırlanmış deney numunesi.....	40
Şekil 6.3: Dış çekilmiş kılavuz deliği	40
Şekil 6.4: İnterferans vidası için ortalama çekip çıkarma deney sonuçları.....	41
Şekil 6.5: İnterferans vidası için füzyon sonrası ortalama çekip çıkarma deney sonuçları	41
Şekil 6.6: Füzyon öncesi ve sonrası interferans vidasının en yüksek çekip çıkarma dayanım değerleri	42
Şekil 6.7: Trabeküler kemik yoğunluklarına göre ortalama statik çekip çıkarma deney sonuçları	43
Şekil 6.8: Kortikal kemik kalınlığına göre ortalama statik çekip çıkarma deney sonuçları	44
Şekil 6.9: İnterferans vidası ile fiksasyon yöntemi çekip çıkarma (a) deney başlangıcı (b) deney sonu	44
Şekil 6.10: Trabeküler kemik yoğunluklarına göre ortalama çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma deney sonuçları.....	46
Şekil 6.11: Kortikal kemik kalınlıklarına göre çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma deney sonuçları.....	46
Şekil 6.12: Trabeküler kemik yoğunluklarına göre ortalama statik çekip çıkarma deney sonuçları.....	48
Şekil 6.13: Kortikal kemik kalınlıklarına göre ortalama statik çekip çıkarma deney sonuçları	49
Şekil 6.14: İnterferans vidası için füzyon öncesi ve sonrası statik çekip çıkarma dayanımı karşılaştırması.....	49
Şekil 6.15: Trabeküler kemik yoğunluğuna göre ortalama çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma deney sonuçları	50

Şekil 6.16: Kortikal kemik kalınlığına göre ortalama çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma deney sonuçları	51
Şekil 6.17: Trabeküler yoğunluğa göre statik ve çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma deney sonuçları karşılaştırması.....	52
Şekil 6.18: Kortikal kemik kalınlığına göre statik ve çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma deney sonuçları karşılaştırması.....	53
Şekil 6.19: Füzyon öncesi ve sonrası çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma dayanımı karşılaştırması.....	53
Şekil 6.20: Sütür ankor vidasının tork-burulma açısı grafiği örneği	54
Şekil 6.21: Sütür ankor çekip çıkarma deney düzeneği	55
Şekil 6.22: Sütür ankor çekip çıkarma (a) deney öncesi (b) deney sonrası	55
Şekil 6.23: Füzyon öncesi sütür ankor çekip çıkarma deney sonuçları	56
Şekil 6.24: Füzyon sonrası sütür ankor çekip çıkarma (a) deney öncesi (b) ve (c) deney sonrası	56
Şekil 6.25: Füzyon sonrası sütür ankor çekip çıkarma deney sonuçları	57
Şekil 6.26: Füzyon öncesi ve sonrası sütür ankor en yüksek çekip çıkarma dayanım değerleri.....	58
Şekil 6.27: Trabeküler yoğunluklara göre ortalama statik çekip çıkarma deney sonuçları	59
Şekil 6.28: Kortikal kemik kalınlığına göre ortalama statik çekip çıkarma deney sonuçları	59
Şekil 6.29: Sütür ankor ile fiksasyon yöntemi füzyon öncesi çekip çıkarma deney sonu	60
Şekil 6.30: Sütür ankor ile fiksasyon tekniğinin farklı trabeküler yoğunluklar için füzyon öncesi çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma deney sonuçları	61
Şekil 6.31: Sütür ankor ile fiksasyon tekniğinin farklı kortikal kemik kalınlıkları için füzyon öncesi çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma deney sonuçları	61
Şekil 6.32 Sütür ankor ile fiksasyon yöntemi füzyon öncesi, çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma deney sonu	62
Şekil 6.33: Sütür ankor ile fiksasyon tekniğinin farklı trabeküler yoğunluklar için füzyon sonrası statik çekip çıkarma deney sonuçları	63
Şekil 6.34: Sütür ankor ile fiksasyon tekniğinin farklı kortikal kalınlıklara göre füzyon sonrası statik çekip çıkarma deney sonuçları	64
Şekil 6.35: Sütür ankor ile fiksasyon tekniğinin füzyon öncesi ve sonrası ortalama statik çekip çıkarma dayanımı karşılaştırması.....	65
Şekil 6.36: Sütür ankor ile fiksasyon tekniğinin farklı trabeküler yoğunluklara göre füzyon ve çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma deney sonuçları....	66
Şekil 6.37: Sütür ankor ile fiksasyon tekniğinin farklı kortikal kalınlıklara göre füzyon ve çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma deney sonuçları....	67
Şekil 6.38: Sütür ankor ile fiksasyon tekniğinin füzyon öncesi ve sonrası ortalama çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma dayanımı karşılaştırması.....	68
Şekil 6.39: Fiksasyon tekniklerinin füzyon öncesi trabeküler kemik yoğunluğuna göre statik çekip çıkarma dayanım karşılaştırması.....	70
Şekil 6.40: Fiksasyon tekniklerinin füzyon öncesi kortikal kemik kalınlığına göre statik çekip çıkarma dayanım karşılaştırması.....	70
Şekil 6.41: Fiksasyon tekniklerinin füzyon öncesi trabeküler kemik yoğunluğuna göre çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma dayanım karşılaştırması	71

- Şekil 6.42: Fiksasyon tekniklerinin füzyon öncesi kortikal kemik kalınlığına göre çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma dayanım karşılaştırması 71
- Şekil 6.43: Fiksasyon tekniklerinin füzyon sonrası trabeküler kemik yoğunluğuna göre statik çekip çıkarma dayanım karşılaştırması 73
- Şekil 6.44: Fiksasyon tekniklerinin füzyon sonrası kortikal kemik kalınlığına göre statik çekip çıkarma dayanım karşılaştırması..... 73
- Şekil 6.45: Fiksasyon tekniklerinin füzyon sonrası trabeküler kemik yoğunluğuna göre çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma dayanım karşılaştırması 74
- Şekil 6.46: Fiksasyon tekniklerinin füzyon sonrası kortikal kemik kalınlığına göre çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma dayanım karşılaştırması..... 74



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Vücudun çeşitli konumlarındaki trabeküler kemiğin farklı yükleme koşullarındaki mekanik özellikleri.....	8
Çizelge 2.2: Femoral insan kortikal kemiğin mekanik özellikleri	9
Çizelge 5.1: BUB tendonu ve Polyester fiber mekanik özellikleri	26
Çizelge 5.2: PU Köpük Seviyeleri ve Yoğunlukları [69].....	26
Çizelge 5.3: Deney numune grup isimlendirmesi	27
Çizelge 6.1: İnterferans vidası burma deney sonuçları	39
Çizelge 6.2: İnterferans vidası ile fiksasyon tekniğinin füzyon öncesi ortalama statik çekip çıkarma dayanımları	43
Çizelge 6.3: İnterferans vidası ile fiksasyon tekniğinin füzyon öncesi ortalama çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma dayanımları	45
Çizelge 6.4: Statik ile çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma deneyleri karşılaştırması; istatistik p değerleri	47
Çizelge 6.5: İnterferans vidası ile fiksasyon tekniğinin füzyon sonrası ortalama statik çekip çıkarma dayanımları	47
Çizelge 6.6: İnterferans vidası ile fiksasyon tekniğinin füzyon sonrası ortalama çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma dayanımları	50
Çizelge 6.7: Füzyon Sonrası statik ile çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma deneyleri karşılaştırması; istatistik p değerleri.....	52
Çizelge 6.8: Sütür ankor burma deney sonuçları	54
Çizelge 6.9: Sütür ankor ile fiksasyon tekniğinin füzyon öncesi ortalama statik çekip çıkarma dayanımları.....	58
Çizelge 6.10: Sütür ankor ile fiksasyon tekniğinin füzyon öncesi ortalama çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma dayanımları	60
Çizelge 6.11: Füzyon öncesi statik ile çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma deneyleri karşılaştırması; istatistik p değerleri.....	62
Çizelge 6.12: Sütür ankor ile fiksasyon tekniğinin füzyon sonrası ortalama statik çekip çıkarma dayanımları	63
Çizelge 6.13: Füzyon öncesi ile sonrası statik çekip çıkarma deneyleri karşılaştırması; istatistik p değerleri	64
Çizelge 6.14: Sütür ankor ile fiksasyon tekniğinin füzyon ve çevrimsel yükleme sonrası ortalama çekip çıkarma dayanımları.....	66
Çizelge 6.15: Füzyon sonrası statik ile çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma deneyleri karşılaştırması; istatistik p değerleri.....	68
Çizelge 6.16: Sütür ankor ile fiksasyon tekniğinin füzyon öncesi ve sonrası ortalama çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma dayanımı karşılaştırması; istatistik p değerleri.....	68
Çizelge 6.17: Füzyon öncesi fiksasyon tekniklerinin ÇÇD karşılaştırma p değerleri	69
Çizelge 6.18: Füzyon sonrası fiksasyon tekniklerinin ÇÇD karşılaştırma p değerleri	72

Çizelge 6.18: Tüm deney sonuçları..... 75



KISALTMALAR

BUB	: Biseps uzun başı
ÇÇD	: Çekip çıkarma dayanımı
ROM	: Hareket açıklığı
UHMWPE	: Ultra yüksek molekül ağırlıklı polietilen
PET	: Polietilen tereftalat
PU	: Poliüretan
PP	: Polipropilen



1. GİRİŞ

Omuz ekleminde hareketi engelleyen kemiksi bir yapı yoktur bu yüzden stabilizasyon yumuşak dokular tarafından sağlanır. Geniş hareket açıklığının sağlanmasında yumuşak dokuların rolü büyüktür. Yumuşak dokuların bu rolleri sebebi ile daha sık travmaya maruz kalırlar. Günümüzde biceps tendon patolojileri çok yaygındır ve bu yüzden doğru tedavi ve tedavinin başarılı olması çok önemlidir. Tedavinin başarısızlığı omuz bölgesinde çok şiddetli ağrı ile hareket kısıtlılığına neden olarak hastaların yaşam kalitelerini ciddi oranda azaltmaktadır.

Biceps patolojilerinin cerrahi tedavi yöntemleri arasında tendon debridmanı, biceps dekompresyonu, tenotomi ve tenodez bulunmaktadır. Tenodez, tendonun anatomik pozisyonunun yer değiştirilme cerrahisidir. Literatürde tenodez ile tedavi tekniklerinin başarı oranlarının yüksek olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmalarda başarı oranları çoğunlukla tenodez tekniklerinin tipine dayandırılmış ve hasta yaşı, implant uygulanan bölgedeki kemik özellikleri (kortikal kalınlık ve kemik yoğunluğu) gibi değişkenler ve füzyon öncesi ile sonrası çekip çıkarma performansları ile arasındaki ilişki birlikte incelenmemiştir. Sentetik kemiklerin kullanıldığı çalışmalarda ise sadece kortikal kemik kalınlığının çekip çıkarma dayanımına olan etkisi ya da sadece kemik yoğunluğunun çekip çıkarma dayanımına olan etkisi incelenmiş, hiçbir çalışmada kortikal kemik kalınlığı ve kemik yoğunluğu birlikte değerlendirilmemiş ve hiçbir çalışmada füzyon öncesi ile sonrası çekip çıkarma değerleri arasındaki farklılıklar incelenmemiştir.

Bu tez kapsamında yapılan çalışmada farklı kortikal kemik kalınlığına ve farklı kemik yoğunluğuna sahip kemik özelliklerinde Poliüretan bloklar hazırlanıp, füzyon öncesi ve sonrası süreçte fiksasyon yöntemlerinin çekip çıkarma dayanımları ölçülmüştür. Yapılan deneyler sonucunda trabeküler kemik yoğunluğu ile kortikal kemik kalınlığının her ikisinin de çekip çıkarma dayanımına etkisinin ve füzyon öncesi ile sonrası biyomekanik performans farklılıklarının incelenmesi ve karşılaştırılması amaçlanmıştır.

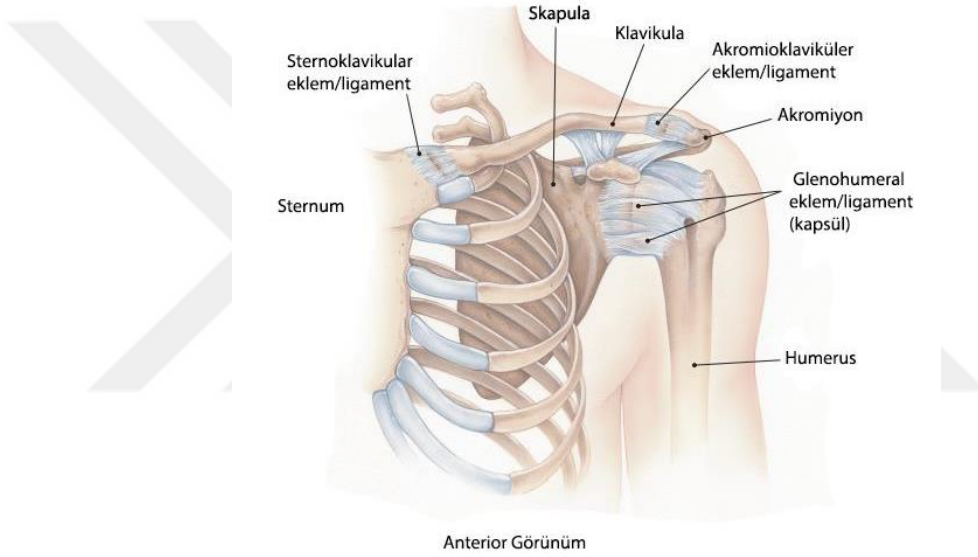
1.1 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasının amacı biceps tenodezi için sıkça kullanılan iki farklı fiksasyon yönteminin (interferans vidası ile tenodez, sütür ankor ile tenodez) biyomekanik özelliklerini karşılaştırarak, hangi hastalarda hangi tenodez tekniğinin mekanik olarak daha başarılı olacağını tespit etmektir. Bu çalışmada biceps tenodezi için kullanılan bu iki fiksasyon tekniğı farklı trabeküler kemik yoğunluğunun ve kortikal kemik kalınlığının füzyon öncesi ve sonrasında biyomekanik özelliklerine etkisini araştırmaktır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ile hangi hastalarda ne tür tenodez tekniğinin mekanik olarak daha başarılı olacağı, hastaların cerrahi tedavilerinin ve sonrasında rehabilitasyon süreçlerinin daha iyi planlanabilmesi için yol göstermesi hedeflenmiştir.

Literatürde, tenodez tekniklerinin füzyon öncesi ve sonrası çekip çıkarma dayanımlarını kıyaslayan bir çalışma olmadığı için elde edilen veriler cerrahi tedavi süreci ve rehabilitasyon sresinin belirlenebilmesi açısından çok değerli bulunmaktadır.

2. OMUZ ANATOMİSİ ve BİYOMEKANİĞİ

Omuz, hareket açıklığı (ROM) en fazla olan eklemlerden biridir [1]. Omuz, omuzu oluşturan elemanlar sayesinde üç farklı düzlemde 180 dereceye kadar rotasyon yapabilir [2]. Omuz anatomisini oluşturan elemanlar rotator manşet kasları, tendonlar, ligamentler ve glenoid labrumdur. Şekil 2.1’de omuz anatomisi gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Omuz Anatomisi [2].

2.1 Sert Doku

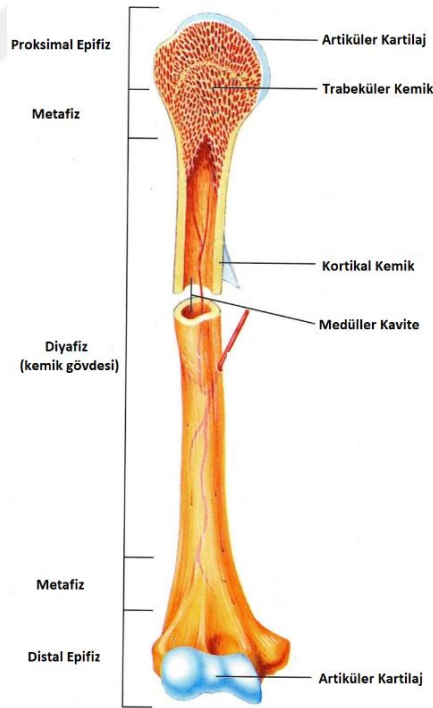
Kemikler, iskelet sisteminin yapı taşlarını oluşturarak kaslar için bağlantı yerleri sağlar ve kas hareketlerini ve vücut hareketlerini kolaylaştıran eşsiz yapısal ve mekanik özelliklere sahiptir [3].

2.1.1 Kemiğin yapısı

Kemik dokusu, inorganik ve organik elementlerin kombinasyonu sayesinde vücudun en sert yapılarından biridir [4]. Mekanik olarak kemik dokusu kompozit bir malzeme olarak tanımlanabilir [3]. Kemiğin organik matrisi %90-95 kollajen lifidir ve inorganik kısmı $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ bileşiminde sentetik hidroksiapatit kristalleri

andıran küçük kristaller formundaki kalsiyum ve fosfat tuzlarından oluşur [5-6]. Kemik dokusunun %60-70'i kalsiyum ve fosfat mineralleri, kollajen ile birlikte kemiğin organik elementini oluştururken su, kemik dokusunun ağırlığının yaklaşık % 25-30'unu oluşturur [4]. Kemiğin inorganik bileşeni kemiği sert ve nispeten rijit yaparken, esneklik kemiğin organik bileşeni olan kollajen tarafından sağlanır [3-4].

Makroskopik seviyede, tüm kemikler kortikal ve trabeküler olmak üzere iki kemik dokusundan oluşur [3,6]. Kortikal veya sert kemik dokusu, kemiklerin dış kabuğunu (korteks) ve uzun kemiklerin diyafizyal bölgesini oluşturan yoğunluğuyken, trabeküler kemik dokusu, süngerimsi veya gözenekli kemik, kortikal kemik tarafından çevrelenen gevşek bir ağ yapısında ince tabaklardan (trabeküler) oluşur [3]. Kortikal kemik her zaman süngersi kemiği çevreler ancak her bir kemik tipi için göreceli olarak kortikal kemik miktarı fonksiyonel gereksinimlerine göre kemikten kemiğe değişir [6]. Tüm kemikler periyost adı verilen yoğun bir fibröz zar ile çevrelenmiştir [6]. Şekil 2.2'de kemiğin makroskopik seviyede kemik dokusu görselleştirilmiştir.

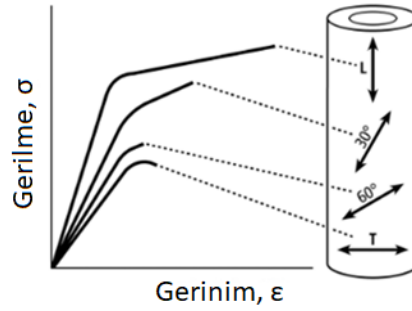


Şekil 2.2: Kemiğin yapısı.

2.1.2 Kemiğin mekanik özellikleri

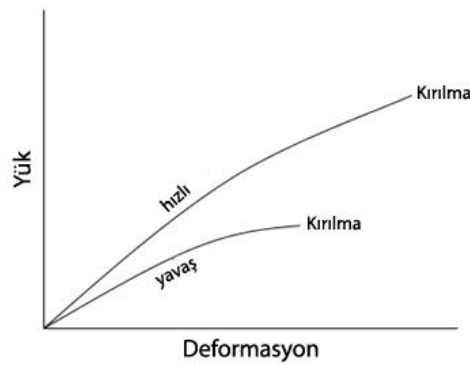
Kemik mekanik özellikleri farklı yönlerde farklı olan anizotropik bir malzemedir. Bu nedenle kemiğin mekanik tepkisi uygulanan yükün büyüklüğüne ve yönüne bağlıdır

[3]. Şekil 2.3’de insan femoral shaftından kortikal kemik numuneleri için dört yönde çekme deneyinin sonucunda oluşan gerilme-gerinim diyagramı gösterilmektedir. Bu şekil incelendiğinde kemiğin anizotropik yapısı net bir şekilde anlaşılmaktadır. Kemiğin bu anizotropik yapısı, birincil yüklenme yönünde genellikle en sert ve güçlü olduğu için, yük taşıma işlevini yansıtır [7].



Şekil 2.3: Dört yönde çekme deneyi sonucu gerilme-gerinim diyagramı [6].

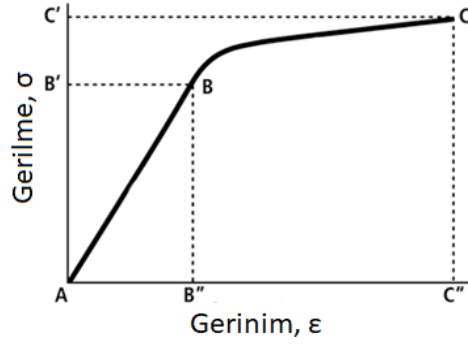
Kemik ayrıca viskoelastiktir, yani yükün uygulama hızına ve oranına bağlı olarak farklı tepki verir [4]. Kemik, yüksek gerilme hızlarında yani daha hızlı uygulanan yüklere, yavaş uygulanan yüklere göre çok daha dayanıklıdır [3]. Kemiğin viskoelastik malzeme davranışı Şekil 2.4’de gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü üzere kemiğe yük hızlı bir şekilde uygulandığında, kemik daha sert ve rijit davranış sergiler ve kırılmadan önce daha yüksek bir yüke dayanabilir. Yük yavaşça uygulandığında ise daha az yük altında kırılır.



Şekil 2.4: Kemiğin viskoelastik davranışı.

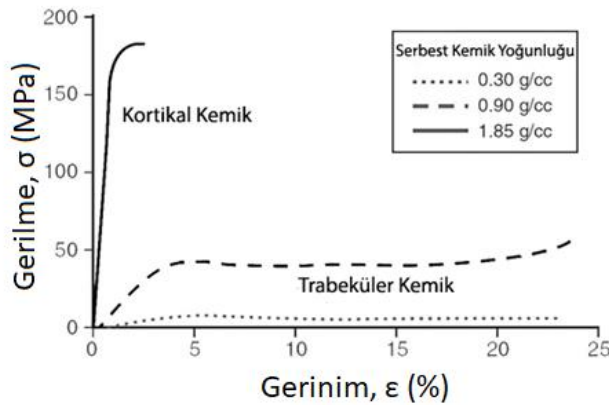
Şekil 2.5’de çekme altındaki kortikal kemiğin gerilme-gerinim eğrisi gösterilmektedir. Eğrinin düz çizgi kısmı, elastik bölge, yapının esnekliğini, yani yük kaldırıldıktan sonra başlangıç şekline dönme kapasitesini gösterir [6]. Bu bölgede yük uygulandığında, şekil değişikliği meydana gelir, fakat bu kalıcı değildir. Yani

yük kaldırıldıktan sonra kemik başlangıç haline geri döner. B noktası akma noktasını belirtir. Uygulanan gerilme bu sınırı aştığında, kemik artık plastik davranış sergiler. Yük serbest bırakıldığında kemik orijinal boyutlarına geri dönemeyecek, üzerinde oluşan şekil değişiklikleri kalıcı olacaktır. C noktası ise kemiğin kırılma noktasıdır.



Şekil 2.5: Kortikal kemik için gerilme-gerinim eğrisi.

Mekanik özellikler iki kemik tipinde farklılık gösterir. Kortikal kemik, trabeküler kemikten daha serttir, ayrıca hasara uğramadan önce daha büyük gerilmelere dayanırken daha az gerinime dayanır [6]. İki kemik dokusu arasındaki fiziksel fark, kemik hacminin bir biriminde bulunan kemik dokusu kütlesi (santimetre küp başına gram [g/cc]) olarak tanımlanan, serbest kemik yoğunluğu açısından ölçülür [6]. Şekil 2.6'da benzer koşullar altında deney edilen farklı kemik yoğunlukları ile kortikal ve trabeküler kemiğin tipik gerilme-gerinim eğrileri gösterilmektedir. Bu şekil hem kortikal ve trabeküler kemiğin serbest yoğunluk farklarını gösterirken aynı zamanda serbest yoğunluktaki küçük değişikliklerin, mekanik davranışlarda dramatik değişimlere yol açabileceğini göstermektedir [7]. Hem kemiğin modülü hem de mukavemeti serbest yoğunluk ile ilişkilidir [8].



Şekil 2.6: Serbest yoğunluğa göre gerilme-gerinim eğrisi [6].

2.1.2.1 Trabeküler kemiğin mekanik özellikleri

Trabeküler kemik, süngerimsi veya gözenekli kemik, küçük gerinimlerde bile doğrusal olmayan elastik özelliğe sahip olmasına rağmen çoğu zaman akmaya kadar doğrusal elastik olarak modellenir [9]. Modül ve mukavemet büyük ölçüde serbest yoğunluğa bağlıdır, ancak bu ilişkiler trabeküler kemik yapısındaki anatomik bölgeye, yaşa ve hastalıklar ile ilgili çeşitliliklerden dolayı farklı trabeküler kemik tiplerine göre değişir [9]. Çizelge 2.1'de hem trabeküler kemiğin farklı anatomik bölgedeki mekanik özellikleri hem de yükleme koşuluna bağlı mekanik özellikleri bir arada verilmiştir. Tablo dikkatli bir şekilde incelendiğinde trabeküler kemiğin anizotropisi açıkça gözükmemektedir. Bu yüzden trabeküler kemiğin mekanik özelliklerinden bahsederken genel bir yorum yapmak doğru değildir. Mutlaka yükleme koşulu, kemiğin anatomik yeri, serbest yoğunluk göz önüne alınarak yorum yapılmalıdır.

2.1.2.2 Kortikal kemiğin mekanik özellikleri

İnsan kortikal kemiğini mekanik özellikleri mikroyapısı gibi anizotropiktir [9]. Kortikal kemiğin anizotropi derecesi aksenal yönde radyal ve teğet yöne göre neredeyse iki kat daha fazladır [12]. Kortikal kemiğin mekanik özellikleri, büyük ölçüde matris mineralizasyonu ve gözeneklilik derecesine bağlıdır [7]. Kortikal kemik için dayanım-modül oranı yüzdesi, sırasıyla boyuna basma ve çekme için 1,12 ve 0,78'dir, Alüminyum 6061-T6 (0,45) ve titanyum 6A1-4V (0,73) gibi yüksek performanslı mühendislik alaşımları ile karşılaştırıldığında kortikal kemiğin nispeten daha büyük bir dayanım-modül oranına sahip olduğu görülmektedir [9]. İnsan kortikal kemiğinin denekler arasında yoğunluğu aynı olmasına rağmen tibia, femur ve humerusun mekanik özelliklerinin farklı olduğu bilinmektedir [14]. Buna ek olarak Çizelge 2.2'de insan femur kortikal kemiğinin anizotropik yapısı gösteren mekanik özellikleri gösterilmiştir Bazı durumlar için kortikal kemik için ortalama mekanik özellikleri kabul etmek uygun olsa bile özel durumlarda gözeneklilik ve yüzde mineralizasyon gibi mikro yapısal değişkenlerdeki değişikliklerden kaynaklanabilecek heterojenliği hesaba katmak gerekli olabilir [9].

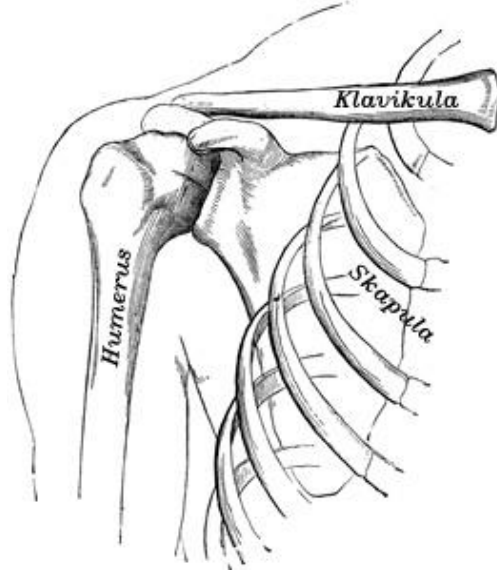
Omuz üst ekstremitayı gövdeye bağlayan bağlantıdır [6]. İnsan omzu; humerus, klavikula ve skapula olmak üzere üç kemikten oluşur (Şekil 2.7).

Çizelge 2.1: Vücutun çeşitli konumlarındaki trabeküler kemiğin farklı yükleme koşullarındaki mekanik özellikleri.

Kemik	Yükleme Koşulu	Mekanik Özellik				
		Modül (GPa)	Akma Gerinimi (%)	Akma Gerilmesi (MPa)	En Yüksek Gerilme (MPa)	Serbest Yoğunluk (g/cm ³)
Femoral Boyun	Basma	18,0 ± 2,8 [10]	1,04 ± 0,15 [10]	135,3 ± 34,3 [10]		
	Çekme		0,62 ± 0,04 [10]	84,9 ± 11,2 [10]		
	Basma	3230 ± 936 10 ⁻³ [11]	0,85 ± 0,10 [11]	17,45 ± 6,15 [11]		0,58 ± 0,11 [11]
	Çekme	2700 ± 772 10 ⁻³ [11]	0,61 ± 0,05 [11]	10,93 ± 3,08 [11]		0,54 ± 0,12 [11]
Proksimal Femur				4,83 ± 3,87 [12]		
Femur		13,0 ± 1,47 [13]			5,6-8,05 [7]	
Vertebra	Basma	344 ± 148 10 ⁻³ [11]	0,77 ± 0,06 [11]	2,02 ± 0,92 [11]	1,02 ± 2,54 [7]	0,18 ± 0,05 [11]
	Çekme	349 ± 133 10 ⁻³ [11]	0,70 ± 0,06 [11]	1,72 ± 0,64 [11]	2,23 [7]	0,19 ± 0,04 [11]
Proksimal Humerus	Anteroposterior	397 ± 215 (10 ⁻³) [12]			5,94 ± 4,13 [12]	
	Mediolateral	438 ± 245(10 ⁻³) [12]				
	Superioinferior	813 ± 401 (10 ⁻³) [12]				

Çizelge 2.2: Femoral insan kortikal kemiğin mekanik özellikleri.

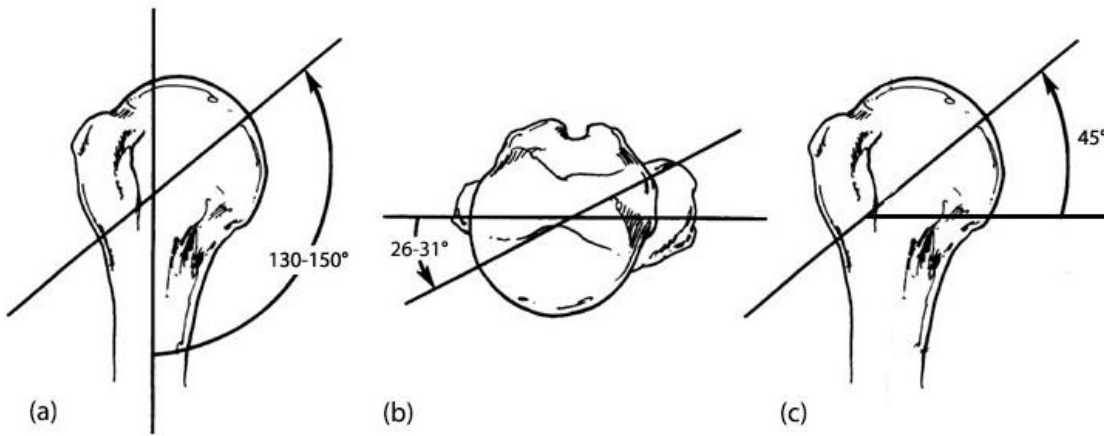
Kemik	Yükleme Koşulu	Mekanik Özellik			
		Modül (GPa)	Akma Gerinimi (%)	Akma Gerilmesi (MPa)	En Yüksek Gerilme (MPa)
Femur	Boyuna Çekme	16,8438 [15]	0,73 ± 0,05 [10]	107,9 ± 12,3 [10]	132,35 [15]
	Boyuna Basma	17,48 [15]		114,005 [15]	192,094 [15]
	Transvers Çekme				53 ± 10,7 [9]
	Transvers Basma				131 ± 20,7 [9]
	Boyuna	17,9 ± 3,9 [9]			
	Transvers	10,1 ± 2,4 [9]			
	Kayma	3,3 ± 0,4 [9]			65 ± 4 [9]



Şekil 2.7: Omzu oluşturan kemikler; Humerus, klavikula ve skapula.

2.1.3 Humerus

Humerus üst ekstremitenin en uzun ve en büyük kemiğidir [16]. Humeral başın eklem yüzeyi, medyal, superior ve posterior olarak oval bir şekle sahiptir ve neredeyse gerçek bir küre şeklindedir [17]. Kronberg, M., ve çalışma arkadaşlarının yaptığı bir kadavra çalışmasının sonucunda humerusun başının, anatomik boynundaki şafta göre 130° ile 150° arasında bir açıyla eğimli ayrıca medyal ve lateral epikondiler düzlemden 26° ile 31° retrovert olduğunu bulmuşlardır (Şekil 2.8a, Şekil 2.8b) [16,18]. Humerus epifizinin superioru anatomik boyun tarafından yatay düzlemle 45° lik bir açı yaparak geri kalanından ayrılır (Şekil 2.8c) [19].



Şekil 2.8: (a) Humerus başının şaft açısı (b) Başın retrovert açısı (c) yatayla yapılan açı [16].

2.1.4 Klavikula

Eksenel iskelet ve üst ekstremitte arasındaki tek kemikli bağlantı, sternum ve akromiyondaki ligamentler tarafından yerinde güvenli bir şekilde tutulan klavikula tarafından sağlanır [2]. Klavikula S şeklinde çift kavisi olan (anteriordan medyal üçte ikisi konveks, lateral uç konkav) uzun bir kemiktir [6,19]. Klavikula, omuz üzerindeki kasların birçoğu için bağlantı yeri oluşturur, altta yatan brakiyal pleksus, plevral baş ve nörovasküler yapıları korur ve aynı zamanda omuz kompleksinin pektoralis ve diğer aksiohumeral kasların hareketi ile medyal yer değiştirmesini önleyerek omuz kompleksinin stabilizasyonu için bir destek görevi görür [2,6,16].

2.1.5 Skapula

Skapula veya kürek kemiği, temel olarak kas tutturma bölgesi olarak hizmet eden, gözle görülür şekilde ince (ışığa tutulduğunda, kuru skapula yarı şeffaftır) ve kas eklemleri yoluyla toraksa posterolateral yönde uzanan ve akromiyoklaviküler eklemi yoluyla klavikulaya bağlanan üçgen bir kemiktir [16,19]. Skapulanın üç sınırı (superior, medyal (vertebral) ve lateral (aksiller) ve üç açığı (superior, inferior ve lateral) sahiptir [19]. Skapula, anterior yüzeyi torasik kafese (yani skapulotorasik arayüz) temas eden kaburga (anterior) ve posterior yüzeylere sahiptir [19]. Skapular düzlemin vücudun koronal düzlemine göre 30°- 45° anterior uzanan ve retrovert humerus başıyla eklemlenen yönelimi, geniş normal omuz hareketi için kemik türü dayanak sağlar [16].

2.2 Eklem Çeşitleri

Omuz eklemi glenohumeral, akromiyoklaviküler, sternoklaviküler ve skapulotorasik artikülasyonlar ve bunlara etkiyen kaslardan oluşur [6].

2.2.1 Glenohumeral eklem

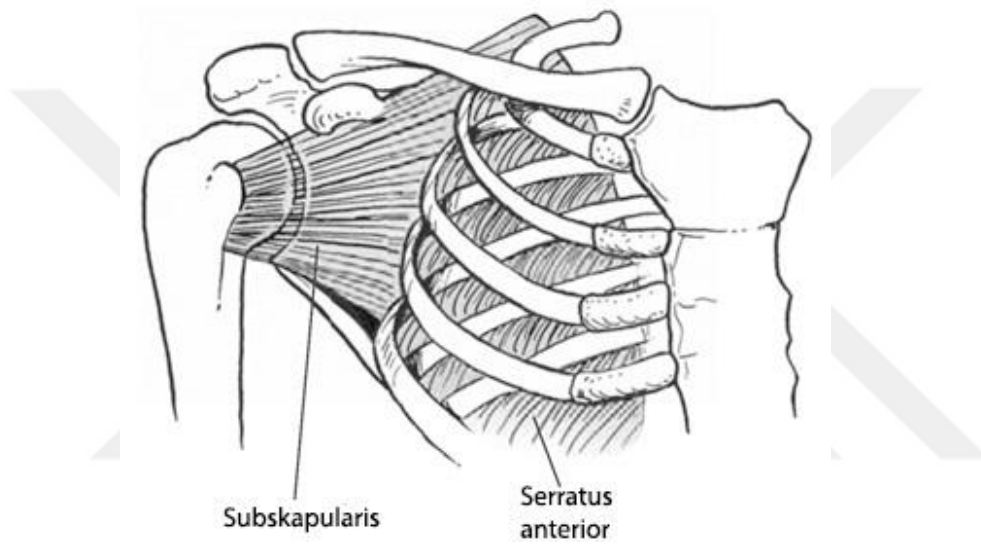
Glenohumeral eklem, üç eksenli ve üç serbestlik dereceli küresel mafsalsal (ball-socket joint) tipinde sinovyal bir eklemdir. Humerusun başı (kolun serbest ucu) göğüs kemiği soketine (skapulanın glenoid kavitesi) bağlıdır [19].

2.3 Yumuşak Doku

2.3.1 Kas dokusu

Serratus Anterior; toraksın lateral yüzünü kaplayan büyük bir kastır (Şekil 2.9) [20]. Skapula'nın superior medyal sınırında ana rotasyon eksenine bağlı olarak bu büyük güçlü kas, kolu başın üzerinde kaldırmak için gerekli rotasyona izin verir [20]. Serratus anterior, subskapularis ile birlikte omuz kompleksinin daha fazla hareketliliğini sağlamak için birbiri üzerinde kaymaktadır [6].

Subskapularis; pasif stabilizatör sayılır (Şekil 2.9) [17].



Şekil 2.9: Serratus anterior ve Subskapulari kasının görünümü [6].

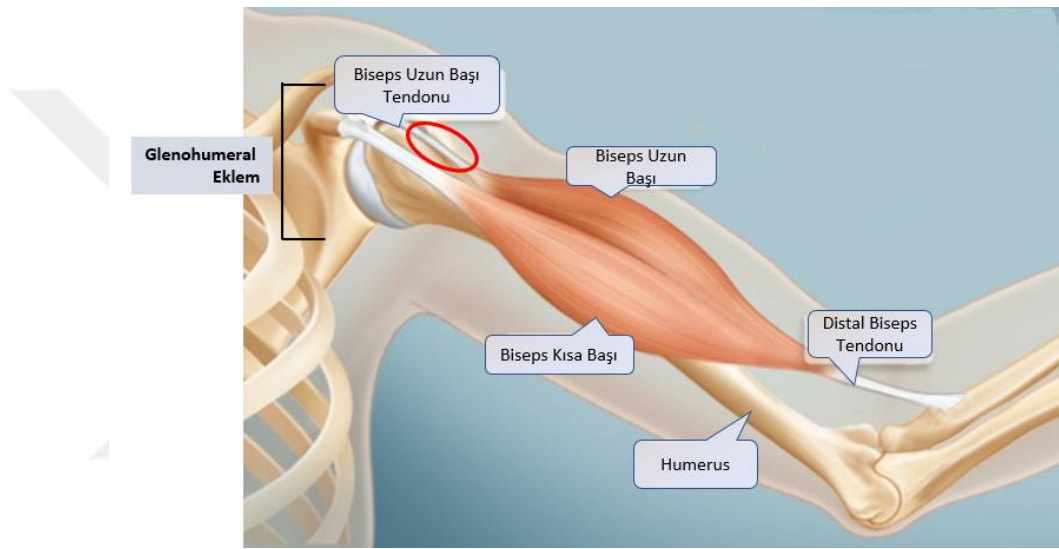
Deltoid; klavikulanın lateral üçte birinden, akromiyonun akromiyal kısmı ve skapulanın spinöz prosesinden oluşur [6,16,17]. Deltoid, glenohumeral eklemin en önemli abdükütürüdür [17]. Deltoid kasının anterior başı güçlü bir fleksör, posterior başı iste ekstansör görevi görür [6].

Pektoralis majör; klavikula, sternum ve beşinci ve altıncı kaburgaların medyal yönünde bulunur [16]. Pektoralis majör, addüktör kas görevi görür ve humerusa iç rotasyon hareketi yaptırır [6].

Pektoralis minör; kaburgaların anterior kısmında ve korakoid tabanında bulunur [16]. Skapulayı inferior olarak uzatır, rotasyona uğratar ve önemli bir skapular stabilizatör olarak işlev görür [6,16].

Trapezius; toraksın arkasındaki en büyük ve en yüzeysel skapulotorasik kastır [20]. Kafatasının tabanından üst lomber vertebraya kadar geniş bir alanı kaplar ve klavikula, akromiyon ve skapular omurganın lateral kısmında bulunur [16]. Esas olarak skapular retraktör ve skapulanın lateral açısının elevatörü görevini alır [16].

Biceps; Biceps kasının iki başı vardır (Şekil 2.10). Uzun başı supraglenoid tüberkülünden ve superior glenoid labrumdan, kısa başı ise skapulanın korakoid prosesinin ucundan oluşur [6,16]. Biceps kası her ne kadar humerus başı için stabilizatör görevi görse de ana işlevi dirsek fleksiyonu ve önkol supinasyonunu sağlamaktır [17].



Şekil 2.10: Biceps kası.

2.3.2 Tendon dokusu

Tendon, insan vücudunda eklem hareketini sağlamak için kastan kemiklere kuvvet aktarımını sağlayan fibröz kompozit bir malzemedir [3,21]. Tendonlar kaslardan daha sert olmaları sebebiyle daha yüksek çekme dayanımına ve daha büyük gerilmelere maruz kalabilirler [3]. Kompozit yapısı sayesinde yüksek viskoelastik ve anizotropik özelliklere sahiptir [21].

2.3.2.1 Biceps uzun başı tendonu

Biceps uzun başı (BUB) tendonu glenohumeral eklem içinde bulunur ve tüberkulum majus ve minus arasında alçalır, kısa baş ile birleşir ve radiusta bisipital tüberositeye yapışarak sonlanır [22]. BUB tendonunun maksimum kalınlığı, hastanın cinsiyetine ve atletik aktivitesine bağlı olarak, 3,3-4,7 mm'dir. [20]. Tendonun boyutu intra

artiküler kısmı tipik olarak geniş ve düzdür, oysa ekstra artiküler kısmı hem yuvarlak hem de daha küçüktür [22]. Tendonun uzunluğu 89-146 mm arasında olup, sağ ve sol omuz arasında fark yoktur [20].

Omuzda BUB tendonunun tam işlevi az sayıda deneysel kanıt olması ve mevcut verilerinin zaman zaman çelişkili olması sebebiyle tartışmalıdır [23]. BUB omuzun anterior stabilizeri olduğu söylendiği gibi posterior stabilizatör olduğu da söylenmektedir [24]. Itoi ve arkadaşlarının [25] yaptığı biyomekanik kadavra çalışmalarından hem BUB'un hem de biceps tendonunun kısa başının 1,5 kg ve 3 kg ile yüklendiğinde abduksiyon ve dış rotasyonda glenohumeral ekleme anterior stabilizatör olduğunu ayrıca omuz stabilitesi azaldıkça rollerinin arttığını belirtmiştir. Youm ve arkadaşlarının [24] yaptığı kadavra çalışmasında yüklenmiş BUB'un (22 N), glenohumeral translasyonu (anterior, posterior, superior ve inferior), kinematiği ve rotasyonel hareket aralığını önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. Sonuç olarak biyomekanik çalışmalar BUB glenohumeral eklemin stabilitesine her yönde katkı sağlamaktadır [22].

R. L. McGough ve arkadaşlarının [26] yaptığı kadavra çalışması sonucunda BUB tendonunun proksimal, orta ve distal kısımlarının alanları sırasıyla $22,7 \pm 9,3 \text{ mm}^2$, $22,7 \pm 3,5 \text{ mm}^2$, $10,8 \pm 2,8 \text{ mm}^2$ bulunmuş ve istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur. Halter (dumbbell) şekline getirilen tendonun orta kısmının alanı $10,1 \pm 1,6 \text{ mm}^2$ olup yapılan deneylerden elde edilen maksimum çekme dayanımı, maksimum gerinim, ve gerinim enerjisi sırasıyla; $32,5 \pm 5,3 \text{ MPa}$, $10,1 \pm \% 2,7$ ve $1,9 \pm 1,4 \text{ MPa}$ bulunmuştur [26].

C. W. Kolz ve arkadaşlarının yaptığı daha güncel bir kadavra çalışması R. L. McGough'un çalışmasını destekler niteliktedir. C. W. Kolz'un [27] çalışmasının sonucunda intra-artiküler, suprapektoral ve subpektoral bölgeler için kesit alanları (mm^2), çekme yükü (N) ve çekme dayanımları (MPa) sırasıyla $22,6 \pm 4,9 \text{ mm}^2$, $15,1 \pm 2,4 \text{ mm}^2$, $15,3 \pm 2,9 \text{ mm}^2$, $337,3 \pm 57,0 \text{ N}$, $345,3 \pm 99,8 \text{ N}$, $282,8 \pm 53,6 \text{ N}$, $15,5 \pm 4,2 \text{ MPa}$, $23,5 \pm 7,6 \text{ MPa}$, $18,9 \pm 4,4 \text{ MPa}$ 'dır.

3. BİSEPS UZUN BAŞI TENDONU PATALOJİLERİ

Omuz ekleminde yumuşak dokular tarafından sağlanan hareket açıklığı sebebi ile bu dokular daha sık travmaya maruz kalmaktadırlar. Biseps uzun başı tendonu (BUB) omuzda ağrı üretici olarak nitelendirilir [22]. BUB patalojileri arasında tenosinovit, tendinitis, tendon yırtığı, sublüksasyon ya da instabilite sayılabilir.

3.1 Tenosinovit

Tenosinovit, bir tendonun sinovyal kılıfının iltihaplanması anlamına gelir [28]. Bisipital tenosinovit, omuz ağrısının sık görülen bir sebebidir, ancak çoğu ortopedist tarafından önemi göz ardı edilmektedir [29]. BUB tendonunun tenosinoviti, omuzda hareket kısıtlamasına hatta tendon kopmasına sebebiyet vermektedir [30]. Thompson ve arkadaşlarının [31] yaptığı 544 vakanın incelendiği çalışma sonucunda tenosinovitin en yaygın nedenlerinin alışılmamış hareket gerektiren mesleki değişim (% 27), uzun bir aradan sonra işe yeniden başlanması (% 21), tekrarlı kalıplaşmış hareket (% 16,5), direkt oluşan yerel travma (% 14) ve yerel "gerilme" (% 14) olduğu düşünülmektedir.

3.2 Biseps Tendinitisi

Biseps tendinitisi BUB'un iltihaplanması olarak tanımlanır ve genellikle rotator kılıf lezyonları ve sıkışma gibi omuz patalojileriyle ilişkilidir [22]. 1940'lı yıllarda Tarsy, Hitchcock ve Bechtol, ve Lipman bisipital tendinitisin omuz ağrısının önemli bir sebebi olduğunu belirtmişlerdir [23].

3.3 İnstabilite

Omuz, insan vücudunda hareket açıklığı en fazla olan eklemdir [1]. Omuz eklemi, kemik kısıtlamalarının olmaması sebebiyle stabiliteyi yumuşak dokular sayesinde sağlar [6]. BUB tendonunun dislokasyon veya sublüksasyon nedeniyle oluşan instabilitesi omuzun ağrı veya rahatsızlık vermesinin olası bir nedeni olarak kabul

edilmiştir [32]. İnstabilite travma ya da tekrarlayan mikro travmalar sebebiyle oluşabilir [1]. BUB tendon instabilitesi rotator manşet yırtığı, özellikle de subskapularis tendon yırtıklarıyla ilişkilidir [22]. BUB tendon instabilitesinin teşhisini koymak diğer omuz patalojilerinin çok yaygın olması ile ilişkilendirildiğinde zor ve kafa karıştırıcıdır, bu sebeple patalojinin gözden kaçması ve tedavisinin yapılmaması hastanın omzunda ağrı ve rahatsızlık hissinin devam etmesine sebep olacaktır [32].



4. TEDAVİ YÖNTEMLERİ

BUB patolojileri nonoperatif tedavi, rekonstrüktif teknikler ve cerrahi yöntemler ile ele alınabilir [22]. Konservatif tedavinin başarısız olduğu; biceps tendonunda % 50'den fazla yırtık, medyale sublüksasyon, subskapularis yırtığıyla beraber biceps sublüksasyonu ve kronik, geçmeyen omuz hareket kısıtlılığı ile beraber olan ağrı durumlarında cerrahi seçenekler uygulanabilir. Cerrahi tedavide kullanılan yöntemler arasında tendon debridmanı (Canlı doku kenarlarını da kapsayacak şekilde ölü dokunun kesilerek temizlenmesi), biceps dekompresyonu, tenotomi ve tenodez bulunmaktadır. Bu cerrahi yöntemler arasında en sık tercih edilen iki yöntem tenotomi ve de tenodezdir [33]. Biceps patolojisi kaynaklı kronik omuz ön ağrılarının tedavisinde kabul edilen en iyi tedavi yöntemi BUB tendonunun glenohumeral eklem içindeki anatomik pozisyonunun tenotomi veya tenodez tekniği ile yer değiştirilmesidir. A. Frost ve arkadaşlarının [34] yaptığı çalışmada, biceps tenotomisinin daha hızlı, daha iyi tolöre edildiğini ve daha hızlı bir geri dönüşle cerrahi sonrası rehabilitasyon gerektirdiğini öne sürerek, tercih edilmesi gereken tedavi yöntemi olduğunu öne sürmektedir. Q. Zhang ve arkadaşlarının [35] yaptığı çalışma; tenotominin daha kısa bir cerrahi süre gerektirmesi ve daha hızlı ağrı rahatlaması gerektirmesi nedeniyle rotator manşet yırtıkları olan 55 yaşından büyük hastalarda BUB lezyonlarının tedavisi için daha uygun olacağı yönündedir. J. R. Shank ve arkadaşlarının [36] yaptığı çalışma sonucunda ön kol supinasyonunda ya da dirseğin fleksiyon dayanımında tenotomi ve tenodez arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı belirtilmektedir. G. Delle Rose ve arkadaşlarının [37] yaptığı klinik çalışmada yumuşak doku tenodez tekniğinin tenotomiye göre özellikle Temel Reis deformitesinin önlenmesinde, kolay ve düşük maliyetli olduğunu ancak daha uzun bir rehabilitasyon süresi gerektirdiğini savunmaktadır. R. S. Wolf ve arkadaşlarının [38] yaptığı kadavra çalışması sonuçlarına dayanarak, tenotomiden sonra distal BUB tendon migrasyonu ile üretilen kozmetik deformite ve ilişkili fonksiyon bozukluklarına itiraz edebilecek herhangi bir hastada BUB tenodezinin düşünülmesini önermektedir. Tenotomi teknik açıdan daha basit bir uygulama

olmasına rağmen kozmetik kusur, olası kramp ve yorgunluk ağrıları ve uzun vadede humerus başında bilinmeyen fonksiyonel defisitler taşıyabilen biyomekanik değişiklikleri ile sonuçlanabilir [39]. Tenodezi savunan çalışmalar fiziksel aktiviteye geri dönüş için daha iyi olduğunu ve temel reis deformitesinin tenotomiye göre daha az oluşması sebebiyle daha uzun rehabilitasyon sürelerine ve teknik olarak daha zor bir prosedür olmasına rağmen BUB tendon yaralanmaları olan hastalar için normal anatominin daha yakın bir yaklaşımının ana hedef olması gerektiğini belirtmektedir [39,40].

Tenodez, tendonun intra-artiküler kısmının rezekte edilip kalan tendonun proksimal kısmı proksimal humerusa sabitleme prosedürüdür [41]. Birçok BUB tenodez tekniği bulunmaktadır. BUB tenodezi için en sık kullanılan iki tenodez fiksasyon tekniği; interferans vidası ile tenodez ve suture ankor ile tenodezdir.

4.1 İnterferans Vidası ile Tenodez

Artroskopik biceps tenodezi prensibi basittir: biceps tenotomisi sonrası, tendon bir suture üzerinde bağlanır daha sonra humeral kılavuz deliğine çekilir ve interferans vidası kullanılarak sabitlenir (Şekil 4.1).

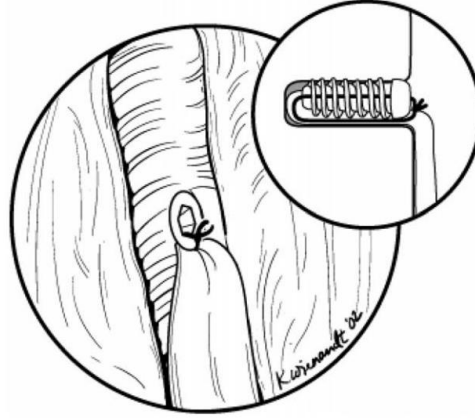


Şekil 4.1: İnterferans vida ile tenodez [42].

P. Boileau ve arkadaşlarının [43] kullandığı teknikte kılavuz deliğinin konumu prob ile ölçülerek akromiyal ark ile herhangi bir anterosuperior sıkışmayı önlemek için bisipital oluk girişinin üst kısmının yaklaşık 10 mm altına yerleştirilir.

A. D. Mazzocca ve arkadaşları [44] artroskopik interferans vidası ile tenodezde tendonu verev dikiş (whipstitch) ile kemik tüneline göndermektedir. Anatomik

olarak pektoralis majör tendonun üstünde olan bisipital oluğun proksimaline 8 mm'lik ve 25 mm derinliğinde kemik tüneli açılır. Vida, kemik tüneline getirilip dikişli tendon ile birbirine bağlanmıştır. Bu şekilde hem interferans sabitlemesi yapılmış (vida sabitlemesi sebebiyle) hem de suture ankor (tendon- vida yapısı sebebiyle) stabilitesi sağlamıştır (Şekil 4.2).

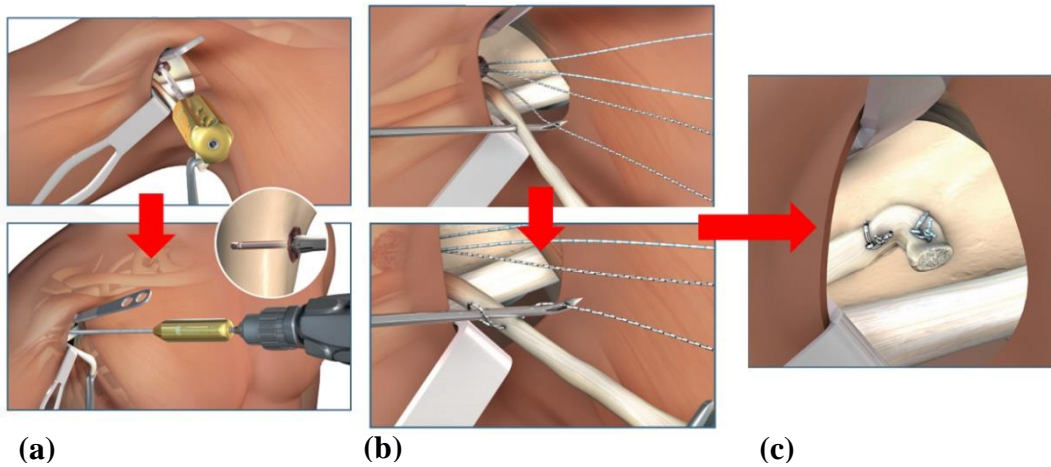


Şekil 4.2: A. D. Mazzocca ve arkadaşlarının [44] artroskopik interferans vidası ile tenodez yöntemi.

S. H. Kim ve J.c. Yoo'nun [45] tekniğinde tenodez için en uygun yerleşim yerinin bisipital oluk içinde eklem kıkırdağının hemen altında olduğunu savunmaktadır.

4.2 Suture Ankor ile Tenodez

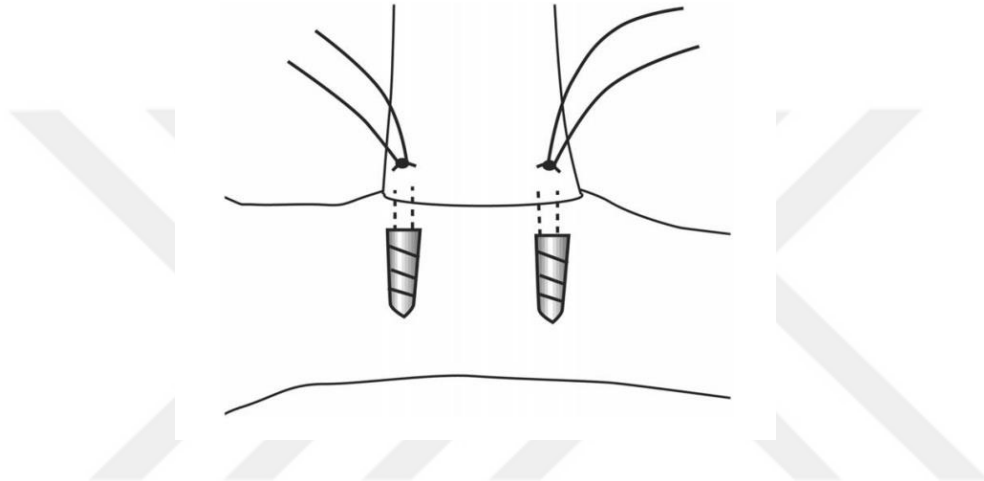
Biseps tenotomisi sonrası, humeral kılavuz deliğine suture ankor vidası gönderilip tendonun proksimal ucu suture ankorla sabitlenir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3: Suture ankor ile fiksasyon; (a) humerusa kılavuz deliği açılır, (b) tendonun proksimal ucu suture ankorla bağlanır, (c) tendon kemiğe sabitlenir [46].

Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi Ortopedi ve Travmatoloji kliniğinde kılavuz deliği açıldıktan sonra önceden hazırlanan 5 mm ankor 45° açı ile (önden arkaya, lateralden medyale) kılavuz deliğine yerleştirilir ve absorbe olmayan dikişlerle tendon kemiğe sabitlenen bir teknik uygulanmaktadır [47].

A. D. Mazzocca ve arkadaşları [44] artroskopik suture anchor tenodesis yönteminde proksimal bisipital oluğa yerleştirilen 2 suture anchor kullanılmıştır. Suture anchorlardan çıkan her bir suture modifiye Mason-Allen dikiş tarzında proksimal biceps tendonundan geçirilerek ve tendonu kemiğe bağlar (Şekil 4.4).



Şekil 4.4: A. D. Mazzocca ve arkadaşlarının artroskopik suture anchor ile tenodesis yöntemi [44].

4.3 İnterferans Vidası ile Tenodesis vs Suture Anchor ile Tenodesis

A. D. Mazzocca ve arkadaşlarının [44] yaptığı kadavra çalışmasında artroskopik suture anchor, artroskopik interferans vidası ve açık subpektoral interferans yöntemi ile fiksasyonunun kopma dayanımı açısından karşılaştırılması sonucunda istatistiksel olarak bir fark bulunamamıştır.

P. J. Millett ve arkadaşlarının [48] yaptığı retrospektif çalışmanın sonucunda subpektoral bölge tenodesisi için interferans vidası ile suture anchor arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır.

M. Baleani ve arkadaşlarının [49] yaptığı kadavra çalışmasında suprapektoral biceps tenodesisi için suture anchor ve interferans vidası arasında uzama, rijitlik ve kopma yükü açısından anlamlı bir fark çıkmamıştır. Ancak zayıf-gerilme sebebiyle dağılım dışında

kalan değerleri attıklarında sütur ankorun interferans vidasına göre kopma yükü açısından anlamlı derecede daha iyi performans gösterdiğini tespit etmişlerdir.

S. R. Golish ve arkadaşlarının [50] 9 çift kadavra omuzunda yaptığı çalışma sonucunda subpektoral bölgede interferans vidanın kopma dayanımı ve rijitliği sütur ankora göre istatistiksel olarak anlamlı derecede daha yüksek çıkmıştır.

M. Ozalay ve arkadaşlarının [51] yeni dondurulmuş (fresh-frozen) koyun omuzlarında yaptığı çalışma sonucunda interferans vidasının, sütur ankor arasında en yüksek yük ve deplasman değerleri açısından anlamlı bir fark çıkmamasına rağmen interferans vidasının başlangıç için daha iyi biyomekanik performans sergilediği sonucuna varmışlardır.

R. J. Tashjian ve arkadaşlarının [52] yaptığı kadavra çalışmasının sonucunda interferans vidasının sütur ankora göre anlamlı derecede farkla daha rijit olduğu sonucuna varmış, önceki yapılmış çalışmaların aksine gerilme açısından hiçbir yöntemin diğerinden üstün olmadığını belirtmiştir. Ayrıca Tashjian [52] sütur ankorun kopmadan önce daha yüksek uzamaya dayanabildiğini savunmaktadır.

D. P. Richards ve arkadaşlarının [53] yaptığı kadavra çalışması sonuçlarına dayanarak, bir interferans vidası kullanılarak yapılan biseps tenodezinin, ikili sütur ankor ile yapılan biseps tenodezinden daha yüksek fiksasyon dayanımı sağlamaktadır.

T. Patzer ve arkadaşlarının [54] yaptığı kadavra çalışmasında yaptıkları biyomekanik deneyler sonucunda çevrimsel yüklemeye daha iyi dayandığı için suprapektoral ve subpektoral biseps tenodezi için interferans vidasının düğümsüz (knotless) sütur ankor metoduna göre daha uygun bir metot olduğunu hatta sütur ankorun kopma yükünün interferans vidasından %50 gibi anlamlı derecede büyük bir farkla düşük olması sebebiyle sütur ankoru sadece ilk stabilite için önerilmesi gerektiğini savunmuştur.

M. Kusma ve arkadaşlarının [55] yaptığı hayvan çalışması sonucunda interferans vidasının sütur ankora göre anlamlı derecede daha yüksek kopma yüküne ve daha düşük deplasmana sahip olduğunu bulmuşlardır.

5. YÖNTEM

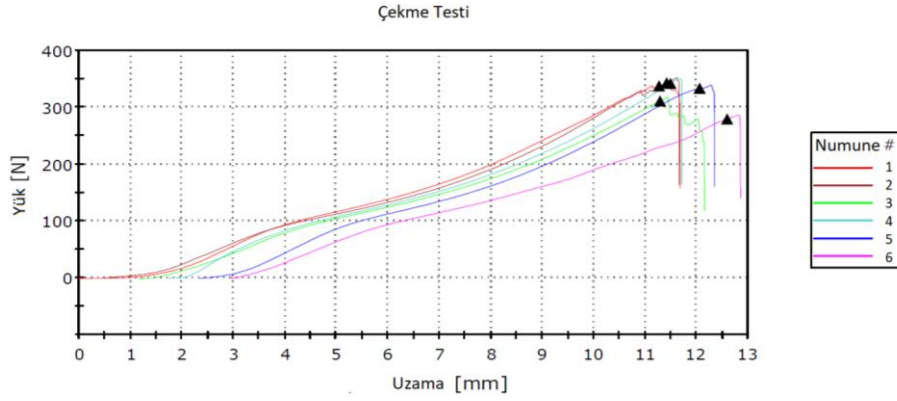
Bu tez çalışmasında yapılan bütün deneyler beş tekrarlıdır ve iki ana aşamadan oluşmaktadır. Bunlar, (1) füzyon öncesi dinamik yük uygulanmış ve uygulanmamış numunelere çekip çıkarma deneylerinin yapılması, (2) füzyon sonrası dinamik yük uygulanmış ve uygulanmamış numunelere çekip çıkarma deneylerinin gerçekleştirilmesidir.

5.1 Deney Numunesi Oluşturma

Yapılan biyomekanik deneylerin sonuçlarının gerçeği en iyi yansıtması açısından deney numunesi oluşturma bu çalışmanın önemli bir adımıdır. Kemiğin anizotropik yapısını tam anlamıyla taklit edebilmek için kompozit yapıda yapay kemik üretimi yapılmıştır. Kemiğin trabeküler kısmı için poliüretan (PU) köpük farklı kemik yoğunluklarını taklit etmek amacıyla üç farklı derecede kullanılmıştır. Seçilen PU köpük yoğunlukları ileri osteoporotik, osteoporotik ve osteopenik trabeküler kemiği taklit edecek seviyede seçilmiştir (sırasıyla seviye 5, 12, 15). Literatürde PU köpükten oluşturulmuş kompozit yapıları kemik numuneleriyle kadavra kemik numuneleri karşılaştırılmış ve biyomekanik deneyler için PU köpük kompozit kemik numunelerinin uygun olduğu belirtilmiştir [56]. Bu sebeple, kortikal katman için yüksek yoğunluklu PU kullanımı tercih edilmiştir. Literatürde kullanılan kompozit kemiklerdeki kortikal kemik dokusu için seviye 40 kullanılmıştır [57–59]. Literatürde proksimal humerusun kortikal kemik kalınlığı $4,4 \pm 1,0$ mm olarak kabul edilmiştir [60]. Deney numunesinde kortikal kemik kalınlığı 3,5, 4,5 ve 5,5 mm olarak belirlenmiştir. Üç farklı kortikal kalınlıkta hazırlanan kemik numuneleri karşılaştırıldığında kortikal kemik kalınlığının etkisi görülebilecektir.

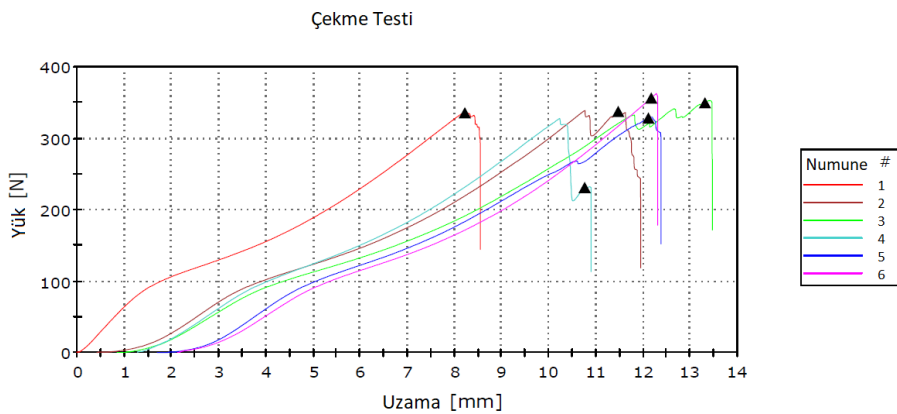
Yapay tendon malzemesi seçiminde daha önce bunun için bir standart oluşturulmadığı için, tendonun mekanik özelliklerini gösteren en yakın malzeme seçilmiştir. Literatürde deneysel olarak farklı şekillerde yapay tendon malzemesi kullanımı bulunmaktadır. S. Ramakrishna ve arkadaşlarının [61] polimer-kompozit malzemelerin biyomedikal uygulamalarını derleyen çalışmalarında tendon ve

ligamentler için ultra yüksek molekül ağırlıklı polietilen (UHMWPE), polipropilen (PP), polietilen tereftalat (PET), PU, Kevlar 49, Karbon ve multifilament ya da örgülü formda yeniden oluşturulmuş kolajen fiberlerinin kullanılabilir biyo malzemeler olduğunu belirtir. U. G. Longo ve arkadaşlarının tendon büyüme greftleri ile ilgili derlediği çalışmada yapay tendon yapı isteketi (scaffold) olarak kullanılabilir malzemelerin polyester, PP, polyarylamide, dakron, karbon, silikon ve naylon'dan yapıldığını ayrıca başarılı kullanımlara örnek olarak biyoçözünür polyüretan ürea polimerden yapılmış Artelon® ve polytetrafloretilden (PTFE) yapılmış Gore-Tex® verilebileceğini belirtmiştir [62]. A. Melvin ve arkadaşlarının yaptığı hayvan çalışmasında silikon kauçuğa bağlı her biri 12 µm olan birkaç yüz PET fiberlerden oluşan demetleri bir araya getirerek yapay tendon protezi (OrthoCoupler™) geliştirilmiştir [64,65]. R. D. Santis ve arkadaşları ligament ve tendon protezi olarak PET fiberlerle takviye edilmiş PU matrisini (HydroThane™) kullanmıştır [65]. H. R. Grau'nun yaptığı çalışmada tendonlar polyetilen kaplı çelik tel veya ipekten oluşturulmuştur [66]. Diğer kullanılan malzemeler; Teflon rodlar, Naylon ve Tetron, arteriyel doku ve Naylon ipliklerdir [67]. S. Abdullah'ın yaptığı çalışma sonucunda tendon otogreftlerine alternatif olarak şiddetli tendon kaybı ile el rekonstrüksiyonunda sentetik polyester tendon implantlarının kullanılmasını önerilmektedir [68]. J. Hunter'ın çalışması birbiri ile uyumlu iki sentetik malzemenin, silikon kauçuk ve polyester fiber, birleşiminin tendonun şekli, yüzeyi, dayanımı, bağlanma yüzeyi ve fiber dizilimi açısından en iyi sonucu verdiğini savunmaktadır [67]. J. Hunter'ın çalışmasında dokunmuş polyester fiber, ekstrüzyon, vulkanizasyon ve sertleştirme işlemiyle silikon kauçuk ile kaplanmıştır. Uyumlu sentetik malzemelerin bu birleşimi, insan implantasyonu için kabul edilebilir seviyede güçlü, esnek, tek bir birim tendon protezi üretilmiştir [67]. Sonuçlar polyester fiber + silikon kauçuktan üretilen yapay tendonun geçici protez tedavisi olarak başarılı bir şekilde çalıştığını göstermektedir [67]. Bu çalışmalar göz önüne alındığında yapay tendon malzemesi olarak Polyester kullanılmasının uygun olduğuna karar verilmiştir. 4452,0 dtex Yüksek mukavemetli polyester ipliğe 6 tekrarlı çekme deneyi yapılmış ve mekanik özellikleri tespit edilmiştir (Şekil 5.1). Bu deney verileri ışığında 4452,0 dtex Yüksek mukavemetli polyester ipliğin BUB tendonunun mekanik özelliklerini taklit etmek için uygun bulunmuştur.



Şekil 5.1: Yüksek mukavemetli polyester ipliğin çekme deneyi sonuçları.

Polyester iplik yapısı gereği filament bir yapıya sahiptir. Kolayca dış etkenler sebebiyle bütünlüğü bozulabilmektedir. Bunu engellemek amacı ile Yüksek mukavemetli Polyester iplik eser miktarda vazelinle kaplanmıştır. Bu kaplamanın sebebi polyester ipliğin mekanik özelliklerini değiştirmeden vida kaynaklı oluşabilecek hasarı önlemek ve ipliği bir arada tutmaktır. Bu işlem sonucunda polyester ipliğin hem mekanik hem de fiziksel özellikler açısından BUB tendonuna daha uygun olduğu tespit edilmiştir. Kaplanmış polyester ipliğin deney sonuçları Şekil 5.2’de gösterilmektedir. Kaplanmış iplik ile kaplanmamış ipliğin maksimum çekme dayanımı ve kopma gerinimi değerleri arasında Mann Whitney-U testi yapılmıştır. Bu deney sonucunda kaplanmış iplik ile kaplanmamış ipliğin mekanik özellikleri arasında istatistiki olarak anlamlı bir fark olmadığı tespit edilmiştir ($p = 0,631 > 0,05$).



Şekil 5.2: Kaplanmış yüksek mukavemetli polyester ipliğin çekme deney sonuçları.

BUB tendonu, yüksek mukavemetli Polyester ipliğin ve kaplanmış yüksek mukavemetli Polyester ipliğin mekanik özellikleri Çizelge 5.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 5.1: BUB tendonu ve Polyester fiber mekanik özellikleri.

	En Yüksek Çekme Dayanımı (N)	Kopma Gerinimi (%)
BUB Tendonu [26]	328,25	10,1 ± 2,7
BUB Tendonu Subpektoral Bölge [27]	282,8 ± 53,6	11,6 ± 6,3
Yüksek Mukavemetli Polyester İplik (4452dtex)	330,78 ± 25,21	10,79 ± 0,73
Kaplanmış Yüksek Mukavemetli Polyester İplik (4452dtex)	341,37 ± 13,59	10,91 ± 1,06

5.2 Poliüretan Köpük Üretimi

Bu çalışmada PU köpük trabeküler ve kortikal kemiğin mekanik özelliklerini taklit etmek amacıyla kullanılmıştır. PU köpüğün üretimi için gereken standart şartlar ASTM F 1839-08 “Standard Specifications for Rigid Polyurethane Foam for Use as a Standard Material for Testing Orthopaedic Devices and Instruments” standardında belirtilmiştir [69]. Bu standartta PU köpük katı hale geldikten sonraki yoğunluklarına göre seviyelere (grade) ayrılmıştır. Çalışma kapsamında seviye 5, seviye 12 ve seviye 15 olmak üzere sırasıyla ileri osteoporotik, osteoporotik ve osteopenik trabeküler kemik özelliklerini karşılamak üzere üç farklı köpük üretilmiştir. Kortikal kemik için seviye 40 kullanılmıştır. Kortikal kemik kalınlığı için literatürdeki değerler temel alınarak 3,5 mm, 4,5 mm ve 5,5 mm seçilmiştir.

Çizelge 5.2’de PU köpüğün seviyeleri ve bu seviyelerin yoğunluk limitleri verilmiştir.

Çizelge 5.2: PU Köpük Seviyeleri ve Yoğunlukları [69].

Seviye (Grade)	Asgari Yoğunluk (kg/m³)	Azami Yoğunluk (kg/m³)
5	72,10	88,10
12	173,0	211,5
15	216,0	264,5
40	576,5	705,0

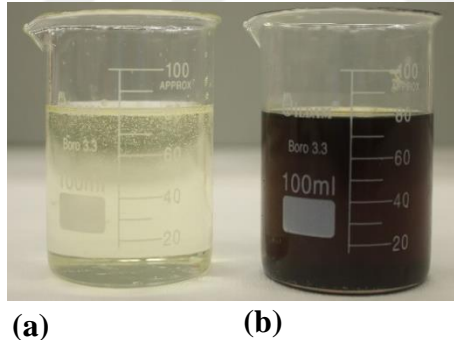
Deney sonuçlarını karşılaştırma kolaylığı sağlaması için kortikal kemik kalınlıkları sırasıyla A (3,5 mm), B (4,5 mm), C (5,5 mm) olarak isimlendirilmiştir. Trabeküler kemik yoğunluğu standartta belirtilen seviyesi ile isimlendirilmiştir. Bu isimlendirme

sisteminde önce kortikal kemik kalınlığı sonrasında trabeküler kemik yoğunluğu belirtilmektedir (Çizelge 5.3).

Çizelge 5.3: Deney numune grup isimlendirmesi.

Grup ismi	Kortikal Kemik Kalınlığı (mm)	Trabeküler Kemik Yoğunluğu (Seviye)
B5	4,5	İleri osteoporotik (5)
B12	4,5	Osteoporotik (12)
B15	4,5	Osteopenik (15)
A15	3,5	Osteopenik (15)
C15	5,5	Osteopenik (15)

Deneylerde kullanılan tüm köpük bloklar TOBB ETÜ Teknoloji merkezi Biyomekanik Laboratuvarında üretilmiştir. Üretilmiş poliüretan bloklarının hammaddesi Poliöl ve Polizosiyanat adlı iki farklı kimyasaldır. Sıvı halde temin edilen bu iki kimyasal (Şekil 5.3) karıştırıldığında tepkimeye girer ve poliüretan köpüğü oluşturur.



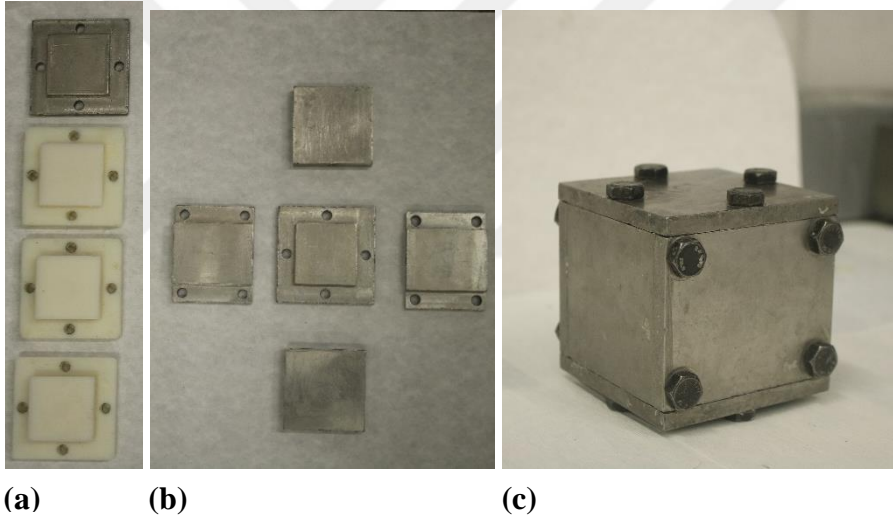
Şekil 5.3: (a) Poliöl, (b) Polizosiyanat.

Bu iki kimyasal birbirleriyle karıştırıldığında köpürerek tepkimeye girer ve buldukları kabın hacmini almaktadır. Şekil 5.4'de hacim sınırlaması olmayan bir ortamda tepkimeye giren Poliöl ve Polizosiyanat görülmektedir. Poliöl, Polizosiyanat oranı ağırlıkça sırasıyla 1,4'e 1'dir. Köpük üretilirken istenilen yoğunluk ve dökülecek kalıbın hacmi belirli olduğu için 1,4-1 oranına göre Poliöl, Polizosiyanat oranları belirlenerek köpük üretimi yapılmıştır. PU köpük döküm aşamasında, köpüğün yükselme yönü önemlidir. Deney yapılacak yönde köpüğün yükselerek oluşturulması gerekmektedir. Bu gereklilik göz önünde bulundurularak bütün PU köpük üretimleri yapılmıştır.



Şekil 5.4: Aşamalı olarak hacim sınırlaması olmayan kaptaki tepkimeye giren Poliöl ve Polizosiyanat.

Üretimi tamamlanmış kompozit yapay kemik numuneleri 50x50x50mm hacme sahiptir. Numunelerin üretimi için bir tanesi kalıp başlığı olacak şekilde altı parçadan oluşan kalıplar kullanılmıştır (Şekil 5.5). Kullanılan kalıp başlıkları üretimi yapılacak katmanın kalınlığına uygun şekilde tasarlanmıştır (Şekil 5.6).

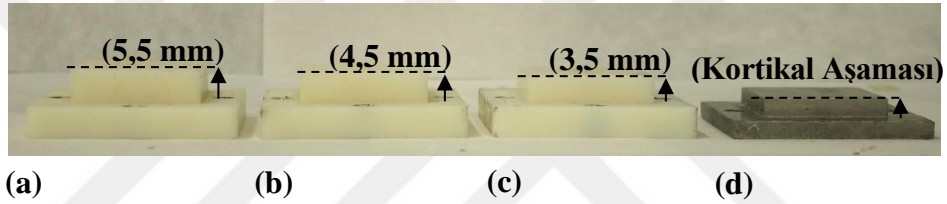


Şekil 5.5: (a) Farklı derinliklere sahip kalıp başlıkları, (b) demonte edilmiş alt kalıp parçaları, (c) monte edilmiş kalıp.

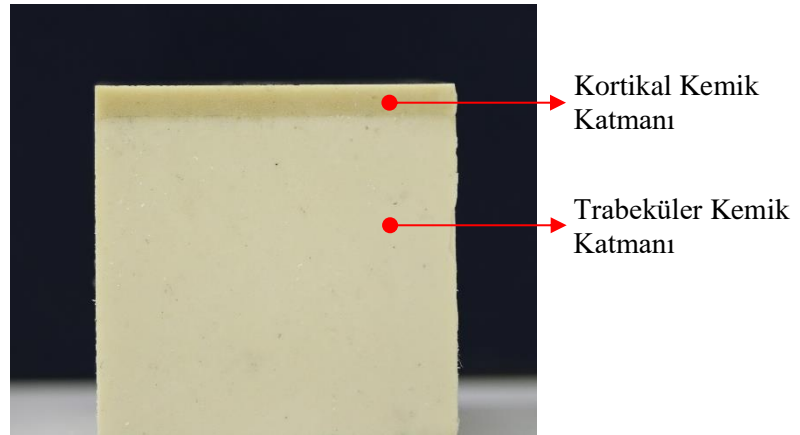
Kompozit yapay kemik numuneleri iki aşama ile üretilmiştir. İlk aşama trabeküler kemik katmanını oluşturmaktır. Bu aşamada bir sonraki aşamada istenilen kortikal kalınlıklara uygun kalıp başlıkları kullanılmıştır (Şekil 5.6). Bu aşamada kullanılan kalıp başlıkları kortikal katman döküm aşamasında kullanılan kalıp başlıklarından kortikal katmanın kalınlığı kadar daha derindir.

Kalıplara istenilen trabeküler yoğunluklarda PU köpük dökülmüştür. Dökümü tamamlanmış trabeküler PU köpük tamamen katılaştıktan sonra kalıptan çıkarılıp yoğunluk kontrolü yapılmıştır. Yoğunluk kontrolünden geçen trabeküler PU

köpükler ikinci aşama için yükselme yönlerine dikkat edilerek tekrar kalıplara yerleştirilmiştir. İkinci aşamada birinci aşamada hazırlanan trabeküler PU köpüklerin üzerine uygun kortikal katmanı temsil edecek seviye 40 yoğunluğunda PU tekrar döküm yapılmıştır. Bu aşamadan sonra elden edilen PU köpük bloğu iki katmanlıdır (Şekil 5.7). Literatürde kortikal ve trabeküler katmanın ayrı ayrı üretilip akrilik yapıştırıcı ile birbirlerine yapıştırıldığı çalışmalar mevcuttur [58,70]. Yapıştırıcı kullanımı kortikal ve trabeküler kemik katmanı arasında gerçeği temsil etmeyen ve mekanik özellikleri belirlenemeyen ekstra bir katman oluşturması sebebi ile tercih edilmemiştir. İki katmanın da aynı malzeme olması katmanlar arası malzeme uyumsuzluğu oluşmasını engellemiştir. Katmanların sıralı bir şekilde bir arada dökülmesi katmanlar arası yapıştırıcı kullanılma ihtiyacını ortadan kaldırmıştır. Bu sayede oluşan kemik numunesinin saflığı bozulmamıştır.



Şekil 5.6: (a) Kortikal kalınlığı 5,5 mm olan C grubunun kalıp başlığı, (b) kortikal kalınlığı 4,5 mm olan B grubunun kalıp başlığı, (c) kortikal kalınlığı 3,5 mm olan A grubunun kalıp başlığı, (d) kortikal katman kalıba döküldükten sonra kullanılan kalıp başlığı.



Şekil 5.7: Kompozit yapıda üretimi tamamlanmış PU köpük bloğu.

5.3 Sistem Elemanlarının Deneyleri

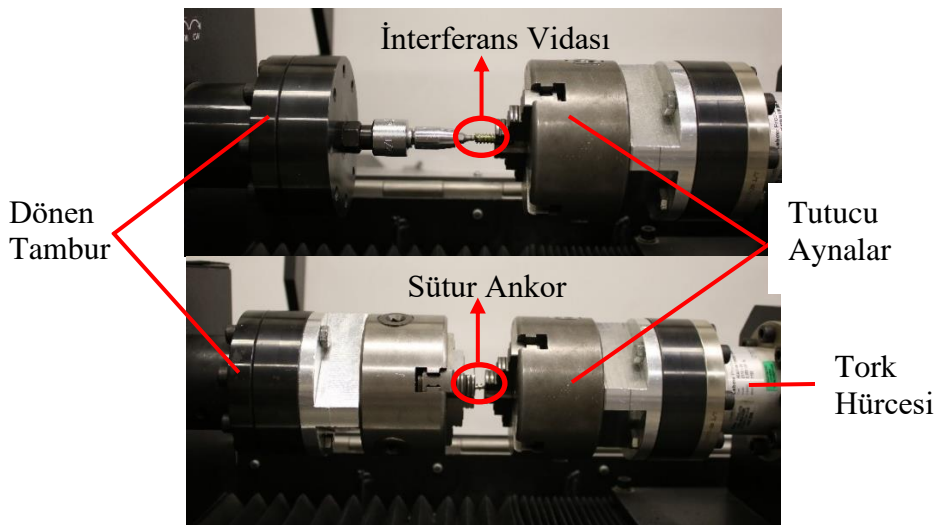
Sistemde kullanılan İnterferans ve Sütür ankor vidalarına ASTM F543 “Standard Specification and Test Methods for Metallic Medical Bone Screws” standardına uygun deneyler yapılmıştır [71]. Bunun amacı sistemde kullanılacak olan vidaların gerçekte de cerrahi olarak kullanılabilir olduklarından emin olmaktır. Bu kapsamda kullanılan sistem elemanlarına burma ve çekip çıkarma deneyleri yapılmıştır. Şekil 5.8’te sistemde kullanılan interferans vidası ile sütür ankor gösterilmektedir. İnterferans vidası Ti6Al4V alaşımından, dış dibi çapı 5 mm, dış üstü çapı 7 mm ve 25 mm boyundadır. Sütür ankor vidası Ti6Al4V alaşımından dış dibi çapı ortalama 3 mm, dış üstü çapı 5 mm ve boyu 16 mm’dir.



Şekil 5.8: Soldan sağa sırasıyla interferans vidası ve sütür ankor.

5.3.1 Burma deneylerinin gerçekleştirilmesi

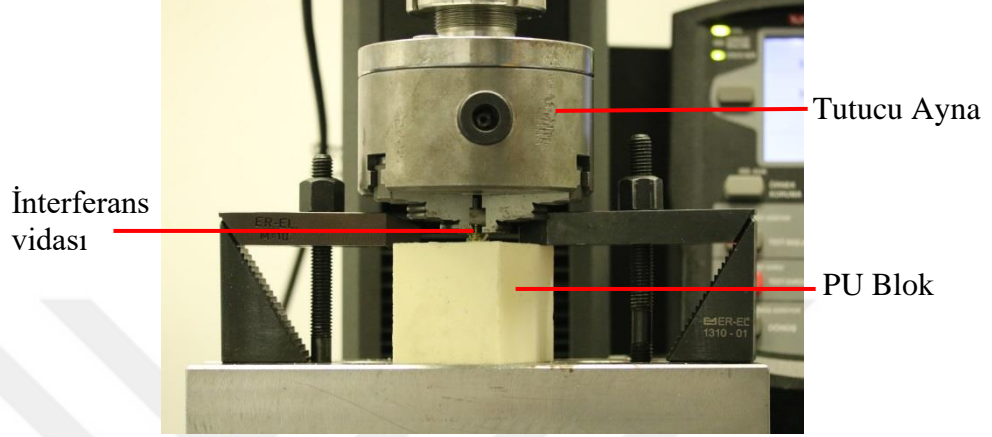
Vida sistemleri kemiğe gönderilirken burma yüküne maruz kalmaktadır. Bu nedenle kullanılan interferans vidalarına ve sütür ankorlara Şekil 5.9’deki düzenek ile burma deneyleri yapılmıştır.



Şekil 5.9: Burma deney düzeniği.

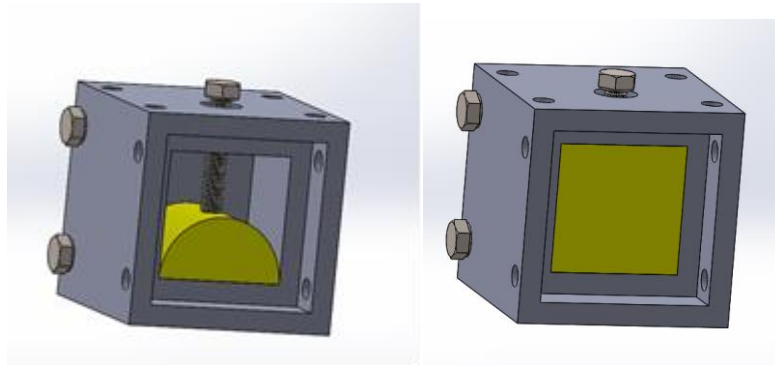
5.3.2 Çekip çıkarma deneyleri

Çekip çıkarma deneylerinden Şekil 5.10’da sunulan deney düzeneği kullanılmıştır. Standartta uygun üretilen köpüklere pilot delik açıldıktan sonra vidalar köpüklere vida göndericiler ile gönderilmiş ve çekip çıkarma deneyleri yapılmıştır. Bu durum füzyon gerçekleşmeden önceki (erken evre) durumu temsil etmektedir.



Şekil 5.10: Çekip çıkarma deney düzeneği.

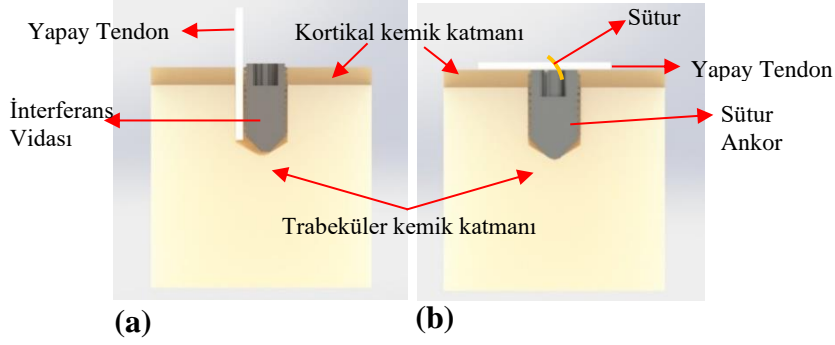
Füzyon öncesi köpüklerin içine gönderilen kemiklere çekip çıkarma deneyi yapıp, dayanımları belirlenmiştir. Füzyon sonrası durumun bir benzerini gerçekleştirebilmek içinse köpürme sırasında vidaları kalıbın içinde tutabilen Şekil 5.11’deki benzer bir ek aparat kullanılmıştır. Böylelikle köpürme sırasında vida sisteminin tüm boşluklarına köpüğün dolması yani füzyonun gerçekleşmesi durumu benzetilmiştir. Köpürme sırasında kalıp içinde tutulan vida grubu için de çekip çıkarma deneyleri yapılmış ve füzyon sonrası tutunma özellikleri belirlenmiştir.



Şekil 5.11: Füzyon sonrası köpürme işlemi.

5.4 Füzyon Öncesi Deney Düzeneği Hazırlanması

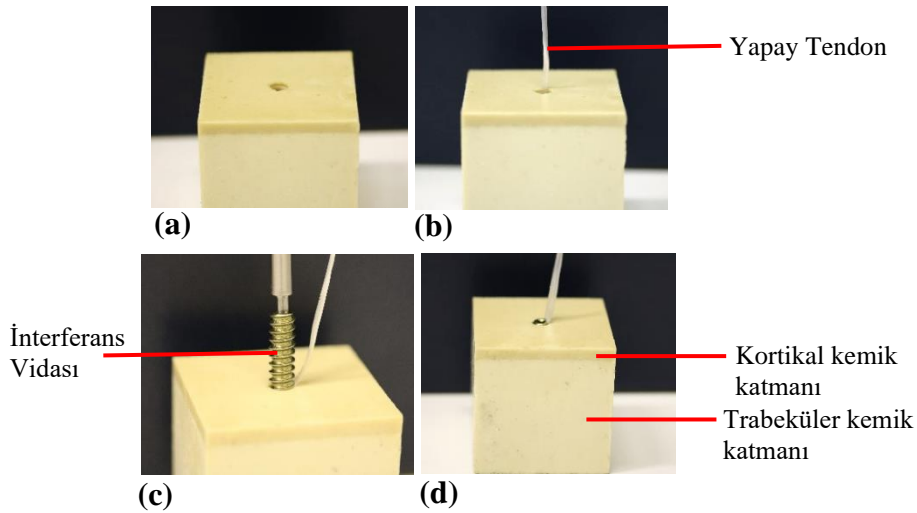
İlk bölüm olan füzyon öncesinde, kemiği temsil etmek üzere biyomekanik deneylerde kompozit yapay kemik bloğuna fiksasyon yöntemine göre deney düzeneği hazırlanmıştır. Şekil 5.12’de bu iki fiksasyon yöntemi gösterilmiştir.



Şekil 5.12: (a) İnterferans vidası, (b) sütün ankor ile fiksasyon.

5.4.1 İnterferans vidası ile fiksasyon için deney numunesi hazırlanması

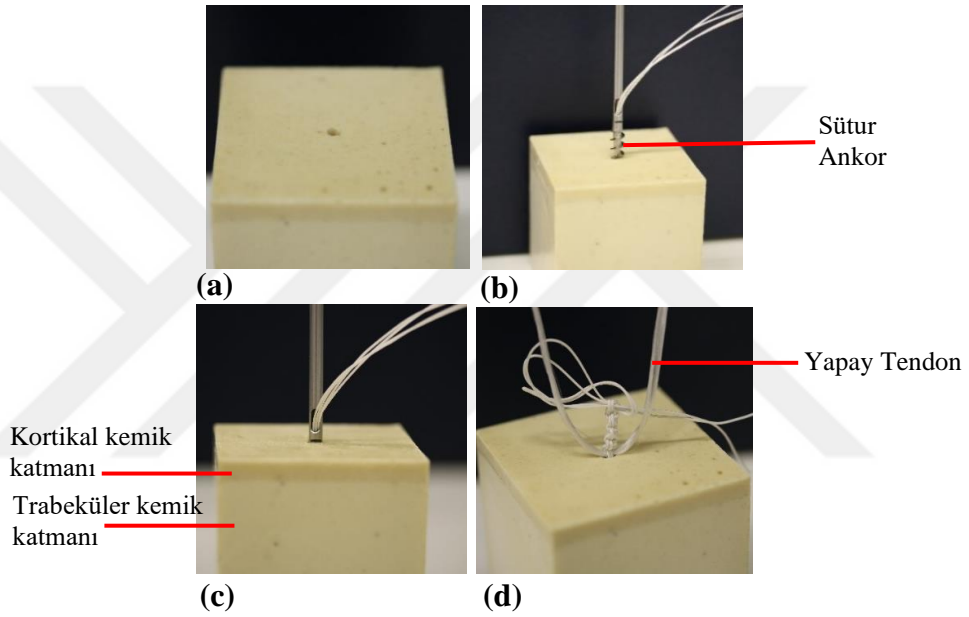
Deney düzeneği, üç farklı kortikal kemik kalınlığında ve üç farklı kemik yoğunluğunda üretimi tamamlanmış kompakt yapay kemik bloğuna kılavuz deliği açılmıştır (Şekil 5.13a). Sonra kemik bloğuna yapay tendon (Şekil 5.13b) ve interferans vidası (Şekil 5.13c) ASTM F1839-08 standardına belirlenen ortopedik malzemelerin deneylerinde standart olarak kullanılan sentetik poliüretan köpüklere vida göndericiler ile gönderilerek deney düzeneği hazırlanmıştır (Şekil 5.13d) [69].



Şekil 5.13: İnterferans vidası deney numunesi hazırlanış aşamaları: (a) kılavuz deliği, (b) yapay tendonun yapay kemik bloğuna yerleştirilmesi, (c) interferans vidasının yapay kemik bloğuna gönderilmesi, (d) tamamlanmış deney numunesi.

5.4.2 Sütür ankor ile fiksasyon için deney numunesi hazırlanması

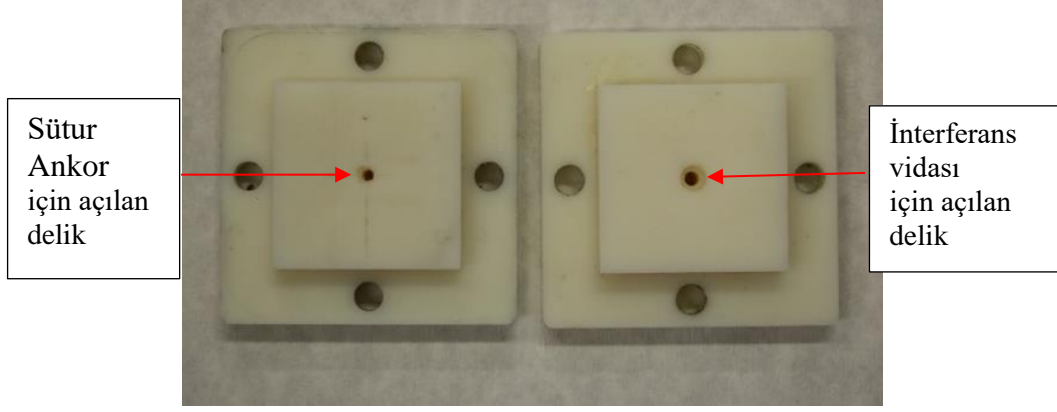
Deney düzeneği, üç farklı kortikal kemik kalınlığında ve üç farklı kemik yoğunluğunda üretilmiş kompakt yapay kemik bloğuna kılavuz deliği açılmıştır (Şekil 5.14a). Sonra kemik bloğuna sütür ankor Şekil 5.14b’de gösterildiği gibi, ASTM F1839-08 standardına göre belirlenen ortopedi malzemelerinin deneylerinde kullanılan sentetik poliüretan köpüklere vida göndericiler ile vida tamamen gömülü kalacak şekilde gönderilmiştir (Şekil 5.14c) [69]. Yapay tendon sütür ankor vidasının süturları ile çözülmeyecek şekilde bağlanarak deney düzeneği hazırlanmıştır (Şekil 5.14d).



Şekil 5.14: Sütür ankor deney numunesinin hazırlanış aşamaları: (a) kılavuz deliği, (b) sütür ankorun yapay kemik bloğuna gönderilmesi, (c) sütür ankorun seviyelenmesi, (d) sütür ankorun süturları ile yapay tendonun bağlanması- tamamlanmış deney numunesi.

5.5 Füzyon Sonrası Deney Numunesi Hazırlanması

Yapay kemik numuneleri füzyon öncesi numunelerinin hazırlanışına benzer bir yaklaşım ile hazırlanmıştır. Bu aşamadaki fark interferans vidası ve yapay tendon, kemik numunesinin oluşturulmasından sonra numuneye gönderilmemiş, vida ve yapay tendon kalıbın içindeyken kemik numuneleri oluşturulmuştur. Füzyon sonrasında kullanılan kalıp başlıklarında vidaların ve yapay tendonun geçişine izin veren delikler bulunmaktadır (Şekil 5.15).



Şekil 5.15 Füzyon sonrası numuneler için kullanılan kalıp başlıkları.

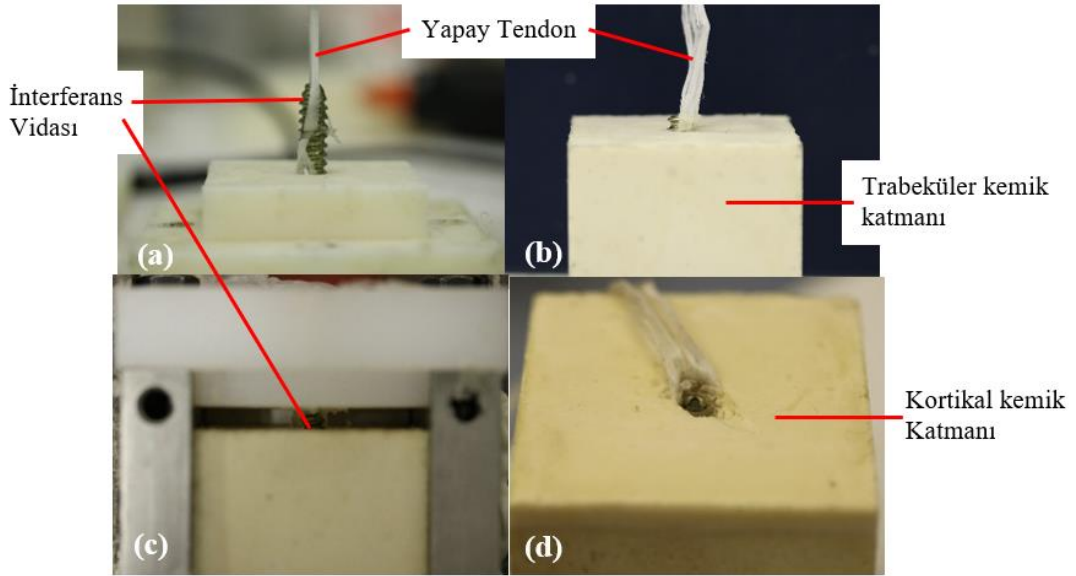
5.5.1 Füzyon sonrası interferans vidası için deney numunelerinin hazırlanması

Füzyon sonrası deney numuneleri iki aşamada oluşturulmuştur. İlk aşamada kullanılan kalıp başlıkları kortikal kalınlığa göre vidaya uygun şekilde üretilmiştir. Bu aşamada yapay tendon ve interferans vidası kalıp başlığına yerleştirilmiş ve ince bir sütür yardımı ile birbirlerine bağlanmıştır (Şekil 5.16a). Trabeküler katman bu başlık yardımı ile oluşturulmuştur. Trabeküler yoğunluğu kontrol edebilmek için kalıp başlığının vida ve yapay tendonun geçişini sağlayan boşluğundaki kalan boşluklar silikon yardımı ile doldurulmuştur. Tamamen katılaştan numune kalıptan çıkarılarak üzerinde varsa eğer kalan silikonlar temizlenmiştir. Bu aşamada elde edilen numunede sadece trabeküler katman, vida ve yapay tendon vardır (Şekil 5.16b). İkinci aşama kortikal katmanı oluşturma aşamasıdır. Bu aşamada kullanılan kalıp başlığı sadece yapay tendonun kalıp dışına çıkışını sağlamaya yetecek boşluğa sahiptir. İlk aşamada elde edilen numune kalıba yerleştirilip kortikal katman için tekrar döküm yapılır (Şekil 5.16c). Yapay tendonun geçişine izin veren boşluktan malzeme çıkışını engellemek için yine silikon kullanılmıştır. Silikon deney numunesine zarar vermeden kolayca temizlenebilmesi ve malzeme çıkışını engellediği için tercih edilmiştir. Bu aşama sonucunda kalıptan çıkan numune füzyon sonrası deneyleri için kullanılacak olan numunedir (Şekil 5.16d).

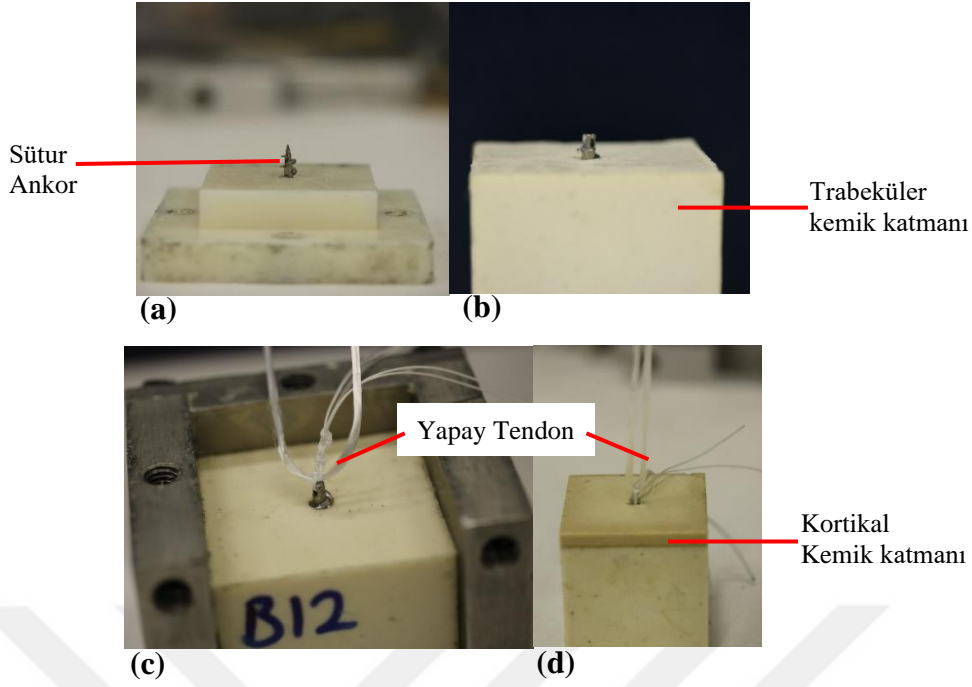
5.5.2 Füzyon sonrası sütür ankor için deney numunesinin hazırlanması

Sütür ankor için füzyon sonrası deney numuneleri iki aşamada oluşturulmuştur. İlk aşamada kullanılan kalıp başlıkları kortikal kalınlığa göre vidaya uygun şekilde üretilmiştir. Bu aşamada sadece sütür ankor vidası kalıp başlığına yerleştirilmiştir (Şekil 5.17a). Trabeküler katman bu başlık yardımı ile oluşturulmuştur. Trabeküler

katmanı oluştururken malzeme taşmasını engelleyebilmek için kalıp başlığının vida geçişini sağlayan boşluğu silikon yardımı ile doldurulmuştur. Tamamen katılaştan numune kalıptan çıkarılarak üzerinde varsa eğer kalan silikonlar temizlenmiştir. Bu aşamada elde edilen numune sütür ankor vidası ve trabeküler katmandan oluşmaktadır (Şekil 5.17b). İkinci aşama kortikal katmanı oluşturma aşamasıdır. Bu aşamada kullanılan kalıp başlığı sadece yapay tendonun kalıp dışına çıkışını sağlamaya yetecek boşluğa sahiptir. İlk aşamada elde edilen numune kalıba yerleştirilip sütür ankorun süturu ile yapay tendon birbirlerine bağlanır (Şekil 5.17c). Ardından kortikal katman için tekrar döküm yapılır. Yapay tendonun geçişine izin veren boşluktan malzeme çıkışını engellemek için yine silikon kullanılmıştır. Silikon deney numunesine zarar vermeden kolayca temizlenebilmesi ve malzeme çıkışını engellediği için tercih edilmiştir. Bu aşama sonucunda kalıptan çıkan numune füzyon sonrası deneyleri için kullanılacak olan numunedir (Şekil 5.17d).



Şekil 5.16: Füzyon sonrası interferans vidası için deney numunesinin hazırlanma aşamaları: (a) vidanın ve yapay tendonun kalıp başlığına yerleştirilmesi, (b) trabeküler katmanı oluşturulmuş yapay kemik numunesi, (c) kortikal katman oluşturulmak için tekrar kalıba yerleştirilmiş kemik numunesi, (d) füzyon sonrası interferans vidası ile fiksasyon deneyleri için kullanılacak numune.



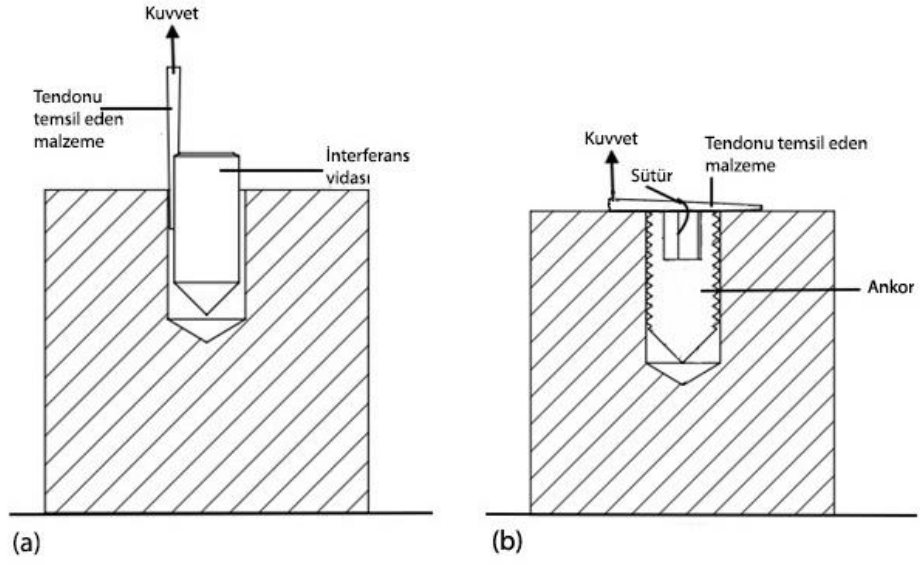
Şekil 5.17: Füzyon sonrası sütür ankor için deney numunesinin hazırlanma aşamaları: (a) sütür ankor vidasının kalıp başlığına yerleştirilmesi, (b) trabeküler katmanı oluşturulmuş yapay kemik numunesi, (c) kortikal katman oluşturulmak için tekrar kalıba yerleştirilmiş, sütür ile yapay tendonu bağlanmış kemik numunesi, (d) füzyon sonrası sütür ankor ile fiksasyon yöntemi deneyleri için kullanılacak numune.

5.6 Deneylerin Gerçekleştirilmesi

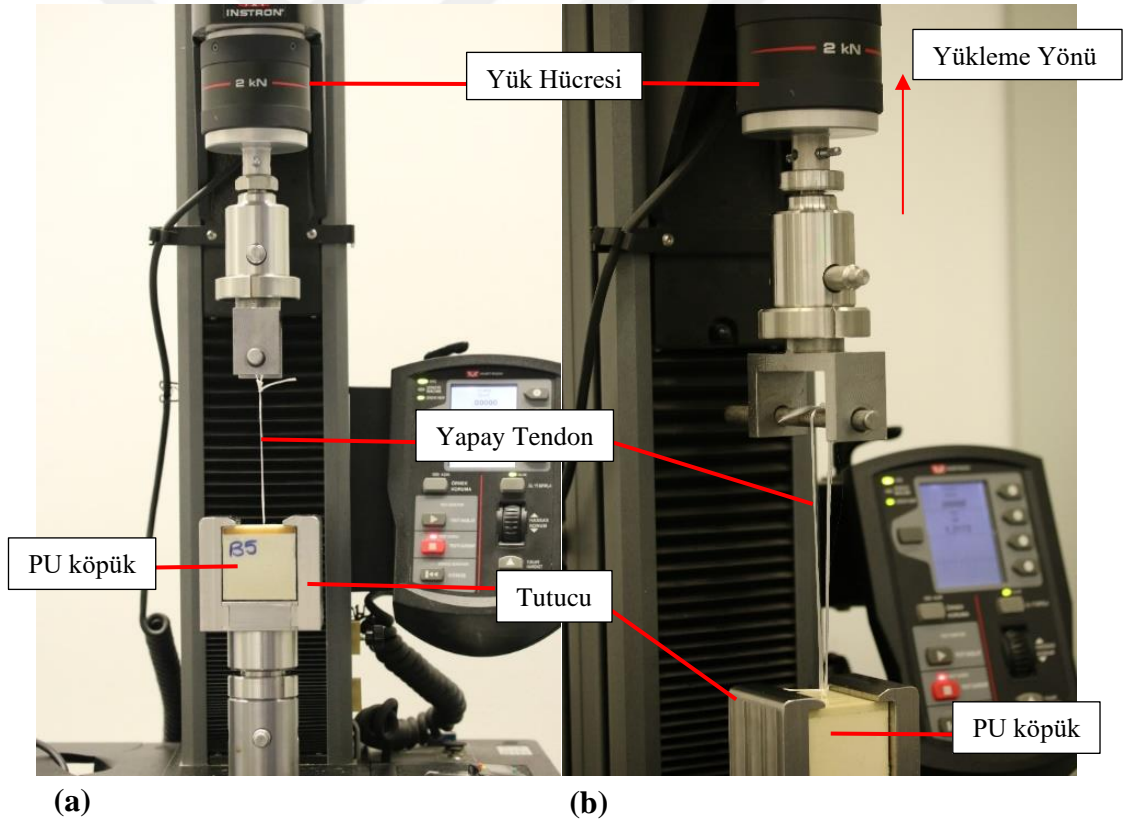
Numuneler ilk olarak yapılacak deneylere göre gruplandırılmıştır. Bir gruba sadece statik çekip çıkarma deneyleri uygulanmıştır. Diğer gruba ise önce çevrimsel yükleme sonrası aynı numuneye çekip çıkarma deneyleri uygulanmıştır. Şekil 5.18'da iki fiksasyon tekniğine de yapılacak deneylerdeki yapay tendona uygulanan kuvvetin yönü gösterilmektedir.

5.6.1 Statik çekip çıkarma deneylerin gerçekleştirilmesi

Çekip çıkarma deneyleri için Instron 5944 2 kN basma çekme cihazı kullanılmıştır. Hazırlanan numuneler Şekil 5.19'de görüldüğü gibi deney cihazına yerleştirilmiştir. Deneyler 5 mm/dk sabit çekme hızıyla kopma gerçekleşene kadar devam ettirilmiştir. Deney sonunda, her bir numuneye ait yük-yer değiştirme grafikleri deney cihazının bilgisayar yazılımı aracılığıyla elde edilmiştir.



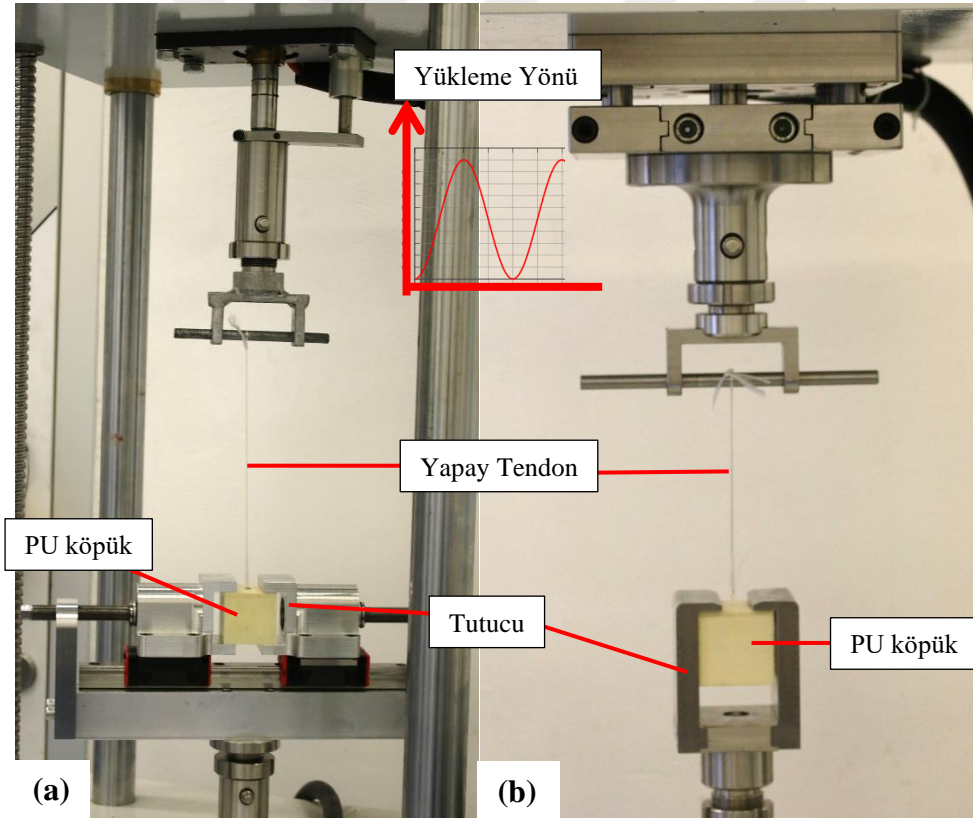
Şekil 5.18: Çekip çıkarma deney düzeneği görseli (a) interferans vidası (b) sütünür ankor.



Şekil 5.19: Çekip çıkarma deney düzeneği (a) interferans vidası (b) sütünür ankor.

5.6.2 Çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma deneyleri

Çevrimsel yükleme deneyleri için Labiotech 2015EMY01 seri numaralı elektromekanik yorulma cihazında yük kontrollü olarak gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan numuneler Şekil 5.20'de görüldüğü gibi deney cihazına yerleştirilmiştir. 10N'luk ön yüklemeden sonra 50N yük çevrimsel olarak uygulanır. Biceps üzerinde kolun ağırlığı dışında hiçbir distal kuvvet olmadığında üzerinde 50 N kuvvet oluştuğu için bu yük seçilmiştir [38]. Maj Mark A. Slabaugh ve arkadaşları [72] çalışmalarında hastaların immobilize cerrahi sonrası iki haftasını teorik olarak kopyalamak için 500 çevrim seçmişlerdir. Bu çalışmada cerrahi sonrası bir ayı taklit etmek için yük oranı 10, dalga biçimi sinüzoidal, çevrim frekansı 1 Hz ve başarılı sayılan çevrim sayısı kırılma/kopma gerçekleşmeksizin 1.000 çevrim olarak belirlenmiştir. Çevrimsel olarak yüklenen numunelere bir önceki bölümde anlatılan çekip çıkarma deneyleri uygulanmıştır.



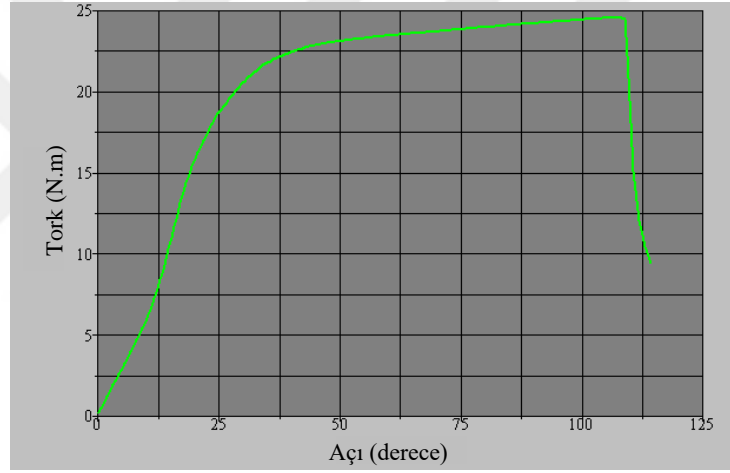
Şekil 5.20: Çevrimsel Yükleme deney düzeneği (a) interferans vidası (b) sütür ankor.

6. DENEY SONUÇLARI

6.1 İnterferans Vidası Sonuçlar

6.1.1 Sistem elemanları deneyleri

Sistemde kullanılan İnterferans vidalarına ASTM F543 standardına göre deney yapılmıştır [71]. Bölüm 5.3.1’de anlatılan burma deneyleri beş tekrarlı yapılmıştır. Deney sonucunda elde edilen örnek tork-burulma açısı grafiği Şekil 6.1’de verilmiştir. Burma deney sonuçları Çizelge 6.1’de verilmiştir.



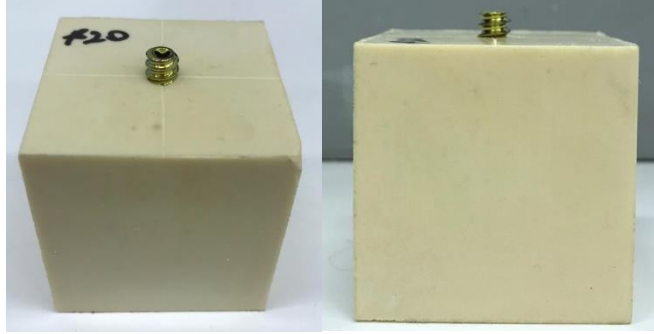
Şekil 6.1: İnterferans vidasının tork-burulma açısı grafiği örneği.

Çizelge 6.1: İnterferans vidası burma deney sonuçları.

	Ortalama Değer	Standart Sapma
En yüksek Tork (N.m)	22,22	2,64
En Yüksek Açı (°)	87,97	36,80
Kırılma Torku (N.m)	14,90	5,36
Kırılma Açısı (°)	87,37	36,80

İnterferans vidası için seviye 20 Poliüretan köpük hazırlanmıştır. Bu köpüklere, köpüğün yükselme yönünde 6 mm çapında kılavuz deliği açılıp, interferans

vidalarının 5 mm'si gömülü olmayacak şekilde gönderilmiştir (Şekil 6.2). Bu grupta yapılan deneyler füzyon öncesi durumdaki vidanın çekip çıkarma dayanımını belirleyecektir.



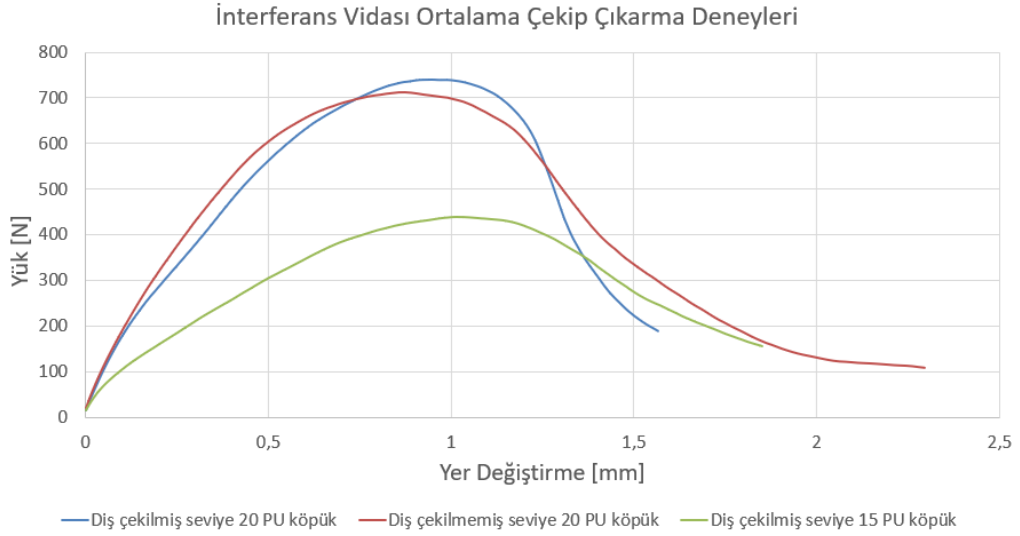
Şekil 6.2: İnterferans vidasının çekip çıkarma deneyleri için hazırlanmış deney numunesi.

Beş tekrarlı yapılan seviye 20 PU köpüklerden yapılan çekip çıkarma dayanımı (ÇÇD) $742,20 \pm 32,10$ N tespit edilmiştir. Aynı şekilde üretilen seviye 20 PU köpüklere kılavuz deliği açıldıktan sonra deliğin içine vida dış adımıyla birebir şekilde dış çekilmiştir (Şekil 6.3). Dış çekilmiş kılavuz delikli PU köpüklerden çekip çıkarılan interferans vidasının ÇÇD'si $713,51 \pm 27,99$ N tespit edilmiştir. Dış açılmış delik ile dış açılmamış kılavuz deliğinde yapılan çekip çıkarma performansında anlamlı bir fark çıkmamıştır ($p = 0,917 > 0,05$). Tedavi yöntemi sırasında kılavuz deliğinin içine dış açıldığı için ilerleyen bütün deneylerde bu prosedür yapılacaktır.



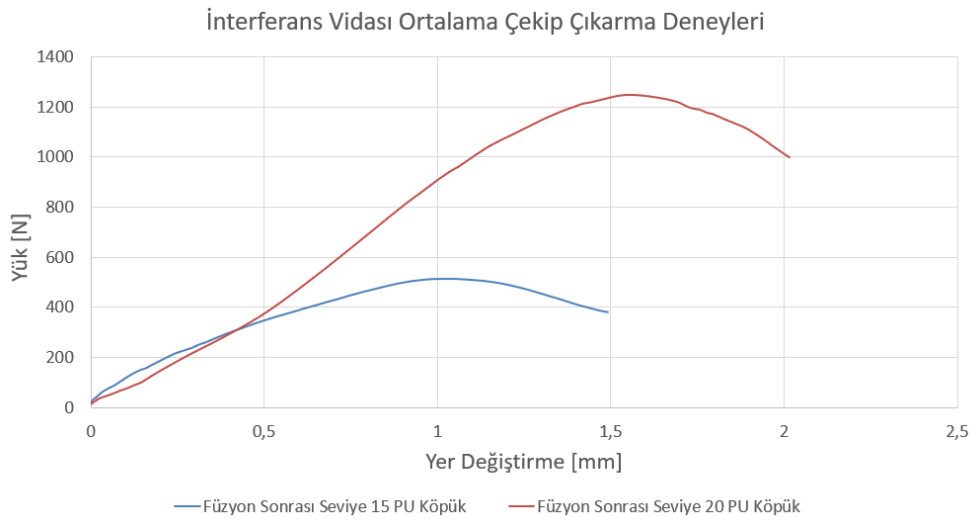
Şekil 6.3: Dış çekilmiş kılavuz deliği.

İnterferans vidası için çekip çıkarma deneyi seviye 15 poliüretan köpük için yapılmıştır. Standartta belirtilen seviye 20 için yapılan prosedür tekrarlanmıştır. İnterferans vidasının seviye 15 PU köpükteki ÇÇD'si $367,36 \pm 31,37$ N bulunmuştur. İnterferans vidası için ortalama çekip çıkarma deney sonuçları Şekil 6.4'de gösterilmiştir.



Şekil 6.4: İnterferans vidası için ortalama çekip çıkarma deney sonuçları.

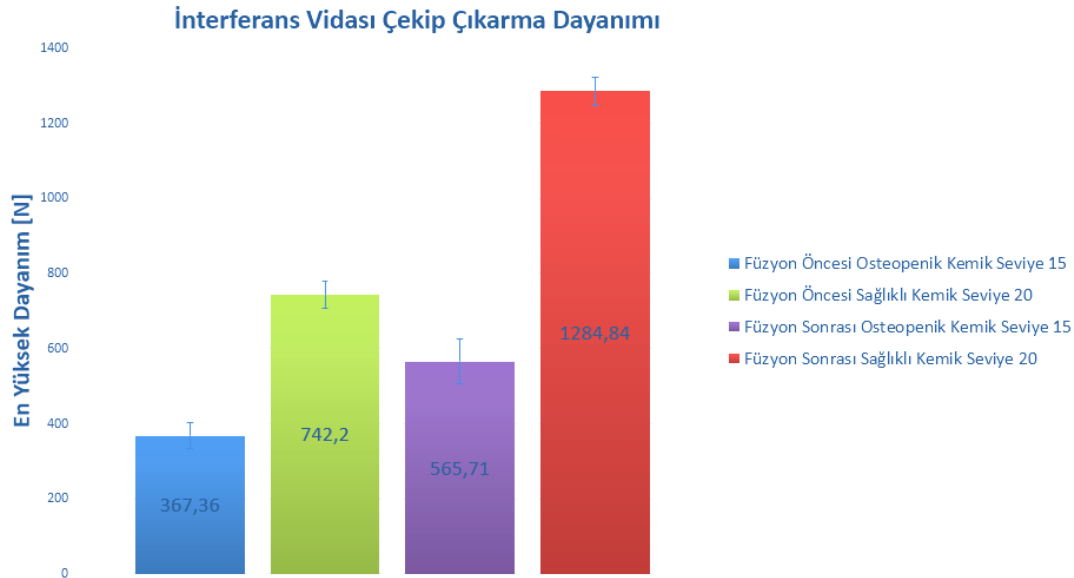
Füzyon sonrası durumda interferans vidasının çekip çıkarma dayanımını belirlemek için füzyon sonrası numunelerin hazırlandığı kalıp başlıklarına interferans vidası yerleştirilerek köpüğe gömülü hem seviye 20 hem de seviye 15 numuneler üretilmiştir. Füzyon gerçekleşmesi durumunu temsil eden bu iki farklı yoğunluktaki köpüklere gömülü olan interferans vidasına standarta uygun bir şekilde çekip çıkarma deneyi uygulanmıştır. Füzyon sonrası seviye 20 için $\text{ÇÇD } 1284,847 \pm 37,47$ N bulunmuştur. Füzyon sonrası seviye 15 için $\text{ÇÇD } 598,22 \pm 89,21$ N bulunmuştur. İnterferans vidasının füzyon sonrası köpüklerden ortalama çekip çıkarma deney sonuçları Şekil 6.5’de verilmiştir.



Şekil 6.5: İnterferans vidası için füzyon sonrası ortalama çekip çıkarma deney sonuçları.

İnterferans vidasının seviye 20 (sağlıklı trabeküler kemik yoğunluğu) PU köpükten füzyon öncesi ve sonrası ÇÇD karşılaştırıldığında füzyon sonrası füzyon öncesine göre anlamlı derecede daha iyi performans göstermiştir ($p = 0,009 < 0,05$). Füzyon öncesi ve sonrası seviye 15 (osteopenik trabeküler kemik yoğunluğu) PU köpükten çekip çıkarılan interferans vidasında da füzyon sonrası anlamlı derecede daha yüksektir ($p = 0,009 < 0,05$).

Şekil 6.6'da gösterilen bar grafiğinde hem füzyon öncesi köpüklerde ($p=0,009 < 0,05$) hem de füzyon sonrası köpüklerde ($p=0,009 < 0,05$) interferans vidasının ÇÇD'si sağlıklı trabeküler kemik yoğunluğunu temsil eden gruplarda anlamlı derecede daha yüksektir.



Şekil 6.6: Füzyon öncesi ve sonrası interferans vidasının en yüksek çekip çıkarma dayanım değerleri.

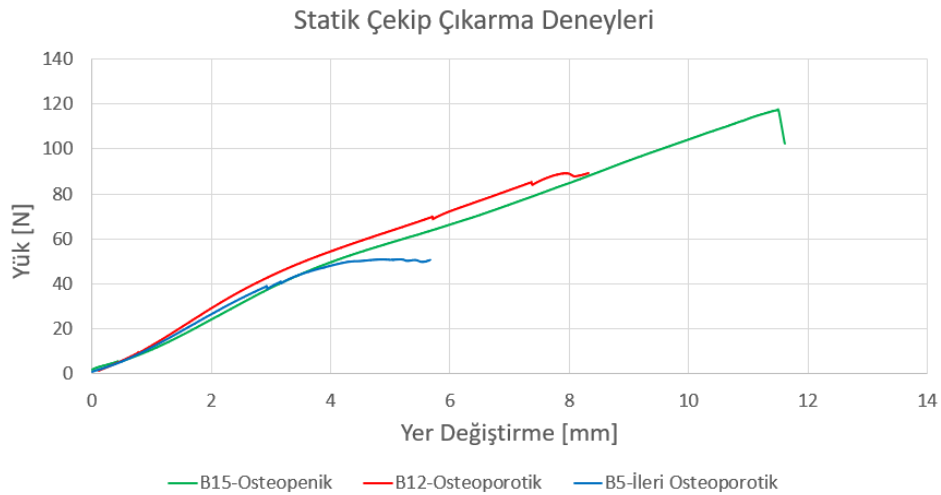
6.1.2 İnterferans vidası için füzyon öncesi statik çekip çıkarma deneyleri

Bölüm 5.4.1'de anlatılan şekilde interferans vidası ile fiksasyon tekniği için hazırlanan deney numunelerine beş tekrarlı statik çekip çıkarma testleri uygulanmıştır. Statik çekip çıkarma deneylerinden elde edilen ortalama ÇÇD'ler Çizelge 6.2'de verilmiştir.

Çizelge 6.2: İnterferans vidası ile fiksasyon tekniğinin füzyon öncesi ortalama statik çekip çıkarma dayanımları.

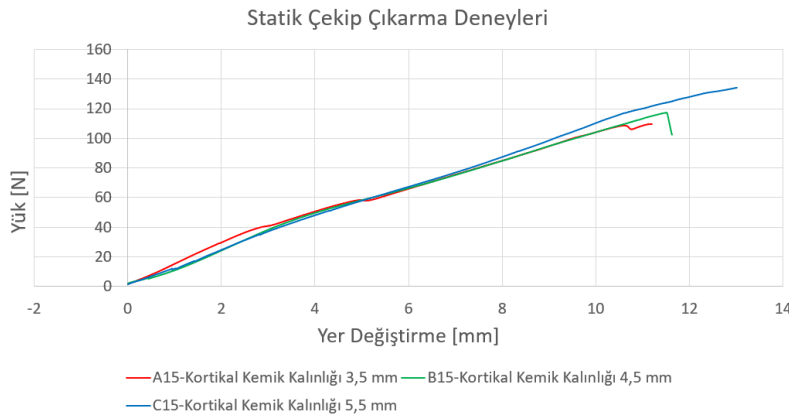
Grup ismi	Kortikal Kemik Kalınlığı (mm)	Trabeküler Kemik Yoğunluğu (Seviye)	Ortalama Statik ÇÇD (N)	Standart Sapma
B5	4,5	İleri osteoporotik (Seviye 5)	51,53	2,43
B12	4,5	Osteoporotik (Seviye 12)	103,83	7,56
B15	4,5	Osteopenik (Seviye 15)	123,30	8,13
A15	3,5	Osteopenik (Seviye 15)	116,59	4,14
C15	5,5	Osteopenik (Seviye 15)	145,16	10,00

Şekil 6.7’de değişken trabeküler kemik yoğunluğuna göre interferans vidası ile fiksasyon tekniğinin ortalama statik çekip çıkarma deney grafiği verilmiştir. Trabeküler kemik yoğunluğunun ÇÇD’ye olan etkisini araştırmak için B5, B12 ve B15 gruplarına Kruskal Wallis-H testi uygulanmıştır. Bu grupların çekip çıkarma dayanımları arasında anlamlı fark bulunmuştur ($p = 0,002 < 0,05$). Bir sonraki adım olarak bu gruplar Mann Whitney-U testi ile ikili olarak karşılaştırılmıştır. B15 ve B12 grubu arasında p değeri 0,016, B15 ve B5 grubu arasında p değeri 0,009, B12 ve B5 grubu arasında p değeri 0,008 bulunarak bütün gruplar arasında anlamlı fark olduğu tespit edilmiştir. Statik çekip çıkarma deney sonuçları değerlendirildiğinde interferans vidası ile fiksasyon tekniğinin ÇÇD trabeküler kemik yoğunluğunun azalması ile doğru orantılı şekilde azalmıştır.



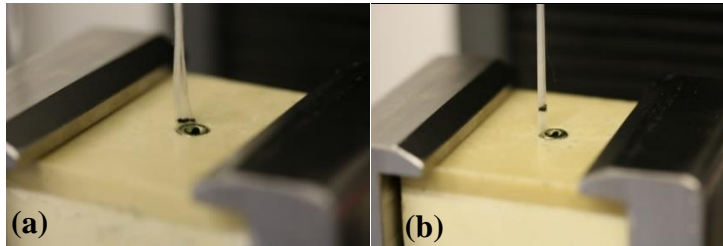
Şekil 6.7: Trabeküler kemik yoğunluklarına göre ortalama statik çekip çıkarma deney sonuçları.

Şekil 6.8’de değişken kortikal kemik kalınlığına göre interferans vidası ile fiksasyon tekniğinin ortalama statik çekip çıkarma deney grafiği verilmiştir. Kortikal kemik kalınlığının çekip çıkarma dayanımına olan etkisini araştırmak için A15, B15 ve C15 grupları karşılaştırılmıştır. Kruskal Wallis-H testi yapılan bu 3 grubun çekip çıkarma dayanımı arasında anlamlı bir fark tespit edilmiştir. ($p = 0,007 < 0,05$). Mann Whitney-U testi ile ikili olarak karşılaştırılan A15 ile B15 grupları arasında anlamlı fark tespit edilmemiştir ($p=0,117 > 0,05$). B15 ile C15 grubu arasındaki karşılaştırma sonucunda p değeri 0,016, A15 ile C15 grubu arasında ile 0,008 bulunarak bu gruplar arasında anlamlı fark tespit edilmiştir. Statik çekip çıkarma deney sonuçları kortikal kemik kalınlığı açısından değerlendirildiğinde 4,5 mm ve altı olan grupta kortikal kemik kalınlığı değişiminden interferans vidası ile fiksasyonun ÇÇD’si etkilenmemiştir. Ancak kortikal kemik kalınlığı 4,5 mm’den fazla olduğu durumdaki ÇÇD anlamlı derecede diğer gruplara göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6.8: Kortikal kemik kalınlığına göre ortalama statik çekip çıkarma deney sonuçları.

Numunelerin hiçbirinde interferans vidası köpükten çıkmamıştır. Bütün numunelerde yapay tendon köpükten çıkmıştır. Çekip çıkarma deney başlangıcı ve sonucu Şekil 6.9’da net bir şekilde görülmektedir.



Şekil 6.9: İnterferans vidası ile fiksasyon yöntemi çekip çıkarma (a) deney başlangıcı (b) deney sonu.

6.1.3 İnterferans vidası için füzyon öncesi çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma deneyleri

Bölüm 5.4.1’de anlatılan şekilde interferans vidası ile fiksasyon tekniği için hazırlanan deney numunelerine beş tekrarlı çevrimsel yükleme sonrasında statik çekip çıkarma testleri uygulanmıştır. Statik çekip çıkarma deneylerinden elde edilen ortalama ÇÇD Çizelge 6.3’de verilmiştir.

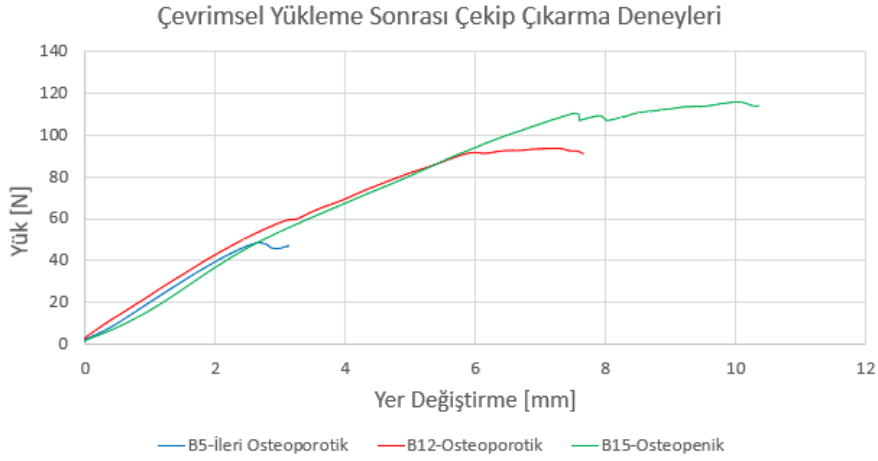
Çizelge 6.3: İnterferans vidası ile fiksasyon tekniğinin füzyon öncesi ortalama çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma dayanımları.

Grup ismi	Kortikal Kemik Kalınlığı (mm)	Trabeküler Kemik Yoğunluğu (Seviye)	Ortalama Statik ÇÇD (N)	Standart Sapma
B5	4,5	İleri osteoporotik (Seviye 5)	50,98	2,13
B12	4,5	Osteoporotik (Seviye 12)	98,31	7,81
B15	4,5	Osteopenik (Seviye 15)	121,88	7,07
A15	3,5	Osteopenik (Seviye 15)	118,07	4,37
C15	5,5	Osteopenik (Seviye 15)	135,45	11,23

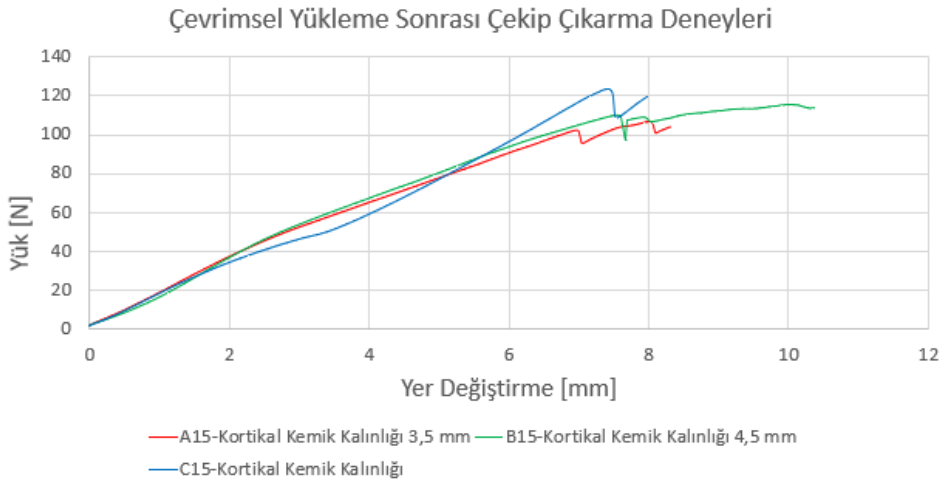
Şekil 6.10’da değişken trabeküler kemik yoğunluğuna göre interferans vidası ile fiksasyon tekniğinin ortalama çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma deney grafiği verilmiştir. Çevrimsel yükleme sonrasında trabeküler kemik yoğunluğunun ÇÇD’ye olan etkisini araştırmak için B5, B12 ve B15 gruplarına Kruskal Wallis-H testi ile karşılaştırılmış ve aralarında anlamlı fark tespit edilmiştir ($p = 0,002 < 0,05$). Mann Whitney-U testi ile ikili olarak karşılaştırılan bütün gruplar arasında p değeri 0,009 bulunarak anlamlı fark tespit edilmiştir. Çevrimsel yükleme sonrasında yapılan çekip çıkarma test sonuçları değerlendirildiğinde trabeküler kemik yoğunluğunun ÇÇD’ye anlamlı derecede etkisi olduğu söylenebilir. Çevrimsel yükleme sonrasında da düşük trabeküler kemik yoğunluğuna sahip deney numunesi en düşük ÇÇD’ye sahiptir.

Şekil 6.11’de değişken kortikal kemik kalınlığına göre interferans vidası ile fiksasyon tekniğinin ortalama statik çekip çıkarma deney grafiği verilmiştir. Kortikal kemik kalınlığının çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma dayanımına olan etkisini araştırmak için A15, B15 ve C15 grupları karşılaştırılmıştır. Kruskal Wallis-H testi yapılan bu üç grubun çekip çıkarma dayanımı arasında anlamlı fark vardır ($p = 0,035 < 0,05$). Mann Whitney-U testi ile ikili olarak karşılaştırılan A15 ile B15 grubu arasında p değeri 0,465, B15 ile C15 arasında 0,076’dır ve bu gruplar arasında

anlamli fark yoktur. Ancak A15 ile C15 grubu arasında yapilan ikili karşılaştırmada p değeri 0,009 gelerek aralarında anlamli fark bulunmuştur. Statik çekip çıkarma deneylerinde elde edilen sonuçlara benzer olarak çevrimsel yükleme sonrası yapılan çekip çıkarma deneylerinde de kortikal kalınlık değişimi ÇÇD'yi değişirmiş, kortikal kalınlığı 5,5 mm olan grup kortikal kalınlığı 3,5 mm olan gruba göre anlamli derecede daha yüksek performans göstermiştir.



şekil 6.10: Trabeküler kemik yoğunluklarına göre ortalama çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma deney sonuçları.



şekil 6.11: Kortikal kemik kalınlıklarına göre çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma deney sonuçları.

Çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma deneyi yapılan numuneler ile sadece statik çekip çıkarma deneyi yapılan numuneler Mann Whitney-U testi ile karşılaştırılmıştır.

Hiçbir grup arasında anlamlı fark tespit edilmemiştir. P değerleri Çizelge 6.4’de verilmiştir.

Çizelge 6.4: Statik ile çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma deneyleri karşılaştırması; istatistik p değerleri.

Grup ismi	P değeri
B5	0,754
B12	0,465
B15	0,917
A15	0,465
C15	0,076

Numunelerin hiçbirinde interferans vidası köpükten çıkmamıştır. Şekil 6.9 çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma deneyleri için de geçerlidir.

6.1.4 Füzyon sonrası statik çekip çıkarma deneyleri

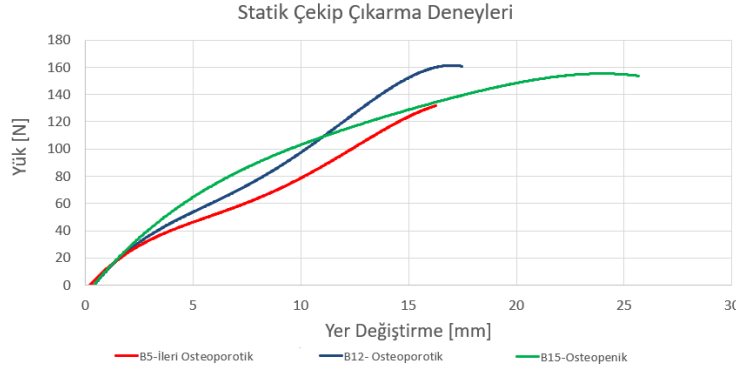
Bölüm 5.5.1’de anlatıldığı gibi hazırlanan numunelere beş tekrarlı statik çekip çıkarma deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda elde edilen ortalama ÇÇD değerleri Çizelge 6.5’de verilmiştir.

Çizelge 6.5: İnterferans vidası ile fiksasyon tekniğinin füzyon sonrası ortalama statik çekip çıkarma dayanımları.

Grup ismi	Kortikal Kemik Kalınlığı (mm)	Trabeküler Kemik Yoğunluğu (Seviye)	Ortalama Statik ÇÇD (N)	Standart Sapma
B5	4,5	İleri osteoporotik (Seviye 5)	173,82	16,36
B12	4,5	Osteoporotik (Seviye 12)	197,86	17,80
B15	4,5	Osteopenik (Seviye 15)	209,06	18,79
A15	3,5	Osteopenik (Seviye 15)	183,49	14,40
C15	5,5	Osteopenik (Seviye 15)	216,24	10,40

Değişen trabeküler kemik yoğunluğa göre dördüncü dereceden polinom eğrisi uydurularak çizilen füzyon sonrası ortalama çekip çıkarma deney sonuçları Şekil 6.12’de verilmiştir. Trabeküler kemik yoğunluğunun füzyon sonrası etkisini araştırmak için B5, B12 ve B15 gruplarına Kruskal Wallis-H testi uygulanmıştır. Bu grupların çekip çıkarma dayanımları arasında anlamlı fark bulunmuştur ($p = 0,044 < 0,05$). Mann Whitney- U testi ile ikili karşılaştırılan B5 ile B12 grubu arasında anlamlı fark yoktur ($p=0,076 > 0,05$). B5 ile B15 grubu arasında anlamlı fark tespit

edilmemiştir ($p = 0,251 > 0,005$). Ancak B5 ile B15 grubu arasında p değeri 0,028 gelerek anlamlı fark olduğu tespit edilmiştir. Bu istatistik analiz değerlendirildiğinde füzyon gerçekleştikten sonra interferans vidası ile fiksasyon tekniğinin ÇÇD'si osteopenik ve osteoporotik gruplarda fark olmasa da ileri osteoporotik grupta anlamlı derecede daha düşük performans gösterdiği tespit edilmiştir.



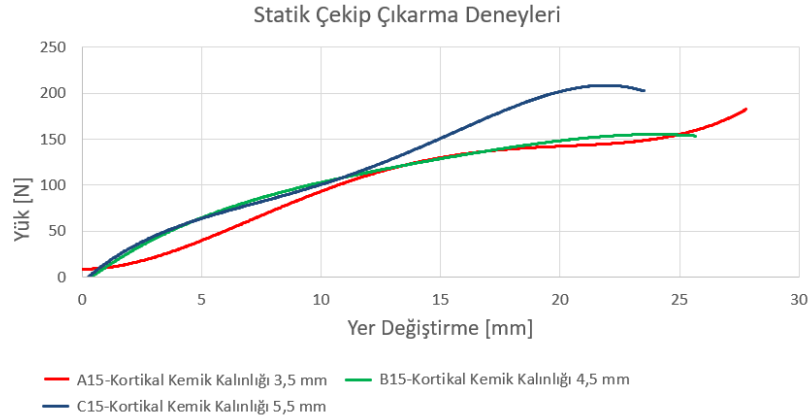
Şekil 6.12: Trabeküler kemik yoğunluklarına göre ortalama statik çekip çıkarma deney sonuçları.

Değişen kortikal kalınlığa göre dördüncü dereceden polinom eğrisi uydurularak çizilen interferans vidası ile fiksasyon tekniğinin füzyon sonrası ortalama çekip çıkarma deney sonuçları Şekil 6.13'de verilmiştir. Kortikal kemik kalınlığının füzyon sonrası ÇÇD'ye etkisini araştırmak için A5, B15 ve C15 gruplarına Kruskal Wallis-H testi uygulanmıştır. Bu grupların çekip çıkarma dayanımları arasında anlamlı fark bulunmuştur ($p = 0,024 < 0,05$). A15 ile B15 grupları arasında yapılan Mann Whitney-U testi sonucunda anlamlı fark tespit edilmiştir ($p = 0,047 < 0,05$). A15 ile C15 grubu arasında yapılan testte p değeri 0,009 bulunarak anlamlı fark olduğu görülmüştür. B15 ile C15 grubu arasında anlamlı fark bulunmamıştır ($p = 0,754 > 0,005$). Bu istatistik sonuçları değerlendirildiğinde füzyon sonrası süreçte kortikal kalınlık 4,5 mm'den az olduğu durumda interferans vidası ile fiksasyon tekniğinin ÇÇD'si anlamlı derecede düştüğü tespit edilmiştir. Kortikal kemik kalınlığı 4,5 mm ile 5,5 mm olan numunelerin ÇÇD'leri arasında istatistiki olarak fark yoktur.

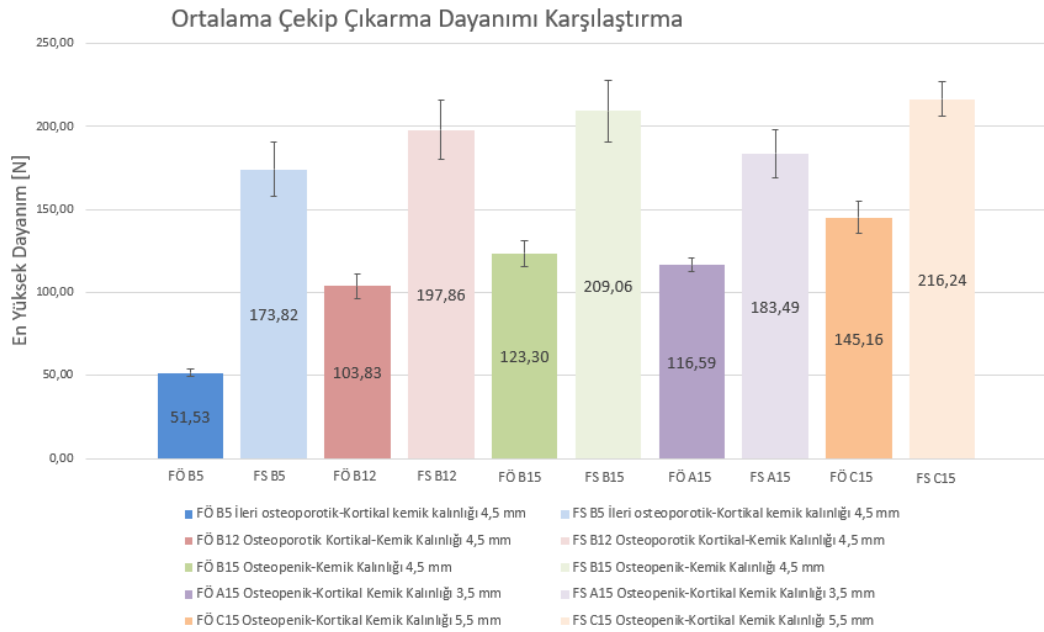
Numunelerin hiçbirinde interferans vidası köpükten çıkmamıştır.

İnterferans vidası ile fiksasyon yöntemi için Mann Whitney-U testi ile karşılaştırılan füzyon öncesi ve füzyon sonrası bütün statik çekip çıkarma deney grupları arasında p değeri 0,009 bulunarak anlamlı fark tespit edilmiştir. Şekil 6.14'de interferans vidası ile fiksasyon tekniğinin ÇÇD'sinin füzyon gerçekleştikten sonra anlamlı seviyede

arttığı görülmektedir. Buradan interferans vidası ile fiksasyon tekniğinin füzyon sonrasında statik çekip çıkarma deneyleri değerlendirildiğinde biyomekanik açıdan daha iyi performans gösterdiği sonucuna varılmıştır.



Şekil 6.13: Kortikal kemik kalınlıklarına göre ortalama statik çekip çıkarma deney sonuçları.



FÖ; Füzyon öncesi statik çekip çıkarma deney sonuçları
FS; Füzyon sonrası statik çekip çıkarma deney sonuçları

Şekil 6.14: İnterferans vidası için füzyon öncesi ve sonrası statik çekip çıkarma dayanımı karşılaştırması.

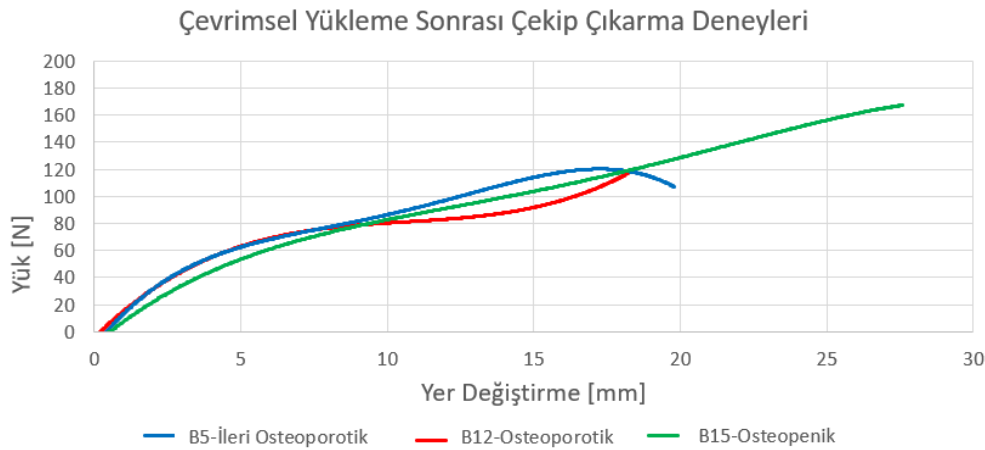
6.1.5 Füzyon ve çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma deneyi

Bölüm 5.5.1’de anlatıldığı gibi hazırlanan numunelerine beş tekrarlı çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma deneyleri yapılmıştır ve deney sonuçlarında elde edilen ortalama ÇÇD değerleri Çizelge 6.6’da verilmiştir.

Çizelge 6.6: İnterferans vidası ile fiksasyon tekniğinin füzyon sonrası ortalama çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma dayanımları.

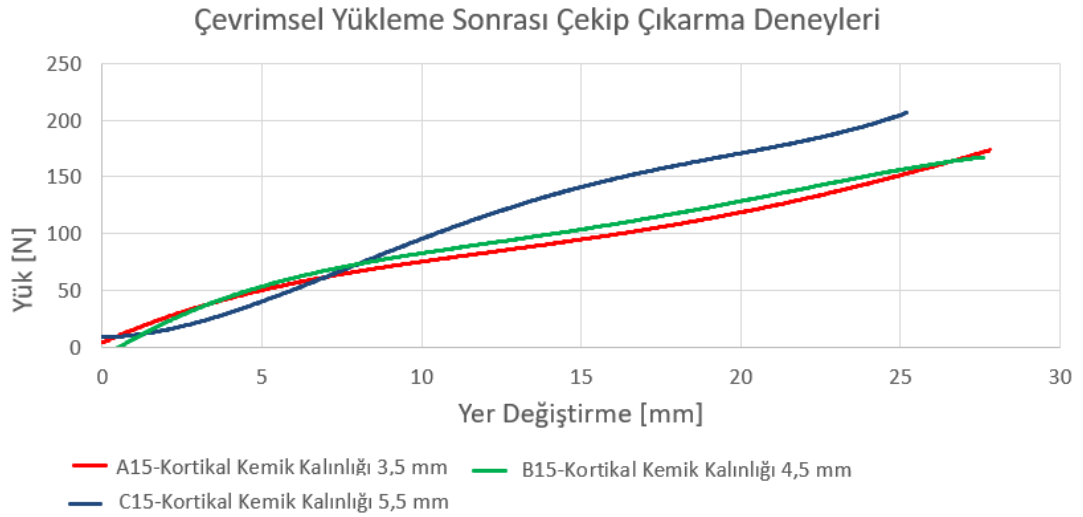
Grup ismi	Kortikal Kemik Kalınlığı (mm)	Trabeküler Kemik Yoğunluğu (Seviye)	Ortalama Statik ÇÇD (N)	Standart Sapma
B5	4,5	İleri osteoporotik (Seviye 5)	114,74	6,71
B12	4,5	Osteoporotik (Seviye 12)	133,28	11,74
B15	4,5	Osteopenik (Seviye 15)	174,40	8,07
A15	3,5	Osteopenik (Seviye 15)	154,80	8,85
C15	5,5	Osteopenik (Seviye 15)	204,38	17,90

Değişen trabeküler kemik yoğunluğa göre dördüncü dereceden polinom eğrisi uydurularak çizilen füzyon sonrası ortalama çekip çıkarma deney sonuçları Şekil 6.15’de verilmiştir. Trabeküler kemik yoğunluğunun füzyon ve çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma dayanımına olan etkisini araştırmak için B5, B12 ve B15 gruplarına Kruskal Wallis-H testi uygulanmış ve bu grupların ÇÇD’leri arasında anlamlı fark tespit edilmiştir ($p = 0,004 < 0,05$). Mann-Whitney-U testi ile karşılaştırılmış B5 ile B12 grupları arasında p değeri; 0,047, B5 ile B15 grupları arasında 0,009 ve B12 ile B15 grupları arasında 0,009 bulunarak bütün grupların birbirleri arasında anlamlı fark olduğu tespit edilmiştir. Bu istatistik; füzyon gerçekleştirildikten sonra uygulanan çevrimsel yükleme sonrasında trabeküler kemik yoğunluğundaki azalma, fiksasyon tekniğinin ÇÇD’sinin de anlamlı derecede azaldığını göstermektedir.



Şekil 6.15: Trabeküler kemik yoğunluğuna göre ortalama çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma deney sonuçları.

Değişen kortikal kemik kalınlığına göre dördüncü dereceden polinom eğrisi uydurularak çizilen füzyon sonrası ortalama çekip çıkarma deney sonuçları Şekil 6.16'de verilmiştir. Kortikal kemik kalınlığının füzyon ve çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma dayanımına olan etkisini araştırmak için A15, B15 ve C15 grupları karşılaştırılmıştır. Kruskal Wallis-H testi yapılan bu üç grubun ÇÇD arasında anlamlı fark bulunmuştur. ($p = 0,002 < 0,05$). Mann Whitney-U testi ile karşılaştırılan A15, B15 grubu arasında p değeri 0,016, A15 ile C15 0,009, B15 ile C15 grubu arasında 0,009 bulunarak, bütün gruplar arasında anlamlı fark olduğu tespit edilmiştir. İstatistik verileri incelendiğinde açıkça kortikal kemik kalınlığının değişimi fiksasyon tekniğinin ÇÇD'sini etkilediği görülmektedir. Kortikal kemik kalınlığı azaldıkça füzyon sonrası ve çevrimsel yükleme sonrası ÇÇD anlamlı derecede düşmüştür.



Şekil 6.16: Kortikal kemik kalınlığına göre ortalama çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma deney sonuçları.

Numunelerin hiçbirinde interferans vidası köpükten çıkmamıştır.

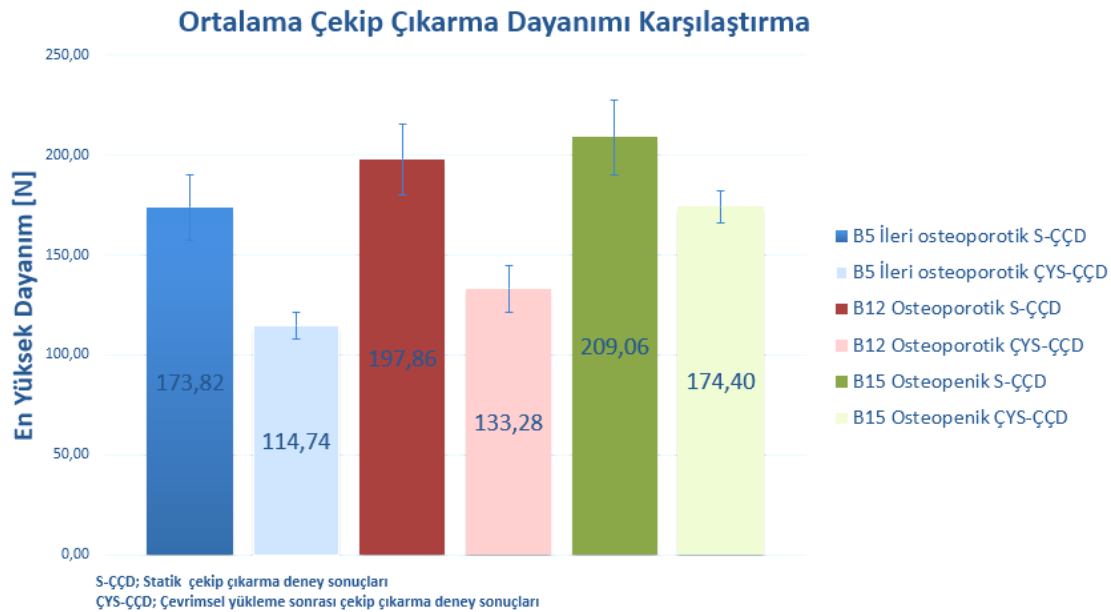
Çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma deneyi yapılan numuneler ile sadece statik çekip çıkarma deneyi yapılan numuneler Mann Whitney-U testi ile karşılaştırılmıştır. P değerleri Çizelge 6.7'de verilmiştir. Bu sonuçlar incelendiğinde sadece kortikal kemik kalınlığı 5,5 mm olan numune grubunun ÇÇD füzyon sonrası durumda çevrimsel yüklemeye etkilenmemiştir.

Şekil 6.17 incelendiğinde ileri osteoporotik, osteoporotik, osteopenik trabeküler kemik yoğunluğuna sahip numunelerin füzyon sonrası süreçteki ÇÇD'lerinin çevrimsel yükleme sonrasında düştüğü açıkça görülmektedir. Trabeküler kemik yoğunluğu fark etmeksizin füzyon sonrası çevrimsel yükleme uygulanan numunelerin ÇÇD anlamlı olarak daha düşük performans gösterdiği tespit edilmiştir.

Çizelge 6.7: Füzyon Sonrası statik ile çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma deneyleri karşılaştırması; istatistik p değerleri.

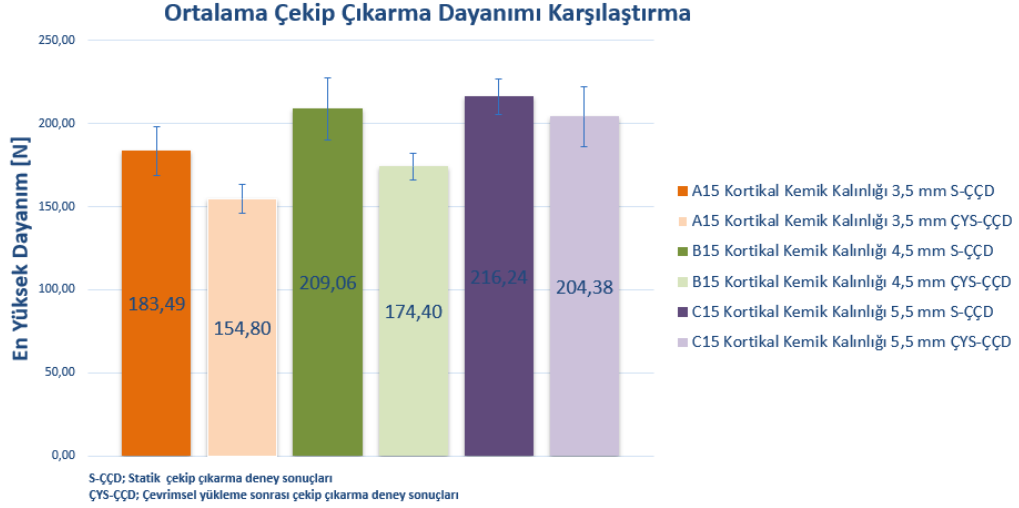
Grup ismi	P değeri
B5	0,009*
B12	0,009*
B15	0,016*
A15	0,009*
C15	0,347

* İstatistiki olarak anlamlı fark vardır



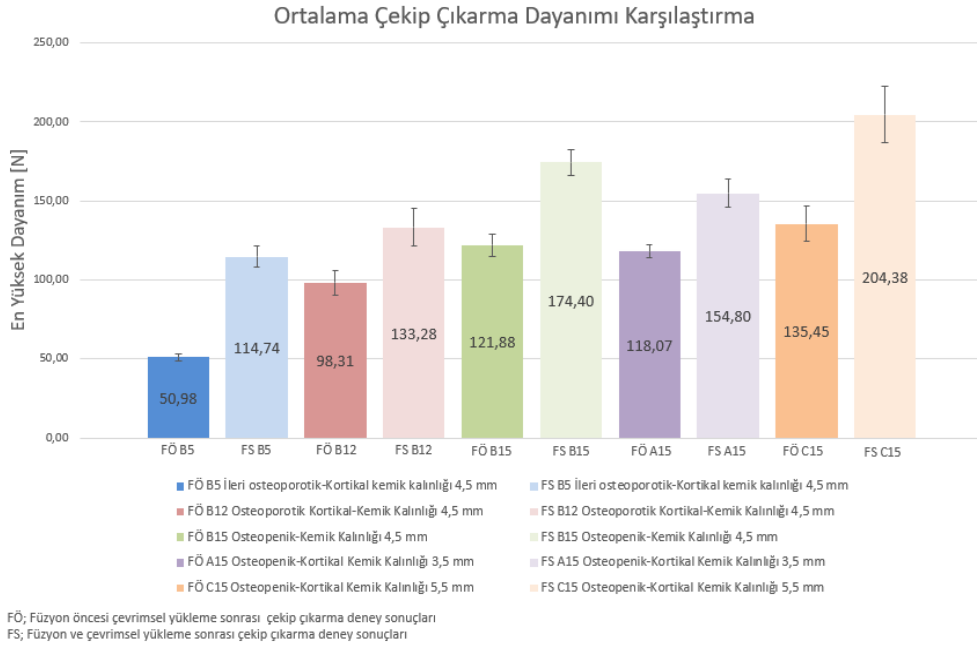
Şekil 6.17: Trabeküler yoğunluğa göre statik ve çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma deney sonuçları karşılaştırması.

Şekil 6.18 incelendiğinde kortikal kemik kalınlığı 3,5 mm ve 4,5 mm olan numunelerin ÇÇD çevrimsel yükleme sonrasında düştüğü tespit edilmiştir. Füzyon sonrasında kortikal kemik kalınlığı 5,5 mm olan numunelerde ÇÇD çevrimsel yüklemenden etkilenmemiştir.



Şekil 6.18: Kortikal kemik kalınlığına göre statik ve çevrimsel yüklemeye sonrası çekip çıkarma deney sonuçları karşılaştırması.

İnterferans vidası ile fiksasyon yöntemi için yapılan füzyon öncesi ve füzyon sonrası çevrimsel yüklemeye sonrası çekip çıkarma deney grupları Mann Whitney-U testi ile karşılaştırılmıştır. Bütün gruplar için elde edilen p değeri 0,009 bulunarak anlamlı fark tespit edilmiştir. Şekil 6.19’de interferans vidası ile fiksasyon tekniğinin çevrimsel yüklemeye sonrası ÇÇD füzyon gerçekleştikten sonra anlamlı seviyede arttığı görülmektedir. Buradan interferans vidası ile fiksasyon tekniğinin füzyon sonrasında biyomekanik açıdan daha iyi performans gösterdiği sonucuna varılmıştır.



Şekil 6.19: Füzyon öncesi ve sonrası çevrimsel yüklemeye sonrası çekip çıkarma dayanımı karşılaştırması.

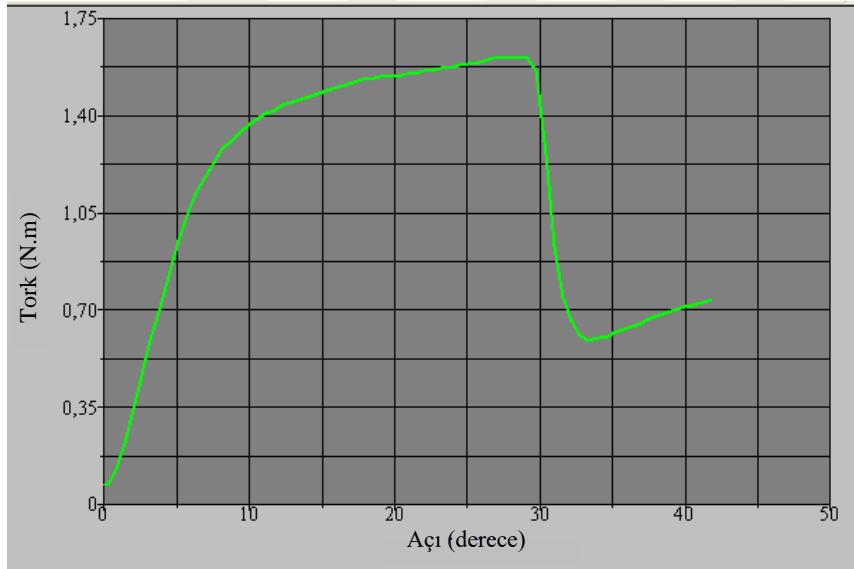
6.2 Sütür Ankor Sonuçlar

6.2.1 Sitem elemanlarının deneyleri

Sistemde kullanılan sütür ankorlar ASTM F543 standardına göre deney yapılmıştır [71]. Bölüm 5.3.1’de anlatılan burma deneyleri beş tekrarlı yapılmıştır. Deney sonucunda elde edilen örnek tork-burulma açısı grafiği Şekil 6.20’de verilmiştir. Burma deney sonuçları Çizelge 6.8’de verilmiştir.

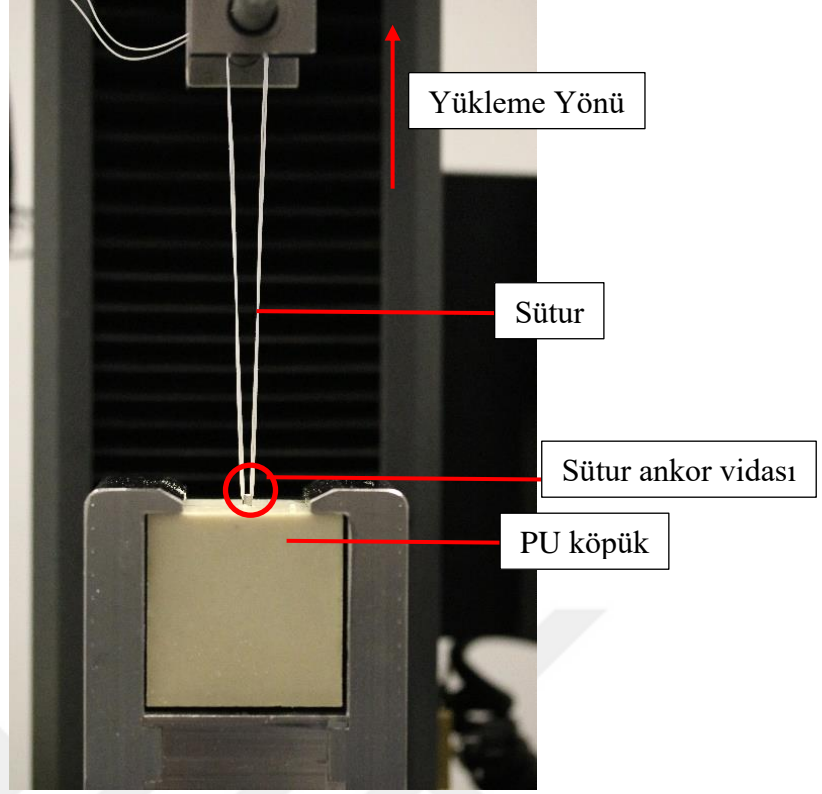
Çizelge 6.8: Sütür ankor burma deney sonuçları.

	Ortalama Değer	Standart Sapma
En yüksek Tork (N.m)	1,72	0,10
En Yüksek Açı (°)	51,61	9,59
Kırılma Torku (N.m)	0,57	0,27
Kırılma Açısı (°)	51,00	9,59



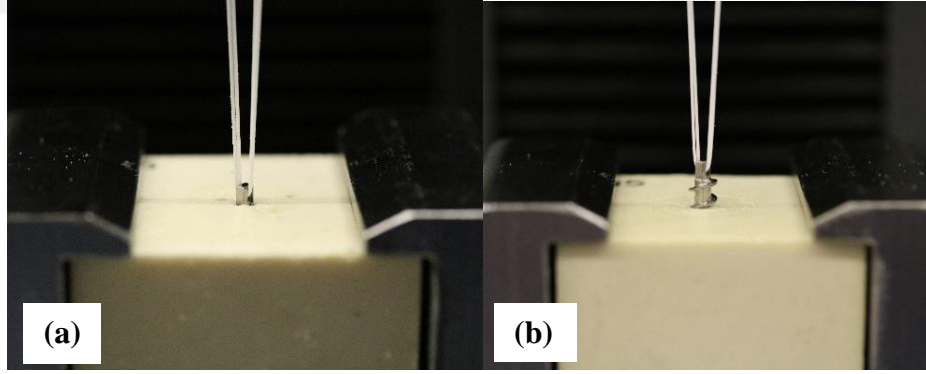
Şekil 6.20: Sütür ankor vidasının tork-burulma açısı grafiği örneği.

Seviye 20 ve seviye 15 PU köpük hazırlanmıştır. Bu köpüklere, köpüğün yükselme yönünde 3 mm çapında kılavuz deliği açılıp, sütür ankorlar Şekil 6.21’de gösterildiği gibi vidanın bütün dişleri PU köpük içinde gömülü olacak şekilde gönderilip çekip çıkarma deneyi yapılmıştır. Bu durumda elde edilen sonuçlar sütür ankorun füzyon öncesi çekip çıkarma dayanımını temsil etmektedir.



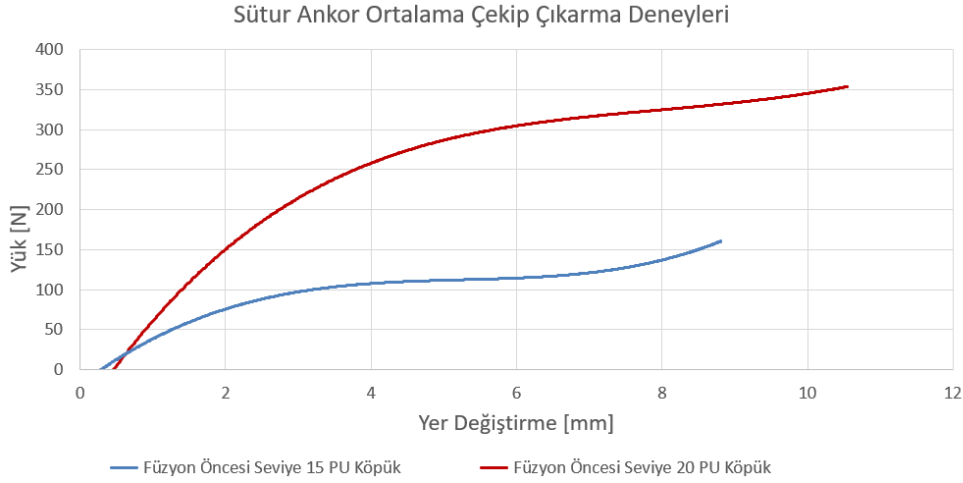
Şekil 6.21: Sütür ankor çekip çıkarma deney düzeneği.

Şekil 6.22’de sütür ankor için deney öncesi ve sonrası görüntüleri gösterilmektedir.



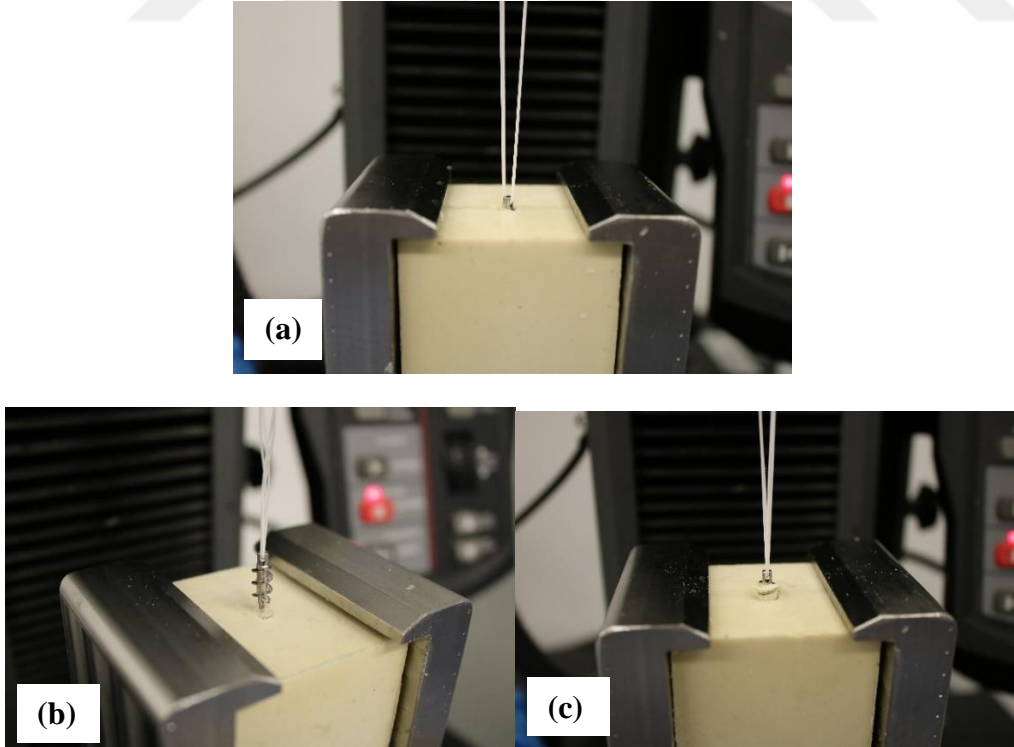
Şekil 6.22: Sütür ankor çekip çıkarma (a) deney öncesi (b) deney sonrası.

Sütür ankor vidası için yapılan füzyon öncesi dördüncü dereceden polinom uydurularak çizilen ortalama çekip çıkarma deney sonuçları Şekil 6.23’de gösterilmektedir. Sütür ankorun füzyon öncesi seviye 20 köpükteki ÇÇD’si $349,79 \pm 19,21$ N bulunmuştur. Sütür ankorun füzyon öncesi seviye 15 PU köpükteki ÇÇD’si $159,02 \pm 11,01$ N bulunmuştur.



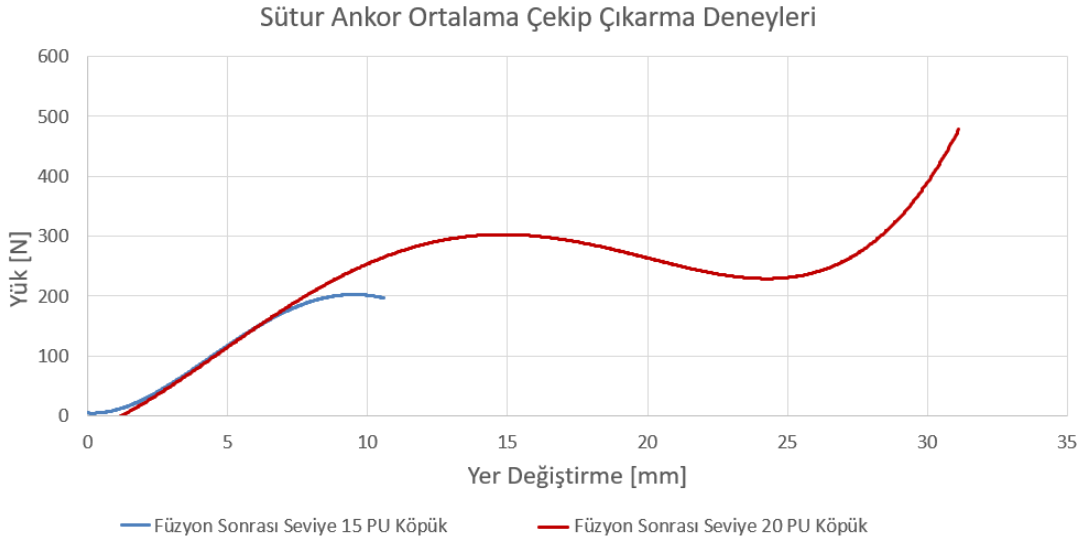
Şekil 6.23: Füzyon öncesi sütür ankor çekip çıkarma deney sonuçları.

Füzyon sonrası durumda sütür ankorun çekip çıkarma dayanımını belirlemek için Şekil 5.15’de gösterilen kalıp başlıklarına sütür ankorlar yerleştirilerek hem seviye 20 hem de seviye 15 köpükler üretilmiştir. Füzyon gerçekleşmesi durumunu temsil eden bu iki farklı yoğunluktaki köpüklere gömülü olan vidalara kendi süturları ile standarta uygun bir şekilde çekip çıkarma deneyi uygulanmıştır. Füzyon sonrası sütür ankor deney fotoğrafları Şekil 6.24’de gösterilmektedir.



Şekil 6.24: Füzyon sonrası sütür ankor çekip çıkarma (a) deney öncesi (b) ve (c) deney sonrası.

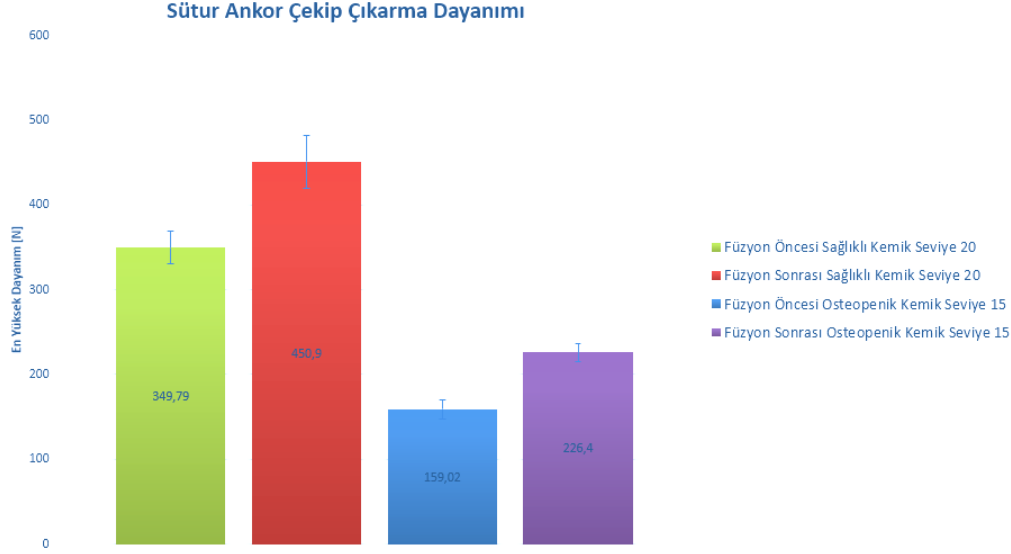
Füzyon sonrası dördüncü dereceden polinom uydurularak çizilen ortalama çekip çıkarma deney sonuçları görülmektedir. Seviye 20 için ÇÇD $450,90 \pm 31,02$ N, seviye 15 için $226,40 \pm 10,67$ N bulunmuştur.



Şekil 6.25: Füzyon sonrası sütür ankor çekip çıkarma deney sonuçları.

Sütür ankorun seviye 20 (sağlıklı trabeküler kemik yoğunluğu) PU köpükten füzyon öncesi ve sonrası ÇÇD karşılaştırıldığında füzyon sonrası füzyon öncesine göre anlamlı derecede daha iyi performans göstermiştir ($p = 0,009 < 0,05$). Füzyon öncesi ve sonrası seviye 15 (osteopenik trabeküler kemik yoğunluğu) PU köpükten çekip çıkarılan sütür ankorda da füzyon sonrası ÇÇD anlamlı derecede daha yüksektir ($p = 0,009 < 0,05$).

Şekil 6.26'de gösterilen bar grafiğinde hem füzyon öncesi köpüklerde ($p = 0,009 < 0,05$) hem de füzyon sonrası köpüklerde ($p = 0,009 < 0,05$) sütür ankorun ÇÇD'si sağlıklı trabeküler kemik yoğunluğunu temsil eden gruplarda anlamlı derecede daha yüksektir. Füzyon öncesi ve sonrası durumu temsil eden köpüklerden çekip çıkarılan sütür ankorun, füzyon sonrası durumda daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir.



Şekil 6.26: Füzyon öncesi ve sonrası sütür ankor en yüksek çekip çıkarma dayanım değerleri.

6.2.2 Füzyon öncesi statik çekip çıkarma deneyleri

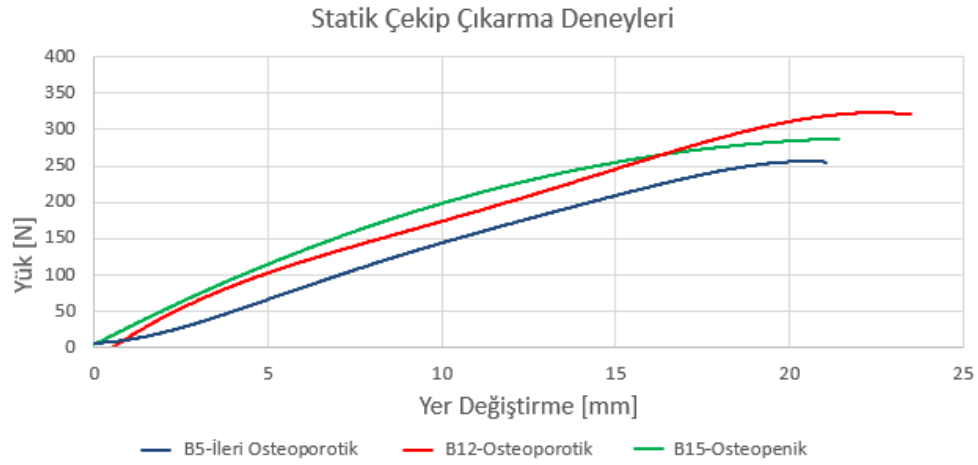
Bölüm 5.4.2’de anlatılan şekilde sütür ankor ile fiksasyon tekniği için hazırlanan deney numunelerine beş tekrarlı statik çekip çıkarma testleri uygulanmıştır. Statik çekip çıkarma deneylerinden elde edilen ortalama ÇÇD değerleri Çizelge 6.9’de verilmiştir.

Çizelge 6.9: Sütür ankor ile fiksasyon tekniğinin füzyon öncesi ortalama statik çekip çıkarma dayanımları.

Grup ismi	Kortikal Kemik Kalınlığı (mm)	Trabeküler Kemik Yoğunluğu (Seviye)	Ortalama Statik ÇÇD (N)	Standart Sapma
B5	4,5	İleri osteoporotik (Seviye 5)	295,08	17,18
B12	4,5	Osteoporotik (Seviye 12)	329,33	29,28
B15	4,5	Osteopenik (Seviye 15)	317,50	13,03
A15	3,5	Osteopenik (Seviye 15)	299,41	27,38
C15	5,5	Osteopenik (Seviye 15)	327,34	25,37

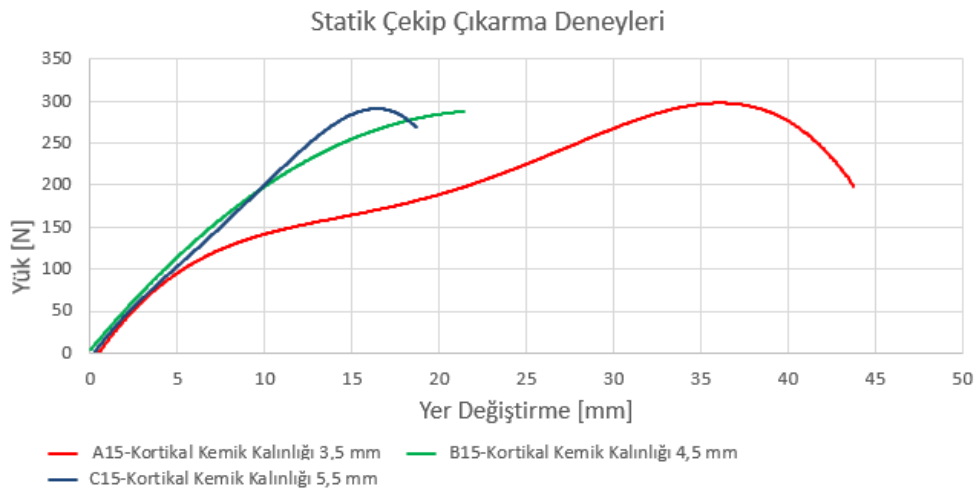
Değişen trabeküler kemik yoğunluğuna göre dördüncü dereceden polinom eğrisi uydurularak çizilen füzyon öncesi ortalama çekip çıkarma deney sonuçları Şekil 6.27’de verilmiştir. Trabeküler kemik yoğunluğunun ÇÇD’ye olan etkisini araştırmak için B5, B12 ve B15 grupları karşılaştırılmıştır. Kruskal Wallis-H testi yapılan bu üç grubun ÇÇD arasında anlamlı fark bulunmamıştır ($p = 0,087 > 0,05$).

Bu istatistiki veri sütür ankor ile fiksasyon yönteminin füzyon öncesi statik ÇÇD'nin trabeküler kemik yoğunluğundan etkilenmediğini göstermektedir.



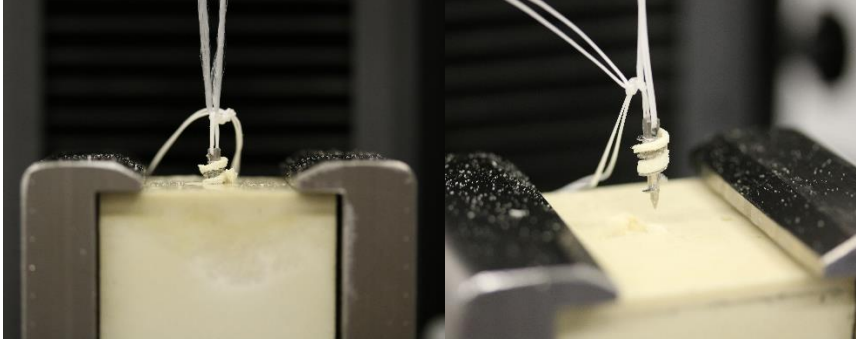
Şekil 6.27: Trabeküler yoğunluklara göre ortalama statik çekip çıkarma deney sonuçları.

Farklı kortikal kemik kalınlıklarına göre dördüncü dereceden polinom eğrisi uydurularak çizilen füzyon öncesi ortalama çekip çıkarma deney sonuçları Şekil 6.28'de verilmiştir. Kortikal kemik kalınlığının ÇÇD'ye olan etkisini araştırmak için Kruskal Wallis-H testi ile karşılaştırılan A15, B15 ve C15 grupları arasında anlamlı fark bulunmamıştır ($p = 0,176 > 0,05$). Bu istatistiki veri sütür ankor ile fiksasyon yönteminin füzyon öncesi statik ÇÇD'nin kortikal kemik kalınlığından etkilenmediğini göstermektedir.



Şekil 6.28: Kortikal kemik kalınlığına göre ortalama statik çekip çıkarma deney sonuçları.

Statik çekip çıkarma deneylerin %20'inde sütür ankor köpükten çıkarak deney tamamlanmıştır. Geri kalan numunelerde sütür ankor vidadan çıkmadan yapay tendon kopmuştur. B5 grubunun %80'inde, A15 grubunun %20'sinde sütür ankorun köpükten çıktığı gözlemlenmiştir.



Şekil 6.29: Sütür ankor ile fiksasyon yöntemi füzyon öncesi çekip çıkarma deney sonu.

6.2.3 Füzyon öncesi çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma deneyi

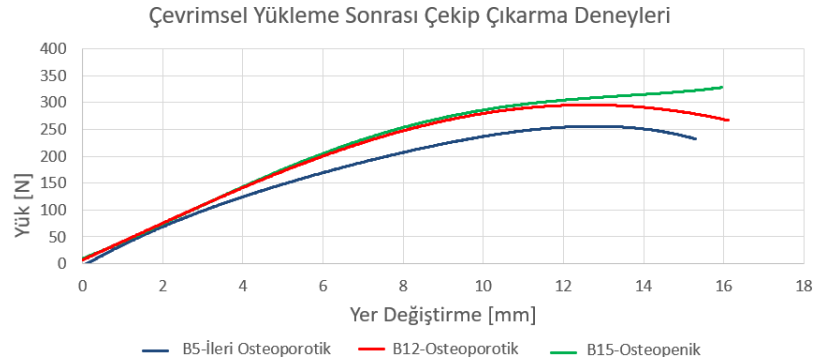
Bölüm 5.4.2'de anlatılan şekilde sütür ankor ile fiksasyon tekniği için hazırlanan deney numunelerine beş tekrarlı çevrimsel yükleme çekip çıkarma deneyleri uygulanmıştır. Çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma deneylerinden elde edilen ortalama ÇÇD Çizelge 6.10'da verilmiştir.

Çizelge 6.10: Sütür ankor ile fiksasyon tekniğinin füzyon öncesi ortalama çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma dayanımları.

Grup ismi	Kortikal Kemik Kalınlığı (mm)	Trabeküler Kemik Yoğunluğu (Seviye)	Ortalama Statik ÇÇD (N)	Standart Sapma
B5	4,5	İleri osteoporotik (Seviye 5)	300,23	13,09
B12	4,5	Osteoporotik (Seviye 12)	319,36	20,34
B15	4,5	Osteopenik (Seviye 15)	334,41	19,62
A15	3,5	Osteopenik (Seviye 15)	299,41	27,38
C15	5,5	Osteopenik (Seviye 15)	327,34	25,37

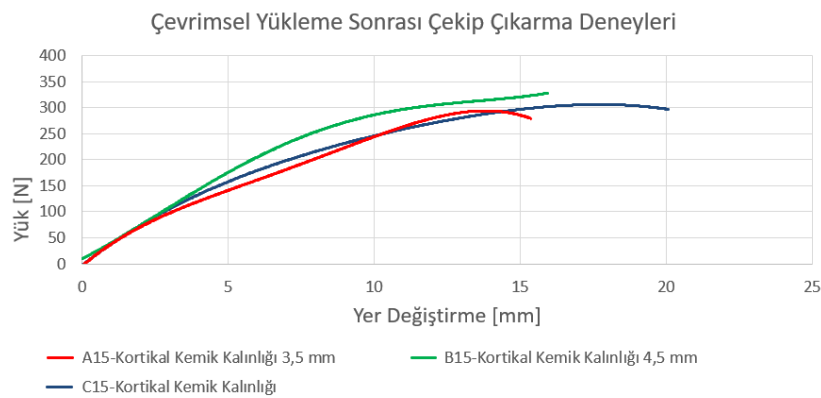
Sütür ankor ile fiksasyon tekniğinin füzyon öncesi çevrimsel yükleme sonrası dördüncü dereceden eğri uydurularak çizilen ortalama çekip çıkarma deneyi sonuçları Şekil 6.30'da gösterilmektedir. Trabeküler kemik yoğunluğunun statik çekip çıkarma dayanımına olan etkisini araştırmak için B5, B12 ve B15 gruplarına

Kruskal Wallis-H testi uygulanmıştır. Bu grupların çekip çıkarma dayanımları arasında anlamlı fark bulunmamıştır ($p = 0,056 > 0,05$). Bu istatistik füzyon öncesi süreçte çevrimsel yüklemenin farklı trabeküler kemik yoğunluklarında etkisi olmadığını, ÇÇD'yi değiştirmedeğini göstermektedir.



Şekil 6.30: Sütür ankor ile fiksasyon tekniğinin farklı trabeküler yoğunluklar için füzyon öncesi çevrimsel yüklemeye sonrası çekip çıkarma deney sonuçları.

Şekil 6.31'da farklı kortikal kemik kalınlıklarına göre sütür ankor ile fiksasyon tekniğinin dördüncü dereceden eğri uydurularak çizilen ortalama çevrimsel yüklemeye sonrası çekip çıkarma deney sonuçları gösterilmektedir. Kortikal kemik kalınlığının çevrimsel yüklemeye sonrası ÇÇD'ye olan etkisini araştırmak için A15, B15 ve C15 gruplarına Kruskal Wallis-H testi yapılmış ve çekip çıkarma dayanımları arasında anlamlı fark saptanmamıştır ($p=0,114 > 0,05$). Yani füzyon öncesi süreçte kortikal kalınlığın değişmesi sütür ankor ile fiksasyon tekniğinin çevrimsel yüklemeye sonrasında ÇÇD'sini etkilememektedir.



Şekil 6.31: Sütür ankor ile fiksasyon tekniğinin farklı kortikal kemik kalınlıkları için füzyon öncesi çevrimsel yüklemeye sonrası çekip çıkarma deney sonuçları.

Çevrimsel yükleme sonrası deneylerin %28'inde sütür ankor köpükten çıkarak deney tamamlanmıştır. Geri kalan numunelerde sütür ankor vidadan çıkmadan yapay tendon kopmuştur. A15 grubunun %80'inde, C15, B12 ve B5 grubunun %20'sinde sütür ankorun köpükten çıktığı gözlemlenmiştir (Şekil 6.32).



Şekil 6.32 Sütür ankor ile fiksasyon yöntemi füzyon öncesi, çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma deney sonu.

Çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma deneyi yapılan numuneler ile statik çekip çıkarma deneyi yapılan numuneler Mann Whitney-U testi ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen p değerleri Çizelge 6.11'de gösterilmektedir. Hiçbir grup arasında anlamlı fark bulunmamıştır. Buradan sütür ankor ile fiksasyon tekniğinde çevrimsel yüklemenin füzyon öncesi süreçte ÇÇD'yi etkilemediği sonucuna varılmıştır.

Çizelge 6.11: Füzyon öncesi statik ile çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma deneyleri karşılaştırması; istatistik p değerleri.

Grup ismi	P değeri
B5	0,602
B12	0,602
B15	0,175
A15	0,917
C15	0,465

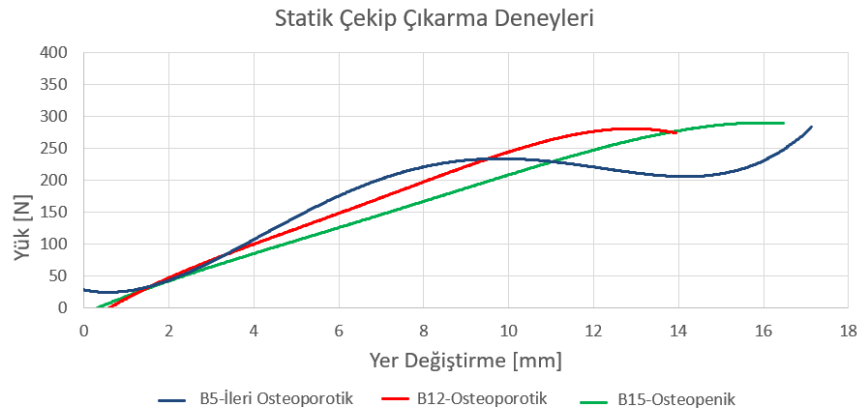
6.2.4 Füzyon sonrası çekip çıkarma deneyleri

Bölüm 5.5.2'de anlatıldığı gibi hazırlanan numunelerine beş tekrarlı statik çekip çıkarma deneyleri yapılmıştır ve deney sonuçlarında elde edilen ortalama ÇÇD değerleri Çizelge 6.12'de verilmiştir.

Çizelge 6.12: Sütür ankor ile fiksasyon tekniğinin füzyon sonrası ortalama statik çekip çıkarma dayanımları.

Grup ismi	Kortikal Kemik Kalınlığı (mm)	Trabeküler Kemik Yoğunluğu (Seviye)	Ortalama Statik ÇÇD (N)	Standart Sapma
B5	4,5	İleri osteoporotik (Seviye 5)	303,69	23,64
B12	4,5	Osteoporotik (Seviye 12)	319,73	23,64
B15	4,5	Osteopenik (Seviye 15)	315,80	8,61
A15	3,5	Osteopenik (Seviye 15)	339,42	29,06
C15	5,5	Osteopenik (Seviye 15)	334,61	12,74

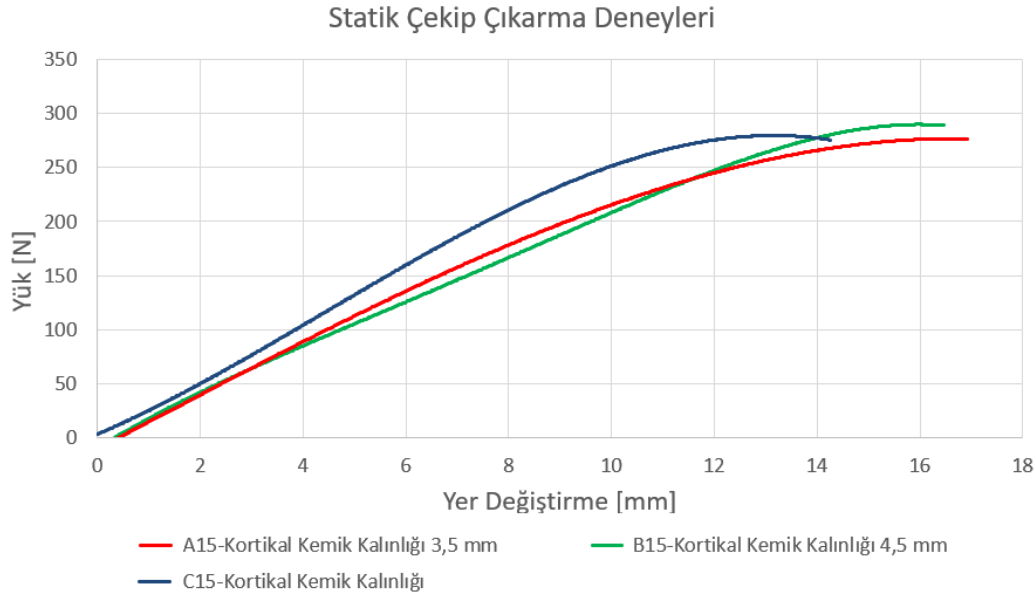
Farklı trabeküler kemik yoğunluklarına göre dördüncü dereceden eğri uydurularak çizilen ortalama statik çekip çıkarma deney sonuçları Şekil 6.33’de görülmektedir. Trabeküler kemik yoğunluğunun statik çekip çıkarma dayanımına olan etkisini araştırmak için B5, B12 ve B15 gruplarına Kruskal Wallis-H testi uygulanmıştır. Bu grupların çekip çıkarma dayanımları arasında anlamlı fark bulunmamıştır ($p=0,756>0,05$). Bu istatistik göz önüne alındığında sütür ankor ile fiksasyon tekniğinin ÇÇD’si füzyon gerçekleştikten sonra trabeküler kemik yoğunluk seviyesinden etkilenmediği tespit edilmiştir.



Şekil 6.33: Sütür ankor ile fiksasyon tekniğinin farklı trabeküler yoğunluklar için füzyon sonrası statik çekip çıkarma deney sonuçları.

Kortikal kemik kalınlıklarına göre dördüncü dereceden eğri uydurularak çizilen ortalama statik çekip çıkarma deney sonuçları Şekil 6.34’de gösterilmiştir. Kortikal kemik kalınlığının statik çekip çıkarma dayanımına olan etkisini araştırmak için A15, B15 ve C15 gruplarına Kruskal Wallis-H testi yapılmış ve çekip çıkarma dayanımları

arasında anlamlı fark saptanmamıştır ($p= 0,379>0,05$). Buradan suture ankor ile fiksasyon tekniğinin füzyon gerçekleşikten sonraki süreçte ÇÇD'sinin kortikal kemik kalınlığından etkilenmediğini sonucunda varılmıştır.



Şekil 6.34: Suture ankor ile fiksasyon tekniğinin farklı kortikal kalınlıklara göre füzyon sonrası statik çekip çıkarma deney sonuçları.

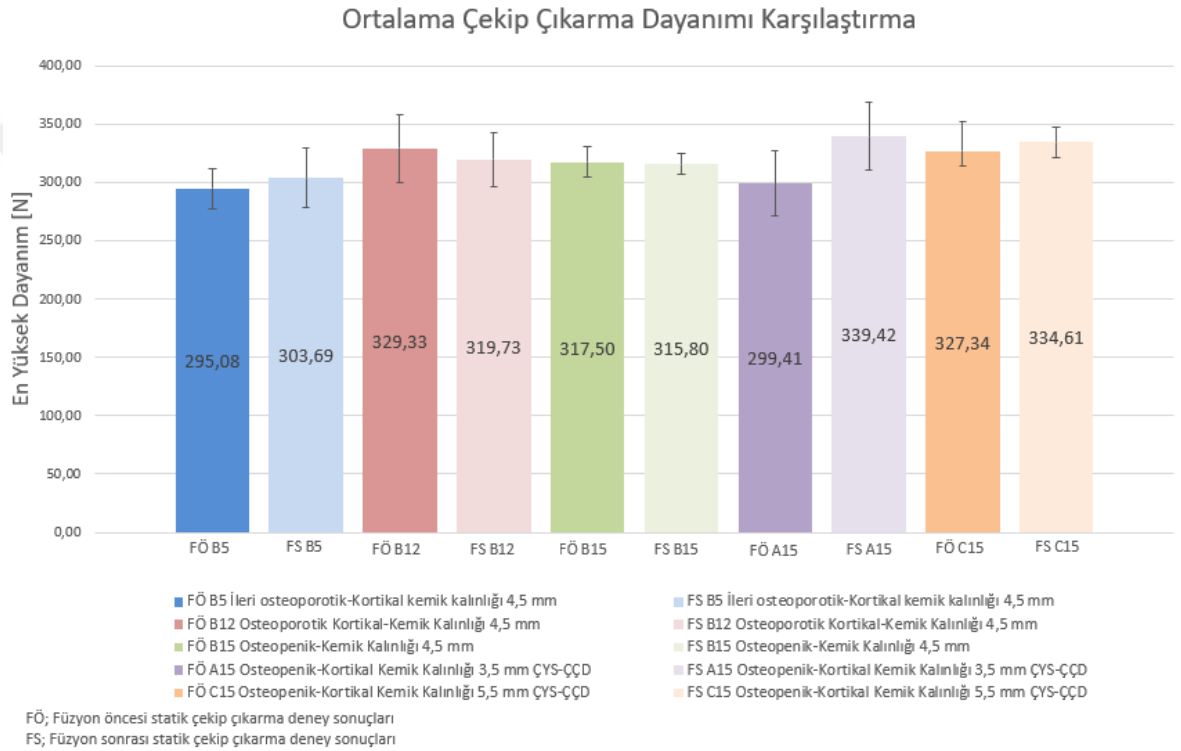
Statik çekip çıkarma deneylerin %16'sında suture ankor köpükten çıkarak deney tamamlanmıştır. B5, B12, B15 ve A15 grubunun %20'sinde suture ankorun köpükten çıktığı gözlemlenmiştir. Geri kalan numunelerde suture ankor vidadan çıkmadan yapay tendonun kopmasıyla deney tamamlanmıştır.

Suture ankor ile fiksasyon yöntemi için yapılan füzyon öncesi ve füzyon sonrası statik çekip çıkarma deney grupları Mann Whitney-U testi ile grupların kendisi içerisinde karşılaştırılmıştır. Bütün gruplar için elde edilen p değeri .

'de verilmiştir. Elde edilen bütün p değerleri 0,005'ten büyük gelerek anlamlı fark tespit edilmemiştir. Bu istatistik suture ankor ile fiksasyon tekniğinin ÇÇD'sinin füzyondan bağımsız olduğunu anlatmaktadır. Şekil 6.35'deki bar grafiği incelendiğinde suture ankor ile fiksasyon tekniğinin ÇÇD'sinin füzyon öncesi ve sonrasında fark olmadığı açıkça görülmektedir.

Çizelge 6.13: Füzyon öncesi ile sonrası statik çekip çıkarma deneyleri karşılaştırması; istatistik p değerleri.

Grup ismi	P değeri
B5	0,602
B12	0,754
B15	0,754
A15	0,076
C15	0,754



Şekil 6.35: Sütür ankor ile fiksasyon tekniğinin füzyon öncesi ve sonrası ortalama statik çekip çıkarma dayanımı karşılaştırması.

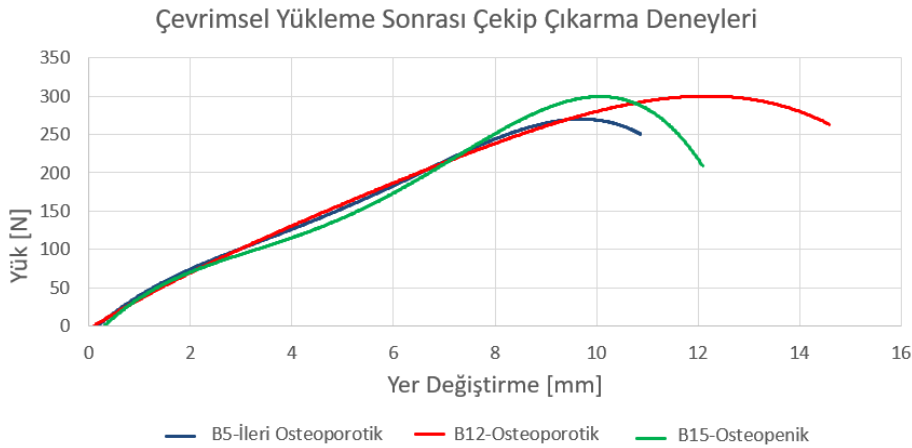
6.2.5 Füzyon ve çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma deneyleri

Bölüm 5.5.2’de anlatıldığı gibi hazırlanan numunelerine beş tekrarlı çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma deneyleri yapılmıştır ve deney sonuçlarında elde edilen ortalama ÇÇD değerleri Çizelge 6.12’de verilmiştir.

Çizelge 6.14: Sütür ankor ile fiksasyon tekniğinin füzyon ve çevrimsel yüklenme sonrası ortalama çekip çıkarma dayanımları.

Grup ismi	Kortikal Kemik Kalınlığı (mm)	Trabeküler Kemik Yoğunluğu (Seviye)	Ortalama Statik ÇÇD (N)	Standart Sapma
B5	4,5	İleri osteoporotik (Seviye 5)	298,66	7,92
B12	4,5	Osteoporotik (Seviye 12)	313,72	20,09
B15	4,5	Osteopenik (Seviye 15)	324,96	31,96
A15	3,5	Osteopenik (Seviye 15)	338,50	21,38
C15	5,5	Osteopenik (Seviye 15)	346,54	15,81

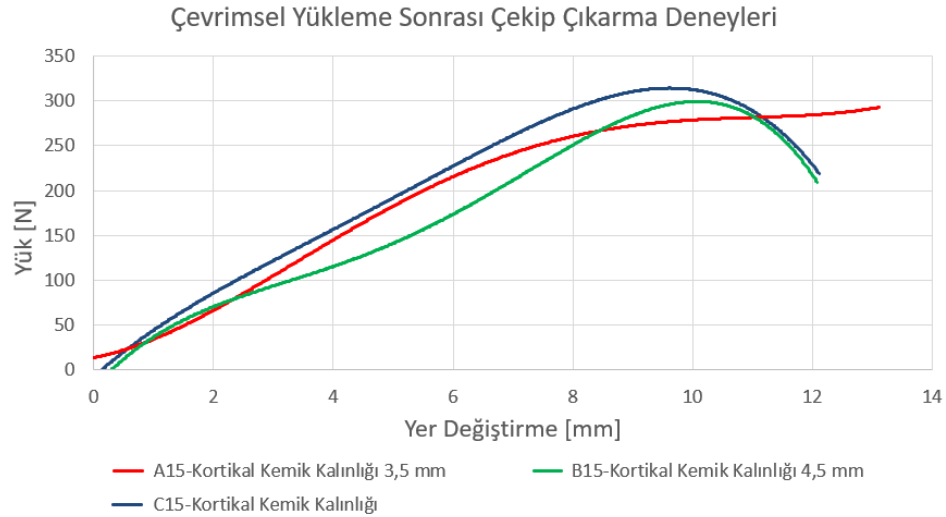
Füzyon sonrası farklı trabeküler kemik yoğunluklarına göre dördüncü dereceden eğri uydurularak çizilen ortalama statik çekip çıkarma deney sonuçları Şekil 6.36’de verilmiştir. Trabeküler kemik yoğunluğunun statik çekip çıkarma dayanımına olan etkisini araştırmak için B5, B12 ve B15 gruplarına Kruskal Wallis-H testi uygulanmıştır. Bu grupların çekip çıkarma dayanımları arasında anlamlı fark bulunmamıştır ($p = 0,298 > 0,05$). Bu istatistiki sonuç sütür ankor ile fiksasyon tekniğinin çevrimsel yüklenme sonrası ÇÇD’sinin füzyon gerçekleşikten sonra trabeküler kemik yoğunluk seviyesinden etkilenmediği tespit edilmiştir.



Şekil 6.36: Sütür ankor ile fiksasyon tekniğinin farklı trabeküler yoğunluklara göre füzyon ve çevrimsel yüklenme sonrası çekip çıkarma deney sonuçları.

Füzyon sonrası farklı kortikal kemik kalınlıklarına göre dördüncü dereceden eğri uydurularak çizilen ortalama statik çekip çıkarma deney sonuçları Şekil 6.37’de verilmiştir. Kortikal kemik kalınlığının füzyon ve çevrimsel yüklenme sonrası çekip

çıkarma dayanımına olan etkisini araştırmak için A15, B15 ve C15 gruplarına Kruskal Wallis-H testi yapılmış ve çekip çıkarma dayanımları arasında anlamlı fark saptanmamıştır ($p= 0,357 > 0,05$). Bu veri füzyon gerçekteştikten sonra sütün ankor ile fiksasyon tekniğinin ÇÇD'sinin çevrimsel yükleme sonrasında kortikal kemik kalınlığından etkilenmediğini göstermektedir.



şekil 6.37: Sütün ankor ile fiksasyon tekniğinin farklı kortikal kalınlıklara göre füzyon ve çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma deney sonuçları.

Çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma deneylerin %16'sında sütün ankor köpükten çıkarak deney tamamlanmıştır. B5 grubunun %60'ında, B12 grubunun %20'sinde sütün ankorun köpükten çıktığı gözlemlenmiştir. Geri kalan numunelerde sütün ankor vidadan çıkmadan yapay tendonun kopmasıyla deney tamamlanmıştır.

Füzyon sonrası süreci temsil eden numunelere yapılan çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma deneyi ile statik çekip çıkarma deneyi yapılan numuneler Mann Whitney-U testi ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen p değerleri Çizelge 6.15'da gösterilmektedir. Bütün p değerler 0,05'ten büyük gelerek hiçbir grup arasında anlamlı fark bulunmamıştır. Buradan sütün ankor ile fiksasyon tekniğinde çevrimsel yüklemenin füzyon sonrası süreçte ÇÇD'yi etkilemediği sonucuna varılmıştır.

Sütün ankor vidası ile fiksasyon yöntemi için yapılan füzyon öncesi ve füzyon sonrası çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma deney grupları kendi içerilerinde karşılaştırılmıştır. Mann Whitney-U testi ile karşılaştırılan gruplar arasındaki p değerleri verilmiştir ve hiçbir grup arasında anlamlı fark bulunmamıştır. şekil

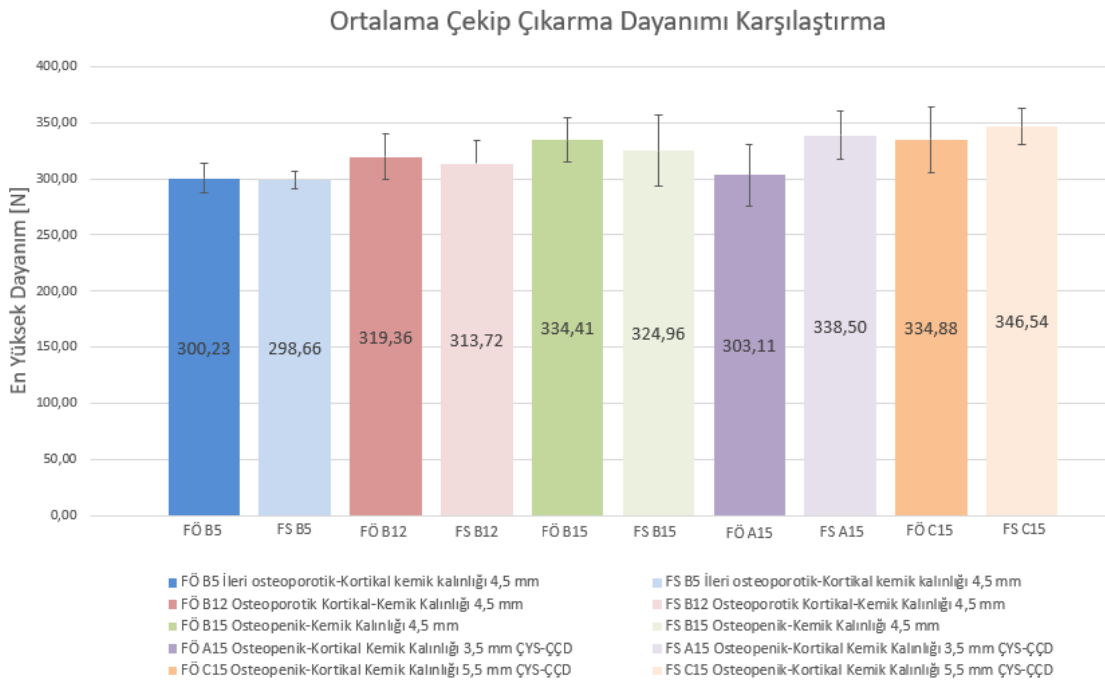
6.38'deki bar grafiği incelendiğinde sütur ankor ile fiksasyon yönteminin çevrimsel yükleme sonrası D'sinin füzyona bağlı olmadığı açıkça görülmektedir.

Çizelge 6.15: Füzyon sonrası statik ile çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma deneyleri karşılaştırması; istatistik p değerleri.

Grup ismi	P değerı
B5	0,917
B12	0,754
B15	0,347
A15	0,917
C15	0,175

Çizelge 6.16: Sütur ankor ile fiksasyon tekniğinin füzyon öncesi ve sonrası ortalama çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma dayanımı karşılaştırması; istatistik p değerleri.

Grup ismi	P değerı
B5	0,402
B12	0,754
B15	0,754
A15	0,117
C15	0,602



F; Füzyon ncesi statik çekip çıkarma deney sonuçları
 FS; Füzyon sonrası statik çekip çıkarma deney sonuçları

şekil 6.38: Sütur ankor ile fiksasyon tekniğinin füzyon öncesi ve sonrası ortalama çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma dayanımı karşılaştırması.

6.3 İnterferans Vidası ile Fiksasyon ve Sütür Ankor ile Fiksasyon Karşılaştırması

Çizelge 6.19’da interferans vidası ve sütür ankor fiksasyon yöntemi için yapılan bütün deney sonuçları verilmektedir. İnterferans vidası ile fiksasyon tekniği ve sütür ankor ile fiksasyon tekniği Mann Whitney-U testi ile karşılaştırılmıştır. Füzyon öncesi dönem için elde edilen p değerleri Çizelge 6.17’de verilmiştir.

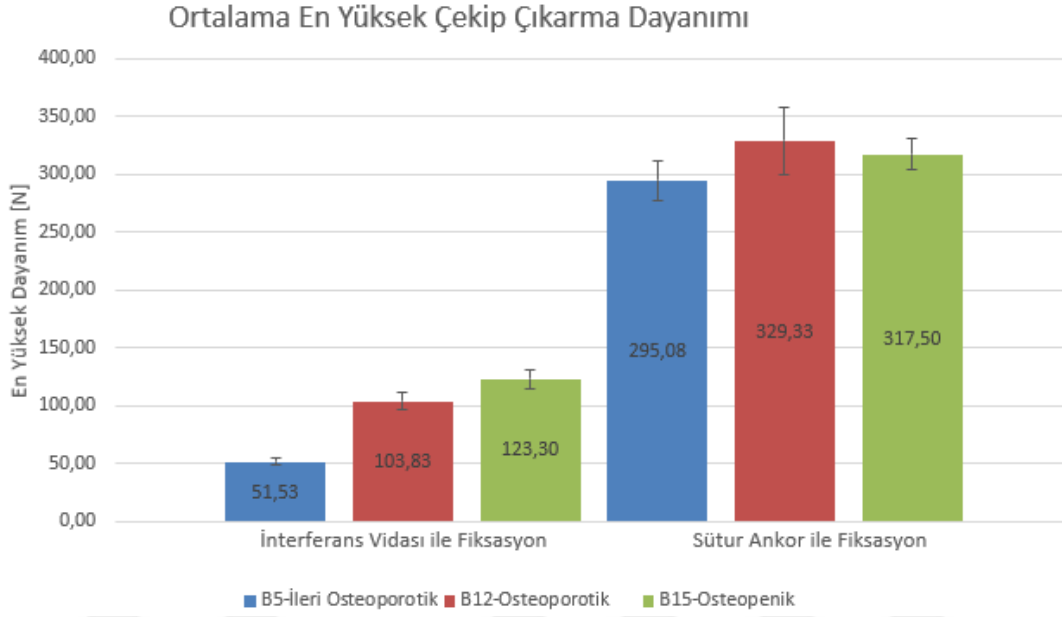
Çizelge 6.17: Füzyon öncesi fiksasyon tekniklerinin ÇÇD karşılaştırma p değerleri.

	Numune Grubu	Sütür ankor ile fiksasyon				
		B5	B12	B15	A15	C15
İnterferans vidası ile fiksasyon	B5	0,009*				
	B12		0,009*			
	B15			0,009*		
	A15				0,009*	
	C15					0,009*

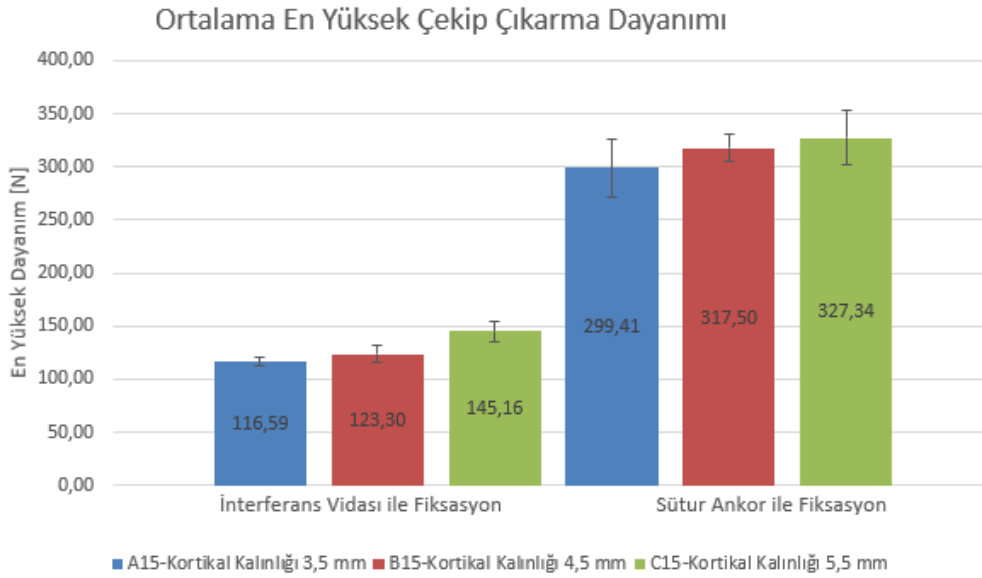
* İstatistiki olarak anlamlı fark vardır

Şekil 6.39’da füzyon öncesi dönem için fiksasyon tekniklerinin statik ÇÇD’lerinin trabeküler kemik yoğunluğuna göre karşılaştırılması verilmiştir. Bu bar grafiği incelendiğinde füzyon öncesi trabeküler yoğunluk açısından sütür ankor ile fiksasyon tekniğinin ÇÇD’sinin interferans vidasına göre daha üstün olduğu açıkça görülmektedir. İleri osteoporotik trabeküler kemik yoğunluğuna sahip numunelerde interferans vidası ile fiksasyon tekniğinin ÇÇD’si ile sütür ankor ile fiksasyon tekniğinin ÇÇD’si arasında neredeyse altı kat fark vardır. Osteoporotik ve osteopenik trabeküler kemik yoğunluklarında ise bu fark yaklaşık üç katıdır.

Şekil 6.40’da füzyon öncesi dönem için fiksasyon tekniklerinin statik ÇÇD’lerinin kortikal kemik kalınlığına göre karşılaştırma grafiği verilmiştir. Bu bar grafiği incelendiğinde kortikal kemik kalınlıklarının değerlendirildiği gruplarda da sütür ankor ile fiksasyon tekniğinin ÇÇD’sinin interferans vidası ile fiksasyon tekniğine göre üstün olduğu görülmektedir.

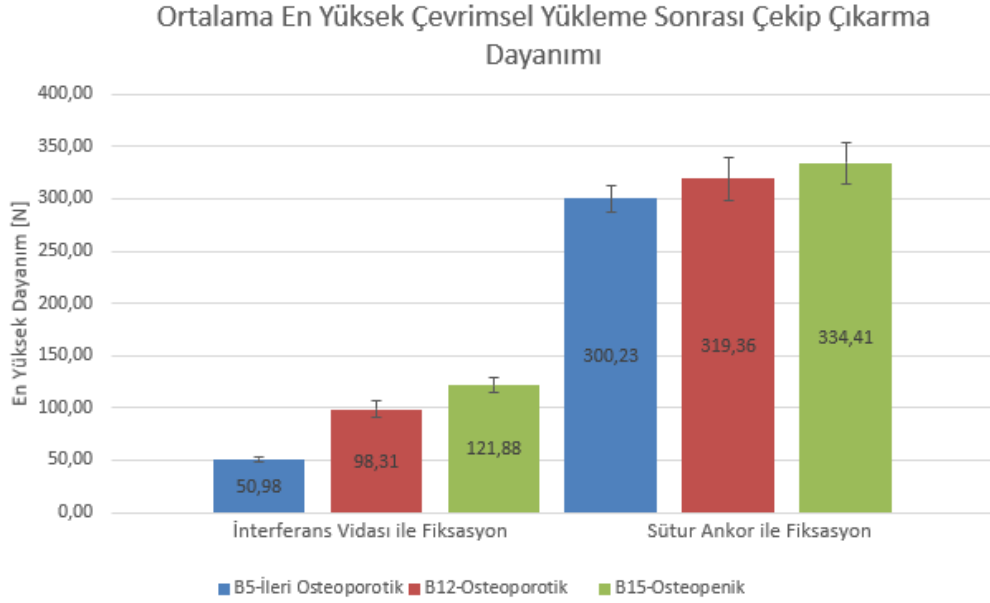


Şekil 6.39: Fiksasyon tekniklerinin füzyon öncesi trabeküler kemik yoğunluğuna göre statik çekip çıkarma dayanım karşılaştırması.



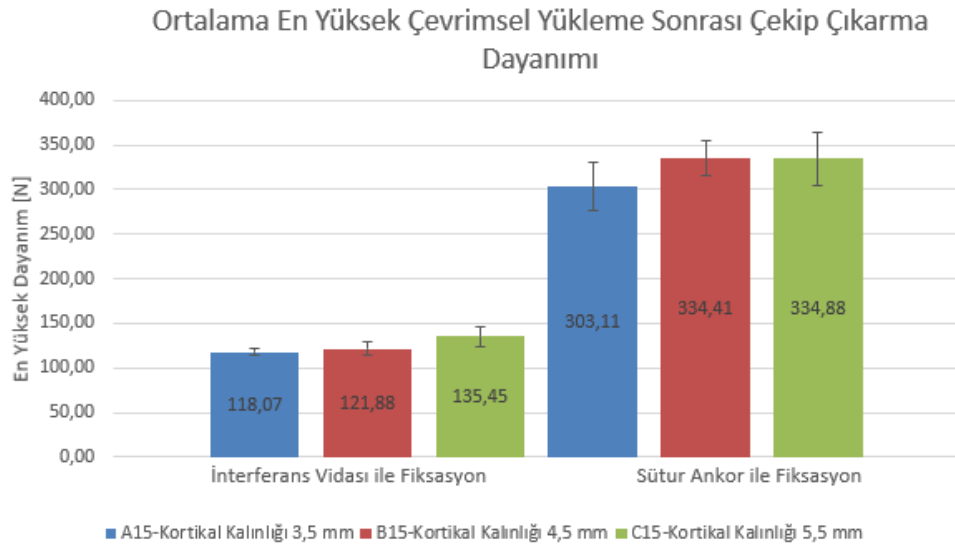
Şekil 6.40: Fiksasyon tekniklerinin füzyon öncesi kortikal kemik kalınlığına göre statik çekip çıkarma dayanım karşılaştırması.

Şekil 6.41’de füzyon öncesi çevrimsel yüklemenin ÇÇD üzerindeki etkisinin araştırıldığı farklı trabeküler kemik yoğunluğuna sahip grupların karşılaştırma bar grafiği verilmiştir. Bu grafikten interferans vidası ile fiksasyon tekniğinin biyomekanik performansının suture ankor ile fiksasyon tekniğinkiyle kıyaslandığında 6 ila 3 kat daha düşük olduğu gözükmektedir.



Şekil 6.41: Fiksasyon tekniklerinin füzyon öncesi trabeküler kemik yoğunluğuna göre çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma dayanım karşılaştırması.

Şekil 6.42’de füzyon öncesi çevrimsel yüklemenin ÇÇD üzerindeki etkisinin araştırıldığı farklı kortikal kemik kalınlıklarının karşılaştırma bar grafiği verilmiştir. Bu grafikten interferans vidası ile fiksasyon tekniğinin biyomekanik performansının sütür ankor ile fiksasyon tekniğine göre anlamlı derecede daha düşük olduğu açıkça görülmektedir.



Şekil 6.42: Fiksasyon tekniklerinin füzyon öncesi kortikal kemik kalınlığına göre çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma dayanım karşılaştırması.

Füzyon öncesi bütün karşılaştırma grupları değerlendirildiğinde sütür ankor ile fiksasyon tekniği, interferans vidasına göre çekip çıkarma dayanımı olarak anlamlı derecede çok daha iyi performans göstermiştir.

Füzyon sonrası için interferans vidası ile fiksasyon tekniği ve sütür ankor ile fiksasyon tekniği Mann Whitney-U testi ile karşılaştırılmıştır. Füzyon sonrası dönem için elde edilen p değerleri Çizelge 6.18’de verilmiştir.

Çizelge 6.18: Füzyon sonrası fiksasyon tekniklerinin ÇÇD karşılaştırma p değerleri.

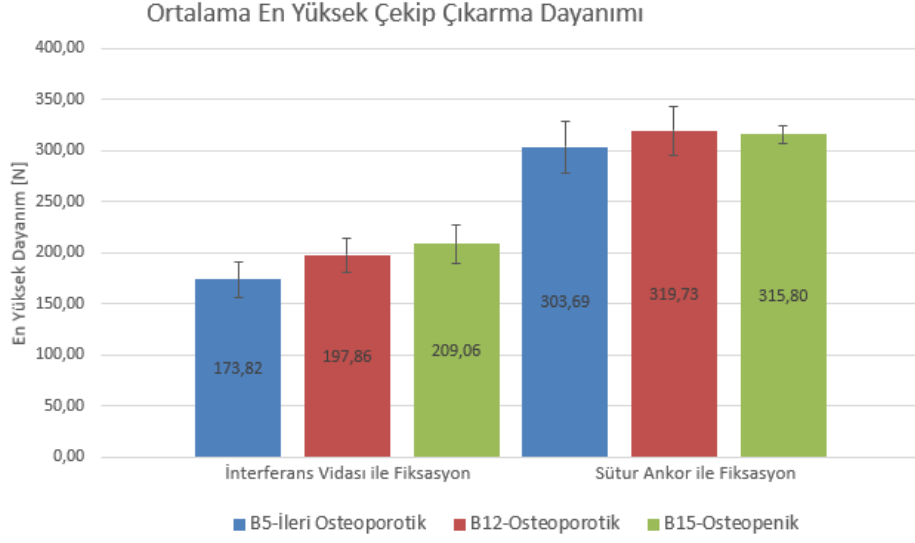
		Sütür ankor ile fiksasyon				
	Numune Grubu	B5	B12	B15	A15	C15
İnterferans vidası ile fiksasyon	B5	0,009*				
	B12		0,009*			
	B15			0,009*		
	A15				0,009*	
	C15					0,009*

* İstatistiki olarak anlamlı fark vardır

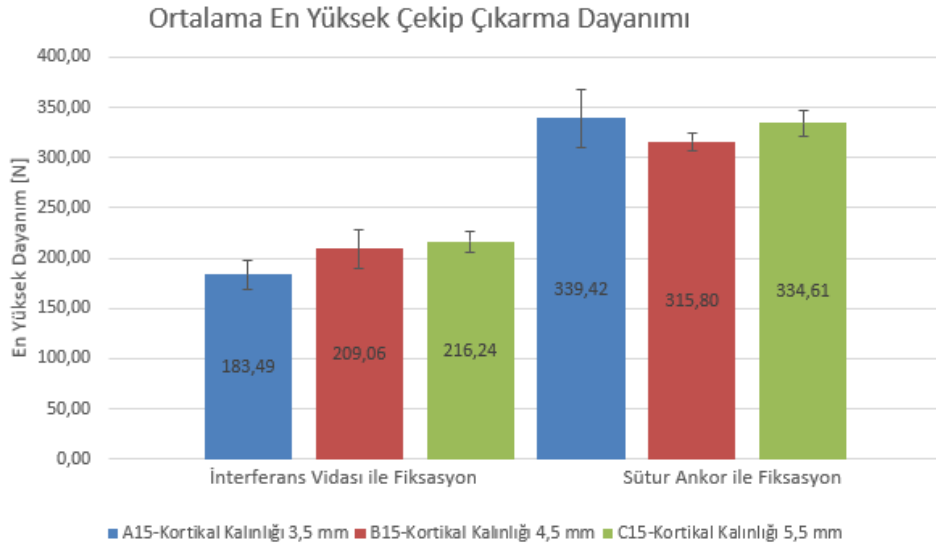
Şekil 6.43’da füzyon sonrası için fiksasyon tekniklerinin statik ÇÇD’lerinin trabeküler kemik yoğunluğuna göre karşılaştırılma grafiği verilmiştir.

Şekil 6.43’de füzyon sonrası dönem için fiksasyon tekniklerinin statik ÇÇD’lerinin kortikal kemik kalınlığına göre karşılaştırma grafiği verilmiştir. Bu grafik ve Çizelge 6.18 incelendiğinde trabeküler kemik yoğunluklarının değerlendirildiği gruplarda sütür ankor ile fiksasyon tekniğinin ÇÇD’sinin interferans vidası ile fiksasyon tekniğine göre üstün olduğu görülmektedir. Füzyon sonrası dönemde interferans vidası ile fiksasyon tekniğinin ÇÇD’si artmasına rağmen sütür ankor ile fiksasyon tekniğinin ÇÇD’si anlamlı seviyede daha yüksektir.

Şekil 6.44’de farklı kortikal kemik kalınlıklarındaki grupların füzyon sonrası statik ÇÇD’leri karşılaştırılmıştır. Bu grafik ve Çizelge 6.18’den sütür ankor ile fiksasyon tekniği farklı kortikal kalınlıklarında da interferans vidası ile fiksasyon tekniğinden biyomekanik olarak daha üstün performans göstermiştir.

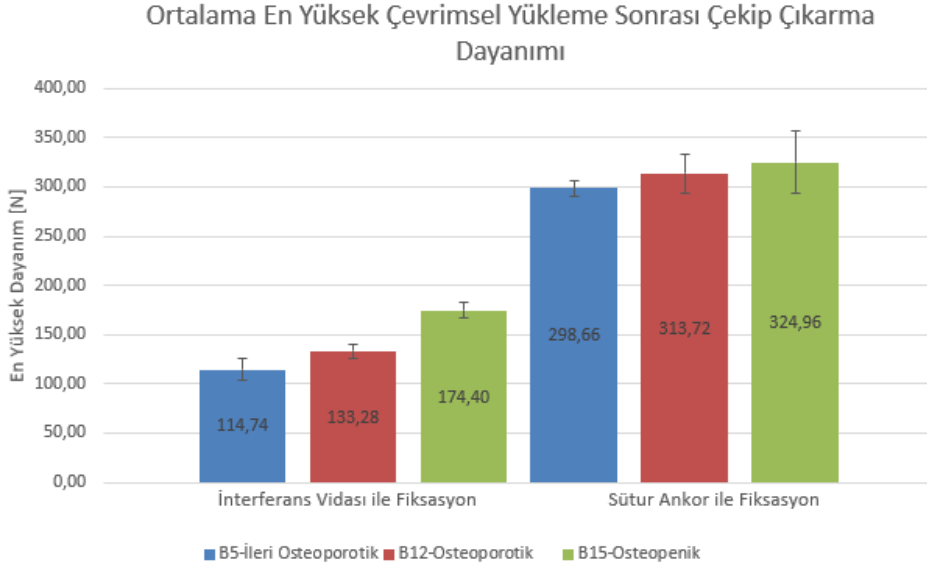


Şekil 6.43: Fiksasyon tekniklerinin füzyon sonrası trabeküler kemik yoğunluğuna göre statik çekip çıkarma dayanım karşılaştırması.

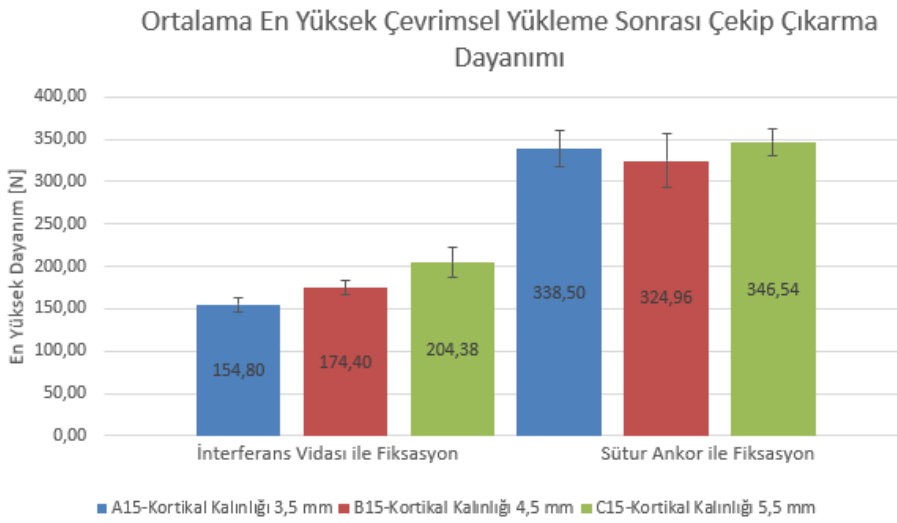


Şekil 6.44: Fiksasyon tekniklerinin füzyon sonrası kortikal kemik kalınlığına göre statik çekip çıkarma dayanım karşılaştırması.

Şekil 6.45ve Şekil 6.46 fiksasyon tekniklerinin füzyon ve çevrimsel yükleme sonrası ÇÇD karşılaştırma bar grafikleri verilmiştir. Bu iki şekil ve Çizelge 6.18 incelendiğinde sütur ankor ile fiksasyon tekniğinin hem farklı trabeküler kemik yoğunluklarında hem de farklı kortikal kemik kalınlıklarında interferans vidası ile fiksasyon tekniğinden anlamlı olarak daha yüksek ÇÇD'si olduğu görülmektedir.



Şekil 6.45: Fiksasyon tekniklerinin füzyon sonrası trabeküler kemik yoğunluğuna göre çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma dayanım karşılaştırması.



Şekil 6.46: Fiksasyon tekniklerinin füzyon sonrası kortikal kemik kalınlığına göre çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma dayanım karşılaştırması.

Füzyon sonrası dönemde de Sütür ankor ile fiksasyon, interferans vidasına göre çekip çıkarma dayanımı olarak bütün karşılaştırma gruplarında anlamlı derecede daha üstün performans göstermiştir.

Çizelge 6.19: Tüm deney sonuçları.

Grup ismi	İnterferans Vidası ile Fiksasyon								Sütür Ankor ile Fiksasyon							
	Füzyon Öncesi				Füzyon Sonrası				Füzyon Öncesi				Füzyon Sonrası			
	SÇÇD (N)	SD	ÇYS-ÇÇD (N)	SD	SÇÇD (N)	SD	ÇYS-ÇÇD (N)	SD	SÇÇD (N)	SD	ÇYS-ÇÇD (N)	SD	SÇÇD (N)	SD	ÇYS-ÇÇD (N)	SD
B5	51,53	2,43	50,98	2,13	173,82	16,36	114,74	6,71	295,08	17,18	300,23	13,09	303,69	23,64	298,66	7,92
B12	103,83	7,56	98,31	7,81	197,86	17,80	133,28	11,74	329,33	29,28	319,36	20,34	319,73	23,64	313,72	20,09
B15	123,30	8,13	121,88	7,07	209,06	18,79	174,40	8,07	317,50	13,03	334,41	19,62	315,80	8,61	324,96	31,96
A15	116,59	4,14	118,07	4,37	183,49	14,40	154,80	8,85	299,41	27,38	299,41	27,38	339,42	29,06	338,50	21,38
B15	123,30	8,13	121,88	7,07	209,06	18,79	174,40	8,07	317,50	13,03	334,41	19,62	315,80	8,61	324,96	31,96
C15	145,16	10,00	131,33	8,05	216,24	10,40	204,38	17,90	327,34	25,37	327,34	25,37	334,61	12,74	346,54	15,81
<i>SÇÇD</i> ; Statik çekip çıkarma dayanım değerleri																
<i>ÇYS-ÇÇD</i> ; Çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma dayanım değerleri																
<i>SD</i> ; Standart Sapma																

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada BUB tenodezi için en sık kullanılan iki fiksasyon tekniğinin biyomekanik performansları kortikal kemik kalınlığı ve trabeküler kemik yoğunluğu açısından karşılaştırılmıştır. İnterferans vidası ve sütün ankor ile fiksasyon tekniklerinin biyomekanik performansları hem füzyon öncesi hem de füzyon sonrası dönemde tespit edilmiştir. Çalışma kortikal kalınlık etkisi, trabeküler yoğunluk, çevrimsel yükleme sonrası dayanım, vidanın füzyon öncesi ve sonrası performansı ve fiksasyon yöntemine göre füzyon öncesi ve sonrası etkisini araştırması açısından çok kapsamlı bir çalışmadır. Bütün yapay kemik numunelerinin standarta uygun hazırlanmıştır. Sentetik kemik numuneleri ve tendonlar kullanılmasının sebebi güvenilir ve karşılaştırılabilir deney sonuçları elde etmektir. İnsan kemiği ve tendonunun mekanik özellikleri aynı yaş, cinsiyet grubunda bile değişkenlik göstermektedir. Deneyleri standartlaştırabilmek açısından yapay kemik ve tendon numunesi kullanımı tercih edilmiştir. Ayrıca çalışmanın en güçlü kısmını oluşturan füzyon sonrası durumu kadavra insan kemiği kullanımı ile taklit etmek mümkün değildir. Yapılan deneyler için hazırlanan yapay kemik numuneleri kompozit PU köpüklerden oluşturulmuştur. Trabeküler kemik yoğunluğunun biyomekanik performansa etkisinin araştırıldığı numunelerde kortikal kemik kalınlığı sabit tutulurken, kortikal kemik kalınlığının biyomekanik performansa etkisinin araştırıldığı numunelerde trabeküler kemik yoğunluğu sabit tutularak üç farklı trabeküler kemik yoğunluğunun ve üç farklı kortikal kemik kalınlığının fiksasyon tekniklerinin ÇÇD'leri üzerindeki etkileri bulunmuştur. Hazırlanan numunelere hem sadece statik çekip çıkarma deneyi hem de cerrahi sonrası immobilize bir ayı taklit eden çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma deneyi yapılmıştır. Bu sayede çevrimsel yüklemenin ÇÇD'sine etkisi gözlemlenmiştir. Füzyon öncesi dönem cerrahi sonrası dönemi temsil etmiştir. Füzyon sonrası dönem kemiğin kaynadığı/iyileştiği dönemi temsil etmiştir. Bu iki farklı dönemin deney sonuçları cerrahi sonrası tedavi protokolünün nasıl ilerlemesi gerektiği hakkında yol gösterici olmuştur.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar özetlenirse;

- İnterferans vidası ile sütur ankor vidasının D karşılaştırıldığında hem füzyon öncesi hem de füzyon sonrası dönemde interferans vidasının D'nin anlamlı seviyede daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.
- Füzyon ncesi dönemde trabeküler kemik yoğunluğunun değişmesi interferans vidası ile fiksasyon yönteminin D'sini anlamlı derecede etkilemektedir. Füzyon ncesi süreçte kemikteki osteoporotik dejenerasyon arttıkça (trabeküler kemik yoğunluğu düştükçe), interferans vidası ile fiksasyon yönteminin biyomekanik performansı düşmektedir.
- Füzyon ncesi dönemde kortikal kemik kalınlığı 4,5 mm'den az olduğu durumda kortikal kemik kalınlığı değişiminden interferans vidası ile fiksasyon tekniğinin D etkilenmemiştir. Kortikal kemik kalınlığı 4,5 mm'den fazla olan numunelerde D anlamlı derecede daha düşük kortikal kemik kalınlığına sahip numunelerin D'sinden fazladır.
- Füzyon ncesi dönemde çevrimsel yükleme uygulanan numunelerde trabeküler kemik yoğunluğunun düştüğünde, interferans vidası ile fiksasyon tekniğinin D'ın da anlamlı seviyede azalmıştır.
- Füzyon ncesi dönemde çevrimsel yükleme sonrası kortikal kemik kalınlığı 5,5 mm ile 3,5 mm olan gruplar arasında anlamlı fark vardır. Kortikal kemik kalınlığı 5,5 mm olan grubun D 3,5 mm olan gruba göre anlamlı seviyede daha yüksektir.
- Füzyon ncesi interferans vidası ile fiksasyon tekniği için çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma deneyi yapılan numuneler ile sadece statik çekip çıkarma deneyi yapılan numunelerin karılatırılmasında hiçbir grup arasında anlamlı fark tespit edilmemiştir. Buradan cerrahi sonrası ilk D'de çevrimsel yüklemenin etkisi olmadığı sonucuna varılmıştır.
- Füzyon sonrası dönemde interferans vidası ile fiksasyon yönteminin D'sinin trabeküler kemik yoğunluğundan etkilendiği gözlemlenmiştir. İleri osteoporotik trabeküler kemik yoğunluğuna sahip numune ile osteopenik özelliğe sahip numune arasında anlamlı fark bulunmuştur. Trabeküler kemik yoğunluğu osteopenik olan grubun D'si ileri osteoporotik numunelere göre istatistiki olarak daha üstündür.

- Füzyon sonrasında interferans vidası ile fiksasyon tekniğinin ÇÇD'si kortikal kemik kalınlığı 3,5 mm ile 5,5 mm olan ve 4,5 mm ile 5,5 mm olan gruplar arasında anlamlı seviyede farklıdır. Kortikal kemik kalınlığı 5,5 mm olan grubun ÇÇD'si, kortikal kemik kalınlığı daha düşük olan grubunkinden anlamlı olarak daha yüksek tespit edilmiştir. Kortikal kemik kalınlığı 3,5 mm ile 4,5 mm olan numunelerin ÇÇD'leri arasında anlamlı fark tespit edilmemiştir.
- İnterferans vidası ile fiksasyon tekniğinin ÇÇD'si bütün gruplarda füzyon sonrası dönemde anlamlı seviyede yüksek bulunmuştur.
- Füzyon ve çevrimsel yükleme sonrası interferans vidası ile fiksasyon tekniğinin ÇÇD'sinin trabeküler kemik yoğunluğu ve kortikal kemik kalınlığı azaldıkça düştüğü tespit edilmiştir.
- Çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma deneyi yapılan numuneler ile sadece statik çekip çıkarma deneyi yapılan interferans vidası ile fiksasyon numuneleri karşılaştırması sonucunda sadece kortikal kemik kalınlığı 5,5 mm olan numune grubunun ÇÇD'si füzyon sonrası durumda çevrimsel yüklemeye etkilenmemiştir. Diğer bütün grupların ÇÇD'sinin çevrimsel yükleme sonrasında düştüğü tespit edilmiştir.
- İnterferans vidası ile fiksasyon tekniğinin çevrimsel yükleme sonrası ÇÇD'si bütün gruplarda füzyon sonrası dönemde füzyon öncesine göre anlamlı seviyede yüksek bulunmuştur.
- Füzyon öncesi dönemde trabeküler kemik yoğunluğunun ve kortikal kemik kalınlığının değişmesi suture ankor ile fiksasyon yönteminin ÇÇD'sinde istatistiki olarak anlamlı fark oluşturmamıştır. Buradan füzyon öncesinde suture ankor ile fiksasyon tekniğinin biyomekanik performansının trabeküler kemik yoğunluğundan ve kortikal kemik kalınlığından etkilenmediği sonucuna varılmıştır.
- Trabeküler kemik yoğunluğunun ve kortikal kemik kalınlığının değişmesi füzyon öncesi çevrimsel yükleme deneyleri yapılan suture ankor ile fiksasyon tekniği numunelerinin ÇÇD'sinde anlamlı fark oluşturmamıştır.
- Füzyon öncesi çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma deneyi yapılan numuneler ile sadece statik çekip çıkarma deneyi yapılan suture ankor ile fiksasyon numuneleri karşılaştırması sonucunda hiçbir grup arasında anlamlı

fark gözlenmemiştir. Sütür ankor ile fiksasyon yönteminin biyomekanik performansı füzyon öncesi dönemde çevrimsel yüklemekten etkilenmediği tespit edilmiştir.

- Füzyon sonrası dönemde trabeküler kemik yoğunluğunun ve kortikal kemik kalınlığının değişmesi sütür ankor ile fiksasyon yönteminin ÇÇD'sinde istatistiki olarak anlamlı fark saptanmamıştır.
- Füzyon öncesi ve füzyon sonrası sütür ankor ile fiksasyon tekniğinin ÇÇD'si arasında anlamlı fark olmadığı tespit edilmiştir.
- Füzyon ve çevrimsel yükleme sonrası trabeküler kemik yoğunluğunun ve kortikal kemik kalınlığının değişmesi sütür ankor ile fiksasyon yönteminin ÇÇD'sinde istatistiki olarak anlamlı fark yoktur.
- Füzyon sonrası süreci temsil eden sütür ankor ile fiksasyon numunelerine yapılan çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma deneyi ile statik çekip çıkarma deneyi yapılan numuneler karşılaştırılmış ve çevrimsel yüklemenin füzyon sonrası dönemde ÇÇD'yi etkilemediği sonucuna varılmıştır.
- Sütür ankor vidası ile fiksasyon yöntemi için yapılan füzyon öncesi ve füzyon sonrası çevrimsel yükleme sonrası çekip çıkarma deney grupları kendi içerilerinde karşılaştırılmış ve ÇÇD'sinin füzyona bağlı olmadığı tespit edilmiştir.
- Füzyon öncesi ve füzyon sonrası bütün karşılaştırma grupları değerlendirildiğinde sütür ankor ile fiksasyon tekniği, interferans vidasına göre çekip çıkarma dayanımı olarak anlamlı derecede üstün performans göstermiştir.

İnterferans vidası ile fiksasyon tekniği için özetle biyomekanik performansının füzyon gerçekleştikten sonra füzyon öncesine göre anlamlı derecede daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu fiksasyon yöntemi için füzyonun gerçekleşmesi biyomekanik performans açısından önemlidir. Özellikle ileri osteoporotik hastaların kemik yoğunluğunu temsil eden grupta fiksasyon tekniğinin dayanımının füzyon sonrasında füzyon öncesine göre yaklaşık olarak 3 katı olduğu gözlemlenmiştir. İnterferans vidası ile tenodez yönteminde rehabilitasyon için mekanik performanslar değerlendirildiğinde füzyonun gerçekleşmesini beklemek daha doğru olacaktır. Sütür ankor ile fiksasyon tekniği ile karşılaştırıldığında interferans vidası ile tedavi yöntemini osteoporotik dejenerasyonu olan ve kortikal kemik kalınlığı zayıf olan

hastalara uygulamak biyomekanik performans değerlendirildiğinde tercih edilmemesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Füzyon öncesi ve sonrasında sütün ankor ile fiksasyon yöntemine kortikal kemik kalınlığının, trabeküler kemik yoğunluğunun bir etkisi olmadığı tespit edilmiştir. Bu tedavi yönteminde rehabilitasyona başlamak için füzyon sonrasını beklemeye ihtiyaç yoktur. Cerrahi sonrasında birincil amaç olan rehabilitasyona hemen başlanabilir. Bu tedavi yönteminde cerrahi sonrası başlanman rehabilitasyon zamanlamasıyla hasta, günlük yaşantısına en erken sürede dönebilecektir. Cerrahi sonrası rehabilitasyona mümkün olan en kısa sürede başlanması hastanın hem iyileşme sürecini hızlandıracak hatta işe dönüş süresini de azaltarak sosyo-ekonomik yönden faydalı olacaktır. Özellikle diyabeti olan ve romatolojik hastalığı olan kişilerde yumuşak doku iyileşmesi geciktiği için rehabilitasyona başlama zamanı kritiktir. Bu hastalarda sütün ankor ile tenodez tekniğinin kullanılması tercih edilmelidir.

Bu çalışmanın limitasyonu; çalışmada yapılan deneylerde yapay tendona uygulanan kuvvetin yönü, fiksasyon yöntemlerinin gerçek hayatta karşılaşabileceği en kötü durum senaryosudur. Bu yüzden elde edilen dayanım değerlerinin gerçek hayatta daha yüksek olması beklenmektedir.

EKLER

EK 1: Yüksek mukavemetli polyester iplik veri sayfası



EK 1

Ek 1:Yüksek mukavemetli polyester iplik veri sayfası

Zhejiang Guxiandao Polyester Dope Dyed Yarn Co.,LTD.

浙江古纤道绿色纤维有限公司

涤纶工业长丝质量报告单
CERTIFICATE OF ANALYSIS



生产日期	从	至	发放日期
Production Date	from	to	Release Date
	2018-9-11	2018-9-15	2018-9-15
产品类别	高强低伸	批号	规格
Product Type	HTLE	Lot Number	Specification
		G4004H	4440dtex/576f

测试项目	单位	标准	测试值	测试方法	备注
Item	Unit	Spec	Test Results	Test Method	Remark
线密度 Linear Density	dtex	4400±66	4411.7	ASTM D1907	
	CV(%)	≤1.60	0.35		
断裂强力 Breaking Strength	N	≥356.4	364.7	ASTM D885	
断裂强度 Tenacity	cN/dtex	≥8.10	8.27		
	CV(%)	≤4.00	0.82		
断裂伸长率 Elongation at Break	%	12.0±1.5	11.9		
	CV(%)	≤8.00	3.22		
定负荷伸长 EASL	%	5.5±0.8	5.1		@4.0cN/dtex
干热收缩率 Thermal Shrinkage	%	11.0±2.0	11.2	ASTM D4974	177℃, 1min, 0.05g/D
含油率 Oil Pick Up	%	0.75±0.20	0.75	GXD method	
网络度 Entanglements Per Meter	n/m	≥4	5	GXD method	
综合定等					
Grade					

备注：测试产品断裂强度，加60个捻度

Remark: 60 twists per meter are applied on yarn for tensile test.

报告人

李会娟

Reported By

审核

张德慧

Approved By

KAYNAKLAR

- [1] **Kanatli, U., Bölükbaşı, S., Ekin, A., Ozkan, M. and Simşek, A.** (2005) Glenohumeral eklem instabilitesinin anatomik, biyomekanik ve patofizyolojik özellikleri. *Acta Orthop. Traumatol. Turc.* p. 4–13.
- [2] **Quillen, D.M., Wuchner, M. and Hatch, R.L.** (2004) Acute shoulder injuries. *Am. Fam. Physician.* p. 1947–54. [https://doi.org/70\(10\):1047-1954](https://doi.org/70(10):1047-1954).
- [3] **Özkaya, N., Nordin, M., Goldsheyder, D., Leger, D.** (2012) Fundamentals of Biomechanics [Internet]. Springer-Verlag New York. [https://doi.org/10.1016/S0031-9406\(05\)61176-5](https://doi.org/10.1016/S0031-9406(05)61176-5)
- [4] **Dalla Pria Bankoff, A.** (2012) Biomechanical Characteristics of the Bone. *Human Musculoskeletal Biomechanics*, 61–86. [https://doi.org/10.1016/S1067-2516\(02\)80064-3](https://doi.org/10.1016/S1067-2516(02)80064-3)
- [5] **Guyton, A.C. and Hall, J.E.** (2006) Textbook of Medical Physiology [Internet]. Textb. Med. Physiol. <https://doi.org/10.1136/pgmj.51.599.683-c>
- [6] **Margareta Nordin, V.H.F.; D.L.** (2012) Basic biomechanics of the musculoskeletal system. Philadelphia, PA Wolters Kluwer Heal. WilliamsWilkins. <https://doi.org/10.1001/archsurg.1973.01350210041013>
- [7] **Karim, L., Hussein, A.I., Morgan, E.F. and Boussein, M.L.** (2013) The Mechanical Behavior of Bone [Internet]. Fourth Edi. Osteoporos. Fourth Ed. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-415853-5.00019-4>
- [8] **TM, K. and WC, H.** (1993) A 20- year perspective on the mechanical properties of trabecular bone. *J Biomech Eng*, 115, 534–42.
- [9] **Keaveny, T.M., Morgan, E.F. and Yeh, O.C.** (2004) Bone Mechanics. *Standard Handbook of Biomedical Engineering and Design*, 8.1-8.23. <https://doi.org/10.1385/1-59259-366-6:369>
- [10] **Bayraktar, H.H., Morgan, E.F., Niebur, G.L., Morris, G.E., Wong, E.K. and Keaveny, T.M.** (2004) Comparison of the elastic and yield properties of human femoral trabecular and cortical bone tissue. *Journal of Biomechanics*, 37, 27–35. [https://doi.org/10.1016/S0021-9290\(03\)00257-4](https://doi.org/10.1016/S0021-9290(03)00257-4)
- [11] **Morgan, E.F. and Keaveny, T.M.** (2001) Dependence of yield strain of human trabecular bone on anatomic site. *Journal of Biomechanics*, 34, 569–77. [https://doi.org/10.1016/S0021-9290\(01\)00011-2](https://doi.org/10.1016/S0021-9290(01)00011-2)
- [12] **Ho Ba Tho, M.-C., Rho, J.-Y. and Ashman, R.B.** (1991) Atlas of mechanical properties of human cortical and cancellous bone.pdf. vivo Assess. bone Qual. by Vib. wave Propag. Tech. Part II. p. 7–38.

- [13] **Ashman, R.B. and Jae Young Rho.** (1988) Elastic modulus of trabecular bone material. *Journal of Biomechanics*, 21, 177–81. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(88\)90167-4](https://doi.org/10.1016/0021-9290(88)90167-4)
- [14] **Rho, J.Y., Kuhn-Spearing, L. and Zioupos, P.** (1998) Mechanical properties and the hierarchical structure of bone. *Medical Engineering and Physics*, 20, 92–102. [https://doi.org/10.1016/S1350-4533\(98\)00007-1](https://doi.org/10.1016/S1350-4533(98)00007-1)
- [15] **Burstein, a H., Reilly, D.T. and Martens, M.** (1976) Aging of bone tissue: mechanical properties. *The Journal of Bone and Joint Surgery American Volume*, 58, 82–6. <https://doi.org/1249116>
- [16] **Terry, G.C. and Chopp, T.M.** (2000) Functional Anatomy of the Shoulder. *Journal of Athletic Training*, 35, 248–55. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-28683-1.00037-0>
- [17] **Andreas M. Halder, Eijii Itoi, K.-N.A.** (2000) Anatomy and Biomechanics of the Shoulder. *ORTHOPEDIC CLINICS OF NORTH AMERICA*, 31. <https://doi.org/10.1016/B978-1-56053-493-8.50008-8>
- [18] **Kronberg, M., Brostrom, L.A., Soderlund, V., Broström, L.-Ä. and Söderlund, V.** (1990) Retroversion of the humeral head in the normal shoulder and its relationship to the normal range of motion. *ClinOrthopRelat Res*, 253, 113–7. <https://doi.org/10.1097/00003086-199004000-00015>
- [19] **Goldstein, B.** (2004) Shoulder anatomy and biomechanics. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*, 15, 313–49. <https://doi.org/10.1016/j.pmr.2003.12.008>
- [20] **Alberto Costantini, Giovanni Di Giacomo, Nicole Pouliart, A. de V.** (2015) Atlas of Functional Shoulder Anatomy. Eff. Br. mindfulness Interv. acute pain Exp. An Exam. Individ. Differ. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- [21] **Screen, H.R.C.** (2008) Investigating load relaxation mechanics in tendon. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 1, 51–8. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2007.03.002>
- [22] **Elser, F., Braun, S., Dewing, C.B., Giphart, J.E. and Millett, P.J.** (2011) Anatomy, function, injuries, and treatment of the long head of the biceps brachii tendon. *Arthroscopy - Journal of Arthroscopic and Related Surgery*, Elsevier Inc. 27, 581–92. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2010.10.014>
- [23] **Patton, W.C. and McCluskey III, G.M.** (2001) Biceps tendinitis and subluxation. *Clinics in Sports Medicine*, Elsevier. 20, 505–29.
- [24] **Youm, T., ElAttrache, N.S., Tibone, J.E., McGarry, M.H. and Lee, T.Q.** (2009) The effect of the long head of the biceps on glenohumeral kinematics. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, Elsevier. 18, 122–9.
- [25] **Itoi, E., Kuechle, D.K., Newman, S.R., Morrey, B.F. and An, K.N.** (1993) Stabilising function of the biceps in stable and unstable shoulders. *The Journal of Bone and Joint Surgery British Volume*, The British Editorial Society of Bone and Joint Surgery. 75, 546–50.

- [26] **McGough, R.L., Debski, R.E., Taskiran, E., Fu, F.H. and Woo, S.L.** (1996) Mechanical properties of the long head of the biceps tendon. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy: Official Journal of the ESSKA*, 3, 226–9.
- [27] **Kolz, C.W., Suter, T. and Henninger, H.B.** (2015) Regional mechanical properties of the long head of the biceps tendon. *Clinical Biomechanics*, Elsevier Ltd. 30, 940–5. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2015.07.005>
- [28] **Kurppa, K., Waris, P. and Rokkanen, P.** (1979) Peritendinitis and tenosynovitis: a review. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, JSTOR. 19–24.
- [29] **Crenshaw, A.H. and Kilgore, W.E.** (1966) Surgical treatment of bicipital tenosynovitis. *JBJS, LWW*. 48, 1496–502.
- [30] **Lippmann, R.K.** (1943) Frozen shoulder; periartthritis; bicipital tenosynovitis. *Archives of Surgery*, American Medical Association. 47, 283–96.
- [31] **Thompson, A.R., Plewes, L.W. and Shaw, E.G.** (1951) Peritendinitis crepitans and simple tenosynovitis: a clinical study of 544 cases in industry. *British Journal of Industrial Medicine*, BMJ Publishing Group. 8, 150.
- [32] **Castagna, A., Mouhsine, E., Conti, M., Vinci, E., Borroni, M., Giardella, A. et al.** (2007) Chondral print on humeral head: an indirect sign of long head biceps tendon instability. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, Springer. 15, 645–8.
- [33] **Gigi, R., Dolkart, O., Sharfman, Z.T., Goldstein, Y., Brosh, T., Rath, E. et al.** (2017) Biomechanical evaluation of two arthroscopic techniques for biceps tenodesis: triple loop suture versus simple suture. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, Elsevier Inc. 26, 165–9. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2016.05.019>
- [34] **Frost, A., Zafar, M.S. and Maffulli, N.** (2009) Tenotomy versus tenodesis in the management of pathologic lesions of the tendon of the long head of the biceps brachii. *The American Journal of Sports Medicine*, Sage Publications Sage CA: Los Angeles, CA. 37, 828–33.
- [35] **Zhang, Q., Zhou, J. and Cheng, B.** (2015) Tenotomy or tenodesis for long head biceps lesions in shoulders with reparable rotator cuff tears: a prospective randomised trial. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, Springer. 23, 464–9.
- [36] **Shank, J.R., Singleton, S.B., Braun, S., Kissenberth, M.J., Ramappa, A., Ellis, H. et al.** (2011) A comparison of forearm supination and elbow flexion strength in patients with long head of the biceps tenotomy or tenodesis. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, Elsevier. 27, 9–16.
- [37] **Delle Rose, G., Borroni, M., Silvestro, A., Garofalo, R., Conti, M., De Nittis, P. et al.** (2012) The long head of biceps as a source of pain in active population: tenotomy or tenodesis? A comparison of 2 case series with isolated lesions. *Musculoskeletal Surgery*, Springer. 96, 47–52.

- [38] **Wolf, R.S., Zheng, N. and Weichel, D.** (2005) Long head biceps tenotomy versus tenodesis: a cadaveric biomechanical analysis. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, Elsevier. 21, 182–5.
- [39] **Hsu, A.R., Ghodadra, N.S., Provencher, C.D.R.M.T., Lewis, P.B. and Bach, B.R.** (2011) Biceps tenotomy versus tenodesis: a review of clinical outcomes and biomechanical results. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, Elsevier. 20, 326–32.
- [40] **Koh, K.H., Ahn, J.H., Kim, S.M. and Yoo, J.C.** (2010) Treatment of biceps tendon lesions in the setting of rotator cuff tears: prospective cohort study of tenotomy versus tenodesis. *The American Journal of Sports Medicine*, Sage Publications Sage CA: Los Angeles, CA. 38, 1584–90.
- [41] **Elser, F., Braun, S., Dewing, C.B., Giphart, J.E. and Millett, P.J.** (2011) Anatomy, function, injuries, and treatment of the long head of the biceps brachii tendon. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, Elsevier. 27, 581–92.
- [42] **Url-1** Arthrex, “Tenodesis Technique”, alındığı tarih: 4.08.2019, <https://www.arthrex.com/shoulder/tenodesis-technique>.
- [43] **Boileau, P., Krishnan, S.G., Coste, J.-S. and Walch, G.** (2002) Arthroscopic biceps tenodesis: a new technique using bioabsorbable interference screw fixation. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, Elsevier. 18, 1002–12.
- [44] **Mazzocca, A.D., Bicos, J., Santangelo, S., Romeo, A.A. and Arciero, R.A.** (2005) The biomechanical evaluation of four fixation techniques for proximal biceps tenodesis. *Arthroscopy - Journal of Arthroscopic and Related Surgery*, 21, 1296–306. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2005.08.008>
- [45] **Kim, S.-H. and Yoo, J.C.** (2005) Arthroscopic biceps tenodesis using interference screw: end-tunnel technique. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, Elsevier. 21, 1405-e1.
- [46] **Url-2** Zimmer Biomet, “SureLock® All-Suture Anchor”, alındığı tarih: 4.08.2019, <https://www.zimmerbiomet.com/>.
- [47] **NAJAFOV, E.** (2018) Artroskopik olarak biceps tenodezi ve tenotomisi uygulanan hastaların postoperatif klinik ve radyolojik değerlendirilmesi. GAZİ ÜNİVERSİTESİ TIP FAKÜLTESİ.
- [48] **Millett, P.J., Sanders, B., Gobezie, R., Braun, S. and Warner, J.J.P.** (2008) Interference screw vs. suture anchor fixation for open subpectoral biceps tenodesis: Does it matter? *BMC Musculoskeletal Disorders*, 9, 1–6. <https://doi.org/10.1186/1471-2474-9-121>
- [49] **Baleani, M., Francesconi, D., Zani, L., Giannini, S. and Snyder, S.J.** (2015) Suprapectoral biceps tenodesis: A biomechanical comparison of a new “soft anchor” tenodesis technique versus interference screw biceps tendon fixation. *Clinical Biomechanics*, Elsevier Ltd. 30, 188–94. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2014.12.001>
- [50] **Golish, S.R., Caldwell III, P.E., Miller, M.D., Singanamala, N., Ranawat,**

- A.S., Treme, G. et al.** (2008) Interference screw versus suture anchor fixation for subpectoral tenodesis of the proximal biceps tendon: a cadaveric study. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, Elsevier. 24, 1103–8.
- [51] **Ozalay, M., Akpınar, S., Karaeminogullari, O., Balcik, C., Tasci, A., Tandogan, R.N. et al.** (2005) Mechanical strength of four different biceps tenodesis techniques. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, Elsevier. 21, 992–8.
- [52] **Tashjian, R.Z. and Henninger, H.B.** (2013) Biomechanical evaluation of subpectoral biceps tenodesis: Dual suture anchor versus interference screw fixation. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, Elsevier Ltd. 22, 1408–12. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2012.12.039>
- [53] **Richards, D.P. and Burkhart, S.S.** (2005) A biomechanical analysis of two biceps tenodesis fixation techniques. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, Elsevier. 21, 861–6.
- [54] **Patzer, T., Santo, G., Olender, G.D., Wellmann, M., Hurschler, C. and Schofer, M.D.** (2012) Supraperectoral or subpectoral position for biceps tenodesis: Biomechanical comparison of four different techniques in both positions. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, Elsevier Ltd. 21, 116–25. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2011.01.022>
- [55] **Kusma, M., Dienst, M., Eckert, J., Steimer, O. and Kohn, D.** (2008) Tenodesis of the long head of biceps brachii: Cyclic testing of five methods of fixation in a porcine model. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, Journal of Shoulder and Elbow Surgery Board of Trustees. 17, 967–73. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2008.03.001>
- [56] **Nagaraja, S. and Palepu, V.** (2016) Comparisons of Anterior Plate Screw Pullout Strength Between Polyurethane Foams and Thoracolumbar Cadaveric Vertebrae. *Journal of Biomechanical Engineering*, American Society of Mechanical Engineers. 138, 104505.
- [57] **Petrey, J.S., Saunders, M.M., Kluemper, G.T., Cunningham, L.L. and Beeman, C.S.** (2010) Temporary anchorage device insertion variables: effects on retention. *The Angle Orthodontist*, 80, 634–41.
- [58] **Wang, C.-H., Wu, J.-H., Lee, K.-T., Hsu, K.-R., Wang, H.C. and Chen, C.-M.** (2011) Mechanical strength of orthodontic infrazygomatic mini-implants. *Odontology*, Springer. 99, 98–100.
- [59] **Meira, T.M., Tanaka, O.M., Ronsani, M.M., Maruo, I.T., Guariza-Filho, O., Camargo, E.S. et al.** (2013) Insertion torque, pull-out strength and cortical bone thickness in contact with orthodontic mini-implants at different insertion angles. *European Journal of Orthodontics*, Oxford University Press UK. 35, 766–71.
- [60] **Tingart, M.J., Apreleva, M., von Stechow, D., Zurakowski, D. and Warner, J.J.** (2003) The cortical thickness of the proximal humeral diaphysis predicts bone mineral density of the proximal humerus. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 85, 611–7. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.85B4.12843>

- [61] **Ramakrishna, S., Mayer, J., Wintermantel, E. and Leong, K.W.** (2001) Biomedical applications of polymer-composite materials: a review. 61.
- [62] **Longo, U.G., Lamberti, A., Maffulli, N. and Denaro, V.** (2010) Tendon augmentation grafts: A systematic review. *British Medical Bulletin*, 94, 165–88. <https://doi.org/10.1093/bmb/ldp051>
- [63] **Melvin, A., Litsky, A., Mayerson, J., Witte, D., Melvin, D. and Juncosa-Melvin, N.** (2010) An artificial tendon with durable muscle interface. *Journal of Orthopaedic Research*, Wiley Online Library. 28, 218–24.
- [64] **Melvin, A., Litsky, A., Mayerson, J., Stringer, K., Melvin, D. and Juncosa-Melvin, N.** (2011) An artificial tendon to connect the quadriceps muscle to the Tibia. *Journal of Orthopaedic Research*, Wiley Online Library. 29, 1775–82.
- [65] **De Santis, R., Sarracino, F., Mollica, F., Netti, P.A., Ambrosio, L. and Nicolais, L.** (2004) Continuous fibre reinforced polymers as connective tissue replacement. *Composites Science and Technology*, Elsevier. 64, 861–71.
- [66] **Grau, H.R.** (1958) The artificial tendon: an experimental study. *Plastic and Reconstructive Surgery*, LWW. 22, 562–6.
- [67] **Hunter, J.** (1965) Artificial tendons: early development and application. *The American Journal of Surgery*, Elsevier. 109, 325–38.
- [68] **Abdullah, S.** (2015) Usage of synthetic tendons in tendon reconstruction. *BMC Proceedings*, BioMed Central. p. A68.
- [69] **ASTM F1839-08**, Standard Specification for Rigid Polyurethane Foam for Use as a Standard Material for Testing Orthopaedic Devices and Instruments, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2008.
- [70] **Chen, C.-M., Wu, J.-H., Lu, P.-C., Wang, H.-C., Lee, H.-E., Wang, C.-H. et al.** (2011) Horizontal pull-out strength of orthodontic infrazygomatic mini-implant: An in vitro study. *Implant Dentistry*, LWW. 20, 139–45.
- [71] **ASTM F543-17**, Standard Specification and Test Methods for Metallic Medical Bone Screws, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, www.astm.org.
- [72] **Slabaugh, M.M.A., Frank, R.M., Van Thiel, G.S., Bell, R.M., Wang, V.M., Trenhaile, S. et al.** (2011) Biceps tenodesis with interference screw fixation: a biomechanical comparison of screw length and diameter. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, Elsevier. 27, 161–6.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad :PELİN COŞKUN
Uyruğu :T.C.
Doğum Tarihi ve Yeri :08.11.1993
E-posta :pelinncoşkun@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2016, TOBB ETÜ, Mühendislik Fakültesi, Makine Müh.
- **Yükseklisans** : 2019, TOBB ETÜ, Makine Müh., Biyomekanik

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

Yıl	Yer	Görev
2016-2019	TOBB ETÜ	Burslu YL Öğrencisi
2019-	TUSAŞ	Yapısal Tasarım Mühendisi

YABANCI DİL: İngilizce, Almanca

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

Ulusal Konferans Sözlü Sunum

Coşkun P., Demir T., Kanatlı U., Tolunay T., (22-27 Ekim 2019) Biceps Kasının Uzun Başının Tenodezinde Kullanılan İnterferans Vidası İle Fiksasyon ve Sütür Ankor ile Fiksasyon Tekniklerinin Füzyon Sonrası Biyomekanik Performanslarının Karşılaştırılması, 29. Ulusal Türk Ortopedi ve Travmatoloji Kongresi, Antalya, Türkiye,

Uluslararası Konferans Poster Sunumu

Coşkun P., Demir T., Kanatlı U., Tolunay T., (7-10 Temmuz 2019) Pullout Performance Of Long Head Of Biceps Tenodesis Fixation With Interference Screw, 25th Congress of the European Society of Biomechanics, Viyana, Avusturya.

Coşkun P., Demir T., Kanath U., Tolunay T, (8-12 Temmuz 2018) Biomechanical Comparison of Primer Stability Of Suture Anchor and Interference Screw Fixation, 8th World Congress of Biomechanics, Dublin, İrlanda,.

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

Kitap Bölümü

Ayak Bileği Artroskopisi, Editor: Dr. Ulunay Kanatlı, **Bölüm 3:** Ayak ve Ayak Bileği Biyomekaniği “Mühendis Gözüyle”, US Akademi, 2017.

