
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

ZIRHLI ASKERİ ARAÇLARDA MAYIN PATLAMASI SONUCUNDA OLUŞACAK BACAK KUVVETLERİNİN ÖLÇÜLMESİ İÇİN YERLİ İNSAN MAKETİ GELİŞTİRİLMESİ

Eren ÖZDEMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEMMUZ 2020

Eren ÖZDEMİR tarafından hazırlanan "ZIRHLI ASKERİ ARAÇLARDA MAYIN PATLAMASI SONUCUNDA OLUŞACAK BACAK KUVVETLERİNİN ÖLÇÜLMESİ İÇİN YERLİ İNSAN MAKETİ GELİŞTİRİLMESİ" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Metin Uymaz SALAMCI

Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum. ……..……..……..……..…..……

Başkan: Prof. Dr. Mehmet Arif ADLI

Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum. ……..……..……..……..…..……

Üye: Doç. Dr. Arif ANKARALI

Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum. ……..……..……..……..…..……

Tez Savunma Tarihi: 01/07/2020

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

……..…….

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Eren ÖZDEMİR
01/07/2020

ZIRHLI ASKERİ ARAÇLARDA MAYIN PATLAMASI SONUCUNDA OLUŞACAK BACAK KUVVETLERİNİN ÖLÇÜLMESİ İÇİN YERLİ İNSAN MAKETİ GELİŞTİRİLMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Eren ÖZDEMİR

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2020

ÖZET

Askeri araç tasarımlarının mayın patlamalarına karşı araç personelini hedeflenen tehdit seviyelerinde koruyabildiğinin bilgisayar simülasyonları ve mayın testleri ile doğrulanması gerekmektedir. Testler sırasında araç koltukları üzerinde konumlandırılan temsili insan maketlerinin yüksek maliyetlerinden dolayı testler sırasında tüm koltuklarda test mankeni kullanmak mümkün olamamakta, bu durum da yeterli test verisi alınamamasına sebep olmaktadır. Bu çalışmada, tam ölçekli temsili insan maketi kullanılamayan koltuklar üzerinde konumlandırılmak üzere, mayın patlaması sonucunda araç personelinin en fazla zarar gören bölgesi olan alt bacak kuvvetlerini, ayrıca personele etki eden dikey yöndeki ivmeyi ölçebilen, basitleştirilmiş ve düşük maliyetli bir temsili insan maketi geliştirilmiştir. Tasarlanan temsili insan maketinde bulunan temsili alt bacağın performansını ölçebilmek için konu ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalarda kullanılan test düzenekleri ile aynı koşulları sağlayabilen bir test düzeneği tasarlanmıştır. Tasarlanan test düzeneği yine daha önce yapılmış çalışmalarda kullanılan temsili alt bacaklar kullanılarak doğrulanmış, test koşullarının uygunluğundan emin olunduktan sonra tasarlanan temsili alt bacağın testlerine başlanmıştır. Yapılan test sonuçlarına göre temsili alt bacak tasarımında iyileştirmeler yapılarak insan davranışına benzer davranış sergileyecek hale getirilmiştir. Alt bacak tasarımı tamamlandıktan sonra üst vücut komplesi tasarımı tamamlanmış ve araç koltukları üzerinde konumlandırılabilen bir temsili insan maketi elde edilmiştir.

Bilim Kodu : 91420

Anahtar Kelimeler : Mayın Koruma, EYP, Askeri Araç, Temsili İnsan Maketi

Sayfa Adedi : 85

Danışman : Prof. Dr. Metin Uymaz SALAMCI

DEVELOPMENT OF INDIGENOUS HUMAN SURROGATE FOR MEASUREMENT OF LEG FORCES RESULTING FROM MINE BLAST IN ARMORED MILITARY VEHICLES

(M. Sc. Thesis)

Eren ÖZDEMİR

GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2020

ABSTRACT

It is necessary to verify that military vehicle designs can protect vehicle personnel against mine explosions at targeted threat levels with computer simulations and mine tests. Due to the high cost of representative human surrogates placed on the seats, it is often not possible to use surrogates on all seats, which results in insufficient test data. In this study, a simplified and low-cost representative human surrogate, which can measure the lower leg forces as well as the vertical acceleration affecting the personnel, was developed to be positioned on the seats where the full scale surrogates cannot be used. In order to measure the performance of the representative lower leg of the designed human surrogate, a test setup that can provide the same conditions as the test setups used in previous studies was designed. The test setup was verified using the representative lower legs used in previous studies. After the suitability of the test conditions was assured, tests of the designed representative lower leg were started According to the test results, improvements were made on the lower leg design to make sure its performance is similar to the human behavior. After finalizing the lower leg design, the upper body was designed and a representative human surrogate, which can be positioned on the vehicle seats, was obtained.

Science Code : 91420
Key Words : Mine Protection, IED, Military Vehicle, Human Surrogate
Page Number : 85
Supervisor : Prof. Dr. Metin Uymaz SALAMCI

TEŞEKKÜR

“Savunma Sanayii için Araştırmacı Yetiştirme Programı (SAYP)” kapsamında gerçekleştirilen bu çalışmayı maddi olarak destekleyen T.C. Cumhurbaşkanlığı Savunma Sanayii Başkanlığı’na (SSB), çalışmanın yürütülmesi sırasında her türlü yardım ve desteklerini esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. Metin U. SALAMCI ’ya, FNSS Savunma Sistemleri AŞ’deki değerli yöneticilerim ve çalışma arkadaşlarıma, bugünlere gelmemde büyük emeği olan anne ve babama, ayrıca çalışmalarım ve tez hazırlık sürecinde gösterdiği sabır ve anlayış için eşim Dilara’ya çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv
ABSTRACT v
TEŞEKKÜR vi
İÇİNDEKİLER vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ xi
RESİMLERİN LİSTESİ xii
SİMGELER VE KISALTMALAR xiv
1. GİRİŞ 1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 5
2.1. Mayın Patlama Etkileri 5
2.1.1. Lokal etkiler 5
2.1.2. Global etkiler 6
2.1.3. Düşme etkileri 6
2.1.4. Patlama sonrası etkiler 6
2.2. Araç Personelinin Mayın Patlamasına Tepkisi 6
2.3. Mayın Test Standartları 9
2.4. Antropomorfik Test Mankenleri 10
2.4.1. SierraSam ATM 10
2.4.2. Hybrid II (HII) ATM 11
2.4.3. Hybrid III (HIII) ATM 11
2.4.4. EuroSID (ES) ATM 11
2.5. Temsili Alt Bacaklar 12
2.6. Alt Bacak Anatomisi 14
2.7. Alt Bacak Yaralanma Kriterlerinin Belirlenmesi 15
2.7.1. Mayın patlatma testleri 15
2.7.2. Darbe testleri 16
2.7.3. Kadavra testleri 19
2.8. Temsili Alt Bacak Testleri 24
2.9. Alt Bacak Kuvvet Limit Değerleri 26
2.10. Tibia Mekanik Özellikleri 28

Sayfa

3. TEMSİLİ ALT BACAK TASARIMI 31
3.1. Tasarım Kriterleri 31
3.2. Tasarım Modelinin Oluşturulması 31
3.2.1. Ayak komplesi 32
3.2.2. Diz eklem braketi 32
3.2.3. Alt ve üst tibia kuvvet sensörleri 33
3.2.4. Temsili tibia komplesi 34
3.3. Temsili Alt Bacak Montajı 36
4. TEST DÜZENEĞİNİN HAZIRLANMASI 39
4.1. Düşürme Kulesinin Hazırlanması 40
4.1.1. İskelet sistemi 40
4.1.2. Darbe kütlesi 41
4.1.3. Kaldırma ünitesi 42
4.1.4. Darbe sönümleyiciler 43
4.1.5. Kontrol sistemi 45
4.1.6. Elektrik sistemi 46
4.1.7. Pnömatik sistem 47
4.2. Veri Toplama Sistemi Seçimi 47
4.3. Test Koşullarının Belirlenmesi 49
5. ALT BACAK TESTLERİ VE TASARIM OPTİMİZASYONU 51
5.1. MIL-LX Testleri 51
5.2. Temsili Alt Bacak Testleri 52
5.3. Temsili Tibia Tasarım Optimizasyonu 57
5.4. Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi 60
6. ÜST VÜCUT KOMPLESİ TASARIMI 63
6.1. Üst Vücut Kaynaklı Komplesi 64
6.2. Kauçuk Destek Elemanları 65
6.3. Üst Bacak Komplesi 66
6.4. İvmeölçer 66
7. SONUÇ VE ÖNERİLER 69
KAYNAKLAR 71
EKLER 73

Sayfa

EK-1. Diz eklem braketi teknik resmi 74
EK-2. Kuvvet sensörleri teknik özellikleri 75
EK-3. Temsili tibia komplesi ön tasarım teknik resimleri 76
EK-4. Temsili alt bacak montajı teknik resmi 77
EK-5. Darbe kütlesi teknik resimleri 78
EK-6. Temsili insan kütlesi teknik resimleri 79
EK-7. Dördüncü temsili tibia şaftı teknik resmi 80
EK-8. Üst vücut kaynaklı komplesi teknik resimleri 81
EK-9. Üst vücut komplesi teknik resimleri 82
EK-10. Üst bacak komplesi teknik resmi 83
EK-11. PR ivmeölçer teknik özellikleri 84
ÖZGEÇMİŞ 85

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 2.1. Yaralanma limit değerleri 10
Çizelge 2.2. TROSS test sonuçları..... 16
Çizelge 2.3. Darbe test sonuçları 19
Çizelge 2.4. Tibia mekanik özellikleri..... 30
Çizelge 3.1. Vulkollan mekanik özellikleri 35
Çizelge 4.1. Veri toplama sistemi teknik özellikleri..... 49
Çizelge 4.2. Test koşulları 50

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. Lokal etkilerin farklı vücut bölgelerine etkisi 8
Şekil 2.2. Global etkilerin farklı vücut bölgelerine etkisi 8
Şekil 2.3. Darbe testi birinci durum için plaka deformasyonları 17
Şekil 2.4. Darbe testi birinci durum için tibia kuvvetleri 18
Şekil 2.5. Darbe testi ikinci durum için plaka deformasyonları 18
Şekil 2.6. Darbe testi ikinci durum için tibia kuvvetleri 18
Şekil 2.7. Birinci duruma ait kuvvet - zaman grafiği 21
Şekil 2.8. İkinci duruma ait kuvvet - zaman grafiği 22
Şekil 2.9. Birinci duruma ait normalize edilmiş kuvvet - zaman grafiği 22
Şekil 2.10. İkinci duruma ait normalize edilmiş kuvvet - zaman grafiği 23
Şekil 2.11. Birinci duruma ait ortalama kuvvet – zaman grafiği ve alt/üst koridorlar ... 23
Şekil 2.12. İkinci duruma ait ortalama kuvvet – zaman grafiği ve alt/üst koridorlar 24
Şekil 2.13. HIII temsili bacağın birinci durum ile karşılaştırılması 25
Şekil 2.14. MIL-LX temsili bacağın birinci durum ile karşılaştırması 25
Şekil 2.15. MIL-LX temsili bacağın ikinci durum ile karşılaştırması 26
Şekil 2.16. Tibia yaralanma olasılık grafiği 27
Şekil 2.17. Tibia eksenel çekme testlerine ait gerilim-gerinim grafikleri 29
Şekil 2.18. Tibia eksenel basma testlerine ait gerilim-gerinim grafikleri 30
Şekil 5.1. MIL-LX birinci test koşulu düşürme kulesi kuvvet-zaman grafiği 51
Şekil 5.2. MIL-LX ikinci test koşulu düşürme kulesi kuvvet-zaman grafiği 52
Şekil 5.3. Temsili alt bacak birinci test koşulu kuvvet-zaman grafiği (1. tibia tasarımı) 53
Şekil 5.4. Temsili alt bacak ikinci test koşulu kuvvet-zaman grafiği (1. tibia tasarımı) . 53
Şekil 5.5. Temsili alt bacak birinci test koşulu kuvvet-zaman grafiği (2. tibia tasarımı) 54
Şekil 5.6. Temsili alt bacak ikinci test koşulu kuvvet-zaman grafiği (2. tibia tasarımı) . 55
Şekil 5.7. Temsili alt bacak birinci test koşulu kuvvet-zaman grafiği (3. tibia tasarımı) 56
Şekil 5.8. Temsili alt bacak ikinci test koşulu kuvvet-zaman grafiği (3. tibia tasarımı) . 56
Şekil 5.9. Temsili alt bacak birinci koşul kuvvet-zaman grafiği (4. tibia tasarımı)..... 59
Şekil 5.10. Temsili alt bacak ikinci koşul kuvvet-zaman grafiği (4. tibia tasarımı)..... 59
Şekil 5.11. Temsili alt bacak birinci koşul kuvvet-zaman grafikleri 60
Şekil 5.12. Temsili alt bacak ikinci koşul kuvvet-zaman grafikleri 61

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 1.1. Mark I tankı 1
Resim 1.2. Bir askeri aracın altında meydana gelen mayın patlaması..... 2
Resim 2.1. Mayın patlama süreci..... 5
Resim 2.2. Lokal etkiler..... 6
Resim 2.3. Araç personelinin yüksek şiddetli patlama sonucundaki bacak hareketi..... 7
Resim 2.4. HIII test mankeni 12
Resim 2.5. Sierra Sam, Hybrid II, ve EuroSID 2-re ATM'ler..... 12
Resim 2.6. HIII temsili alt bacak 13
Resim 2.7. MIL-LX temsili alt bacak 13
Resim 2.8. THOR-LX temsili alt bacak..... 14
Resim 2.9. İnsan bacağında bulunan kemikler 14
Resim 2.10. Ayak iskeletinde bulunan kemikler 15
Resim 2.11. TROSS test düzeneği..... 16
Resim 2.12. Darbe test düzeneği..... 17
Resim 2.13. Kesilen tibia bölgesi 20
Resim 2.14. Tibia sensör bağlantıları 20
Resim 2.15. Test için hazırlanmış bacak 21
Resim 2.16. Sarkaç test düzeneği 27
Resim 2.17. Kadavra tibia çekme ve basma test numunelerinin elde edilme süreci 28
Resim 2.18. Tibia test numune kesiti..... 29
Resim 3.1. Ayak komplesi..... 32
Resim 3.2. Diz eklem braketi..... 33
Resim 3.3. Üst (solda) ve alt (sağda) tibia kuvvet sensörleri..... 34
Resim 3.4. Kuvvet sensörleri devre şeması 34
Resim 3.5. Temsili tibia komplesi ön tasarımı 36
Resim 3.6. Temsili alt bacak montajı..... 37
Resim 4.1. FNSS düşürme kulesi 39
Resim 4.2. İskelet sistemi 40
Resim 4.3. Orijinal darbe kütlesi 41
Resim 4.4. Yeni darbe kütlesi..... 42

Resim **Sayfa**

Resim 4.5. Kaldırma ünitesi 42
Resim 4.6. Piston kesiti 43
Resim 4.7. Darbe sönümleyiciler 43
Resim 4.8. Temsili insan kütlesi 44
Resim 4.9. Uzaktan kontrol kumandası ve pako şalter 45
Resim 4.10. Düşürme kulesi elektrik devre şeması 46
Resim 4.11. Düşürme kulesi pnömatik devre şeması 47
Resim 4.12. Siemens LMS SCADAS veri toplama sistemi 48
Resim 4.13. Siemens Simcenter Testlab 19 yazılım arayüzü 48
Resim 4.14. Birinci (solda) ve ikinci (sağda) durum için hazırlanan test düzeneği 50
Resim 5.1. Fıçı basma yayı 58
Resim 5.2. Dördüncü tibia tasarım alternatifi 58
Resim 6.1. Temsili insan maketi 63
Resim 6.2. Üst vücut kaynaklı komplesi ve ivmeölçer arayüzü 64
Resim 6.3. Üst vücut komplesi 65
Resim 6.4. Üst bacak komplesi 66
Resim 6.5. PR ivmeölçer devre şeması 67

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar	Açıklamalar
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AEP	Allied Engineering Publication
AP	Anti-personel
AT	Anti-tank
ATD	Anthropomorphic Test Device
ATM	Antropomorfik Test Mankeni
CAD	Computer Aided Design
ES	EuroSID
EuroSID	European Side Impact Dummy
HII	Hybrid II
HIII	Hyibrid III
IABG	Industrieanlagen-betriebsgesellschaft
MIL-LX	Military Lower Extremity
NATO	North Atlantic Treaty Organisation
PMHS	Post Mortem Human Subject
PR	Piezorezistif
SAYP	Savunma Sanayii için Araştırmacı Yetiştirme Programı
SSB	Savunma Sanayii Başkanlığı
STANAG	Standardization Agreement
TNT	Trinitrotoluene
TROSS	Test Rig for Occupant Safety System

1. GİRİŞ

Toprak veya başka bir zemin altına, yüzeyine veya üzerine yerleştirilerek, bir insan veya aracın varlığı, yakınlaşması veya teması sonucunda patlaması için tasarlanmış mühimmatlara kara mayını adı verilir [1]. Kara mayınları kendi içinde Anti-Personel (AP) ve Anti-Tank (AT) mayınlar olmak üzere ikiye ayrılır. AP mayınlar genel olarak bir askeri veya küçük bir grubu hedef alan, az miktarda patlayıcı madde içeren mayınlardır. AT mayınlar ise bir askeri aracın hareket kabiliyetine zarar vererek aracı daha kolay bir hedef haline getiren, araç ve araç içindeki personele zarar verme amacı ile tasarlanmış, yüksek miktarda patlayıcı içeren mayınlardır [2]. İlk modern AT mayınları, I. Dünya Savaşı sonlarına doğru savaş sahnesine giren tanklara karşı kullanılmaya başlanmış ve II. Dünya Savaşı sırasında kullanımları yaygınlaşmıştır. II. Dünya Savaşı sonrasında AT mayınlarındaki teknolojik gelişmeler bu mayınları en etkili ve en ucuz silahlardan biri haline getirmiştir [2]. Resim 1.1'de, 1915 yılında Birleşik Krallık tarafından geliştirilen ve 1916 yılında savaş tarihinde kullanılan ilk tank olma özelliğini taşıyan Mark I tankına ait görsel paylaşılmıştır [3]. Modern tanklara karşı kullanılan ilk AT mayınlar top ve havan mermilerinin modifikasyonu ile elde edilmiştir. İlk modern AT mayını ise Almanya tarafından tasarlanan ve 1929 yılında seri üretime girerek kullanılmaya başlanmış olan Tellermine 29'dur [4].



Resim 1.1. Mark I tankı

Resim 1.2'de örnek görseli verilmiş olan AT mayın patlamalarının araç içindeki personele ölümcül zararlar verebilme potansiyeline karşı askeri araç tasarımlarının öngörülen tehdit seviyelerine karşı personeli koruyacak yapıda olduğundan emin olunması gerekmektedir [2]. Bu sebeple tasarlanan araçlar üzerine mayın simülasyonları ve mayın testleri gerçekleştirilmektedir. Mayın test maliyetinin yüksek ve test hazırlık sürecinin uzun olması, testler sırasında daha hızlı ve düşük maliyetli olan mayın simülasyonları için mümkün olduğunca fazla veri toplanması ihtiyacı oluşturmaktadır. Simülasyonlarda kullanılan sınır koşulları testlerden alınan veriler ile kalibre edilmekte, tasarlanan sistemlerin mayın performansları simülasyonlar ile kontrol edilmektedir.



Resim 1.2. Bir askeri aracın altında meydana gelen mayın patlaması

Mayın patlaması sonucunda oluşan yükler araç personeline patlama noktasına en yakın vücut bölgesi olan ayaklardan başlayarak aktarılmakta, bu yüzden ayak bölgesi daha yüksek yüklere maruz kalmaktadır. Mayın yükleri azalarak sırası ile ayak bilekleri, bacaklar, omurga ve boyun bölgesine etki etmektedir [2].

Mayın testleri sırasında araç içerisindeki koltuklar üzerinde konumlandırılan temsili insan maketlerinin yüksek maliyetlerinden dolayı testler sırasında tüm koltuklarda test mankeni kullanmak çoğu zaman mümkün olamamakta, bu durum da yeterli test verisi alınamamasına

sebep olmaktadır. Bu sebeple tam ölçekli temsili insan maketi kullanılamayan koltuklar üzerinde konumlandırılmak üzere, düşük maliyetli temsili insan maketi geliştirilmesi ihtiyacı doğmaktadır.

Bu çalışmanın amacı araç personelinin mayın patlaması sırasında en fazla zarar gören bölgesi olan alt bacaklarında oluşan kuvvetleri, ayrıca araç personeline etki eden dikey yöndeki ivmeyi ölçebilen, basitleştirilmiş ve düşük maliyetli bir temsili insan maketi geliştirilmesidir.

Bu çalışma T.C. Savunma Sanayii Başkanlığı, FNSS Savunma Sistemleri A.Ş. ve Gazi Üniversitesi arasında imzalanan Savunma Sanayii için Araştırmacı Yetiştirme Programı (SAYP) mutabakatı kapsamında gerçekleştirilmiştir.

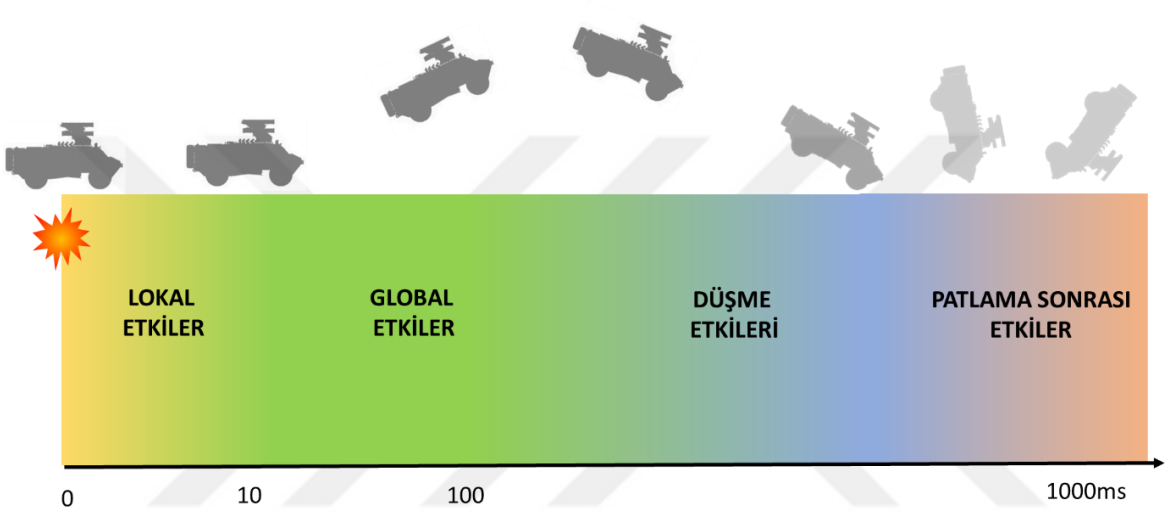
Konu ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde analitik çalışmaların olmadığı, genellikle test ve bilgisayar destekli simülasyonlar kullanıldığı gözlemlenmiştir. Analiz çalışmaları için gerekli malzeme özelliklerine ulaşılamamasından dolayı bu çalışmada doğrulama yöntemi olarak testlerden faydalanılmıştır. Çalışmada izlenen yol özet olarak aşağıdaki gibidir:

- Literatürde konu ile ilgili yapılmış olan çalışmaların incelenmesi,
- Temsili alt bacak tasarımı,
- Alt bacak test düzeneği tasarımı,
- Testlerin gerçekleştirilmesi,
- Test sonuçlarına göre tasarım optimizasyonu yapılması,
- Optimize edilen tasarım sonuçlarına göre testlerin tekrar edilmesi,
- Nihai ürünün daha önce yapılmış olan çalışmalar ile karşılaştırılması,
- Nihai ürüne ait performans kriterlerinin belirlenmesi,
- Üst bacak tasarımı ve
- Temsili vücut tasarımı.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Mayın Patlama Etkileri

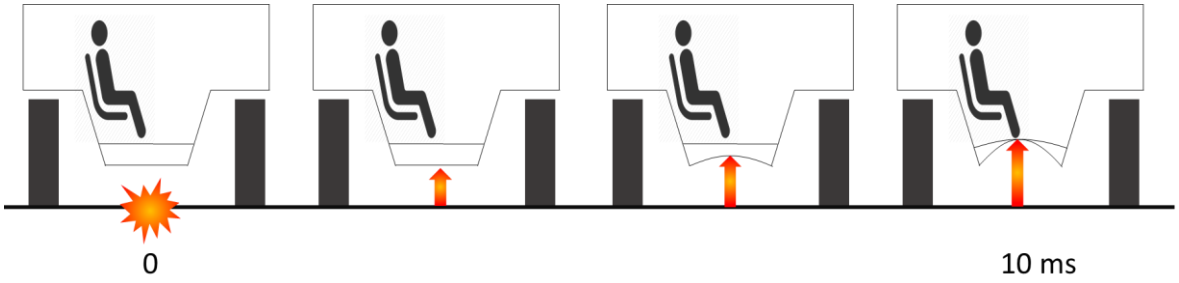
Bir askeri araç altında gerçekleşen mayın patlamasına sonucunda araç ve araç içindeki personel birtakım etkilere maruz kalmaktadır. Bu etkiler: lokal etkiler, global etkiler, düşme etkileri ve patlama sonrası etkiler olarak dörde ayrılmaktadır [2].



Resim 2.1. Mayın patlama süreci

2.1.1. Lokal etkiler

Mayın patlaması sonucunda meydana gelen basınç 5000 m/s'lik bir hıza çıkabilen bir şok dalgası yaratır. Bu şok dalgası yaklaşık 0,5 ms içerisinde araç tabanına çarpar ve taban plakası oluşan yüksek basıncın etkisi ile, yaklaşık 5 ms içerisinde elastik ve plastik şekil değişimlerine maruz kalır. Şekil değişimlerinin büyüklüğü geometri, malzeme, kalınlık ve harici güçlendirme elemanlarına bağlıdır. Bazı durumlarda oluşan deformasyon plakanın yırtılması ile sonuçlanarak araç içerisine patlama basıncı ve araç dışındaki parçacıkların (taş, kum, araç parçaları vb.) girmesine, ayrıca araç içerisinde termal ve toksik etkiler oluşmasına sebep olur. Araç taban plakasına bağlı ekipmanlar bu plaka ile beraber, taban plakasının hemen üzerinde bulunan ekipmanlar ise taban plakasının çarpması sonucunda yukarı yönde bir ivme kazanırlar. Araç tasarımına bağlı olarak, taban plakasının deformasyonu araç yan duvarlarında da deformasyon oluşmasına sebep olabilir [2, 5].



Resim 2.2. Lokal etkiler

2.1.2. Global etkiler

Patlama sonucunda oluşan şok dalgasının araç tabanından yansıması sonucunda tüm araç tabanına bir basınç kuvveti etki eder. Bu kuvvet tüm aracın bir ilk hız kazanarak zıplamasına yol açar. Zıplama yüksekliği araç ağırlık ve ağırlık merkezine bağlı olup, araç genellikle patlamadan 10-20 ms sonra zıplamaya başlayıp, 100-300 ms arasında maksimum yüksekliğe ulaşır [2].

2.1.3. Düşme etkileri

Araç maksimum yüksekliğe ulaştıktan sonra yerçekimi etkisi ile geri düşer. Gerçek mayın patlama durumunda araç hareket halinde olduğu için patlama sonucunda oluşan kratere düşmemektedir. Deneysel çalışmalarda ise patlama hareketsiz araç altında gerçekleştiği için bu etki daha büyük olabilmektedir. Düşme etkileri lokal ve global etkilere göre daha az hasara yol açmaktadır [2].

2.1.4. Patlama sonrası etkiler

Patlama sonrasında aracın devrilmesi veya bir engele çarpması sonucunda oluşan etkilerdir. Bu etkiler çarpışma dayanıklılığı kapsamında değerlendirilmelidir [2, 6].

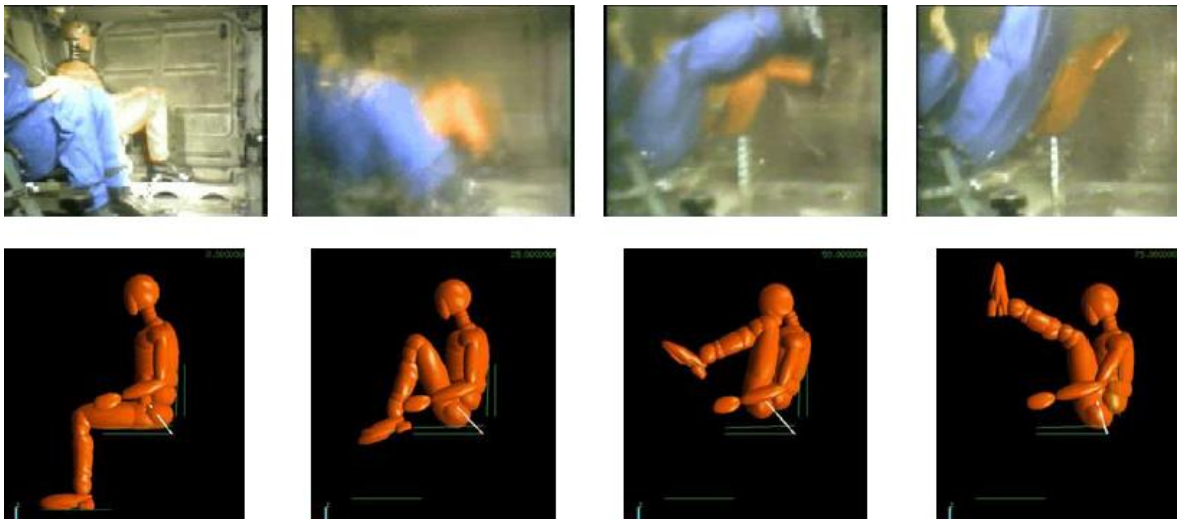
2.2. Araç Personelinin Mayın Patlamasına Tepkisi

Araç içerisindeki personelin patlamaya olan tepkisi hem lokal etkilere (şok ve deformasyon) hem de global etkilere (araç hareketi) bağlıdır. İnsan vücudunun direkt olarak şok yüküne maruz kalmasına birincil etki, lokal deformasyonlardan etkilenmesine ikincil etki, vücudun

araca göre bağıl hareketinden kaynaklı darbelere maruz kalmasına ise üçüncül etki adı verilmektedir [2].

Araç personeline etki eden yüklerin şiddeti, mayın tehdidinin büyüklüğüne, araç yapısal tasarımına, patlama noktasına olan uzaklığa ve koruyucu ekipmanlara (mayına karşı dirençli koltuklar, emniyet kemeri, ayaklık, zemin plakası vb.) bağlıdır. Oturuş pozisyonu, yaş, cinsiyet ve sağlık durumu gibi faktörler de araç personelinin patlama sonucunda alacağı zararı etkileyen faktörler arasındadır [2].

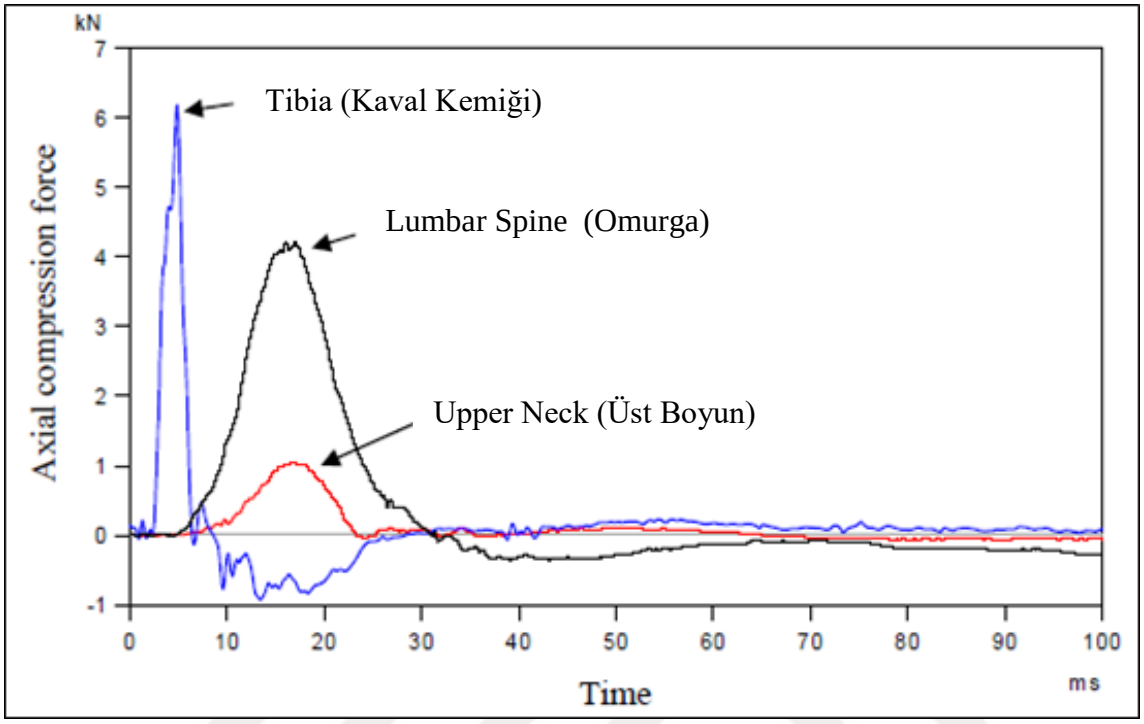
Mayın sonucunda oluşan yükler araç personeline patlama noktasına en yakın vücut bölgesi olan ayaklardan başlayarak aktarılmakta, bu yüzden ayak bölgesi daha yüksek yüklere maruz kalmaktadır. Bu yükler azalarak sırası ile ayak bilekleri, bacaklar, omurga ve boyun bölgesine etki etmektedir. Patlama sonucunda oluşan ivmenin etkisi ile araç personelinin ayak ve bacakları yukarı doğru hareket etmekte, bu da ayak ve bacaklarda araç ekipmanlarına çarpma riski doğurmaktadır. Bu hareket aynı zamanda omurga ve diğer vücut bölgelerine de ilave kuvvetlerin etki etmesine sebep olmaktadır. Resim 2.3'te yüksek şiddetli patlama koşullarında araç personelinin bacak hareketlerine ait test ve simülasyon görselleri paylaşılmıştır [2].



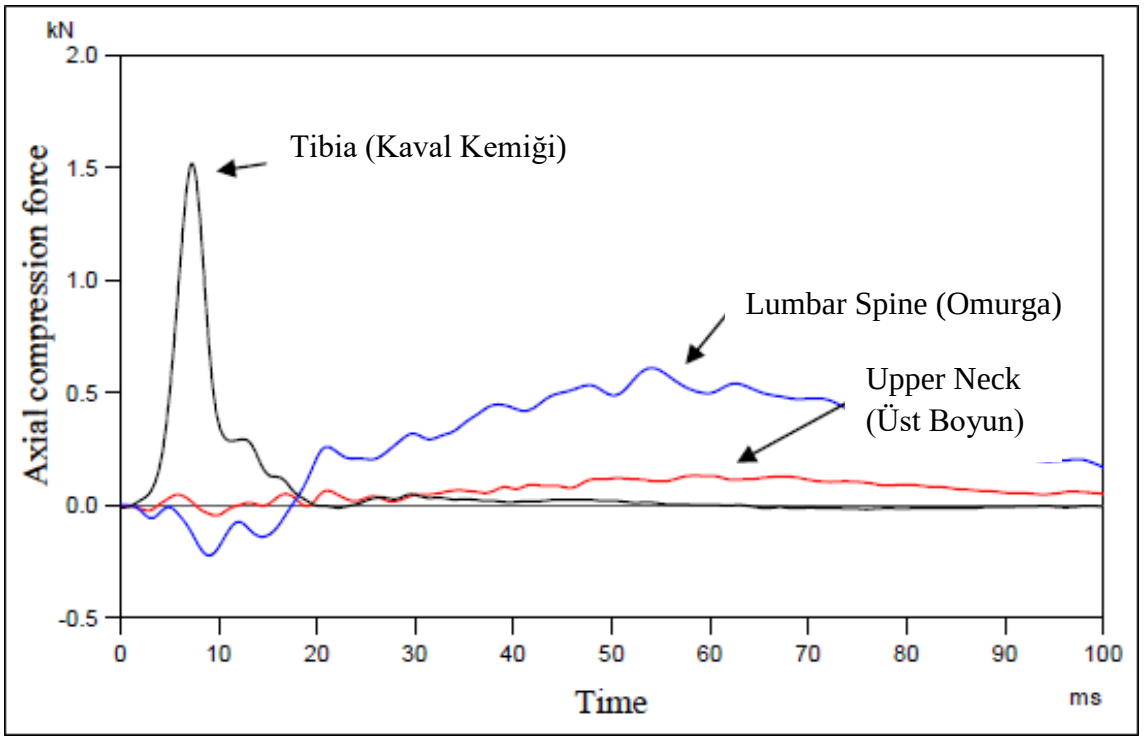
Resim 2.3. Araç personelinin yüksek şiddetli patlama sonucundaki bacak hareketi

Omurgaya etkiyen kuvvetler bacaklar aracılığı ile ya da araç koltukları ile araç personeline aktarılır. Araç koltukları taban plakasından bağlı ise patlamadan yaklaşık 10 ms sonra, yan duvarlar veya tavandan bağlı ise 15-30 ms sonra omurgaya kuvvet etkimeye başlar ve

kuvvetin büyüklüğü taban plakasından uzaklaştıkça azalır. Oluşan kuvvetlerin şiddeti hem araç yapısına hem de koltukların enerji sönümleme sistemine bağlıdır [2].



Şekil 2.1. Lokal etkilerin farklı vücut bölgelerine etkisi



Şekil 2.2. Global etkilerin farklı vücut bölgelerine etkisi

Patlama sonucunda koltuklar vasıtası ile aktarılan kuvvetler boyun ve baş bölgelerine de etki etmektedir. Koltuklarda emniyet kemeri yok veya kemerler takılmamış ise koltukta oturan personel başını araç tavanına çarpabilir ve bu durum hayati tehlikelere yol açabilir. Lokal ve global etkilerin araç personelinin farklı vücut bölgelerinde oluşturduğu kuvvetlere ait örnek grafikler Şekil 2.1 ve Şekil 2.2'de paylaşılmıştır [2].

2.3. Mayın Test Standartları

Askeri araçların maruz kaldığı balistik ve mayın tehditlerinin tanımlanması ve araç içindeki personelin korunması için yapılan çalışmaların belirli standartlar çerçevesinde yürütülebilmesi adına NATO tarafından STANAG 4569 standardı yayınlanmıştır [7]. STANAG 4569 standardının referans olarak gösterdiği ve kullanımını zorunlu tuttuğu, yine NATO tarafından yayınlanmış olan, AEP-55 prosedürünün ikinci cildinin amacı ise mayın testlerinin belirli bir standarda göre gerçekleştirilebilmesi için tehdit seviyelerini, test koşullarını, test düzenekleri ve temsili insan maketlerini, ayrıca personel yaralanma kriterlerini tanımlamaktır [8]. AEP-55 prosedürüne göre gerçekleştirilen mayın testlerinin başarılı sayılabilmesi için tanımlanmış dört başarı kriteri bulunmaktadır:

- Temsili insan maketlerinden alınan veriler yaralanma limit değerlerinin altında olmalıdır.
- Araç gövdesinde, içeri patlama basıncı veya fragman alacak şekilde, araç personeline zarar verebilecek büyüklükte bir yırtılma meydana gelmemelidir.
- Araç içerisinde personele zarar verebilecek büyüklükte sabitlenmemiş veya bağlantısı kopmuş bir ekipman ya da parça bulunmamalıdır.
- Koltuklar ve emniyet kemerleri patlama sonrasında oluşabilecek etkilere karşı araç personelini koruyabilecek şekilde sağlam kalmalıdır.

Testlerin başarılı sayılabilmesi için bu kriterlerin tümünün sağlanması gerekmektedir.

AEP-55 prosedüründe araç personeli üzerine etki eden yükleri ölçebilmek için belirlenmiş temsili insan maketi %50 antropomorfik boyutlarda, erkek Hybrid III (HIII) antropomorfik test mankenidir (ATM). Prosedürde bu manken üzerinde kullanılması zorunlu sensörler ve HIII ile beraber kullanılabilecek iki adet temsili alt bacak alternatifi tanımlanmıştır. Bu bacaklar HIII ve MIL-LX temsili alt bacaklardır.

AEP-55 prosedüründe tanımlanan, temsili insan maketinde kullanılması zorunlu olan sensörler ve testler sırasında bu sensörlerden alınacak verilere ait yaralanma limit değerleri Çizelge 2.1'de verilmiştir. Belirtilen limit değerler %10 yaralanma olasılığı olarak tanımlanmaktadır.

Çizelge 2.1. Yaralanma limit değerleri

Vücut Bölgesi	Kriter	Limit Değer
Baş	Baş Yaralanma Kriteri	250
Boyun	Eksenel Basma Kuvveti	4,0 kN – 0ms / 1,1 kN > 30 ms
	Axial Tension Force	3,3 kN @ 0ms / 2,8 kN @ 35 ms / 1,1 kN > 60 ms
	Kesme Kuvveti	3,1 kN @ 0ms / 1,5 kN @ 25-35 ms / 1,1 kN > 45 ms
	Eğilme Momenti (Esneme)	190 Nm
	Eğilme Momenti (Uzama)	77 Nm
Göğüs Kafesi	Göğüs Kafesi Sıkışma Kriteri	30mm
	Viskoz Kriteri	0,70 m/s
Omurga	Dinamik Reaksiyon Endeksi	17,7
Üst Bacak	Eksenel Basma Kuvveti	2,6 kN
Alt Bacak	Eksenel Basma Kuvveti	5,4 kN (HIII) / 2,6 kN (MIL-LX)

2.4. Antropomorfik Test Mankenleri

Genellikle çarpışma test mankenleri olarak bilinen antropomorfik test mankenleri (ATM'ler) insan özelliklerini boyut, form ve ağırlık olarak temsil eden, üzerlerinde bulunan kuvvet, basınç ve ivme sensörleri sayesinde otomotiv ve savunma sektörlerinde gerçekleştirilen emniyet testlerinde insan performansını sergileyen test mankenleridir.

2.4.1. SierraSam ATM

İlk antropomorfik test mankeni olan Sierra Sam, 1949 yılında ABD Hava Kuvvetleri için fırlatma koltuk testlerinde kullanılmak üzere geliştirildi. İnsan formunda ve ağırlığında olan bu test mankeni baş bölgesinde ivme ölçerler ile donatılmıştı. Daha sonra otomobil çarpışma testlerinde kullanılmaya başlandı ancak bu testlerde insan özelliklerini doğru olarak temsil edemedi [5].

2.4.2. Hybrid II (HII) ATM

1972 yılında General Motors tarafından otomotiv emniyet sistemlerini test etmek için tasarlanan HII, otomotiv endüstrisinde kullanılan ilk standartlaştırılmış ATM'dir. İnsan özelliklerini sadece form ve ağırlık olarak temsil etmekle kalmamış, sensör donanımı sayesinde çarpışma testlerinden gerekli verilerin elde edilmesine yardımcı olmuştur. HIII ATM geliştirilene kadar otomotiv testlerinde kullanılmıştır [5, 9].

2.4.3. Hybrid III (HIII) ATM

1987 yılında geliştirilen HIII ATM, HII'ye göre insan özelliklerini daha iyi temsil etmektedir. Özellikle HII'de düz formda olan omurga bölgesi, HIII'te gerçek durumdaki gibi kavisli tasarlanmış, bu da oturma pozisyonunun daha iyi temsil edilmesine sağlamıştır. Bunun haricinde boyun bölgesi de daha iyi performans gösterebilmesi için geliştirilmiştir. HIII günümüzde de hem otomotiv çarpışma testlerinde hem de mayın testlerinde standart test mankeni olarak kullanılmaktadır [5, 10].

2.4.4. EuroSID (ES) ATM

Otomotiv sektöründe insan vücudunun yandan alınan darbele karşı tepkisini temsil etmek için tasarlanan EuroSID (ES) ATM, geliştirilmiş kaburga yapısı ve bu bölgede ilave sensörlere sahiptir. Alt vücut bölgesi ise HIII ile aynı yapıya sahiptir. ES-1, ES-2 ve son olarak ES-2re versiyonları hizmete girmiştir [5, 11].



Resim 2.4. HIII test mankeni



Resim 2.5. Sierra Sam, Hybrid II, ve EuroSID 2-re ATM'ler

2.5. Temsili Alt Bacaklar

Temsili alt bacaklar mekanik alt bacaklar ve kırılabilir alt bacaklar olarak ikiye ayrılmaktadır. Mekanik alt bacaklar üzerlerindeki sensörler yardımıyla veri toplayarak çalışırlar ve tekrar tekrar kullanılabilirler. Kırılabilir alt bacaklar ise belirlenen bir kuvvet değerinin üzerinde yapısal zarar görerek çalışırlar. Bu nedenle belirlenen sınır değerlerin ne

kadar üzerine çıkıldığının görülmesi imkansızdır [5]. Bu çalışmada tasarlanacak alt bacak da mekanik bacak sınıfına girdiği için sadece mekanik alt bacaklar incelenmiştir.

Resim 2.6'da görseli paylaşılmış olan temsili alt bacaklardan HIII temsili alt bacak otomotiv çarpışma testleri için tasarlanmıştır [5]. Yapısal olarak bir ayak komplesi, bir diz eklem braketi, ayak komplesi ve diz eklem braketlerine bağlı kuvvet sensörleri ve bu sensörler arasında konumlandırılmış rijit çelik bir şafttan oluşmaktadır. MIL-LX bacak ise özel olarak mayın testleri için geliştirilmiş olup, HIII bacağa göre farkı, kuvvet sensörleri arasında rijit şaft yerine, insan kemiğini yaklaşık olarak temsil edecek şekilde kauçuk bir sönümleme malzemesi içermesi ve HIII'ün aksine, tüm alt bacak komplesinin aynı eksende konumlandırılmış olmasıdır [12].



Resim 2.6. HIII temsili alt bacak



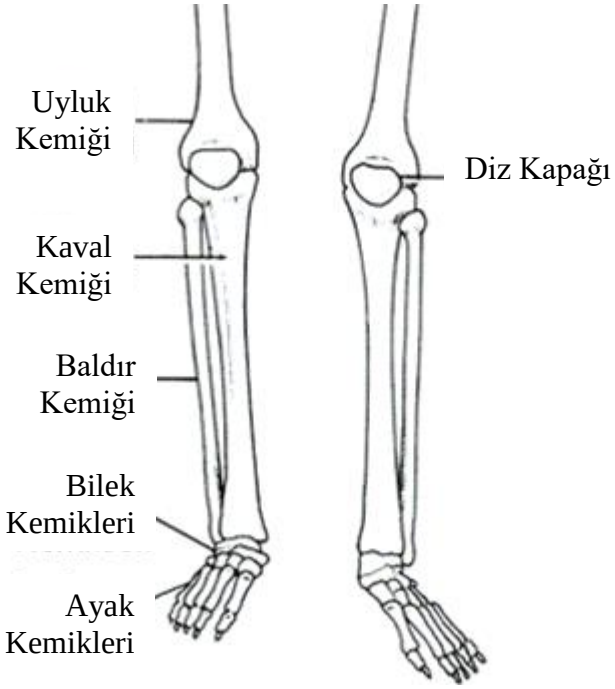
Resim 2.7. MIL-LX temsili alt bacak

AEP-55 prosedüründe tanımlanmamış olan, otomotiv sektöründe kullanılan bir diğer alt bacak da THOR-LX alt bacaktır. THOR-LX, HIII ve MIL-LX'e kıyasla daha karmaşık bir yapıya sahiptir ve otomotiv çarpışma testlerinde insan özelliklerini daha iyi temsil edebilmektedir [5, 13].



Resim 2.8. THOR-LX temsili alt bacak

2.6. Alt Bacak Anatomisi



Resim 2.9. İnsan bacağında bulunan kemikler

Bacak bölgesi temel olarak üst bacak, alt bacak ve ayak olmak üzere üç bölümde incelenebilir. Leğen kemiği ile diz arasındaki bölgeye üst bacak adı verilir. Bu bölüm femur (uyluk kemiği) adında tek bir uzun kemikten oluşmaktadır. Alt bacak bölgesi ise diz ile ayak bileği arasındaki bölgedir. Tibia (kaval kemiği) ve fibula (baldır kemiği) adında iki uzun kemik ve patella (diz kapağı) adındaki kemikten oluşmaktadır [2, 5]. Bundan sonraki bölümlerde ilgili kemikler literatürde kullanılmakta olan Latince isimleri ile adlandırılacaktır.

Patlama sonucunda alt bacağa uygulanan yüklerin yaklaşık %7 ila %12'si fibulaya etki ederken, oluşan yükün büyük kısmı boyut olarak fibulaya göre daha büyük olan tibiaya etki etmektedir. İnsan bacağında bulan kemikler Resim 2.9'da, birbirine bağlı çok sayıda kemikten oluşan ayak bölgesinde bulunan kemikler ise Resim 2.10'da paylaşılmıştır [2, 5].



Resim 2.10. Ayak iskeletinde bulunan kemikler

2.7. Alt Bacak Yaralanma Kriterlerinin Belirlenmesi

2.7.1. Mayın patlatma testleri

Alman IABG Test Merkezi'nde TROSS test düzeneği kullanılarak bir dizi mayın testi gerçekleştirilmiştir. Bu düzenek mayın patlamasının araç personelinin bacaklarına uyguladığı kuvvetin (3-10 kN) gerçek mayın patlama koşulları (2 ila 10 kg TNT) ile karşılaştırılmasını sağlamaktadır [14].

TROSS test düzeneği üzerinde ayak dayama plakası olan membran bir zemin plakası ve üzerinde bir koltuk bağlı olan bir kapama kabininden oluşmaktadır. Bu kabin koltuğun patlamadan etkilenmemesi için zemin plakasından bağımsız olarak tasarlanmıştır. Koltuk üzerine HIII test mankeni yerleştirilerek iki noktalı bir emniyet kemeri ile sabitlenmiştir. Test mankeni ayağına uygulanan yükler TNT patlatılarak elde edilmiştir. Test düzeneğine ait görseller Resim 2.11'de, test sonuçları Çizelge 2.2'de paylaşılmıştır. [5, 14].



Resim 2.11. TROSS test düzeneği

Çizelge 2.2. TROSS test sonuçları

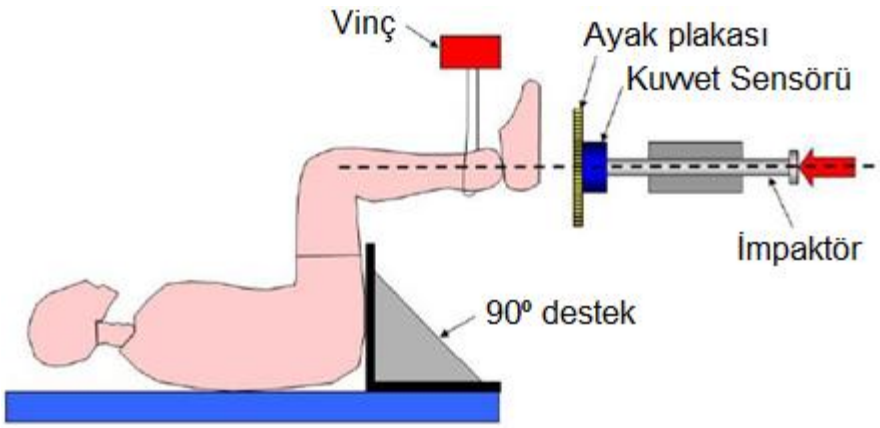
TEST KOŞULU	PATLAYICI KÜTLESİ	ZEMİN PLAKASI DEPLASMANI	MAKSİMUM TİBİA KUVVETİ
1	100 g	12,3 mm	5,970 kN
2	200 g	21,8 mm	10,940 kN

2.7.2. Darbe testleri

Barbir (2005) tarafından yapılan çalışma, TROSS testlerinde elde edilen sonuçların yine HIII kullanılarak, patlayıcı kullanmadan, bir darbe test düzeneği kullanılarak elde edilmesini sağladı. Çalışmanın amaçlarından biri kadavralar ile yapılacak testler öncesinde test koşullarını belirlemek ve yaralanma limit değerlerini elde etmekti.

Bu testte bir platform üzerine sırt üstü sabitlenen HIII'ün sol bacağı kullanılmıştır. Üst bacak platform ile 90º açı yapacak şekilde sabitlenmiş, alt bacak üst bacak ile 90º açı yapacak

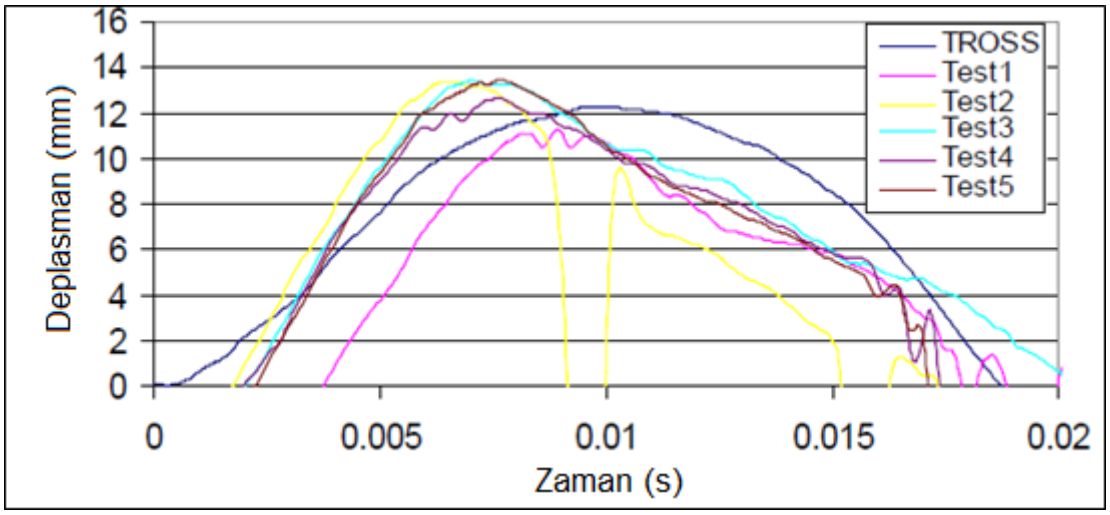
şekilde bir vinç yardımı ile asılmıştır. Ayak komplesi ise topuğun darbeyi dik bir açı ile alması sağlanacak şekilde konumlandırılmıştır.



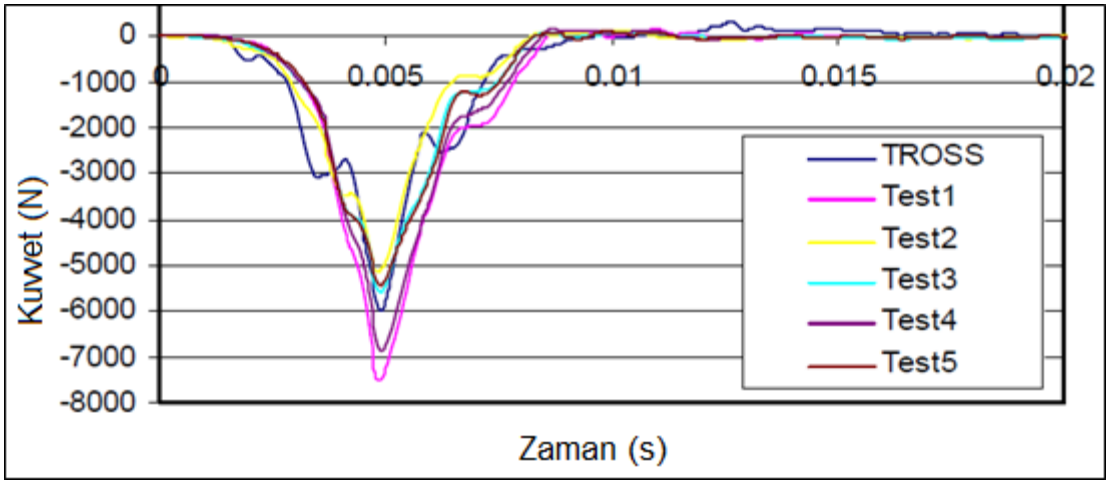
Resim 2.12. Darbe test düzeneği

Pnömatik tahrikli bir lineer piston ve piston üzerinde TROSS test sonuçlarındaki zemin plakası deformasyonunu ve tibia kuvvetlerini elde etmek için ezilebilen bir balpeteği plaka kullanılmıştır. Bacağa gerekli enerjinin aktarılabilmesi için testler değişik piston ağırlık ve hızlarında gerçekleştirilmiştir.

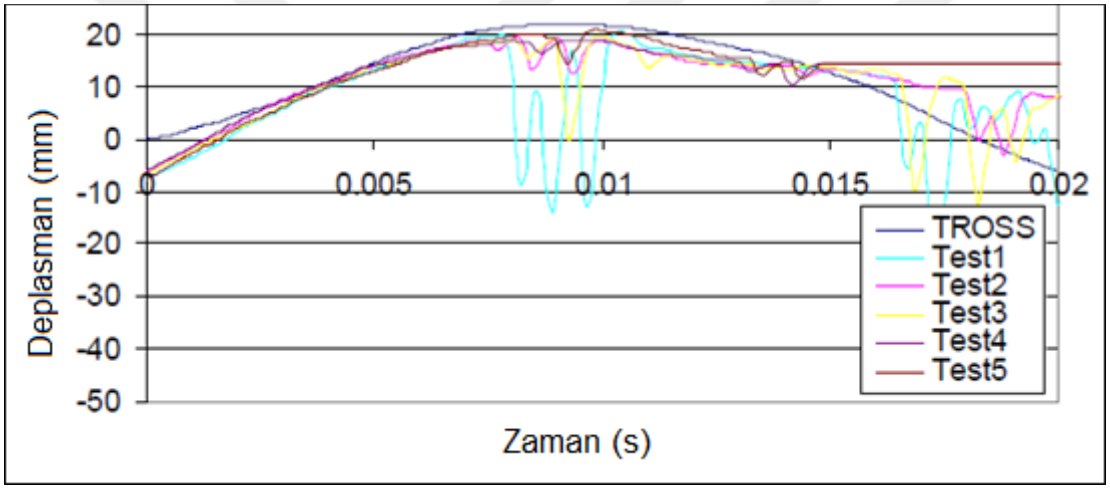
TROSS testlerindeki birinci ve ikinci durumlar için doğru çarpışma hız ve ağırlıkları elde edildiğinde ortaya çıkan plaka deformasyonları ve tibia kuvvetleri aşağıdaki şekillerde paylaşılmıştır.



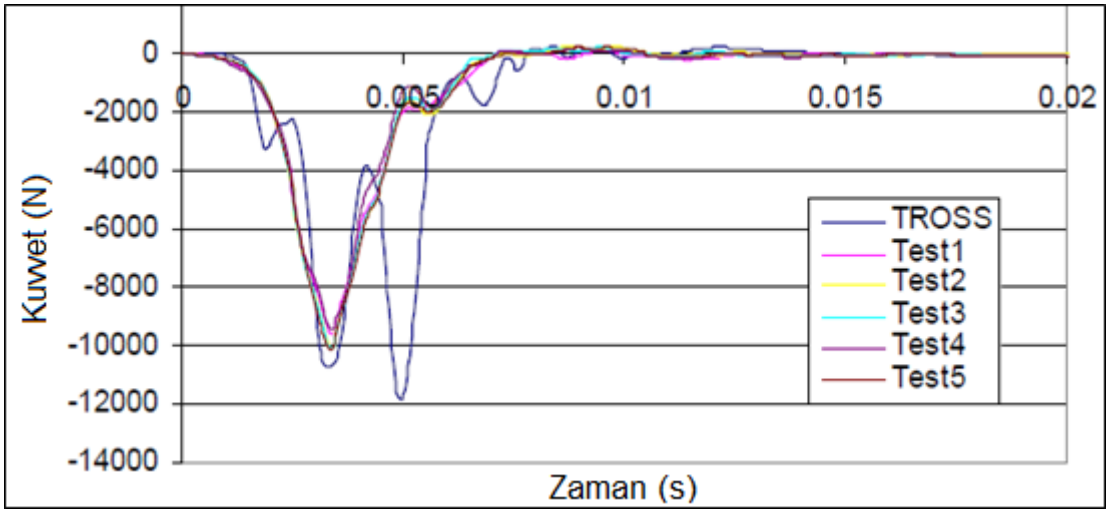
Şekil 2.3. Darbe testi birinci durum için plaka deformasyonları



Şekil 2.4. Darbe testi birinci durum için tibia kuvvetleri



Şekil 2.5. Darbe testi ikinci durum için plaka deformasyonları



Şekil 2.6. Darbe testi ikinci durum için tibia kuvvetleri

Özet olarak elde edilen çarpışma hızları, darbe kütleleri ve plaka deformasyonları ile TROSS test bilgileri Çizelge 2.3'te paylaşılmıştır.

Çizelge 2.3. Darbe test sonuçları

TEST KOŞULU	HIZ	DARBE KÜTLESİ	PLAKA DEFORMASYONU	TIBIA KUVVETİ	TROSS PLAKA DEFORMASYONU	TROSS TIBIA KUVVETI
1	3,8 m/s	36,75 kg	12,8 mm	6122 N	12,3 mm	5970 N
2	4,8 m/s	23,85 kg	19,9 mm	9869 N	21,8 mm	10740 N

2.7.3. Kadavra testleri

Mayın patlamasında oluşan yüklerin alt bacağa olan etkisini gözlemlemek ve yaralanma kriterlerini belirlemek amacı ile Barbir tarafından yapılan çalışmada kadavralardan alınan toplam 12 adet alt bacak kullanılmıştır. Bu çalışmada TROSS ve darbe testlerinde elde edilen test koşulları kullanılarak araç personelinin mayın patlaması sonucunda oluşacak alt bacak kuvvetlerinin limit değerleri belirlenmiştir. Testler darbe test düzeneğinde, yine bu düzenekte elde edilen koşullar ile gerçekleştirilmiştir.

Kadavralar ile yapılacak testlerde sağlıklı sonuçlar elde edebilmek için her alt bacakta bulunan kemikler x-ışınları yardımı ile kontrol edilerek herhangi bir kırık içermedikleri gözlemlenmiştir. Bacaklar ilk önce femur ile diz eklemi arasındaki uzaklık yaklaşık 7 inç olacak şekilde kesilmiştir. Daha sonra kesilen bölgeden itibaren dize doğru 4 inç uzaklığındaki yumuşak doku çıkarılmıştır.

Bacaklar 4 inç derinliğinde bir sabitleme braketi içerisine yerleştirilmiş, femur braket içerisinde cıvatalar yardımı ile sabitlenmiş ve braket ile femur arasındaki boşluklar otomotiv endüstrisinde kullanılan bir dolgu malzemesi ile doldurulup dolgu malzemesinin kürlenmesi için bekletilmiştir.

Testler sırasında oluşan bacak kuvvetlerini ölçebilmek adına tibia üzerine kuvvet sensörleri yerleştirilmiştir. Sensör bağlantısının yapılabilmesi için alt bacak yumuşak dokusu kesilmiş,

ancak bacak üzerinden tamamen ayrılmamıştır. Daha sonra sensör montajının yapılabilmesi için bir fikstür yardımı ile gerekli delikleri açılmıştır. Son olarak tibia iki ucundan, tibia uzunluğuna bağlı olarak, yaklaşık 2-3 inç mesafe kalacak şekilde kesilmiştir (Resim 2.13).



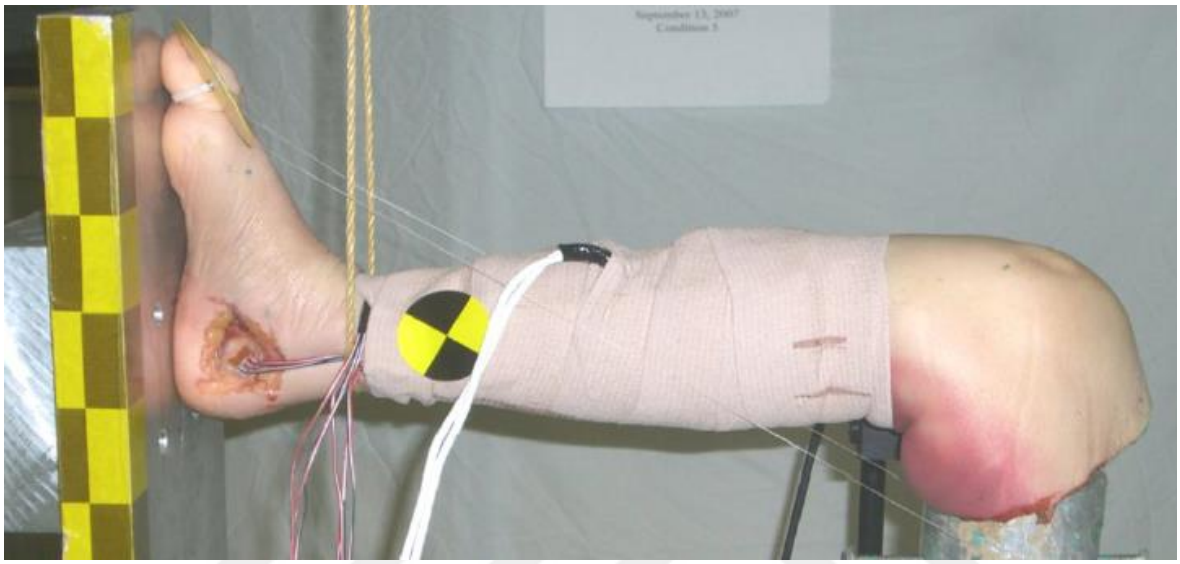
Resim 2.13. Kesilen tibia bölgesi



Resim 2.14. Tibia sensör bağlantıları

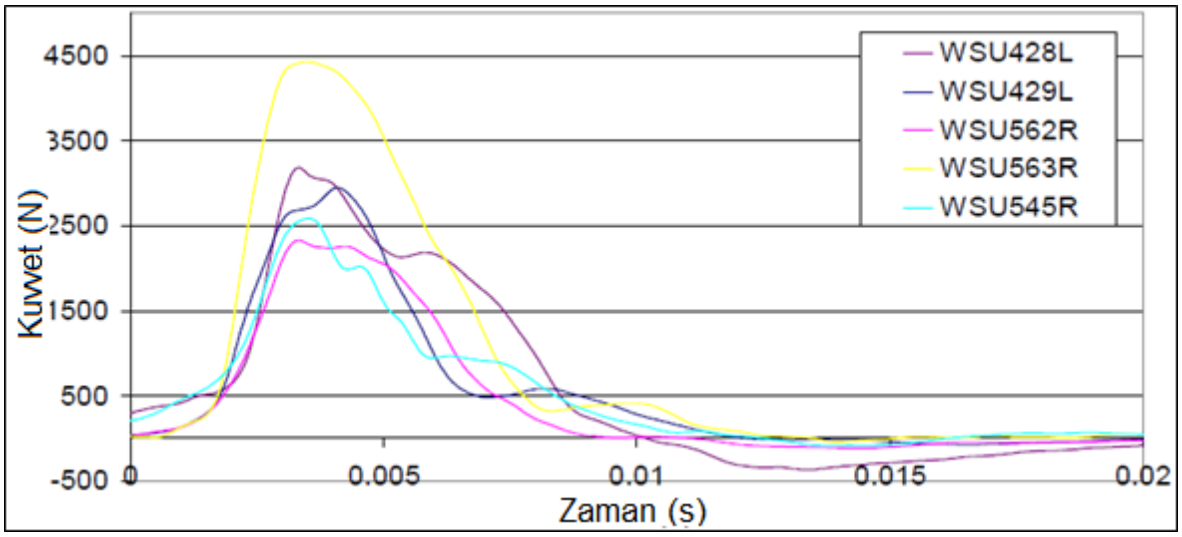
Kesme işlemi tamamlandıktan sonra tibianın alt ve üst parçalarının kesilen bölümleri 38 mm iç çapında ve 63,5 mm derinliğinde çelik braketler ile cıvata yardımı ile kapatılıp

sabitlenmiştir. Braketler ve kemik arasındaki boşluklar da dolgu malzemesi ile doldurulmuştur. Bu braketler kuvvet sensörü bağlantısı için yerleştirilmiş olup, kullanılan sensörler iki ucundan bu braketlere bağlanmıştır (Resim 2.14). Sensör montajı yapıldıktan sonra açılmış olan yumuşak doku tekrar kapatılmış ve dikilmiştir. Hazırlanmış test örneklerinden birine ait görsel Resim 2.15'te paylaşılmıştır.

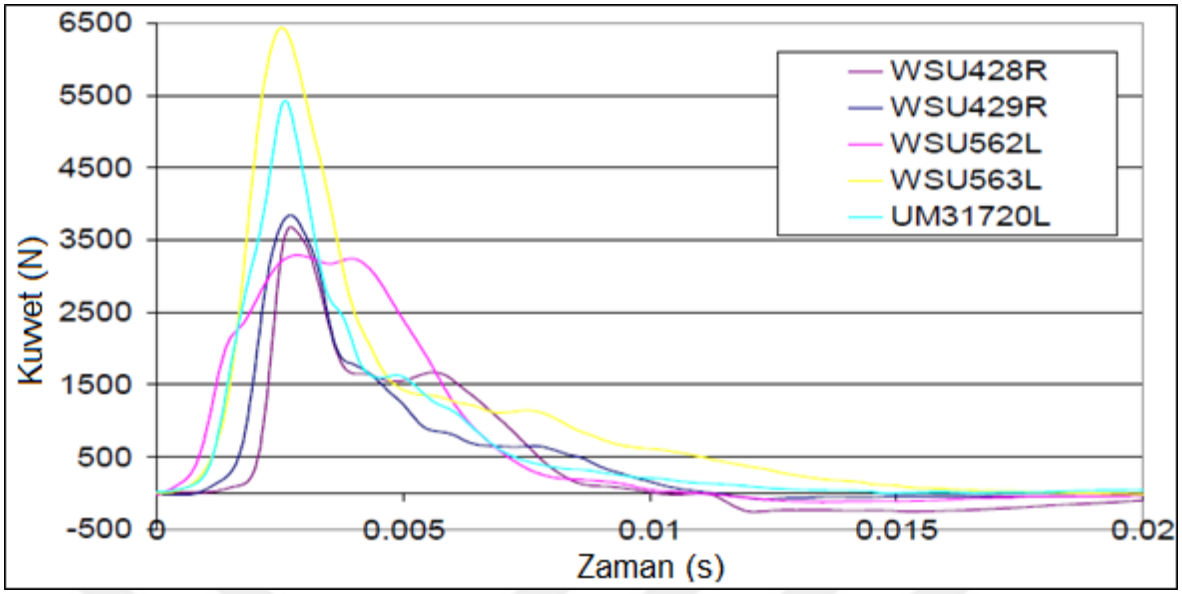


Resim 2.15. Test için hazırlanmış bacak

Birinci ve ikinci durumlar için elde edilmiş olan kuvvet – zaman grafikleri Şekil 2.7 ve Şekil 2.8'de paylaşılmıştır.

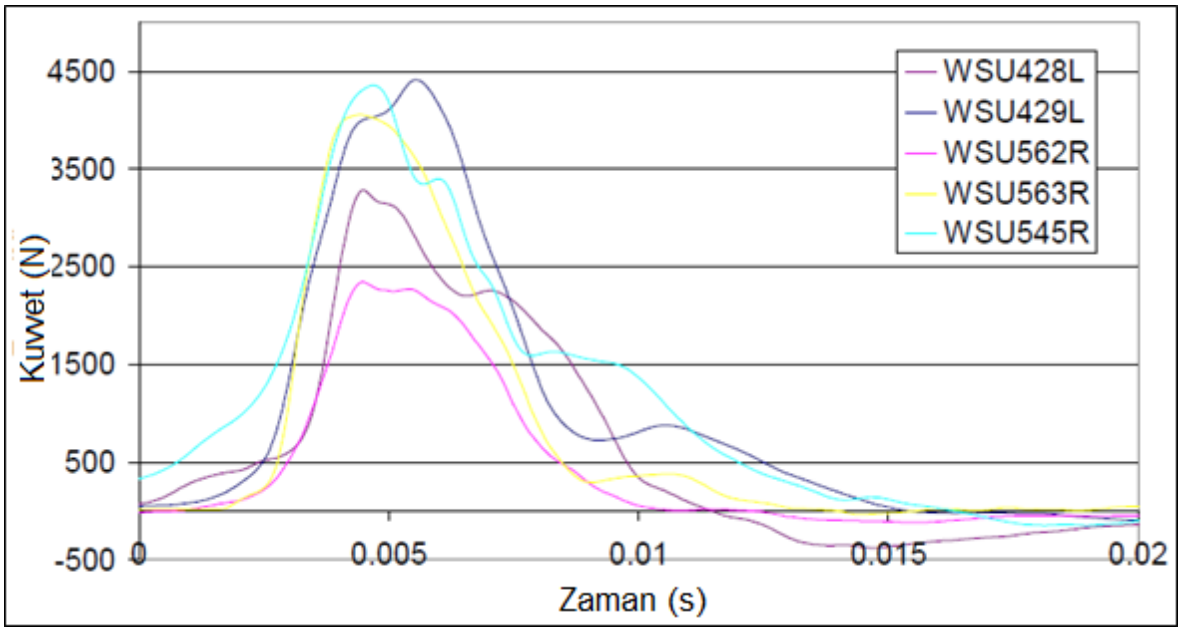


Şekil 2.7. Birinci duruma ait kuvvet - zaman grafiği

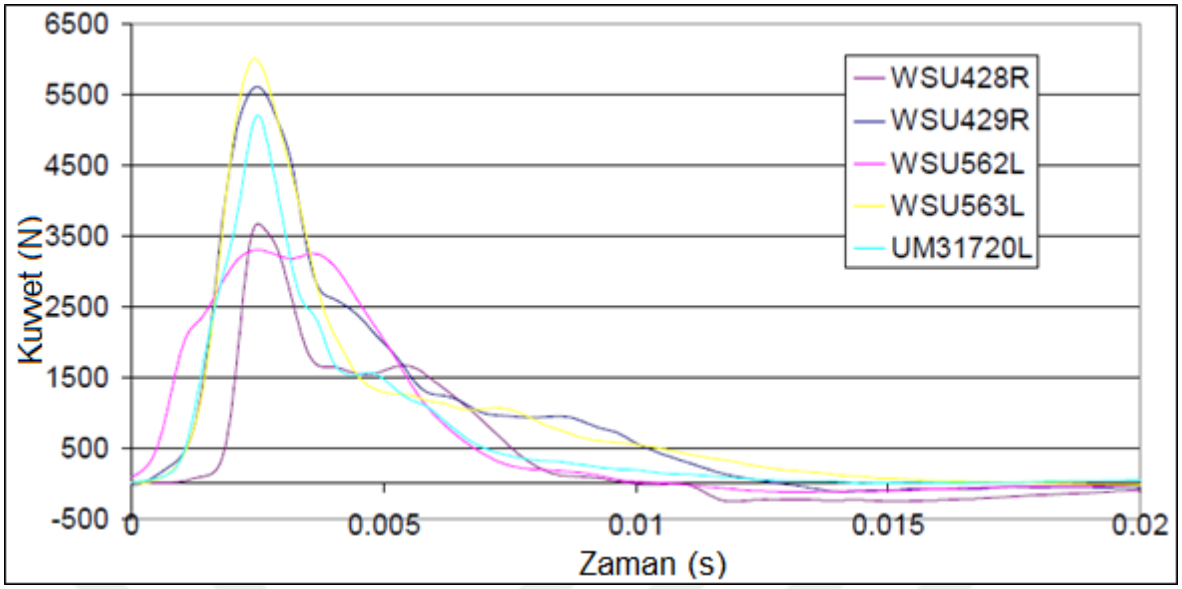


Şekil 2.8. İkinci duruma ait kuvvet - zaman grafiği

Testlerde kullanılan kadavraların farklı antropometrik ölçülerde olmasından dolayı elde edilen grafiklerin ortalamasını almanın sağlıklı bir yaklaşım olmayacağı düşünülerek, farklı boyutlardaki deneklerden elde edilen verilerin ortalaması bir normalizasyon metodu kullanılarak bulunmuştur. Bu yöntemle elde edilen kuvvet – zaman grafikleri Şekil 2.9 ve Şekil 2.10'da paylaşılmıştır.

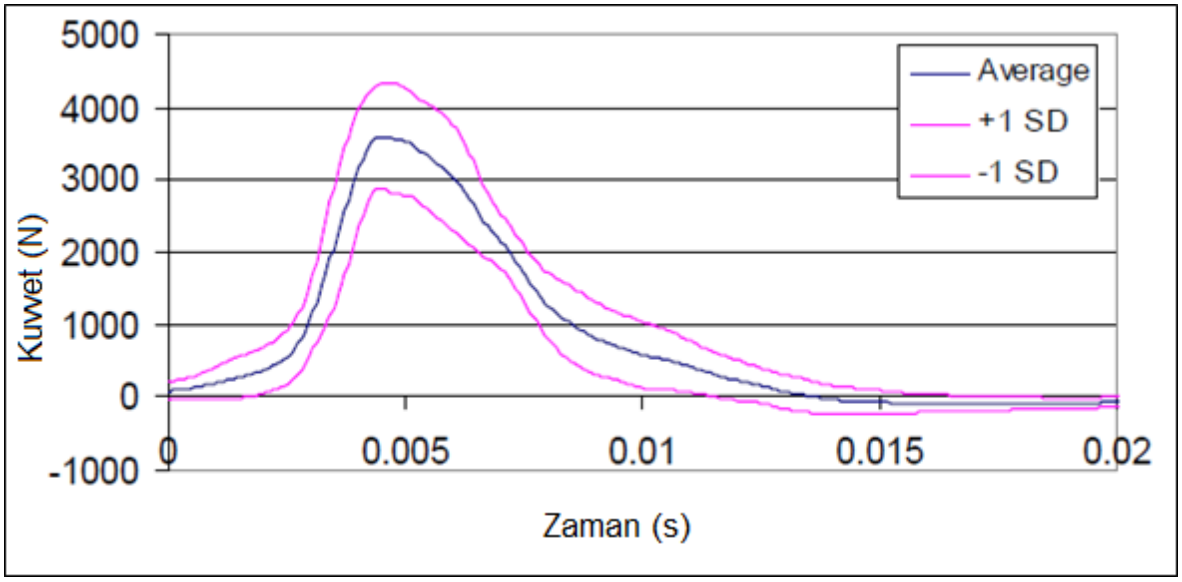


Şekil 2.9. Birinci duruma ait normalize edilmiş kuvvet - zaman grafiği

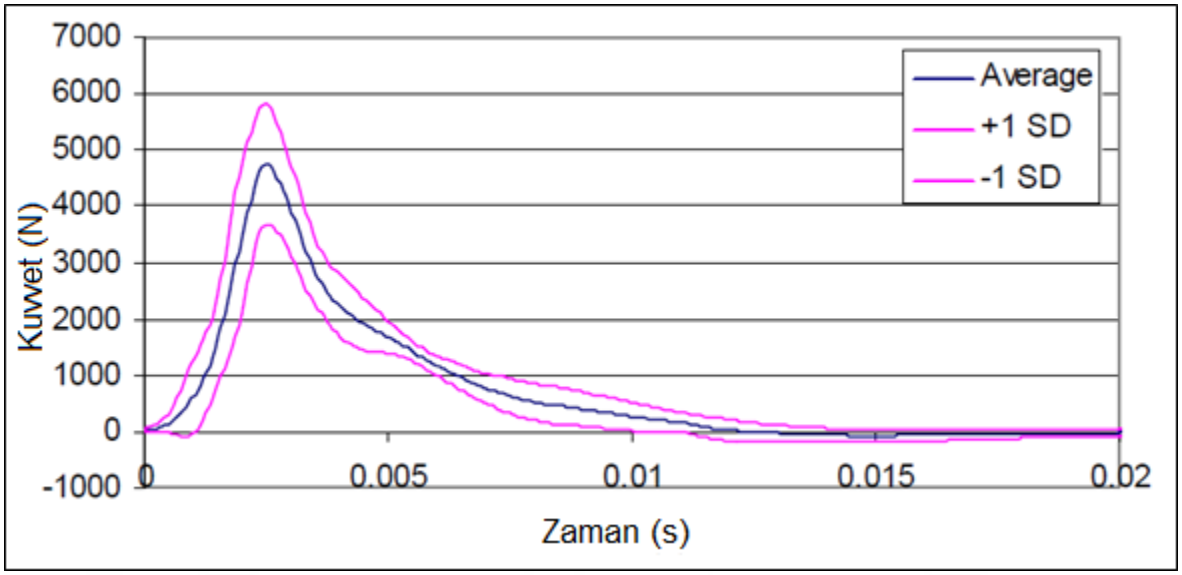


Şekil 2.10. İkinci duruma ait normalize edilmiş kuvvet - zaman grafiği

Her iki durum için de normalizasyon işlemi gerçekleştirildikten sonra farklı kadavralardan elde edilen verilerin ortalaması alınarak her iki koşul için ortalama kuvvet – zaman grafikleri elde edilmiştir. Ayrıca elde edilen verilerin standart sapmaları bulunarak alt ve üst koridorlar elde edilmiştir. Elde edilen ortalama kuvvet – zaman grafikleri, ayrıca alt ve üst koridorlar Şekil 2.11 ve 2.12'de paylaşılmıştır.



Şekil 2.11. Birinci duruma ait ortalama kuvvet – zaman grafiği ve alt/üst koridorlar



Şekil 2.12. İkinci duruma ait ortalama kuvvet – zaman grafiği ve alt/üst koridorlar

2.8. Temsili Alt Bacak Testleri

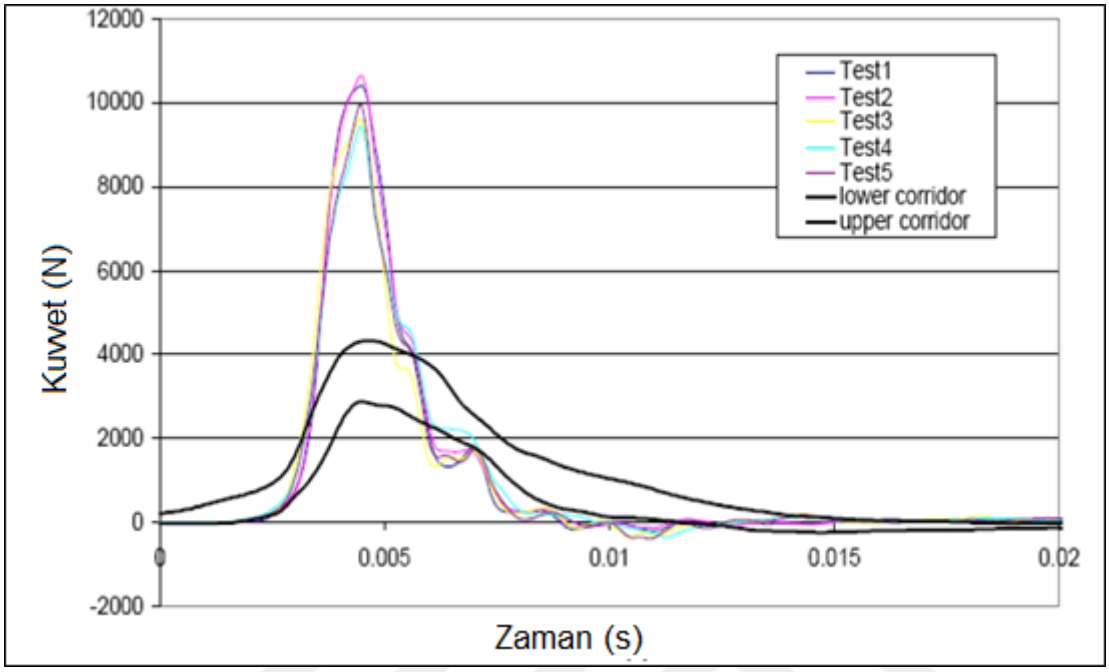
NATO tarafından yayınlanan AEP-55 prosedüründe alt bacak kuvvetlerini ölçmek için iki adet temsili alt bacak tanımlanmıştır. Bu temsili bacaklar için belirlenen limit değerler otomotiv çarpışma testleri için tasarlanmış olan HIII alt bacak için 5,4 kN, askeri araç mayın testleri için tasarlanmış olan MIL-LX alt bacak için ise 2,6 kN olarak belirlenmiştir [8].

HIII ve MIL-LX temsili bacaklar için belirlenen limit değerler arasındaki farkın sebebi, bu iki temsili bacağın kadavra testlerine göre davranışının, yapısal tasarımları nedeni ile, farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

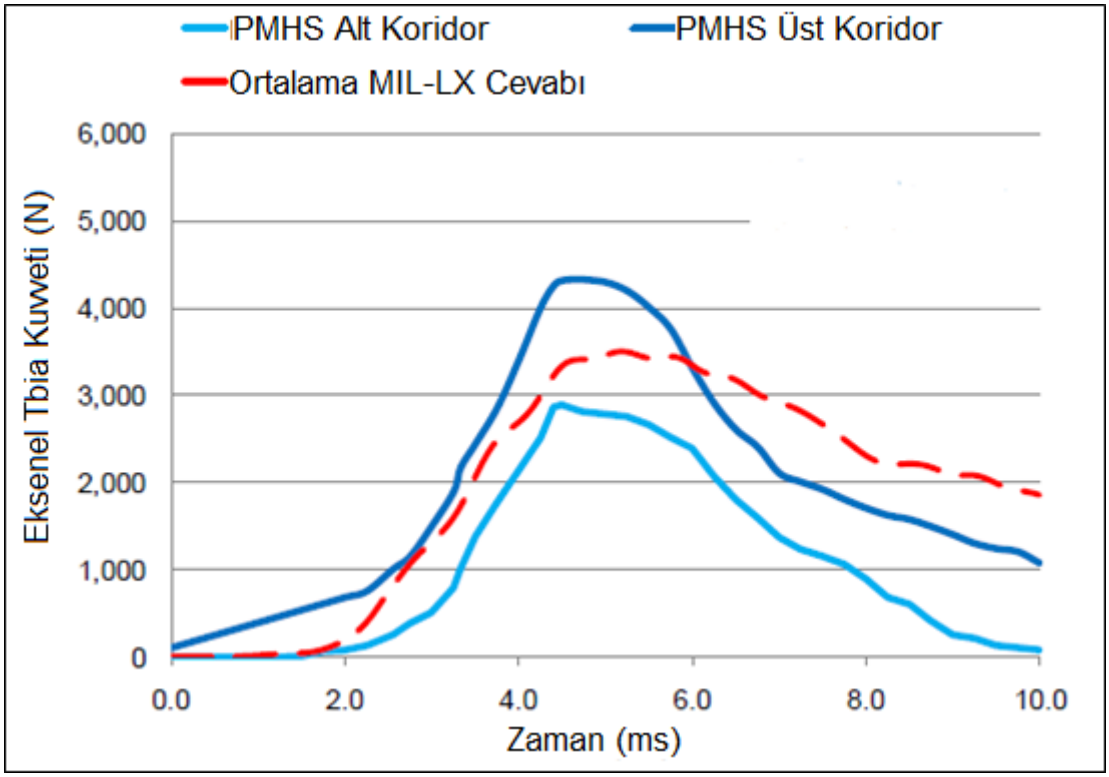
AEP-55 prosedüründe tanımlı olan HIII ve MIL-LX temsili alt bacakların performansının kadavra testleri ile karşılaştırılması amacı ile McKay (2010) tarafından yapılan çalışmada yapılan testler sonucunda elde edilen kuvvet – zaman grafikleri Şekil 2.13, Şekil 2.14 ve Şekil 2.15'te paylaşılmıştır. Yapılan testler kadavra testleri ile aynı test düzeneği ve test koşulları ile gerçekleştirilmiştir [15].

Şekil 2.13'te verilen grafik incelendiğinde, otomotiv çarpışma testleri için tasarlanmış olan HIII temsili bacağın mayın patlama testlerinde gerçek insan bacağı davranışını gösteremediği görülmektedir. Elde edilen kuvvet – zaman grafikleri Barbir tarafından

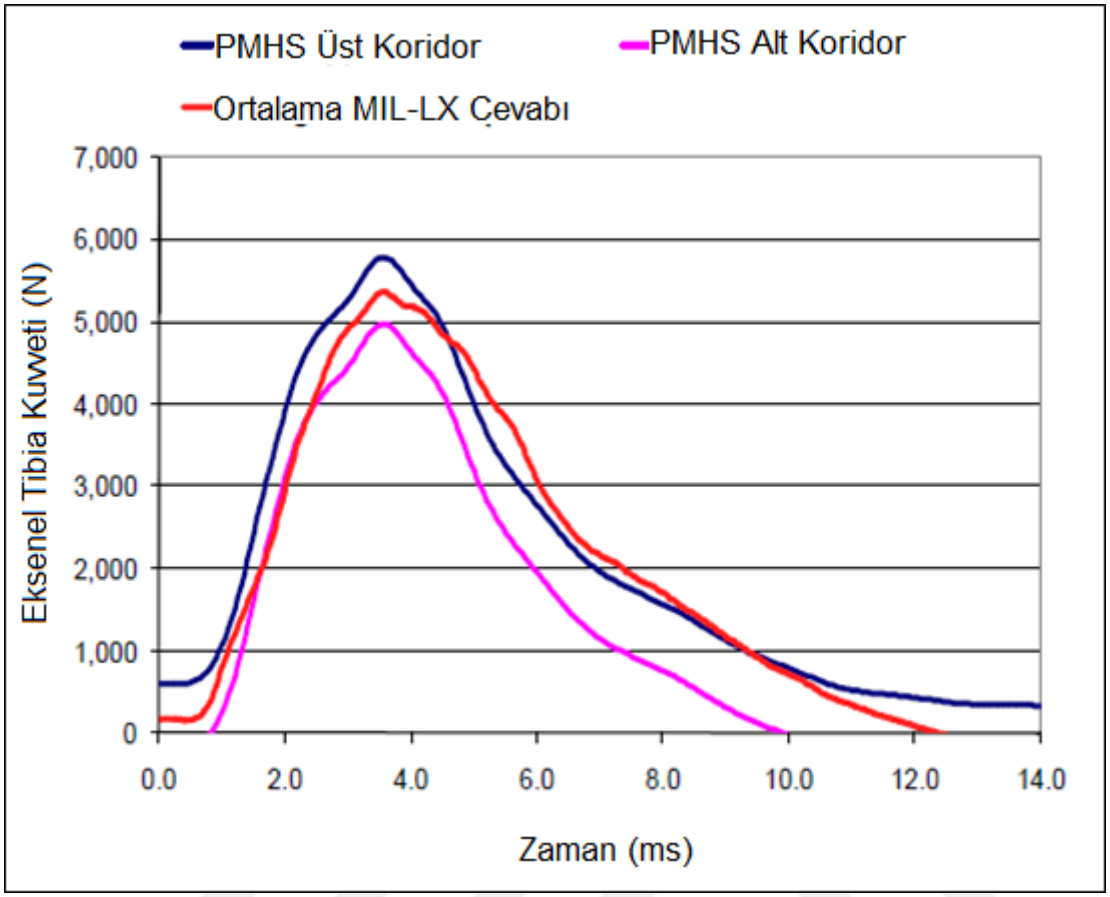
tanımlanan kuvvet koridorlarının çok üzerinde kalmaktadır. Bu nedenle McKay tarafından yapılan çalışmada HIII sadece birinci duruma göre test edilmiştir.



Şekil 2.13. HIII temsili bacağın birinci durum ile karşılaştırılması



Şekil 2.14. MIL-LX temsili bacağın birinci durum ile karşılaştırması

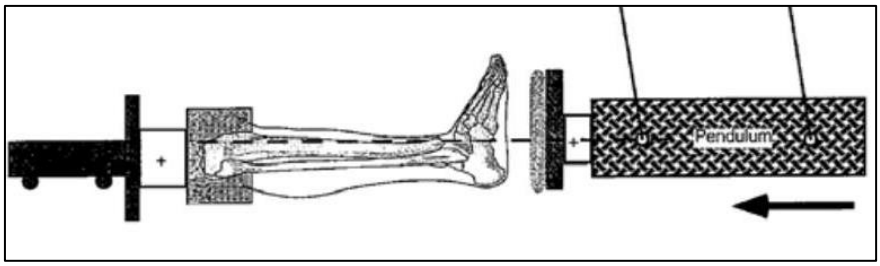


Şekil 2.15. MIL-LX temsili bacağın ikinci durum ile karşılaştırması

MIL-LX temsili bacağa ait kuvvet – zaman grafiği ise her iki durum için de koridorlara yakındır. Grafikler incelendiğinde her iki bacağın da kadavralar ile tam olarak aynı sonuçları vermediği gözlemlenmektedir. Bu yüzden her iki bacak için ayrı ayrı limit değerleri tanımlanmıştır.

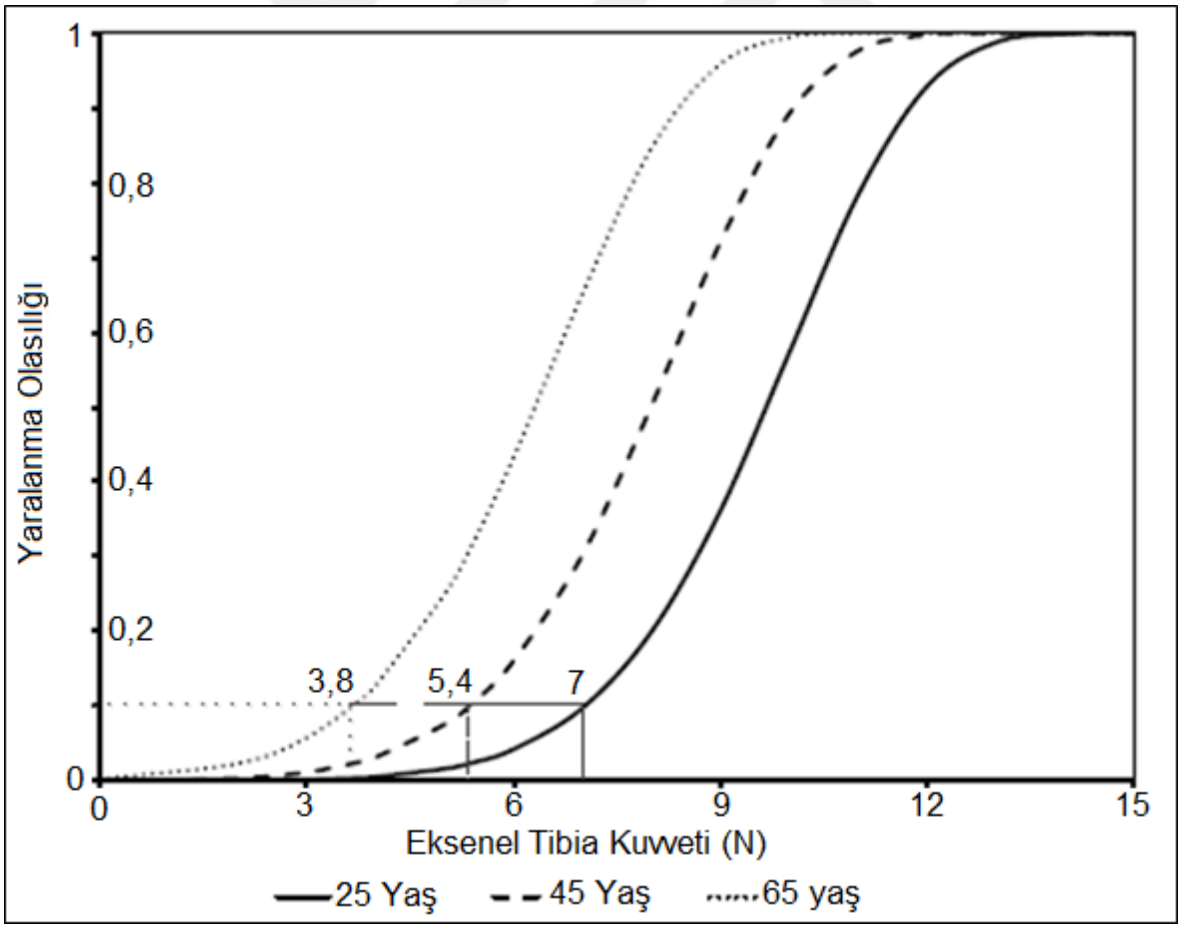
2.9. Alt Bacak Kuvvet Limit Değerleri

Alt bacak yaralanma limit değerlerini belirlemek amacı ile Yoganandan ve diğerleri (1996) tarafından yapılan çalışmada yaşları 27 ile 85 arasında değişen 52 kadavra alt bacağı kullanılmıştır. Çalışmanın amacı yaralanma ile tibia kuvveti ve yaş gibi biyomekanik parametrelerin karşılaştırılmasıdır. Resim 2.16'da görseli paylaşılmış olan test düzeneğinde, 25 kg ağırlığında bir sarkaç vasıtası ile 3,4 m/s ile 7,6 m/s arasında değişen hızlarla kadavra alt bacaklarına darbeler uygulanmış ve 4,3 kN ile 11,4 kN arasında tibia kuvvetleri elde edilmiştir [16].



Resim 2.16. Sarkaç test düzeneği

Test sonuçlarının derlenmesi ile yaralanma ile biyomekanik parametreler arasında niceliksel bir ilişki geliştirilmiştir. Geliştirilen yaralanma risk modelinde en önemli biyomekanik parametrelerin yaş ve eksenel tibia kuvveti olduğu görülmüştür. Çalışma sonucunda tibia kuvveti ve yaşın fonksiyonu olan bir yaralanma olasılık denklemi oluşturulmuştur. Şekil 2.16'da 25, 45 ve 65 yaş için %10 yaralanma olasılığına karşılık gelen kuvvetlerin sırası ile 7 kN, 5,4 kN ve 3,8 kN olduğu görülmektedir [16].

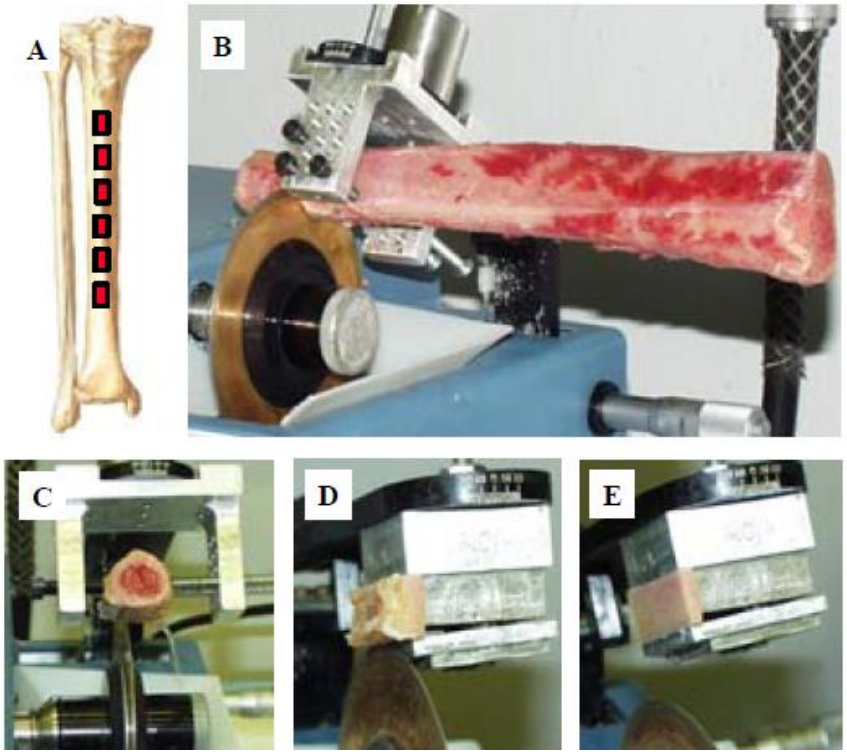


Şekil 2.16. Tibia yaralanma olasılık grafiği

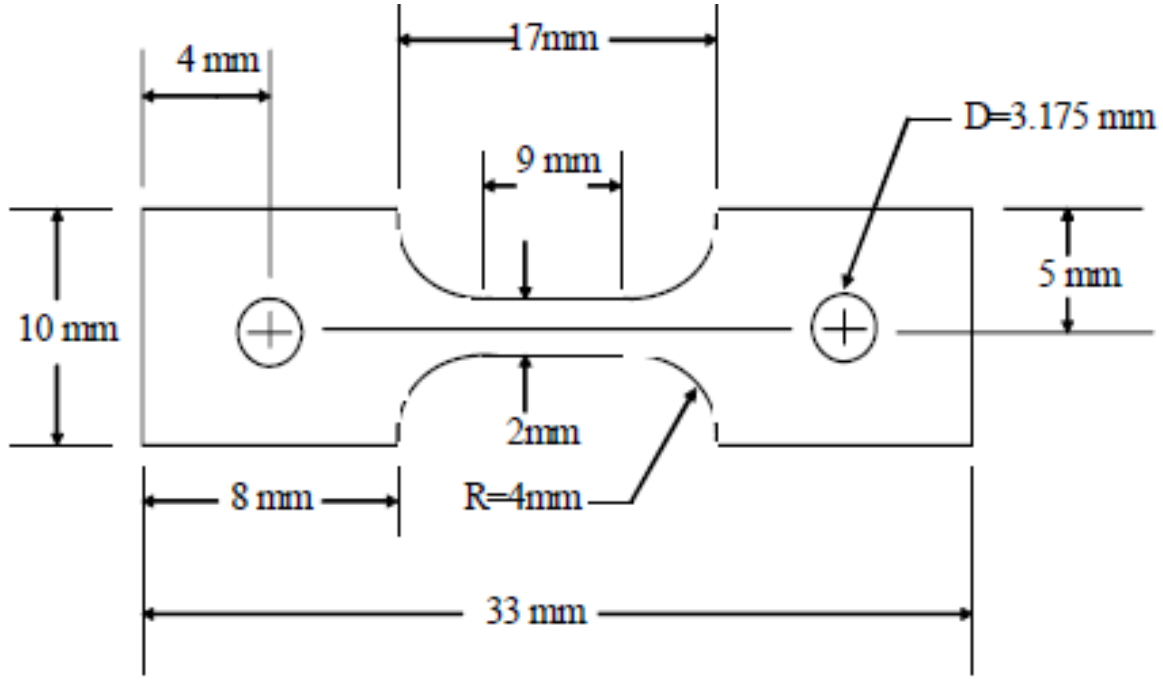
AEP-55 prosedüründe HIII temsili alt bacak için tanımlanan alt bacak kuvveti, bu çalışmada 45 yaş için %10 yaralanma olasılığına karşılık gelen 5,4 kN olarak seçilmiştir. MIL-LX temsili alt bacak için aynı koşullarda yapılan testler sonucunda bu değer 2,6 kN olarak belirlenmiştir [16].

2.10. Tibia Mekanik Özellikleri

Kemper ve diğerleri (2007) tarafından yapılan çalışmada, otomotiv kazaları sonucundaki tibia kırıklarının incelenmesi amacı ile, tibianın mekanik özellikleri kadavralardan alınan numuneler yardımı ile incelenmiştir. Yapılan çalışmada kadavralara ait tibialardan 20 farklı numune alınarak 11 eksenel çekme, 9 eksenel basma testi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla tibia etrafındaki yumuşak doku soyulmuş ve tibia elmas uçlu bir daire testere yardımı ile parçalara ayrılmıştır (Resim 2.17). Elde edilen parçalar Resim 2.18'de kesit boyutları verilmiş olan test numuneleri haline getirilmiştir. Test numunelerinin et kalınlığı 2 mm olarak belirlenmiştir. Numuneler alınırken numune eksenleri ile tibia ekseninin aynı doğrultuda olmasına dikkat edilmiştir [17].

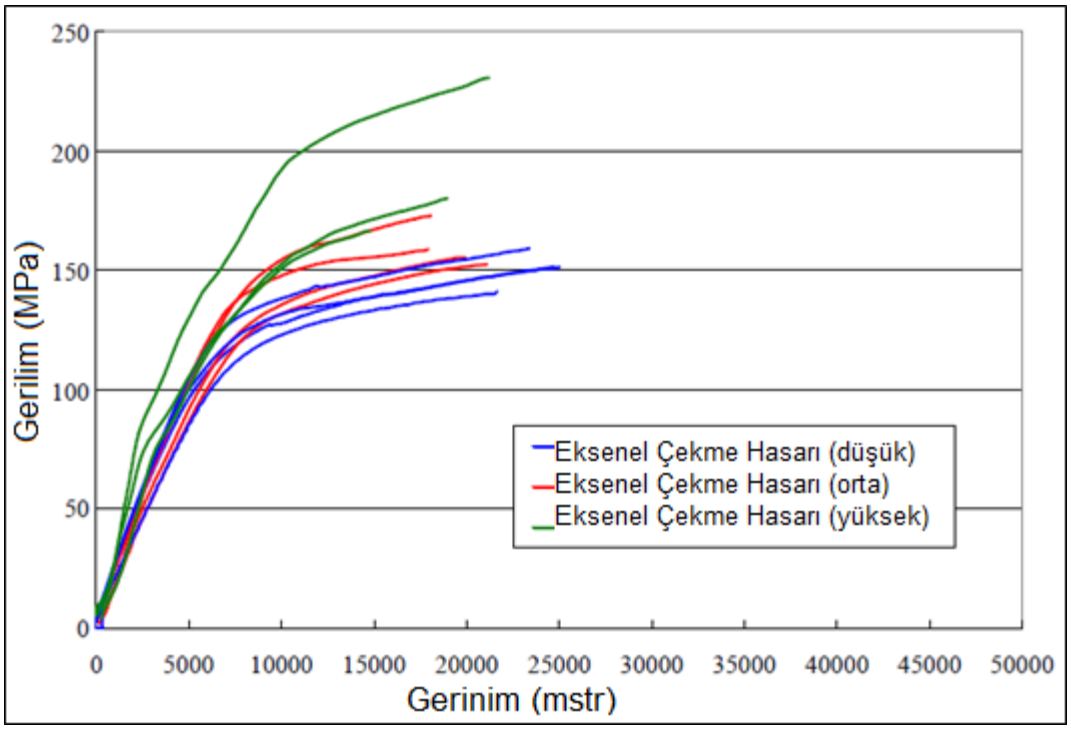


Resim 2.17. Kadavra tibia çekme ve basma test numunelerinin elde edilme süreci

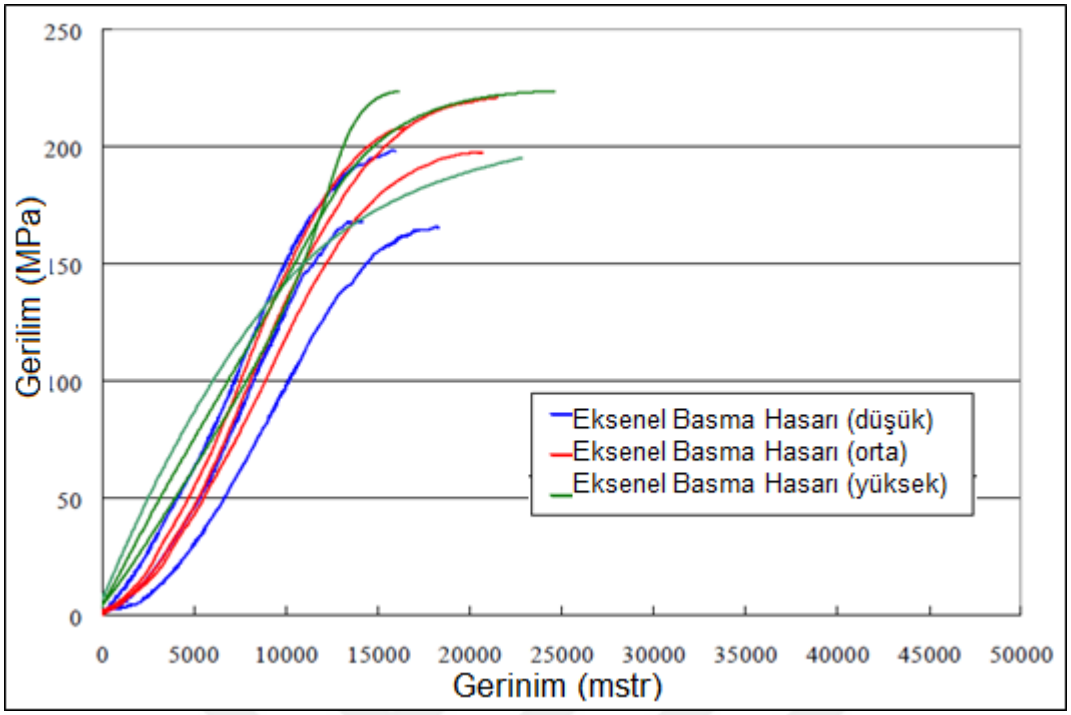


Resim 2.18. Tibia test numune kesiti

Yapılan çekme ve basma testleri bir servo – hidrolik malzeme test sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çekme ve basma testlerinden elde edilen sonuçlar Şekil 2.17 ve Şekil 2.18'de verilmiştir.



Şekil 2.17. Tibia eksenel çekme testlerine ait gerilim-gerinim grafikleri



Şekil 2.18. Tibia eksenel basma testlerine ait gerilim-gerinim grafikleri

Çekme ve basma testlerinden elde edilen verilerin ortalamaları alınarak, tibianın mekanik özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen veriler Çizelge 2.4'te paylaşılmıştır.

Çizelge 2.4. Tibia mekanik özellikleri

Durum	Strain Rate (strain/s)	E (GPa)	Ultimate Strain (microstrain)	Ultimate Stress (MPa)
Çekme	2,167	22,27	20607	165,3
Basma	1,640	16,10	18967	200

3. TEMSİLİ ALT BACAK TASARIMI

Bu çalışmada tasarlanacak temsili alt bacak performansının hem mümkün olduğunca Barbir tarafından yapılan çalışmada elde edilmiş olan kuvvet koridorlarına yakın davranış göstermesi, hem de McKay tarafından yapılan çalışmalar ile karşılaştırılabilir olması hedeflenmiştir.

3.1. Tasarım Kriterleri

Şekil 2.13'te kuvvet-zaman grafiği, Resim 2.6'da görseli verilmiş, AEP-55 prosedüründe standart test ekipmanı olarak tanımlanmış olan HIII temsili alt bacak tibiasının rijit çelik bir şaft olarak temsil edilmesinden dolayı kadavra testleri ile benzer sonuçlar veremediği görülmektedir. Şekil 2.14 ve Şekil 2.15'te kuvvet-zaman grafikleri, Resim 2.7'de görseli verilmiş olan, yine AEP-55 prosedüründe standart test ekipmanı olarak tanımlanmış MIL-LX temsili alt bacak ise tibia yapısında bir sönümleme mekanizması içermesinden dolayı kadavralara daha yakın davranış göstermiştir. HIII ve MIL-LX ile yapılan çalışmalardan edinilen bilgilere göre izlenecek yöntemler belirlenmiş, birtakım kararlar alınmıştır:

- Tasarlanan temsili alt bacağın kadavra testleri ile benzer sonuçlar verebilmesi için HIII bacakta kullanılan rijit şaft yerine MIL-LX bacaktaki gibi, temsili kaval kemiğinin sönümleyici bir eleman içermesi gerekmektedir.
- Tasarlanan temsili alt bacağın McKay tarafından HIII ve MIL-LX temsili bacaklar ile gerçekleştirilen kadavra karşılaştırma testleri ile karşılaştırılabilir olması ve sistem davranışını etkileyen değişkenlerin sayısını azaltmak adına MIL-LX'te kullanılan ayak komplesinin tasarlanacak temsili alt bacakta da kullanılması kararı alınmıştır.
- Tasarımda temsili tibia ile ayak komplesi arasında ve temsili tibia ile diz eklem braketi arasında kullanılacak alt ve üst kuvvet sensörleri için bacak komplesine entegre edilebilecek başka alternatifin olmaması sebebi ile HIII ve MIL-LX temsili alt bacaklarda kullanılan sensörler tasarlanan temsili alt bacakta da kullanılmıştır.

3.2. Tasarım Modelinin Oluşturulması

Tasarım modeli ayak komplesi, diz eklem braketi, alt ve üst tibia kuvvet sensörleri ile temsili tibia komplesinden oluşmaktadır.

3.2.1. Ayak komplesi

McKay tarafından yapılan çalışmalar ile karşılaştırma yapabilmek için sistemdeki bilinmeyen sayısının en aza indirilmesi amaçlanmıştır. Yapısında sönümleyici ekipmanlar içeren MIL-LX ayak komplesi bu çalışmada tasarlanan temsili alt bacak için de kullanılmıştır. Ayak komplesi MIL-LX'in üreticisi olan Humanetics ATD firmasından satın alınmıştır.



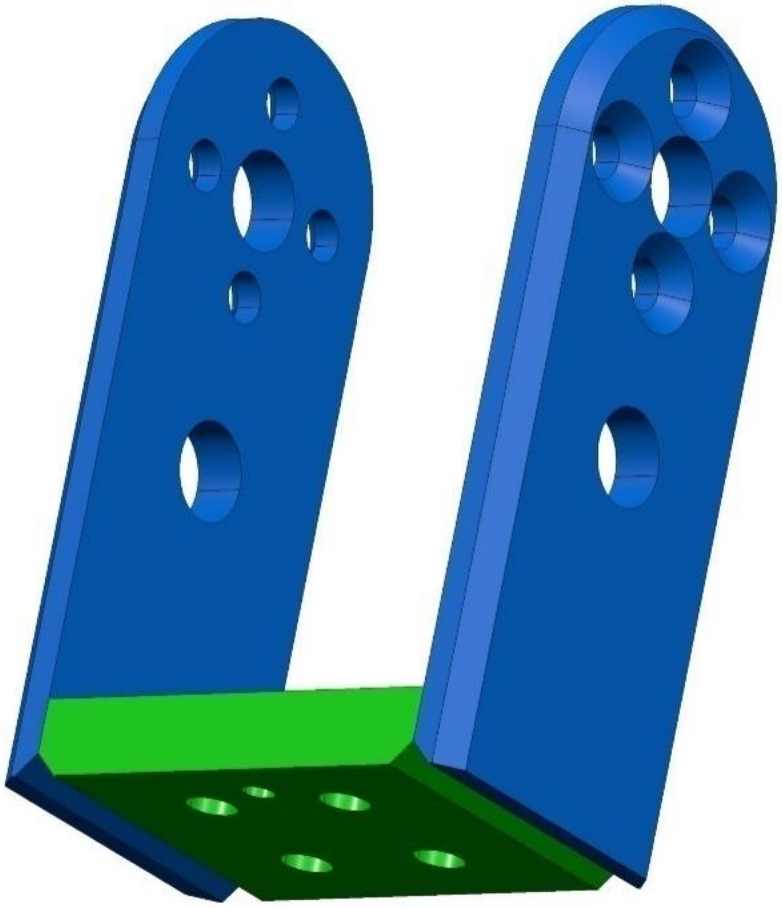
Resim 3.1. Ayak komplesi

Ayak komplesi yapısal olarak ayak ve ayak bileği olmak üzere ikiye ayrılabilir. Ayak metalik bir iskelet üzerine polimer bir malzeme kaplanarak üretilmiştir. Topuk bölgesinde ayrıca bir sönümleyici elemana sahiptir. Ayak bileği ise hareket açıları insan hareketlerine benzetilmiş küresel bir mafsaldır. Mafsal hareket direnci bir ayar cıvatası ile sağlanmaktadır. Ayak bileğinin üst bölgesinde alt kuvvet sensörü bağlantı arayüzü bulunmaktadır. Ayak komplesi Resim 3.1'de paylaşılmıştır.

3.2.2. Diz eklem braketi

Diz eklem braketi temsili alt bacağı üst vücut komplesine bağlayan, üst tibia kuvvet sensörünün bağlanması için arayüzleri olan parçadır. Teknik resimleri Ek 1'de verilmiş olan

diz eklem braketi CAD model görseli Resim 3.2’de paylaşılmıştır.



Resim 3.2. Diz eklem braketi

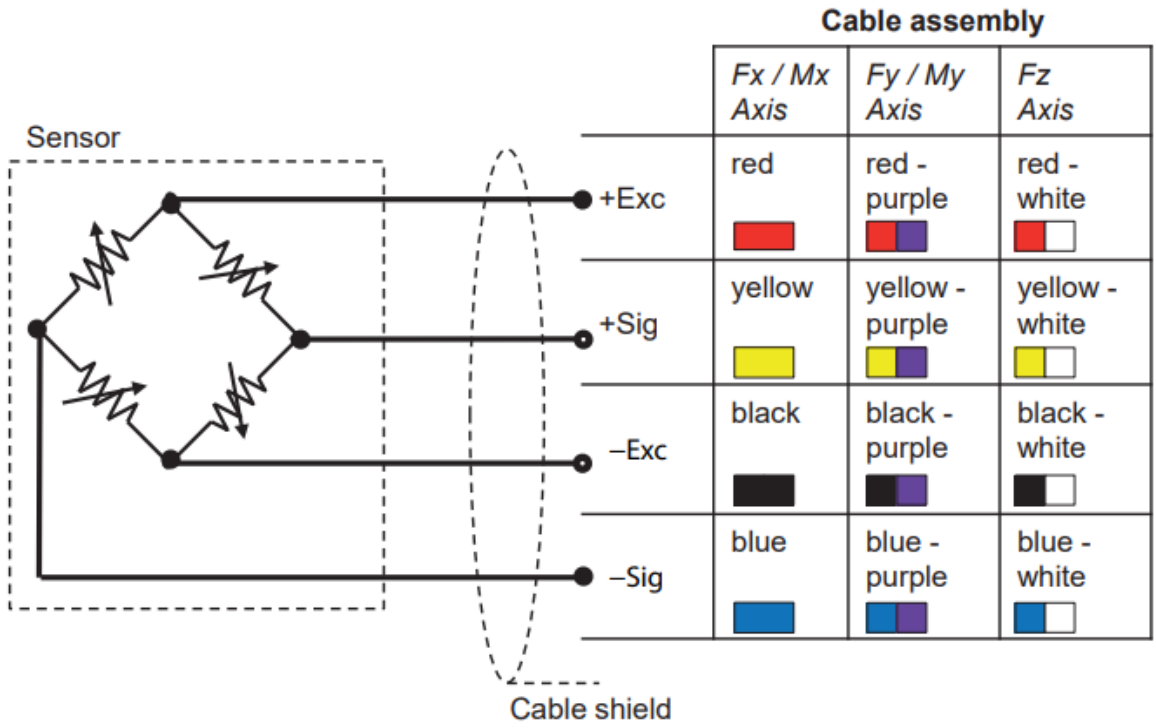
3.2.3. Alt ve üst tibia kuvvet sensörleri

Tasarımda temsili tibia ile ayak komplesi arasında ve temsili tibia ile diz eklem braketi arasında kullanılacak alt ve üst kuvvet sensörleri için bacak komplesine entegre edilebilecek başka alternatifin olmaması sebebi ile tasarımda MIL-LX temsili alt bacakta kullanılan sensörler kullanılmıştır (Resim 3.3). Kuvvet sensörleri Kistler firmasından satın alınmıştır. Alt ve üst tibia kuvvet sensörlerine ait teknik dokümanlar Ek 2’de paylaşılmıştır.

Kuvvet sensörleri yapısal olarak bir şase ve gerinim ölçerlerden kurulmuş bir Wheatstone köprüsünden oluşmaktadır. Darbe sonucunda oluşan kuvvet sonucunda gerinim ölçerlerde meydana gelen deformasyon sistemden elektrik sinyali olarak çıkmakta, elde edilen sinyaller bir veri toplama sisteminde işlenerek kuvvet bilgisi olarak gösterilir. Kuvvet sensörlerinin devre yapısı Resim 3.4’te verilmiştir.



Resim 3.3. Üst (solda) ve alt (sağda) tibia kuvvet sensörleri



Resim 3.4. Kuvvet sensörleri devre şeması

3.2.4. Temsili tibia komplesi

MIL-LX temsili alt bacak tasarımında iki rijit şaft arasına yerleştirilmiş, yataklanmış bir kauçuk sönümleme elemanı kullanılmıştır. Bu çalışmada ise temsili kaval kemiği için HIII'teki gibi tek parça, ancak MIL-LX'teki gibi sönümleyici özelliğe sahip ve tibianın mekanik özelliklerine yakın özelliklerde polimerik bir malzeme kullanılması planlanmıştır.

Yapılan literatür araştırması sonucunda insan tibiasına yakın mekanik özelliklere sahip bir malzeme bulunamamasından dolayı temsili tibia malzemesi olarak, Çizelge 3.1'de mekanik özellikleri verilen, genellikle kalıp yayı olarak kullanılmakta olan, 90 shore A sertliğinde vulkollan seçilmiştir [18]. Vulkollan yüksek performanslı bir poliüretan elastomeridir. Sistem davranışı temsili tibia geometrisinde optimizasyon yapılarak kadavra verilerine yaklaşılmaya çalışılması planlanmıştır.

Çizelge 3.1. Vulkollan mekanik özellikleri

Mechanical properties	ISO test standard	Unit	Shore A/D hardness			
	868		83/29	89/35	92/36	95/40
Density	1183	Mg/m^3	1,26	1,26	1,26	1,26
Stress at 100% elongation	37	MPa	4,3	5,	8,0	10,6
Stress at 300% elongation	37	MPa	7,8	10,4	12,8	15,8
Tear resistance	37	MPa	50	5,4	53	42
Elongation at break	37	%	660	700	740	692
Tear propagation resistance	34	kN/m	31	38	54	67
Rebound resilience	4662	%	65	64	62	61
Abrasion	4649	mm^3	37	32	28	26
Taber abrasion (S42/4,9 N)	9352	mg	3,5	4,0	6,1	7,5
Compression set	815					
70h / 23°C		%	8	9	10	14
24h / 70°C		%	18	19	19	20

Tasarlanan temsili alt bacak komplesinde tibia alt kuvvet sensörü ayak komplesinde hazır olarak bulunan arayüz yardımı ile ayak komplesine bağlanmaktadır. Aynı şekilde tibia üst kuvvet sensörü te tasarlanan diz eklem braketine bağlanmıştır. Tasarlanan temsili vulkollan tibia ise alt ve üst kuvvet sensörlerine adaptör braketler yardımı ile bağlanarak alt bacak tasarımı tamamlanmıştır.

Başlangıç olarak 40 mm çapında, içi dolu ve boş silindirik yapıya sahip temsili tibia alternatifleri tasarlanmış, yapılan test sonuçlarına göre parça geometrisinde gerekli değişiklikler yapılması planlanmıştır. Tasarlanan üç temsili tibia komplesi tasarım alternatifine ait teknik resimler Ek 3'te paylaşılmıştır. Temsili tibia komplesi ön tasarımının CAD model görselleri Resim 3.5'te verilmiştir.



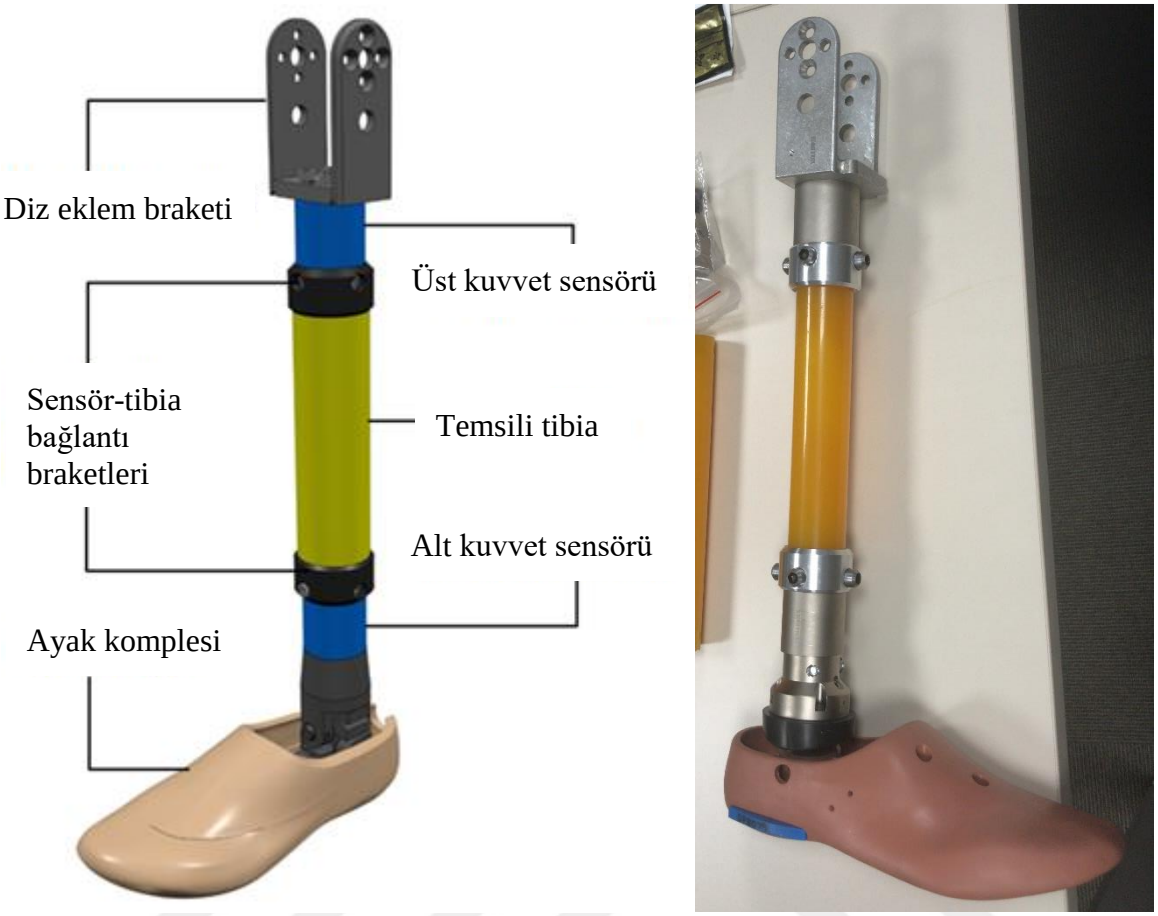
Resim 3.5. Temsili tibia komplesi ön tasarımı

3.3. Temsili Alt Bacak Montajı

Diz eklem braketi ve iki adet temsili tibia komplesi alternatif tasarımı tamamlanıp üretildikten sonra montaj işlemine geçilmiştir. Gerçekleştirilen testler için ilk olarak 40 mm çapında içi dolu vulkollan temsili tibia komplesi kullanılmış ve temsili alt bacak testlere hazır hale getirilmiştir.

Temsili alt bacak montajı yapılırken ilk önce alt tibia kuvvet sensörü ayak komplesine; üst tibia kuvvet sensörü diz eklem braketine cıvatalar yardımı ile bağlanmıştır. Temsili tibia adaptör braketleri vulkollan şaft üzerine yerleştirilmiş ve tibia komplesi kuvvet sensörlerine cıvatalar yardımı ile bağlanmıştır.

Son olarak ayak komplesi üzerindeki ayar cıvatası sıkılarak ayağın darbe esnasında hareket etmemesi sağlanmıştır. Temsili alt bacak montaj teknik resmi Ek 4'te, bileşenlerini gösteren görsel ise Resim 3.6'da paylaşılmıştır.



Resim 3.6. Temsili alt bacak montajı

4. TEST DÜZENEĞİNİN HAZIRLANMASI

Tasarlanan temsili alt bacağın Barbir tarafından yapılan çalışmada elde edilmiş olan kuvvet koridorları ile ilişkisini görebilmek ve McKay tarafından yapılmış olan çalışmadaki temsili alt bacaklar ile karşılaştırma yapabilmek amacı ile testlerdeki koşulların bu çalışmalardaki koşullar ile aynı olması amaçlanmıştır.

Bu çalışmalarda kullanılan darbe test düzeneğinin aynısını oluşturmanın yüksek maliyetinden dolayı testlerin mevcut imkanlar ile gerçekleştirilme ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu sebeplerden dolayı hem farklı test amaçları için kullanılabilen, hem de gerekli test koşullarını sağlayabilen FNSS Savunma Sistemleri A.Ş.'ne ait düşürme kulesi test düzeneği olarak seçilmiştir (Resim 4.1). Yapılan testlerde istenilen sınır koşullarını elde edebilmek için bu düzenek üzerinde gerekli modifikasyonlar yapılmıştır.



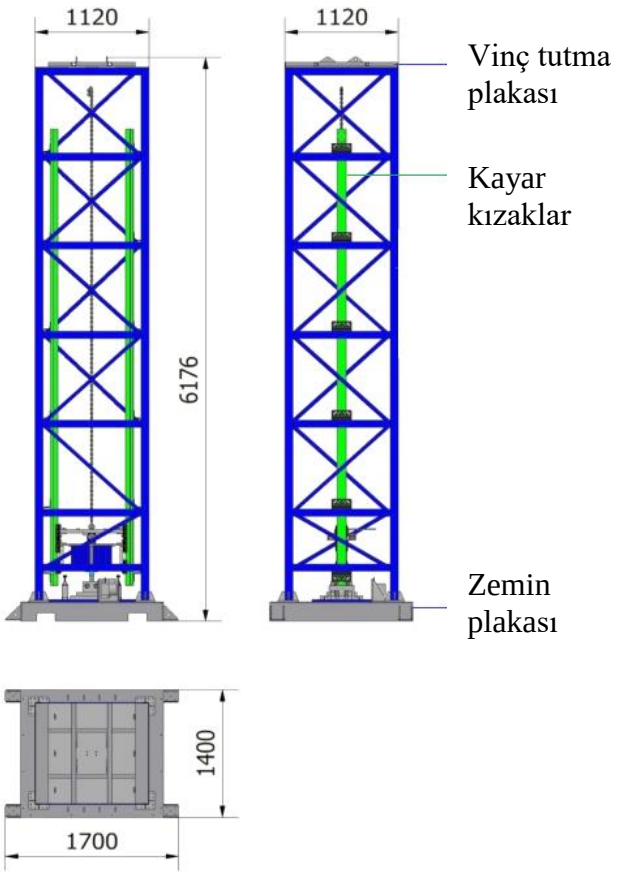
Resim 4.1. FNSS düşürme kulesi

4.1. Düşürme Kulesinin Hazırlanması

FNSS düşürme kulesi temel olarak iskelet sistemi, darbe kütlesi, kaldırma ünitesi ve darbe sönümleyiciler ile kontrol, elektrik ve pnömatik sistemlerinden oluşmaktadır. Asıl görevi kaynaklı ve cıvatalı parçaların şok yükleri altındaki davranışını gözlemlemek olan FNSS düşürme kulesinde temsili alt bacak testlerini gerçekleştirmek için bazı değişiklikler yapılmıştır.

4.1.1. İskelet sistemi

Test düzeneğinin gövdesini oluşturan iskelet sisteminin temel ölçüleri Resim 4.2'de verilmiştir. Taban bölümünde rijitliği arttırmak için çelik bir şasi içerisinde yaklaşık 700 kg beton, forklift ile taşınabilmesi için gerekli arayüzler ve zemine sabitlenebilmesi için montaj kulakları bulunmaktadır. Vinç tutma plakası, kayar kızaklar ve zemin plakası olmak üzere 3 alt sistemden oluşmaktadır:

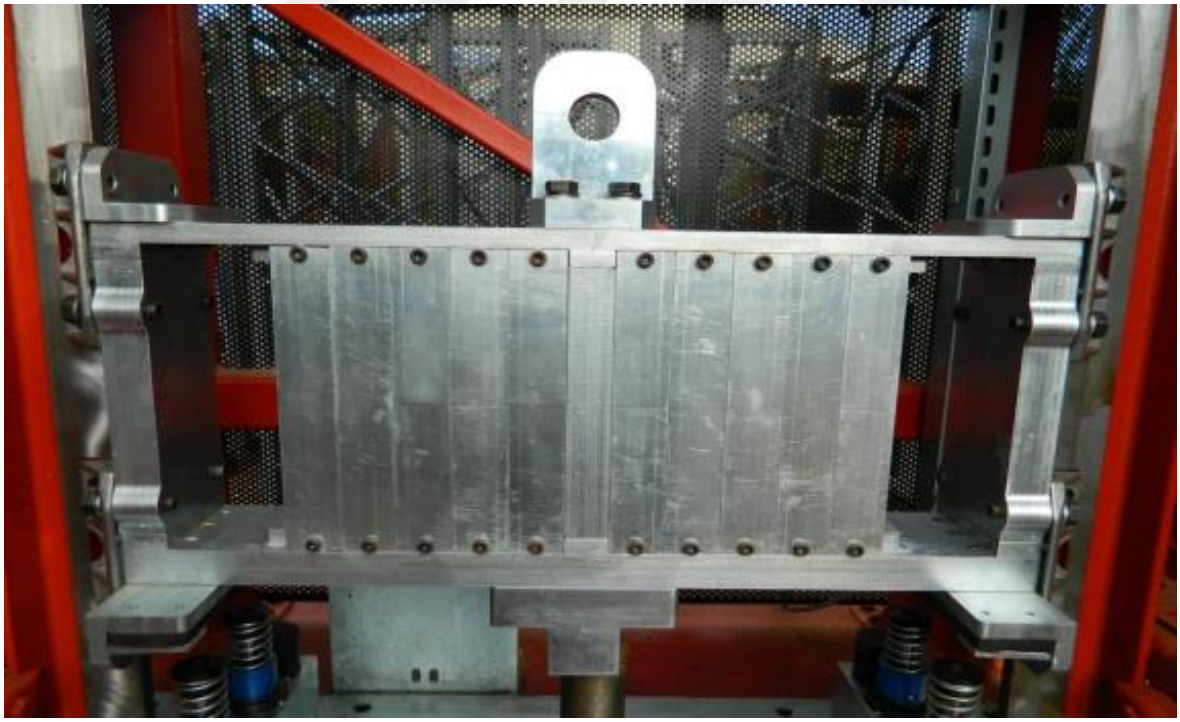


Resim 4.2. İskelet sistemi

- Vinç, iskelet üzerinde bulunan plakaya cıvata ile sabitlenmiş olup, darbe kütlesi ve kaldırma ünitesinin hareketini sağlar.
- Kayar kızaklar iskelete sabitlenir. Kaldırma ünitesi ve darbe kütlesi bu kızaklar üzerinde hareket eder.
- İskeletin tabanında şok emicileri ve test parçalarını bağlamak için zemin plakası bulunur.

4.1.2. Darbe kütlesi

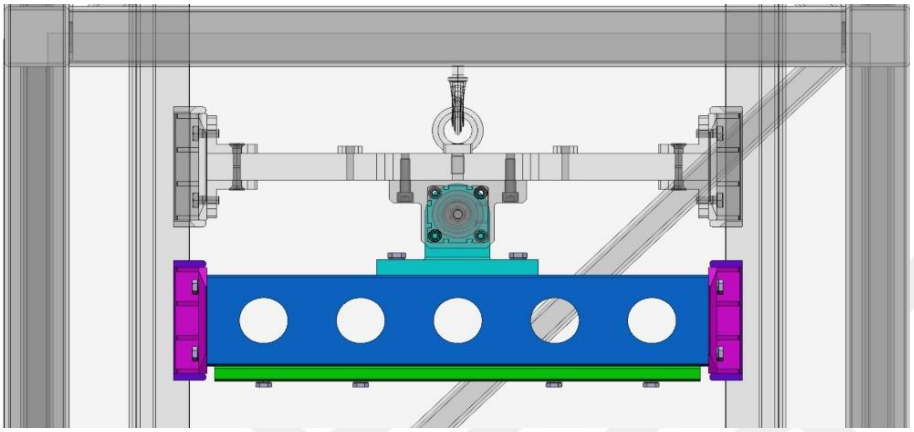
Darbe kütlesi test parçası üzerine düşecek ünitedir. Test düzeneğinde kullanılan darbe kütlesi minimum 65 kg'dır ve her biri 5 kg olan kütleler yardımı ile maksimum 105 kg'a kadar arttırılabilmektedir. Resim 4.2'deki ünite üzerinde kaldırma ünitesinin tarafından taşınabilmesi ve serbest bırakılabilmesi için delikli bir braket bulunmaktadır. Ünitenin her iki yanında ikişer adet kızak yatağı bulunmakta ve ünite bu yataklar üzerinde dengeli bir şekilde hareket edebilmektedir.



Resim 4.3. Orijinal darbe kütlesi

Çizelge 2.3'te paylaşılmış olan, Barbir (2005) tarafından yapılan çalışmada kullanılan darbe kütleleri birinci durum için 36,75 kg ve ikinci durum için 23,85 kg'dır. Bu nedenle düşürme kulesinin orijinal darbe kütlesi yapılan testler için kullanılamamış, kütlesi 23,85 kg ve 36,75 kg olarak ayarlanabilen yeni bir darbe kütlesi tasarlanmış ve üretilmiştir.

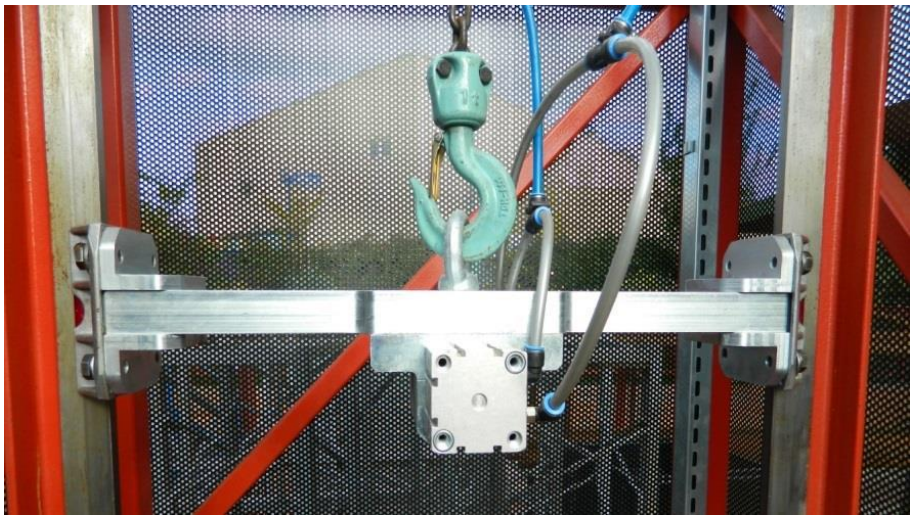
Resim 4.4'te CAD model görseli paylaşılmış olan yeni darbe kütlesine ait teknik resimler EK 5'te paylaşılmıştır. Bu darbe kütlesi de orijinal darbe kütlesi gibi kızak yatakları ile test düzeneğine bağlanmıştır. Yeni darbe kütlesinin altına cıvatalar yardımı ile bağlanan plaka ile beraber toplam kütle 36,75 kg olmaktadır. Bu plaka çıkarıldığında ise darbe kütlesi 23,85 kg olmaktadır.



Resim 4.4. Yeni darbe kütlesi

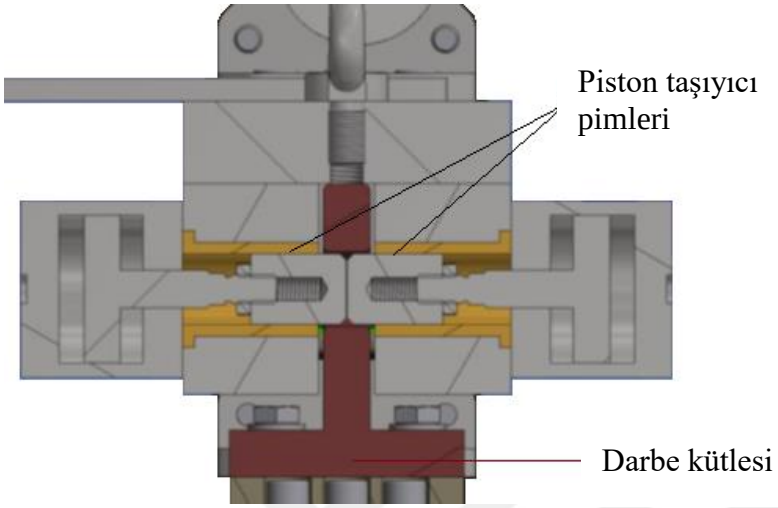
4.1.3. Kaldırma ünitesi

Kaldırma ünitesi darbe ünitesini kaldırmak, taşımak ve istenilen yükseklikten bırakmak amacı ile kullanılmaktadır. Kaldırma ünitesi bir adet vinç, taşıma kızak grubu ve tutma/bırakma grubundan oluşmaktadır.



Resim 4.5. Kaldırma ünitesi

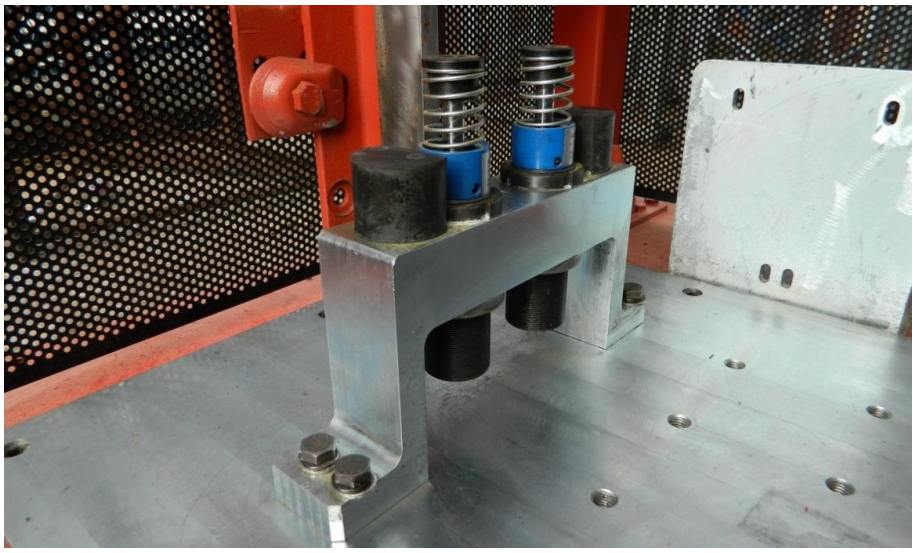
Vinç iskeletin en üstüne bağlıdır. Taşıma kızak grubu yanlarındaki birer adet kızak yatağı ile iskelet üzerindeki kızaklara bağlanır ve üzerinde vincin kancasının bağlanacağı bir mapa bulunur. Tutma/bırakma grubu iki adet pnömatik piston ile darbe kütlesini taşımak ve istenilen yükseklikten bırakmak için kullanılır. Pnömatik piston kesiti Resim 4.6'da verilmiştir.



Resim 4.6. Piston kesiti

4.1.4. Darbe sönümleyiciler

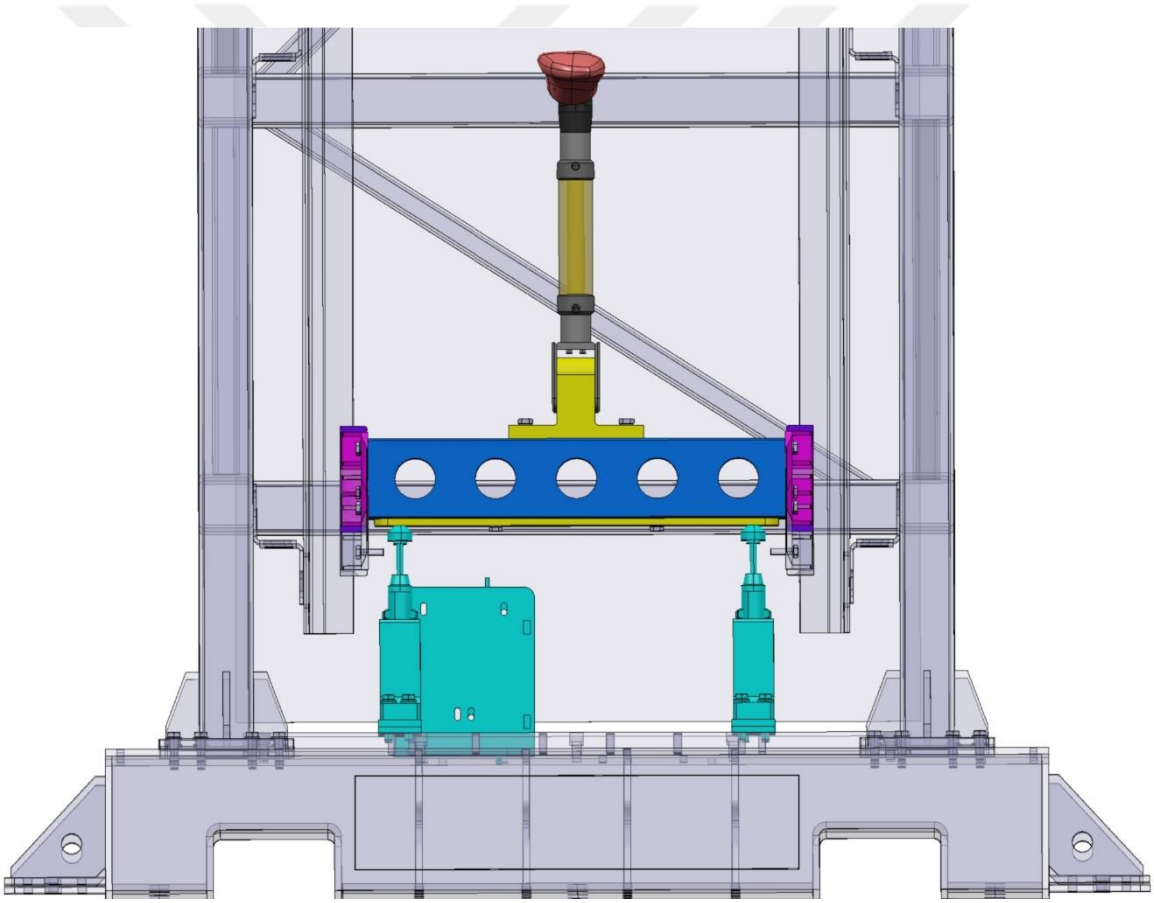
Darbe sönümleyiciler, orijinal test düzeneğinde, darbe ünitesinin test parçalarını kırması sonucu kütlenin iskelet zeminine çarpması sonucunda oluşturacağı enerjiyi sönümlemek amacı ile kullanılmaktadır.



Resim 4.7. Darbe sönümleyiciler

Test düzeneğinde her biri 30 kg'lık bir dirence sahip olan 4 adet darbe sönümleyici bulunmaktadır ve iskelet zemininde bulunan plakaya bağlanmaktadır. Üzerlerinde bulunan ayar somunları yardımı ile yükseklikleri ayarlanabilmektedir. Darbe sönümleyicilerin tamamen kapanmasını engellemek amacı ile bağlantı braketi üzerinde kauçuk takozlar bulunmaktadır.

ABD Savunma Bakanlığı tarafından yayınlanan, askeri sistemler için ergonomi standartlarını tanımlayan, MIL-STD-1472G standardında %50 antropometrik boyutlarda bir insanın ortalama kütlesi yaklaşık 77 kg olarak belirlenmiştir [19]. Barbir ve McKay tarafından yapılan çalışmalarda kullanılan HIII temsili insan maketinin kütlesi de 77,7 kg'dır [10].



Resim 4.8. Temsili insan kütlesi

Barbir ve McKay tarafından gerçekleştirilen testlerde temsili alt bacaklar yatay konumda olduğu için darbe esnasında temsili insan maketlerinin ağırlıkları bir direnç oluşturmaktadır. Bu sebeple yapılan testlerde benzer koşulları yakalamak için tasarlanan temsili alt bacak direkt olarak iskelet zeminine bağlanmamış, darbe sönümleyiciler üzerine temsili alt bacak kütlesi ile birlikte Resim 4.8'de görseli, Ek 6'da teknik resimleri paylaşılan, 43 kg'lık bir

kütle yerleştirilmiştir. Toplam 120 kg'lık bir dirence sahip olan darbe sönümleyiciler, üzerinde bulunan kütleden dolayı insan kütlesini temsil eden 77 kg'lık bir direnç gösterecek hale getirilmiştir.

4.1.5. Kontrol sistemi

Düşürme kulesi kontrol sisteminde bir adet 0/1 pako şalter, bir adet uzaktan kontrol kumandası, bir adet pnömatik valf ve bir adet alıcı bulunmaktadır. Uzaktan kontrol kumandası üzerindeki tuş takımı ve fonksiyonları ile pako şalter Resim 4.9'da paylaşılmıştır.



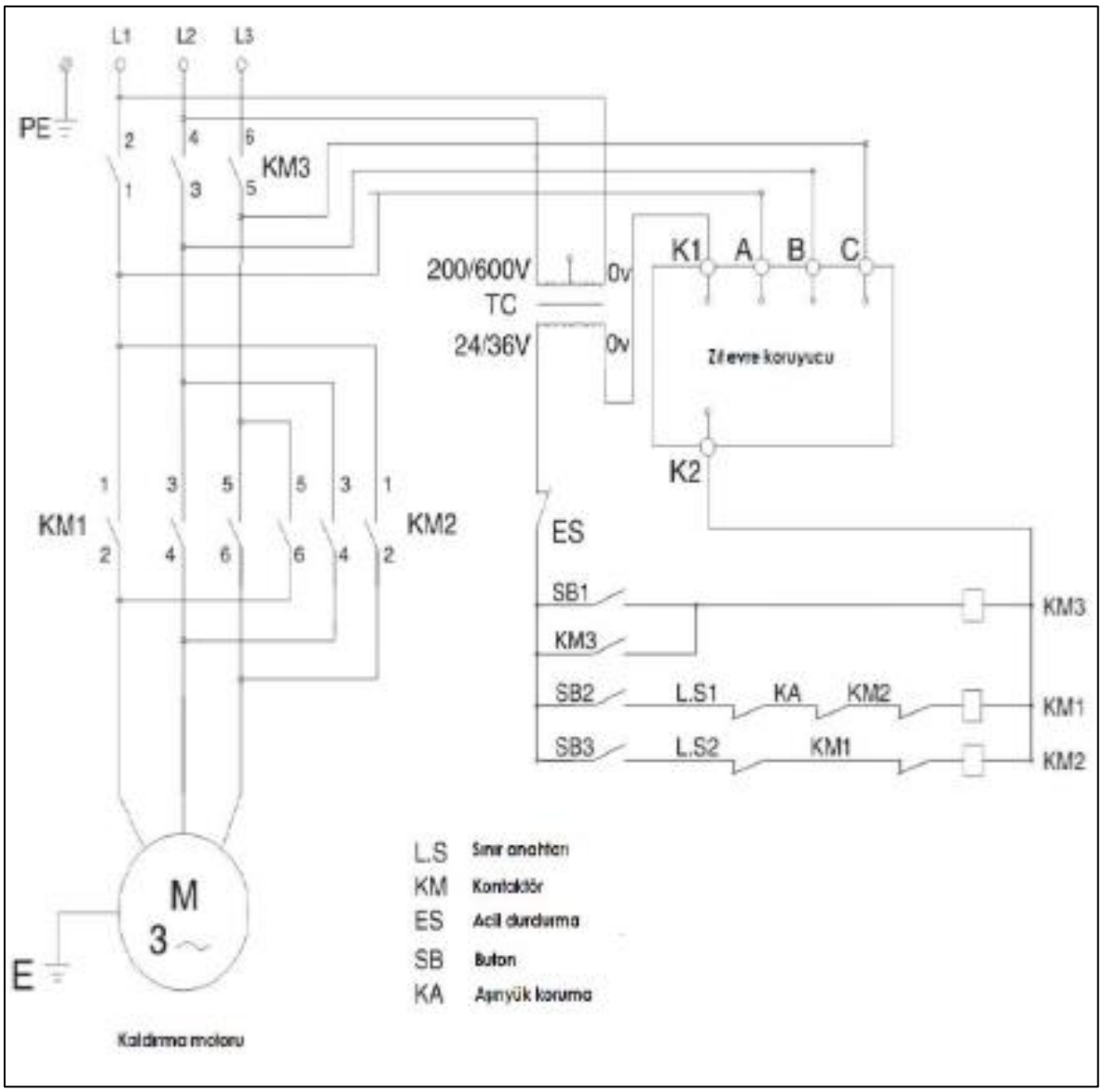
Resim 4.9. Uzaktan kontrol kumandası ve pako şalter

- Pako şalter test düzeneğine elektrik vermeye yarayan anahtardır. Anahtarın 0 konumunda iken sistemde enerji yoktur; 1 konumunda iken ise sisteme enerji verilmektedir.
- Reset butonu ikinci güvenlik birimidir. Sistem açık konumda olsa dahi bu düğme açık konumda ise sistem çalışmaz. Ayrıca sistem çalışır halde iken bu butona basılır ise sistem olduğu yerde duracaktır.
- Start butonu sisteme enerji verilip reset butonu kapatıldıktan sonra sistemin çalıştırılmasını sağlamaktadır.
- Yukarı ve aşağı butonları kaldırma ünitesi ve darbe kütlesinin hareketini sağlamaktadır. Bu butonlar bırakıldığı anda sistem bulunduğu konumda kalmaktadır.

- Tut butonu pnömatik piston pimlerinin darbe kütlesi üzerinde bulunan deliğe girip kütleyi tutmasını, bırak butonu ise belirlenen yükseklikten darbe kütlesinin serbest bırakılarak düşmesini sağlamaktadır.

4.1.6. Elektrik sistemi

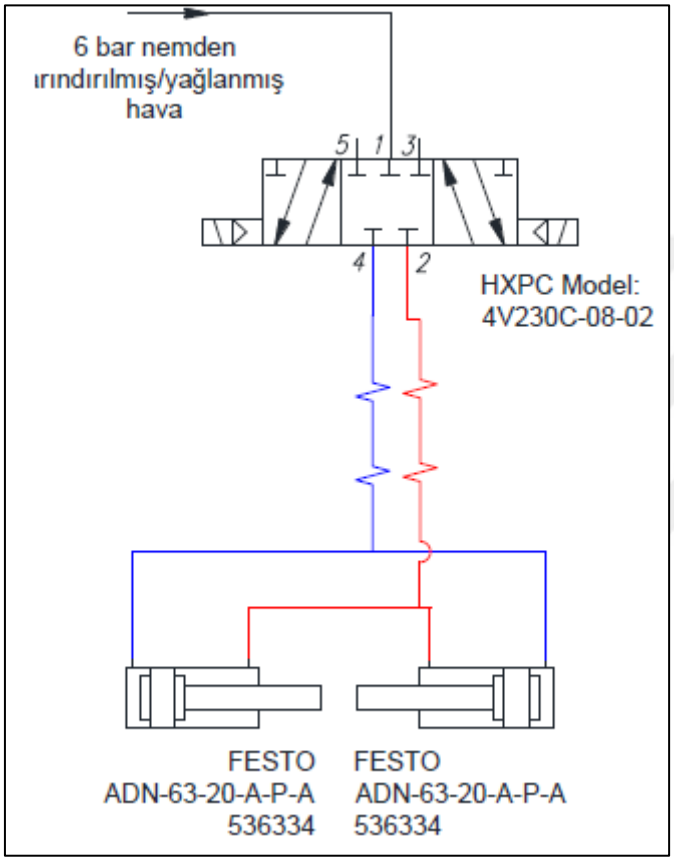
320 V'luk bir çalışma voltajına sahip olan FNSS düşürme kulesi elektrik devre şeması Resim 4.10'da paylaşılmıştır.



Resim 4.10. Düşürme kulesi elektrik devre şeması

4.1.7. Pnömatik sistem

Kaldırma ünitesi üzerinde 2 adet pnömatik piston ve iskelet üzerinde bir adet selenoid yön valfi bulunmaktadır. Sistem 6 bar nemden arındırılmış hava ile çalışmaktadır. Pnömatik sistem devre şeması Resim 4.11'de paylaşılmıştır.



Resim 4.11. Düşürme kulesi pnömatik devre şeması

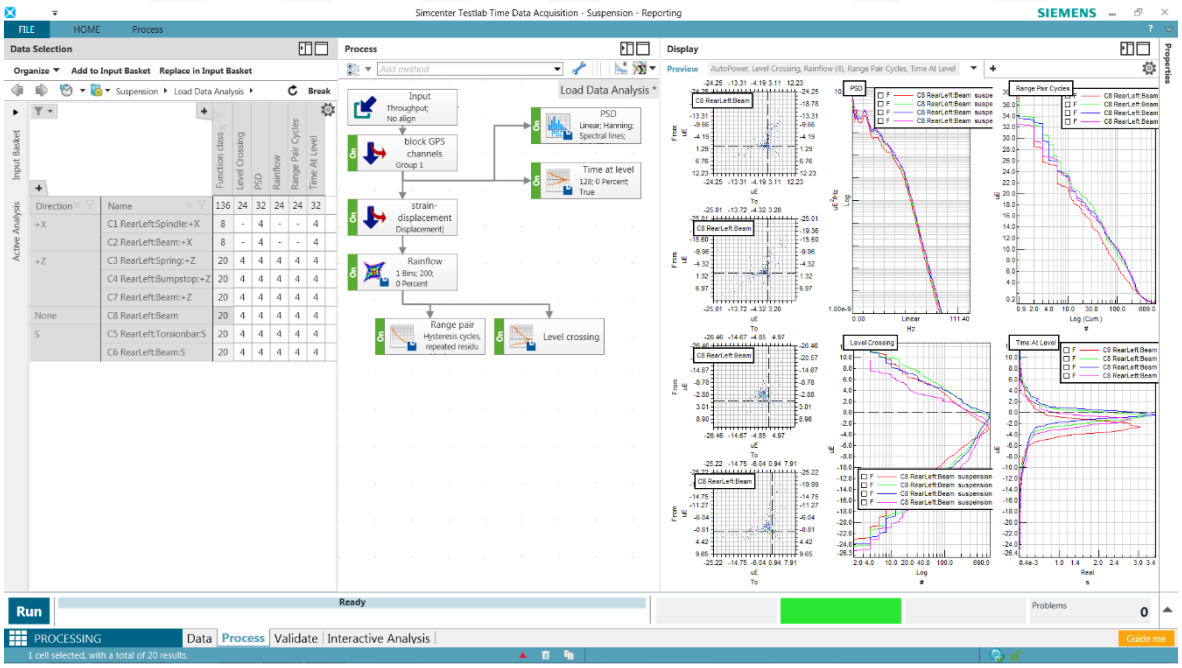
4.2. Veri Toplama Sistemi Seçimi

Yapılan testler sırasında temsili alt bacak tasarımında kullanılan alt ve üst tibia kuvvet sensörlerinden kuvvet-zaman grafiklerinin okunması için bir veri toplama sistemi kullanılmıştır. Veri toplama sistemi olarak, FNSS tarafından gerçekleştirilen mayın patlatma testlerinde temsili insan maketlerinde bulunan sensörlerden elde edilen verilerin işlenmesini sağlayan Siemens firmasının ürünü olan LMS SCADAS Mobile & Recorder modeli seçilmiştir [20].

Testler sırasında alt ve üst tibia kuvvet sensörleri bu veri toplama sistemine bağlanmış, test verileri yine bu veri toplama sistemine ait bir yazılım olan Simcenter Testlab 19 ile elde edilmiştir. Resim 4.12'de veri toplama sistemine ve Resim 4.13'te Simcenter Testlab 19 yazılımının arayüzüne ait görseller paylaşılmıştır. Çizelge 4.1'de veri toplama sistemi teknik özellikleri verilmiştir [21].



Resim 4.12. Siemens LMS SCADAS veri toplama sistemi



Resim 4.13. Siemens Simcenter Testlab 19 yazılım arayüzü

Çizelge 4.1. Veri toplama sistemi teknik özellikleri

FEATURE	VB8-II/III	DB8-II/III	DB8A	DB8B	DB8C/ IIIC
Analog to digital conversion:					
▸ sampling frequency (kHz)	204.8	102.4	51.2	51.2	51.2
▸ alias free bandwidth (kHz)	92	5	5	5	5
Signal conditioning:					
▸ DC bridge	✓	✓	✓	✓	✓
▸ ICP®	✓	✓	-	✓	✓
▸ AC bridge, LVDT and more (see 'Sensor support' below for further details)	✓	✓	-	-	✓
Sensor support:					
▸ DC bridge supporting Wheatstone bridge type sensors (e.g. strain gages in full, half & quarter bridge configurations, DC accelerometer/pressure transducers)	✓	✓	✓	✓	✓
▸ Potentiometers to measure linear displacement	✓	✓	✓	✓	✓
▸ ICP® input (e.g. accelerometers, load cells, strain)	✓	✓	-	✓	✓
▸ TEDS class 1 (ICP sensors) and TEDS class 2 (DC sensors) is supported according to IEEE 1451.4	✓	✓	-	✓	✓
▸ Carrier frequency (AC bridge) supporting strain gages in full, half & quarter bridge configurations and inductive half bridge	✓	✓	-	-	✓
▸ Active sensors such as MEMS or variable capacitance	✓	✓	-	-	✓
▸ LVDT sensors to measure displacement or rotation	✓	✓	-	-	✓
▸ 4-20mA transmitters for measuring pressure or temperature	✓	✓	-	-	✓
Overload & cable check:					
▸ Overload detection	✓	✓	✓	✓	✓
▸ Bridge cable check	✓	✓	✓	✓	✓
▸ ICP cable check	✓	✓	-	✓	✓
▸ LED indicator on front panel	✓	✓	-	-	✓

4.3. Test Koşullarının Belirlenmesi

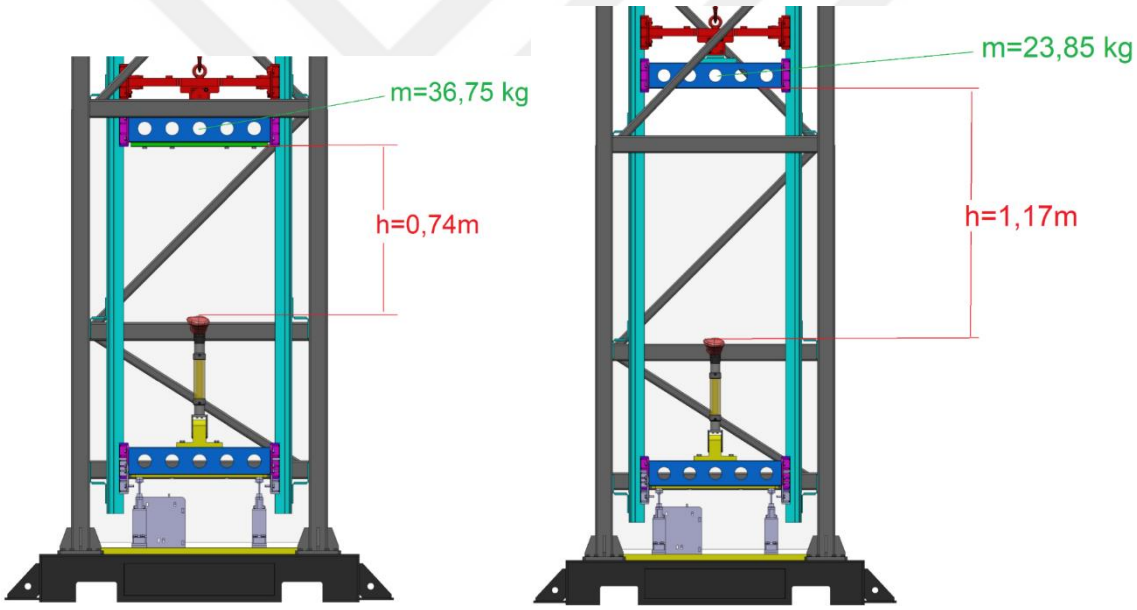
Yapılan testlerin Barbir ve McKay tarafından yapılan çalışmalar ile karşılaştırılabilir olması amaçlanmıştır. Bu sebeple darbe kütlesi ve çarpışma hızları bu çalışmalardaki koşullarla aynıdır. Çarpışma hızları, Çizelge 2.3'te verilmiş olan çarpışma hızlarından, serbest düşme eşitliği (Eş. 4.1) kullanılarak hesaplanmıştır. Birinci ve ikinci durumlara göre belirlenen

darbe kütleleri, çarpışma hız ve yükseklikleri Çizelge 4.2'de, İki çarpışma durumu için test düzeneğinin CAD model görüntüleri ise Resim 4.14'te paylaşılmıştır.

$$V^2 = 2gh \tag{4.1}$$

Çizelge 4.2. Test koşulları

TEST KOŞULU	DARBE KÜTLESİ (m)	DARBE HIZI (V)	DARBE YÜKSEKLİĞİ (h)
1	36,75 kg	3,8 m/s	0,74 m
2	23,85 kg	4,8 m/s	1,17 m



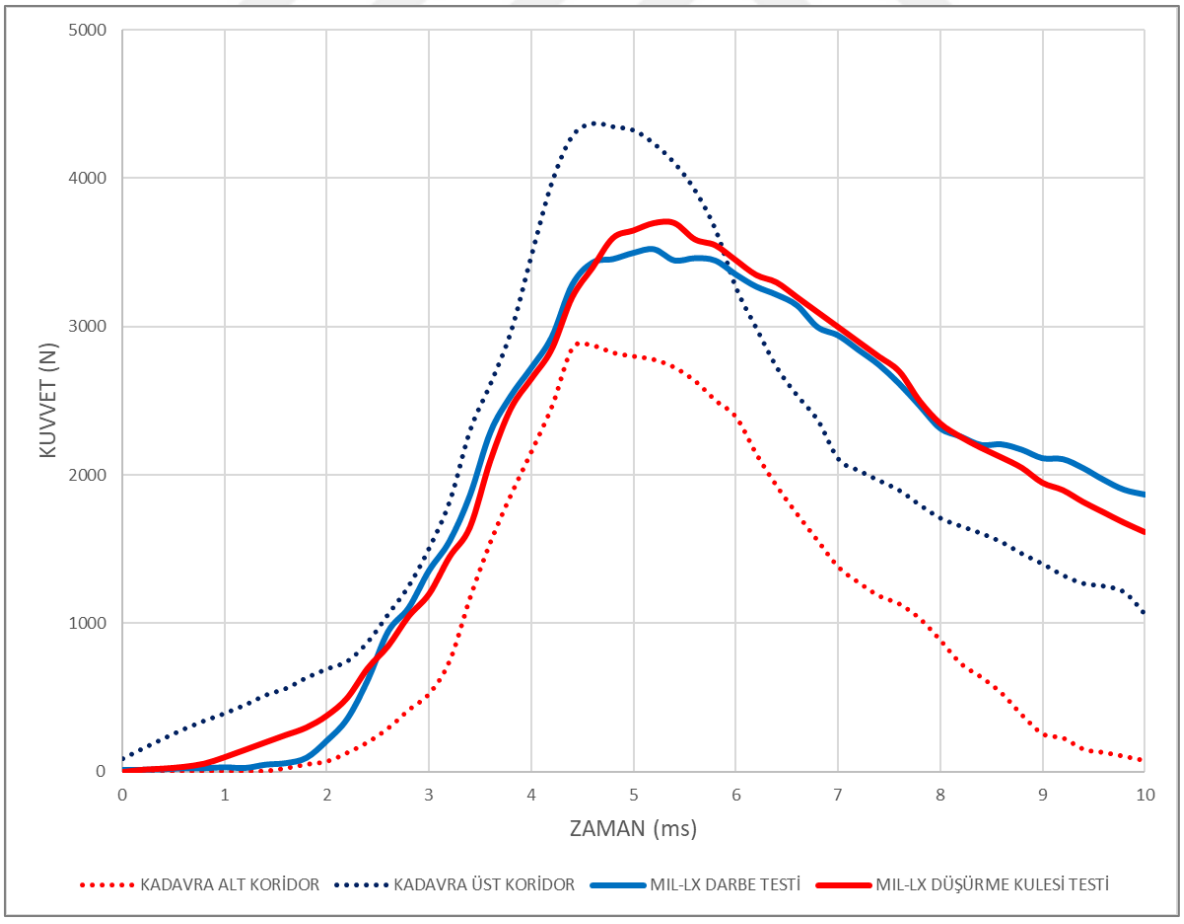
Resim 4.14. Birinci (solda) ve ikinci (sağda) durum için hazırlanan test düzeneği

5. ALT BACAK TESTLERİ VE TASARIM OPTİMİZASYONU

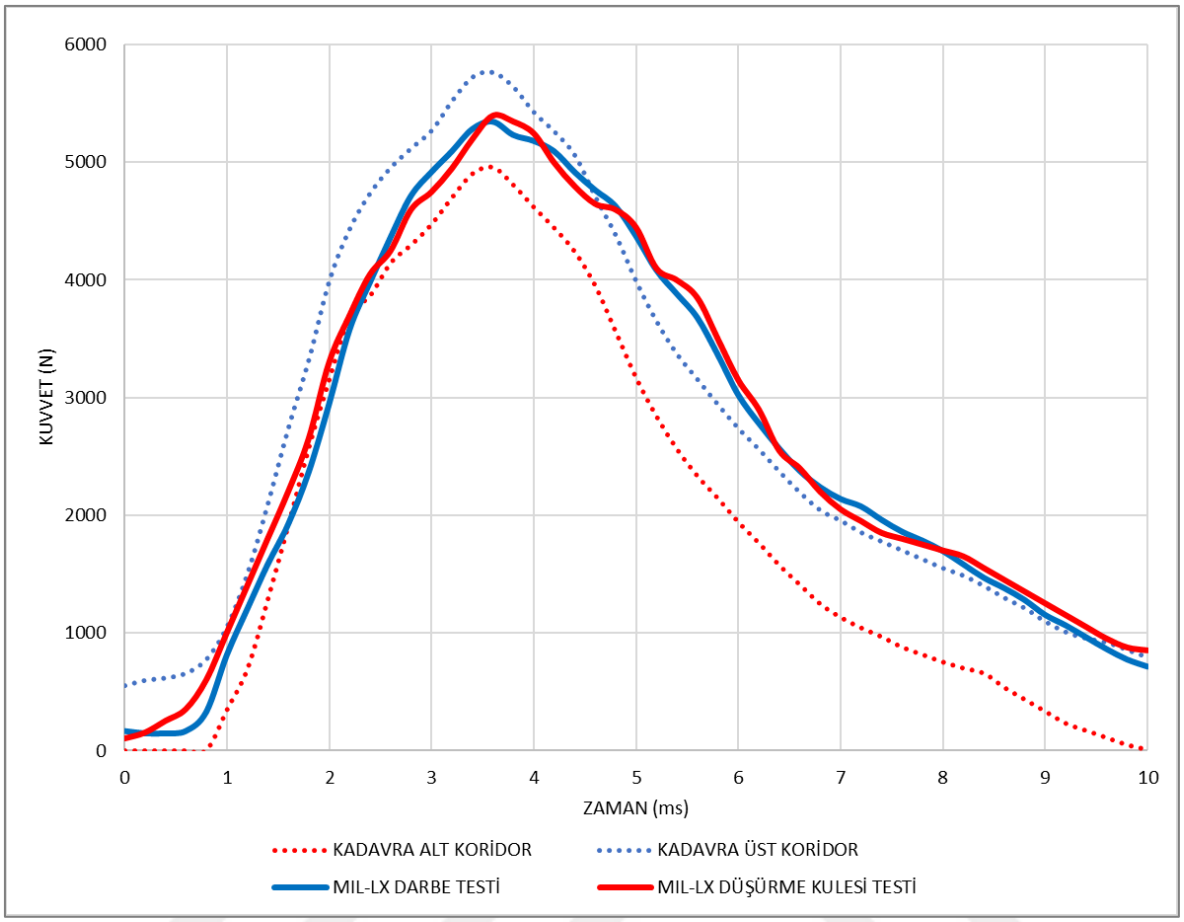
Tasarlanan temsili alt bacağın testlerine başlanmadan önce test düzeneğinin istenilen koşulları sağladığından emin olunması istenmiştir. Test koşullarının uygunluğunun kontrolü için McKay tarafından yapılan çalışma sonuçları referans alınmıştır.

5.1. MIL-LX Testleri

McKay tarafından yapılan testlerde HIII temsili alt bacak gerçek insan davranışını yansıtamadığı için sadece birinci duruma göre test edilmiştir. MIL-LX temsili alt bacak ise Barbir tarafından kadavra testleri ile belirlenen kuvvet koridorlarına yakın davranış sergilediği için her iki durum için de test edilmiştir. Tasarlanan alt bacağın testlerine başlanmadan önce MIL-LX temsili bacak düşürme kulesinde her iki durum için de test edilmiş, test koşullarının uygunluğundan emin olunduktan sonra testlere başlanmıştır.



Şekil 5.1. MIL-LX birinci test koşulu düşürme kulesi kuvvet-zaman grafiği



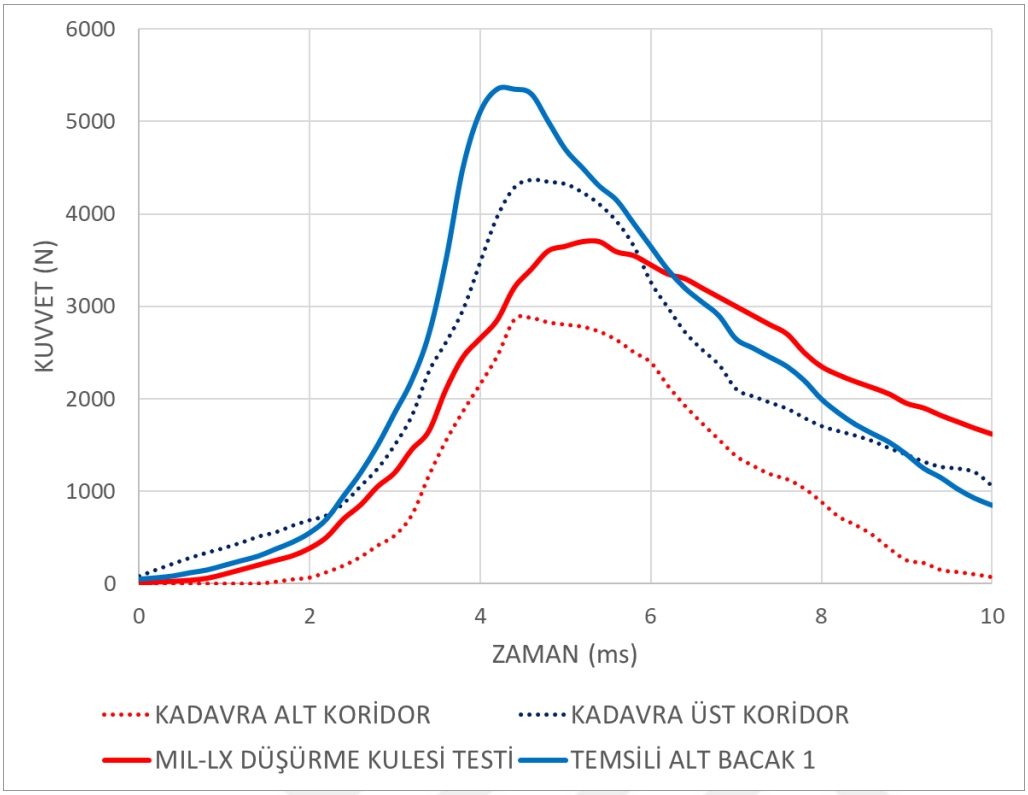
Şekil 5.2. MIL-LX ikinci test koşulu düşürme kulesi kuvvet-zaman grafiği

Birinci ve ikinci durumlara göre düşürme kulesinde MIL-LX ile yapılan test sonuçları Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'de paylaşılmıştır. Elde edilen kuvvet-zaman grafikleri McKay tarafından yapılan çalışmadaki sonuçlara çok yakın olduğu için yapılan testlerin Barbir ve McKay tarafından yapılan testler ile karşılaştırılabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

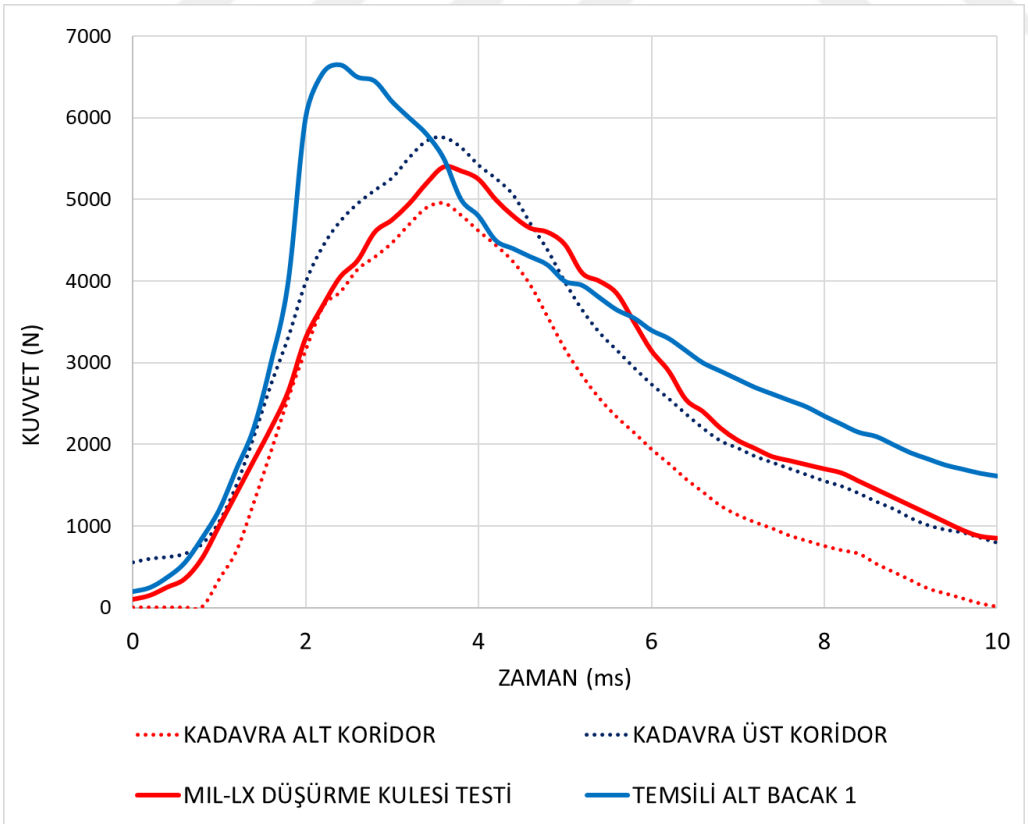
5.2. Temsili Alt Bacak Testleri

Düşürme kulesinde yapılan testler sonucunda elde edilen kuvvet-zaman grafiklerinin darbe test sonuçları ile tutarlı olduğundan emin olunduktan sonra tasarlanan temsili alt bacak testlerine geçilmiştir. Alt bacak tasarımındaki ana değişken olan temsili tibia komplesi iç çapı değiştirilerek her iki koşul için de testler gerçekleştiriliştir.

Ek 3'te teknik resimleri paylaşılan, 3 farklı tibia şaftı tasarımından ilk olarak içi dolu tasarıma ait testler gerçekleştirilmiştir.



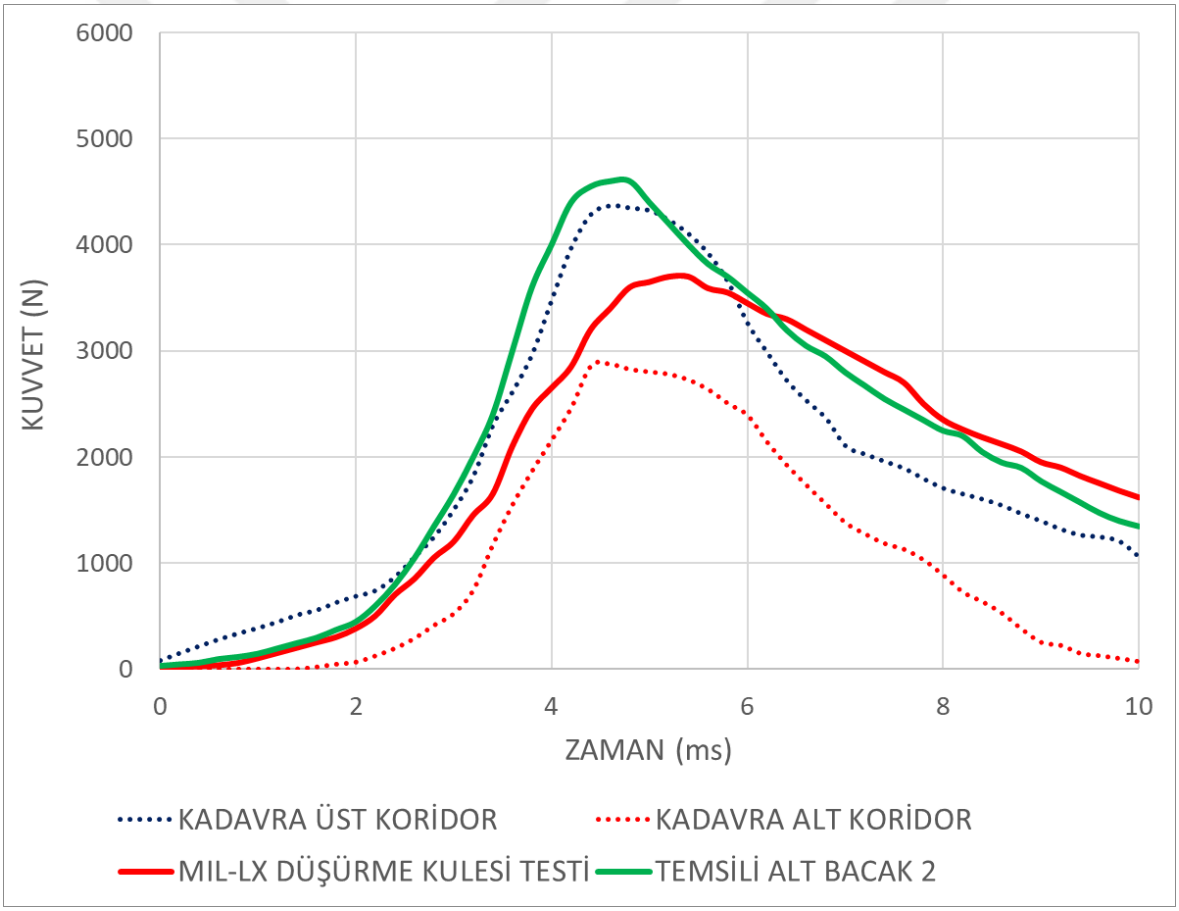
Şekil 5.3. Temsili alt bacak birinci test koşulu kuvvet-zaman grafiği (1. tibia tasarımı)



Şekil 5.4. Temsili alt bacak ikinci test koşulu kuvvet-zaman grafiği (1. tibia tasarımı)

Birinci temsili tibia alternatifi olan içi dolu Vulkollan şaft ile toplam beş adet test gerçekleştirilmiş, testler arasında ise temsili tibia şaftı ve kuvvet sensörleri üzerinde oluşan gerilmeler nedeni ile, tutarlı sonuçlar alabilmek için bir sonraki testin gerçekleştirilmesi için en az bir saat beklenmiştir. Bu test sonuçlarının ortalaması alınarak elde edilen kuvvet-zaman grafikleri Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'te paylaşılmıştır.

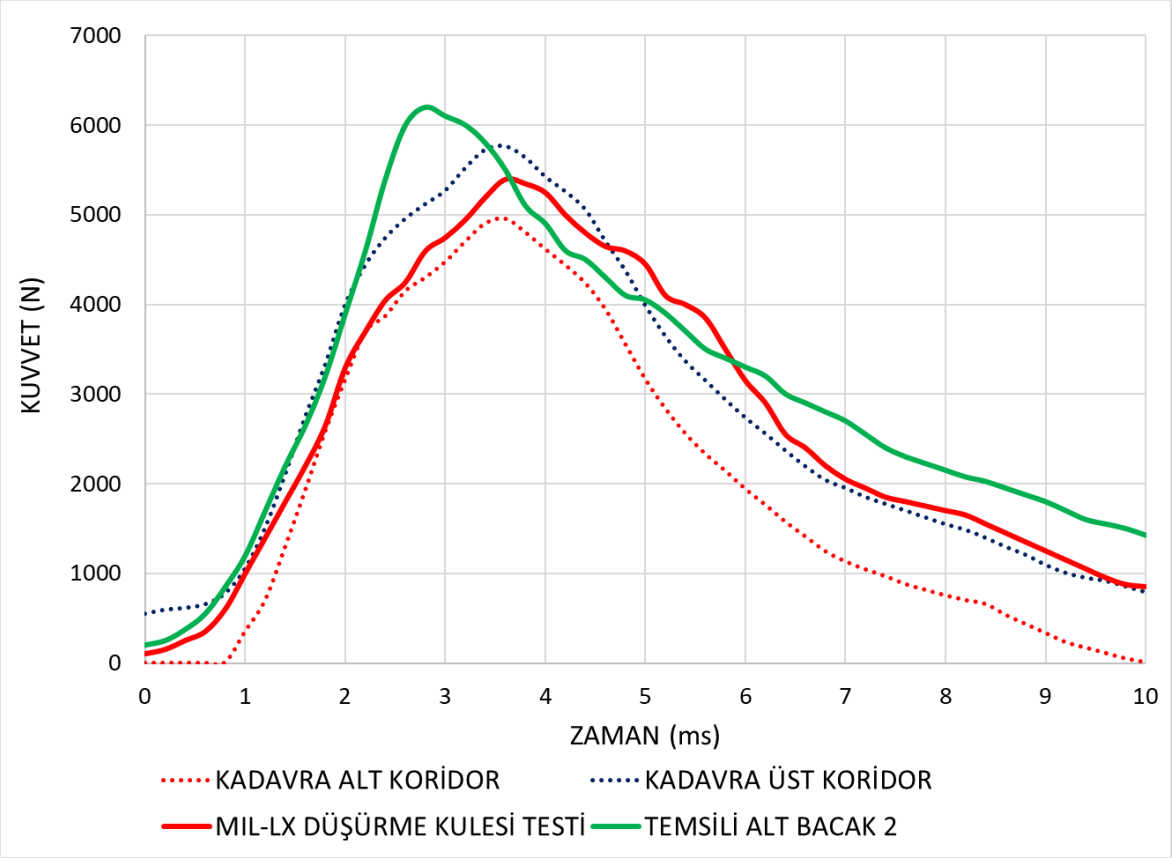
Elde edilen grafikler incelendiğinde hem darbe sonucunda oluşan maksimum kuvvetin MIL-LX temsili alt bacağa göre daha fazla olduğu, hem de maksimum kuvvetin daha erken oluştuğu gözlemlenmiştir. Ayrıca elde edilen kuvvetler çoğunlukla Barbir tarafından oluşturulan kuvvet-zaman koridorlarının dışında kalmıştır.



Şekil 5.5. Temsili alt bacak birinci test koşulu kuvvet-zaman grafiği (2. tibia tasarımı)

Elde edilen sonuçların temsili tibia şaftının gereğinden fazla rijit olmasından kaynaklandığı düşünülerek ikinci tibia şaftı tasarım alternatifi olarak içine 10 mm çapında delik açılmış Vulkollan şaft kullanılmıştır. Bu tasarım alternatifi için de ilk tasarım alternatifindeki gibi beş adet test gerçekleştirilmiş ve testler arasında en az bir saat beklenmiştir. İkinci tibia

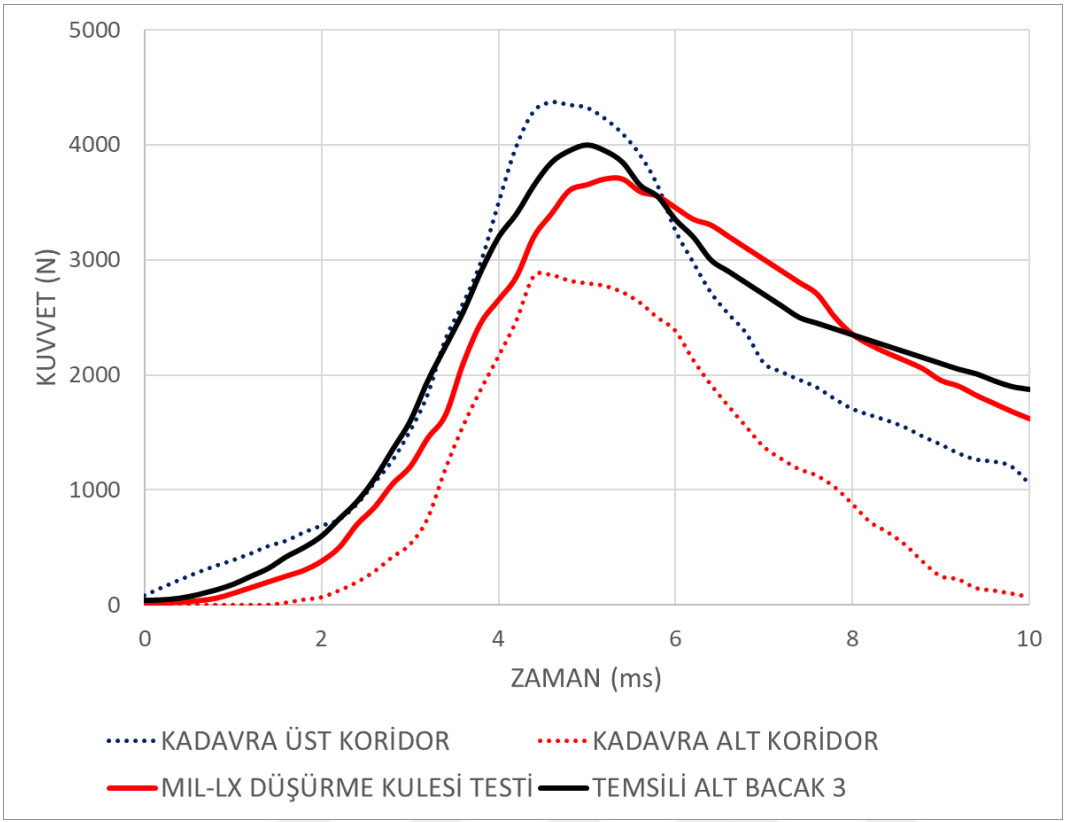
tasarım alternatifi ile yapılan testlerin ortalaması alınarak elde edilmiş olan kuvvet-zaman grafikleri Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da paylaşılmıştır.



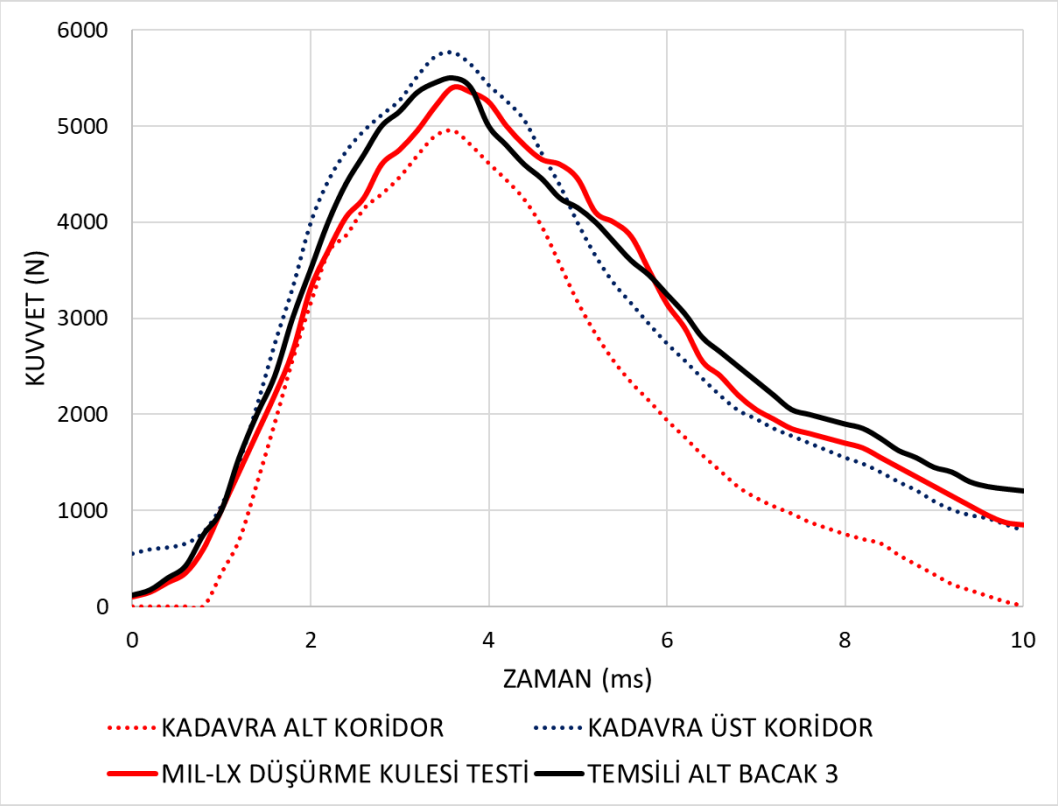
Şekil 5.6. Temsili alt bacak ikinci test koşulu kuvvet-zaman grafiği (2. tibia tasarımı)

İkinci tasarım alternatifinde tibia şaftına 10 mm çapında bir delik eklemenin kuvvet-zaman grafiğinde hem kuvvetlerin düşmesini, hem de maksimum kuvvetin oluşma zamanının gecikerek MIL-LX'e biraz daha yaklaşmasını sağladığı görülmüştür. Grafikler incelendiğinde yine kadavra kuvvet koridorlarının dışında kalındığı, ancak birinci tasarım alternatifine göre daha iyi sonuçlar elde edildiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle temsili tibia şaftının iç delik çapı 10 mm'den 20 mm'ye çıkarılmış ve üçüncü bir temsili tibia şaftı tasarım alternatifi oluşturulmuştur.

Üçüncü tasarım alternatifi için de ilk iki testte yapıldığı gibi test aralarında en az bir saat beklenerek beş test gerçekleştirilmiştir. Yapılan testler sonucunda elde edilen kuvvet-zaman grafikleri Şekil 5.7 ve Şekil 5.8'de paylaşılmıştır.



Şekil 5.7. Temsili alt bacak birinci test koşulu kuvvet-zaman grafiği (3. tibia tasarımı)



Şekil 5.8. Temsili alt bacak ikinci test koşulu kuvvet-zaman grafiği (3. tibia tasarımı)

Üçüncü tasarım alternatifi için birinci durum test grafiği detaylı olarak incelendiğinde 2-3 ms arasında kadavra kuvvet koridorlarının çok az dışında olduğu, bunun haricinde MIL-LX ile benzer davranış gösterdüği görülmektedir. 6 ms'den sonra oluşan kuvvetler yine MIL-LX'teki gibi kuvvet koridorlarının dışında kalmıştır. Tasarlanan temsili alt bacak davranışı 6-8 ms arasında MIL-LX'e göre kuvvet koridorlarına daha yakın, 8 ms'den sonra ise daha uzak seyretmiştir. Kuvvet sensörlerinden okunan maksimum değerler ise MIL-LX temsili bacağa göre yaklaşık 300N daha fazladır.

İkinci durum test grafiğine bakıldığında ise tasarlanan temsili alt bacak davranışının tepe noktasına kadar MIL-LX ile yaklaşık olarak aynı olduğu, tepe noktasından 6 ms'ye kadar MIL-LX'e göre kuvvet koridorlarına daha yakın davranış gösterdiği, 6 ms'den sonra ise koridorlara daha uzak kaldığı görülmektedir. Kuvvet sensörlerinden okunan maksimum değerler ise MIL-LX temsili bacağa göre yaklaşık 100N daha fazladır.

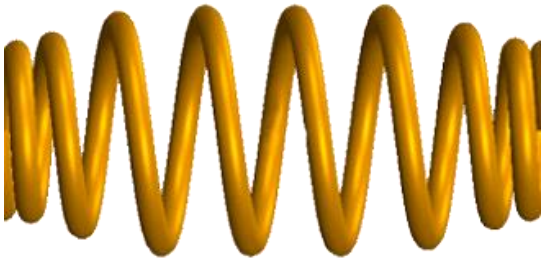
5.3. Temsili Tibia Tasarım Optimizasyonu

Her iki test koşulunda da tepe noktasından bir miktar uzaklaşıldıktan sonra, MIL-LX temsili alt bacakta da olduğu gibi kuvvet koridorlarının dışına çıkılmaktadır. Temsili tibia şaftı maksimum kuvvet noktasına kadar sıkışma yönünde çalışmakta, bu noktadan sonra tekrar eski haline dönmektedir. Geri dönme hızının sıkışma hızından daha düşük olması kuvvet koridorlarından uzaklaşmaya sebep olmaktadır.

Üçüncü tasarım alternatifi davranışının insan davranışına daha yakın olduğu ve MIL-LX ile benzer davranış sergilediği görüldükten sonra geri dönme hızını arttırmaya yönelik çalışmalar yapılmıştır.

Üçüncü tasarım alternatifi kadavra testleri sonucunda elde edilmiş olan kuvvet koridorlarına daha yakın davranış göstermesine rağmen birtakım dezavantajları da bulunmaktadır. Alınan darbe sırasında temsili alt bacağın ağırlık merkezinden dolayı tibia şaftında bir miktar burkulma gözlenmiştir. Bu nedenle sadece temsili tibia iç çapını daha fazla arttırmanın bu eğilme miktarını daha fazla arttıracağı düşünülerek daha farklı bir çözüm alternatifi aranmıştır.

Temsili tibia şaftı bir basma yayı olarak düşünülürse, kesit alanının sabit olmasından dolayı alınan darbeler sonucunda kesit alanı/boy oranına bağlı olarak burkulma ihtimali ortaya çıkmaktadır. Burkulmayı engellemek için Resim 5.1'de paylaşılan fıçı basma yayı geometrisine benzer bir tasarım alternatifi düşünülmüştür.



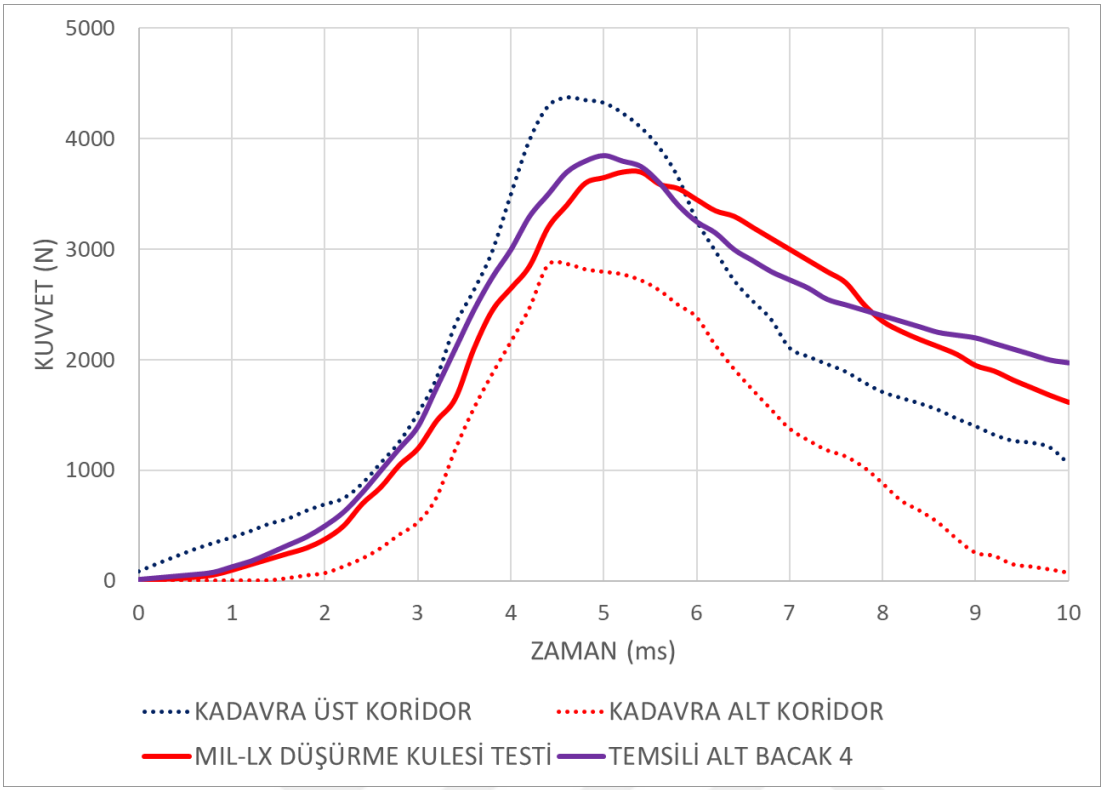
Resim 5.1. Fıçı basma yayı

Burkulmayı engellemek için dördüncü temsili tibia tasarım alternatifi olarak teknik resimleri Ek 7'de, CAD model görseli ise Resim 5.3'te paylaşılan Vulkollan şaft tasarlanmıştır. Bu tasarım alternatifinde elde edilecek kuvvet-zaman grafiklerini alt ve üst kuvvet koridorları arasında tutabilmek için ortala kesit alanı üçüncü temsili tibia tasarımı ile aynı tutulmuştur.

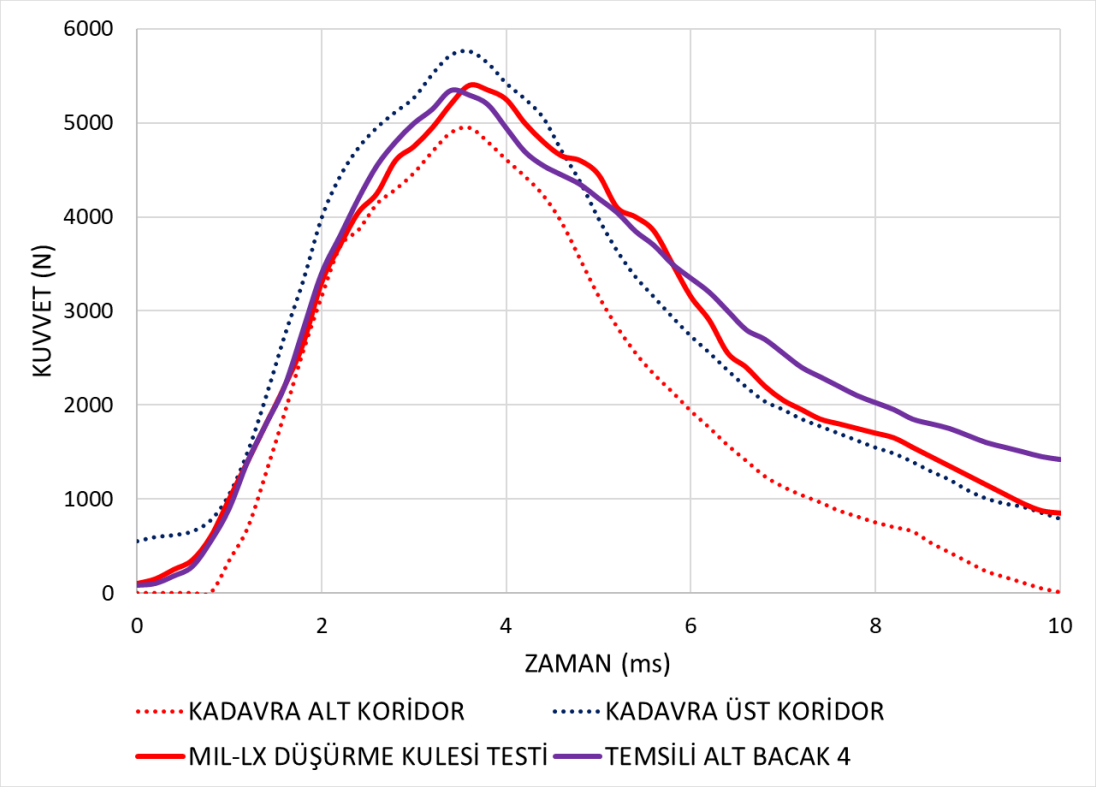


Resim 5.2. Dördüncü tibia tasarım alternatifi

Dördüncü tasarım alternatifi için ilk üç alternatif ile aynı koşullarda yapılan testlere ait kuvvet-zaman grafikleri Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da paylaşılmıştır.



Şekil 5.9. Temsili alt bacak birinci koşul kuvvet-zaman grafiği (4. tibia tasarımı)

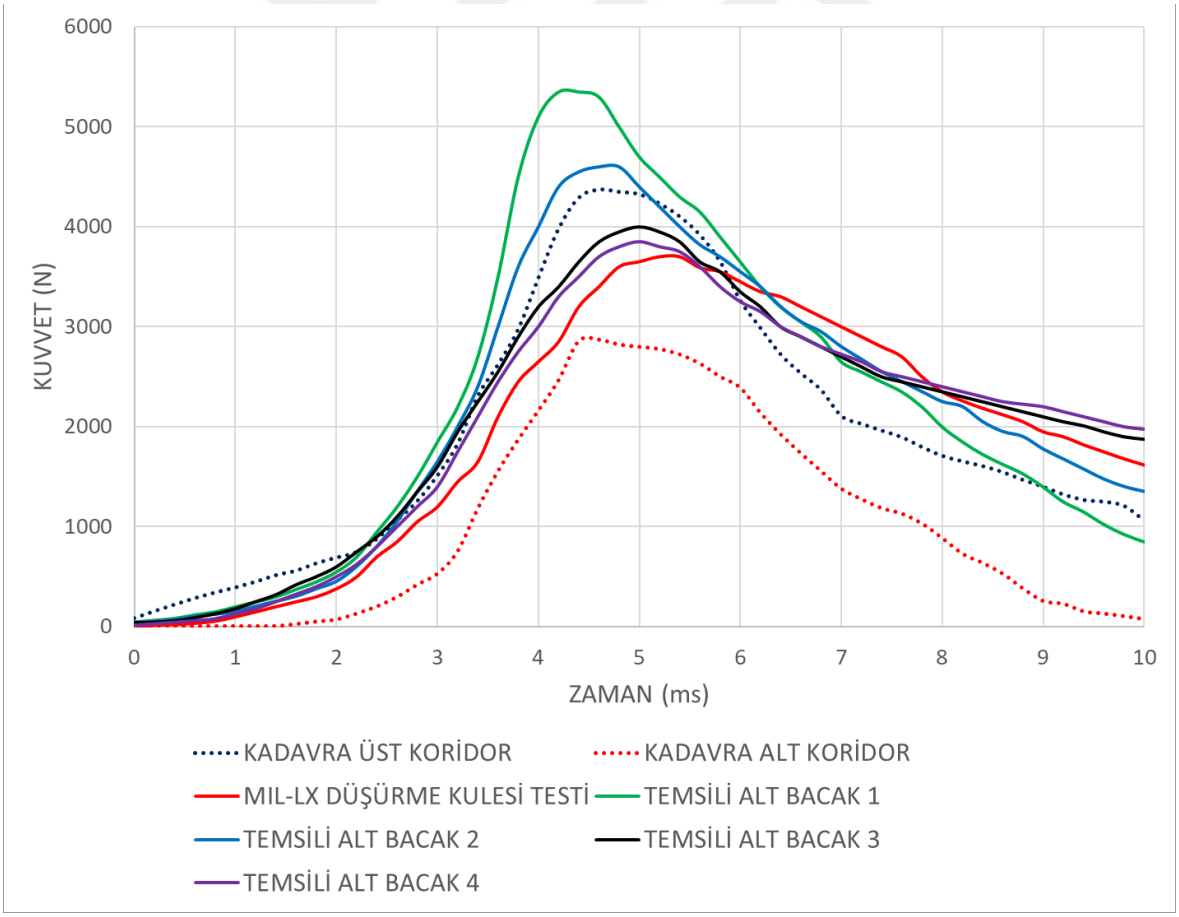


Şekil 5.10. Temsili alt bacak ikinci koşul kuvvet-zaman grafiği (4. tibia tasarımı)

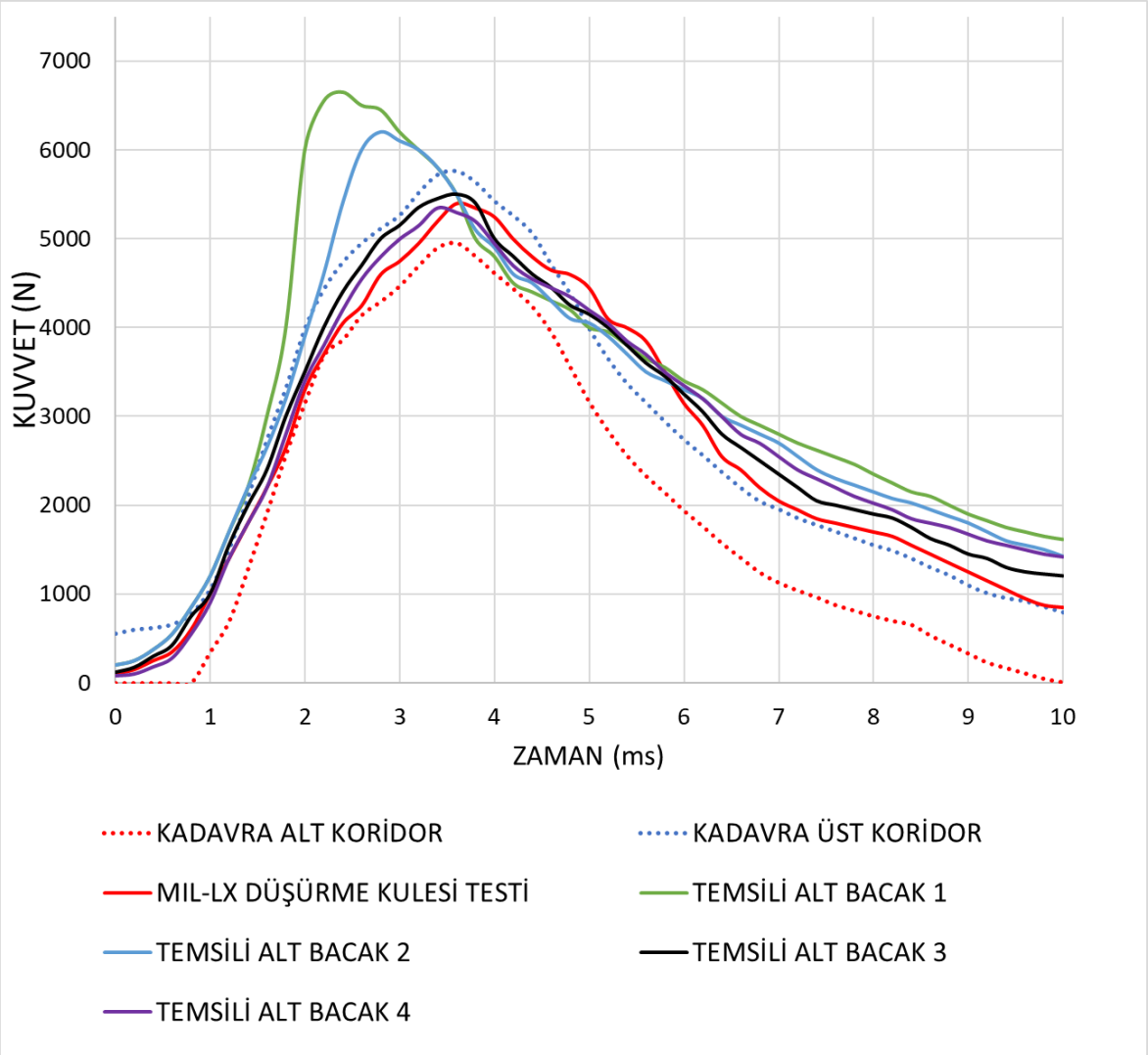
Dördüncü temsili tibia tasarım alternatifi ile yapılan testlerin sonuçları incelendiğinde, üçüncü tasarım alternatifine göre tepe noktasına kadar daha iyi sonuç alındığı, ancak tepe noktasından sonra kuvvet koridorlarından bir miktar uzaklaşıldığı görülmüştür. Kuvvet koridorlarından uzaklaşılmasına rağmen, temsili tibia şaftının darbe esnasında burkulmamaktadır.

5.4. Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Düşürme kulesinde MIL-LX temsili alt bacak ve dört temsili tibia şaft tasarımı ile yapılan testlerin karşılaştırmalı sonuçları Şekil 5.11 ve Şekil 5.12'de paylaşılmıştır. Hem MIL-LX temsili alt bacak ile, hem de tasarlanan temsili alt bacak ile gerçekleştirilen testlerde üst tibia kuvvet sensörlerinden sağlıklı sonuçlar alınamamıştır. Bu nedenle değerlendirmeler sadece alt tibia kuvvet sensörlerinden alınan veriler üzerinden yapılmıştır.



Şekil 5.11. Temsili alt bacak birinci koşul kuvvet-zaman grafikleri



Şekil 5.12. Temsili alt bacak ikinci koşul kuvvet-zaman grafikleri

Test sonuçları incelendiğinde hiçbir tasarım alternatifinin tepe noktasından bir müddet sonra kuvvet koridorlarında davranış gösteremediği, ancak insan davranışına en yakın davranış gösteren temsili alt bacağın üç ve dördüncü tasarım alternatifleri bacaklar olduğu görülmektedir. Dördüncü temsili tibia şaftının daha yüksek burkulma direncine sahip olması ve oluşan maksimum kuvvetin her iki test koşulunda da kuvvet koridorları içinde olmasından dolayı bu tasarım alternatifi nihai ürün olarak seçilmiştir.

AEP-55 prosedüründe MIL-LX temsili alt bacak için tanımlanan alt bacak kuvveti limit değeri 2,6 kN olarak belirlenmiştir. Tasarlanan temsili alt bacak ile yapılan test sonuçlarına göre her iki test koşulu için elde edilen maksimum kuvvetlerin MIL-LX temsili bacağa göre yaklaşık 200 N daha fazla olduğu görülmektedir. Bu sebeple tasarlanan temsili alt bacak için limit kuvvet değeri 2.8 kN olarak belirlenmiştir.

6. ÜST VÜCUT KOMPLESİ TASARIMI

Alt bacak komplesi tasarım ve testleri tamamlandıktan sonra üst vücut komplesi tasarımına başlanmıştır. Böylece tasarlanan temsili insan maketi mayın testlerinde antropomorfik test mankeni (ATM) kullanılmayan koltuklar üzerinde konumlandırılabilecek ve testler sırasında daha çok bölgeden veri toplanabilecektir.

Üst vücut komplesinin görevleri test sırasında insan ağırlığını temsil etmek, araç personeli üzerine etki eden ivmelerin ölçülmesini sağlamak ve alt bacak komplesi için bir bağlantı arayüzü oluşturmaktır.

Üst vücut komplesi temel olarak üst vücut kaynaklı komplesi, kauçuk destek elemanları, üst bacak komplesi ve bir adet ivmeölçerden oluşmaktadır. Resim 6.1'de üst vücut komplesi ve alt bacak komplesini içeren temsili insan maketine ait CAD model görseli paylaşılmıştır.



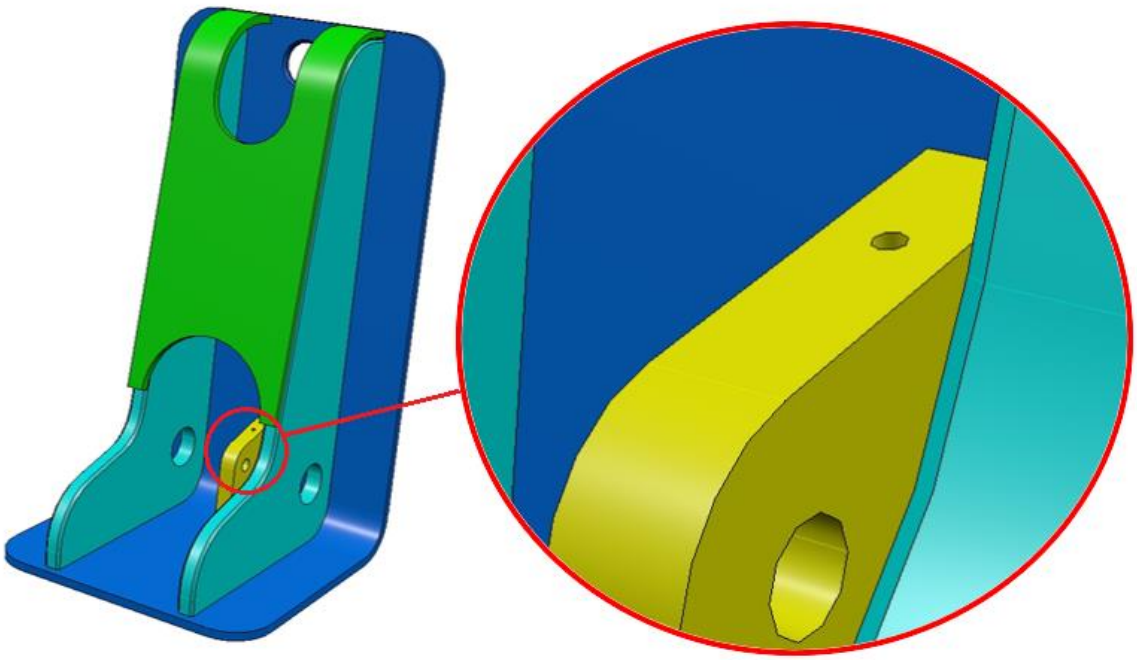
Resim 6.1. Temsili insan maketi

Tasarlanan temsili insan maketinin ana görevi araç personeli omurgasına etkiyen ivmeleri ve en kritik vücut bölgesi olan alt bacaklara etkiyen kuvvetleri ölçmek olduğu için tasarım modelinde birtakım basitleştirmeler yapılmıştır:

- Tasarım modeline baş ve boyun bölgeleri eklenmemiştir. Bu vücut bölgelerinin ağırlıkları üst vücut bölgesine eklenmiştir.
- Tasarlanan temsili insan maketine kollar eklenmemiş, kol ağırlıkları üst vücut bölgesine eklenmiştir.
- Tasarım maliyetini düşürmek amacı ile tek bacaklı bir model tasarlanmıştır. Temsili insan maketinin ortasında konumlandırılan bacak sayesinde sağ ve sol bacaklara etkiyen kuvvetlerin ortalama değeri elde edilebilecektir.

6.1. Üst Vücut Kaynaklı Komplesi

Üst vücut kaynaklı komplesi temsili insan maketinin koltuk üzerinde konumlandırılmasını sağlayan ve bacak komplesini taşıyan bir iskelet vazifesi görmektedir. Üst vücut komplesine ait teknik resimler Ek 8'de; CAD model görseli ise Resim 6.2'de paylaşılmıştır.



Resim 6.2. Üst vücut kaynaklı komplesi ve ivmeölçer arayüzü

Üst vücut kaynaklı komplesi farklı geometrilerde alüminyum plakaların kaynaklı birleştirme yöntemi ile bir araya gelmesi ile oluşmaktadır. Üst vücut kaynaklı komplesine temsili insan maketinin vinç yardımı ile taşınması ve araç içerisinde konumlandırılması amacı ile bir taşıma arayüzü eklenmiştir. Omurga bölgesinde konumlandırılmış bir ivmeölçer arayüzü sayesinde bu bölgeye bir ivmeölçer bağlanmakta ve araç personeline dikey yönde etki eden ivmeler ölçülebilmektedir.

6.2. Kauçuk Destek Elemanları

Temsili insan maketi koltuk üzerinde konumlandırıldığında emniyet kemerleri ile sabitlenmektedir. Üst vücut kaynaklı komplesi alt, arka ve yan yüzeylerine yapıştırılan kauçuk destek elemanları metalik bir yapıya sahip olan üst vücut kaynaklı komplesinin koltuğa zarar vermesini engellemektedir. Ayrıca emniyet kemerlerinin gerdirilmesi sırasında bir miktar ezilerek hem temsili insan maketinin daha iyi pozisyonlanmasını sağlamakta, hem de emniyet kemerlerinin patlama esnasında kesilmesini engellemektedir.



Resim 6.3. Üst vücut komplesi

Kauçuk destek elemanları ve üst vücut komplesi teknik resimleri Ek 9'da, kauçuk destek elemanlarının üst vücut kaynaklı komplesine yapıştırılması ile oluşan üst vücut komplesi CAD model görseli ise Resim 6.3'te paylaşılmıştır.

6.3. Üst Bacak Komplesi

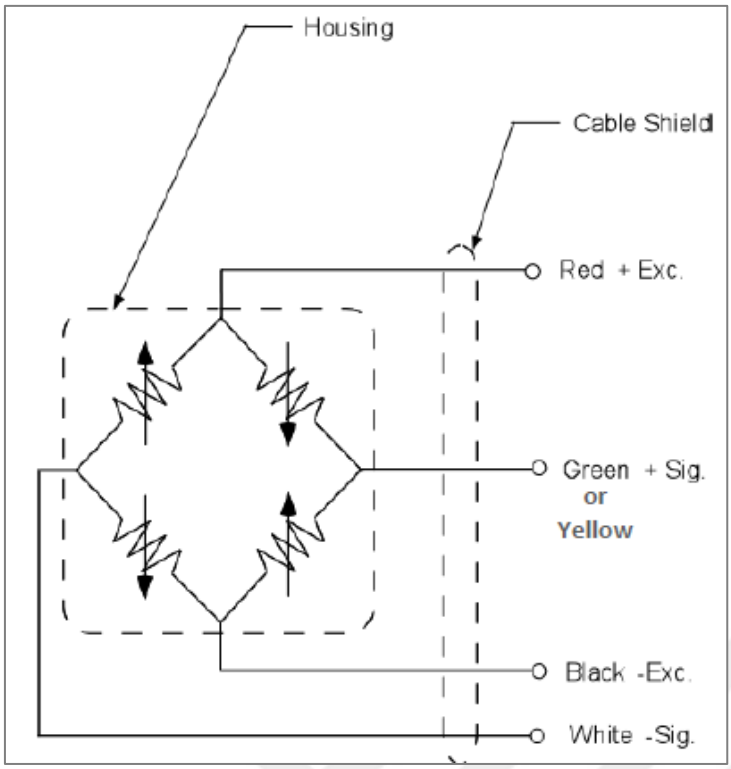
Üst bacak komplesi bir ucundan üst vücut komplesine, diğer ucundan ise alt bacak komplesi bağlı olan, insan bacağına yakın ağırlıkta bir çelik blok olarak tasarlanmıştır. Üzerinde herhangi bir sensör bulunmayan üst bacak komplesi teknik resmi Ek 10'da, CAD model görseli ise Resim 6.4'te paylaşılmıştır.



Resim 6.4. Üst bacak komplesi

6.4. İvmeölçer

Temsili üst vücut komplesinde bulunan arayüz üzerine konumlandırılan ivmeölçer ile araç personeline patlama sonucunda etki eden dikey yöndeki ivme ölçülmektedir. Sistem üzerinde kullanılan piezorezistif (PR) ivmeölçer teknik özellikleri Ek 11'de, ivmeölçer devre şeması ise Resim 6.5'te paylaşılmıştır.



Resim 6.5. PR ivmeölçer devre şeması

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Zırhlı askeri araçlarda gerçekleştirilen mayın testleri sırasında araç personeli davranışını temsil eden, koltuklar üzerinde konumlandırılan, antropomorfik test mankenlerinin yüksek maliyetlerinden dolayı tüm koltuklarda bu mankenlerin kullanılması mümkün olmamaktadır. Bu çalışmada tasarlanan temsili insan maketi sayesinde antropomorfik test mankeni kullanılamayan koltuk bölgelerinden de düşük maliyetle veri alınması mümkün olacak ve araç tasarım ve analiz çalışmalarına daha fazla bilgi sağlanabilecektir.

Temsili alt bacaklar ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalarda kullanılan test düzenekleri bu çalışmadaki test düzeneğine göre birtakım farklar içermektedir. Diğer test düzeneklerinde alt bacak ya yatay olarak konumlandırılmış ve darbe yatay olarak uygulanmış, ya da dikey olarak konumlandırılmış ve darbe aşağıdan yukarıya doğru uygulanmıştır. Bu çalışmalarda insan kütlesini temsil etmek adına temsili alt bacaklar bir kütleye bağlanmıştır. Bu çalışmada kullanılan test düzeneğinde ise darbe yukarıdan aşağıya doğru uygulanmış ve insan kütlesi yaylar vasıtası ile temsil edilmiştir. Bu yeni test yöntemi ile gerçekleştirilen testler daha önce yapılmış olan çalışmalar ile aynı sonuçları verebilmektedir.

Bu çalışmada tasarlanan temsili insan maketi %50 antropomorfik boyutlarda bir erkek ağırlığında, araç personeline patlama sonucunda dikey yönde etki eden ivmeyi ve bacak kuvvetlerini ölçebilen, ayrıca maliyet ve üretim kolaylığı açısından basitleştirilmiş bir yapıya sahiptir. Daha önce yapılmış olan çalışmalar ile aynı koşullarda test edilen temsili insan maketinin insan davranışına yakın davranış sergilediği görülmüştür.

Temsili alt bacak testlerindeki değişken sayısını azaltmak ve daha önce yapılmış olan çalışmalar ile sağlıklı bir karşılaştırma yapabilmek için MIL-LX temsili alt bacağın ayak komplesi bu çalışmada tasarlanan temsili alt bacak komplesinde de kullanılmıştır. İleride yapılacak çalışmalar ile aynı davranışı sergileyecek bir ayak komplesi tasarımı yapılması planlanmaktadır.

Düşürme kulesinde hem MIL-LX temsili alt bacak ile, hem de tasarlanan temsili alt bacak ile gerçekleştirilen testlerde üst tibia kuvvet sensörlerinden sağlıklı sonuçlar alınamamıştır. Bu nedenle değerlendirmeler sadece alt tibia kuvvet sensörlerinden alınan veriler üzerinden

yapılmıştır. AEP-55 prosedüründe tibia bölgesinde alt-üst ayrımı yapılmadığı için temsili alt bacaktan üst tibia kuvvet sensörü çıkarılmış ve yerine aynı boyutlarda ve aynı bağlantı arayüzlerine sahip bir blok eklenmiştir. Nihai üründe sadece alt tibia kuvvet sensörü kullanılacaktır.

Tasarlanan üst vücut ve üst bacak bölgelerinin rijit yapıda olmasından dolayı bu parçalar için herhangi bir test yapılmamış, dolayısı ile bu parçaların üretimi henüz yapılmamıştır. İlerleyen aşamalarda bu parçaların da üretimi tamamlanacak ve mayın testlerinde kullanılmaya başlanacaktır.

KAYNAKLAR

1. United Nations Mine Action Service. (2019). *Glossary of Mine Action Terms, Definitions and Abbreviations; IMAS 04.10, 2nd Edition, Amendment 10. New York,* 8.

2. North Atlantic Treaty Organization. (2007). *Test Methodology for Protection of Vehicle Occupants Against Anti-Vehicular Landmine Effects.*; *RTO-TR-HFM- 090*.

3. İnternet: Brosnan, M. (January 2018). How Britain Invented the Tank in the First World War. Web: https://tanks-encyclopedia.com/ww1/gb/tank_MkI.php, Son Erişim Tarihi: 24.12.2019.

4. İnternet: Schneck, W. C. (November 1998). The Origins of Military Mines, Part II. Web: https://fas.org/man/dod-101/sys/land/docs/981100-schneck.htm, Son Erişim Tarihi: 22.12.2019.

5. Pandelani, T. (2014). *An Investigation of the Forces within the Tibiae at Typical Blast Loading Rates – With Different Boots*, Master's Thesis, University of Cape Town.

6. Kania, E. (2009). *Developmental Tendency of Landmine Protection in Vehicle*, Modelling and Optimization of Physical Systems, 67-72, Gliwice.

7. North Atlantic Treaty Organization. (May 2004). *Protection Levels for Occupants of Logistic and Light Armoured Vehicles: STANAG 4569*.

8. North Atlantic Treaty Organization. (November 2010). *Procedures for Evaluating the Protection Level of Armoured Vehicles: AEP-55 Volume 2 Edition 2.*

9. İnternet: Humanetics ATD Antropomorphic Test Devices: *Hybrid II 50th Male ATD*. Web: https://www.humaneticsatd.com/crash-test-dummies/frontal-impact/hii-50m, Son Erişim Tarihi:14.12.2019.

10. İnternet: Humanetics ATD Antropomorphic Test Devices: *Hybrid III 50th Male ATD*. Web: https://www.humaneticsatd.com/crash-test-dummies/frontal-impact/hiii-50m, Son Erişim Tarihi: 14.12.2019.

11. İnternet: Humanetics ATD Antropomorphic Test Devices: *ES-2re 50th Male Side Impact*. Web: https://www.humaneticsatd.com/crash-test-dummies/side-impact/es-2re, Son Erişim Tarihi: 14.12.2019.

12. İnternet: Humanetics ATD Antropomorphic Test Devices: *Military Lower Extremity (50th Male) Leg*. Web: https://www.humaneticsatd.com/crash-test-dummies/aerospace-military/mil-lx-legform, Son Erişim Tarihi: 24.12.2019.

13. İnternet: Humanetics ATD Antropomorphic Test Devices: *THOR Lower Extremity (50th Male) Leg*. Web: https://www.humaneticsatd.com/crash-test-dummies/leg-forms/thor-lx, Son Erişim Tarihi: 24.12.2019.

14. Barbir, A. (2005). *Validation of lower limb surrogates as injury assessment tools in floor impacts due to anti-vehicular landmine explosions*, Master's Thesis, Wayne State University, Detroit.

15. McKay, B. J. (2010). *Development of lower extremity injury criteria and biomechanical surrogate to evaluate military vehicle occupant injury during an explosive blast event*, Ph. D. Thesis, Wayne State University, Detroit.

16. Yoganandan, N., Pintar, F.A., Boynton, M., Begeman, P., Prasad, P., Kuppa, S.M., Morgan, R.M., Eppinger, R. (1996). *Dynamic Axial Tolerance of the Human Foot-Ankle Complex*, 40th Stapp Car Crash Conference, Albuquerque, New Mexico.

17. Kemper, A., McNally, C., Kennedy, E., Manoogian, S., Duma, S. (2007). *The material properties of human tibia cortical bone in tension and compression: implacations for the tibia index*, 20th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, Lyon, France.

18. İnternet: Bayer Material Science, *Vulkollan Datasheet*. Web: https://www.polyplasty.cz/files/polyuretan/bayer-vulkollan-broschure-.pdf, Son Erişim Tarihi: 06.12.2019.

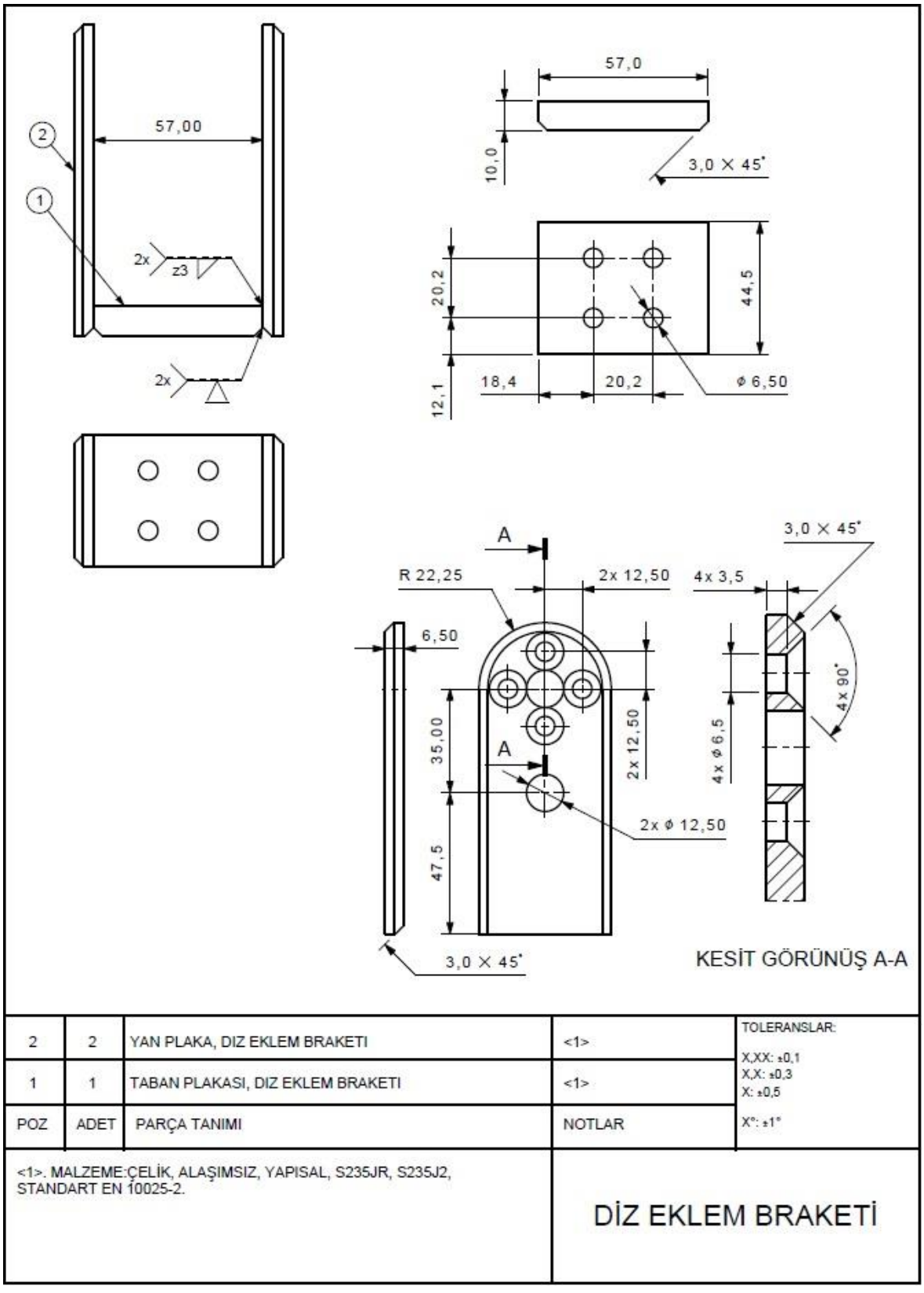
19. United States of America, Department of Defense. (January 2012). *Design Criteria Standard, Human Engineering; MIL-STD-1472-G.*

20. İnternet: Siemens PLM Software, *LMS SCADAS Mobile & Recorder Data Acqusition System Datasheet.* Web: http://www.dta.com.tr/pdf/brosur/siemens_lms/Siemens-PLM-LMS-SCADAS_brosur.pdf, Son Erişim Tarihi: 05.03.2019.

21. İnternet: Siemens PLM Software, *Simcenter Testlab 2019 Software*. Web: https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/simcenter/testlab.html, Son Erişim Tarihi: 25.03.2019.

EKLER

EK-1. Diz eklem braketi teknik resmi



Resim 1.1. Diz eklem braketi teknik resmi

EK-2. Kuvvet sensörleri teknik özellikleri

Technical Data

Axes		F_x	F_y	F_z	M_x	M_y
Measuring range	kN	11	11	11		
	N·m				400	400
Bridge output voltage (typ.)	mV/V	2.0	2.0	1.0	2.8	2.8
Sensitivity (typ.)	µV/V/kN	180	180	90		
	µV/V/N·m				8.0	8.0
Bridge resistance	Ω	350	350	700	350	350
Ultimate load, static	%	150	150	150	150	150

General Data

Supply voltage[1)]	VDC	2.5 ... 15
Insulation resistance[2)]	GΩ	>10
Operating temperautre range	°C	–20 ... 80
Storage temperature range	°C	–30 ... 90
Amplitude non-linearity (typ.)	%	<1
Hysteresis (typ.)	%	<1
Channel cross talk	%	<5
Bridge zero output (typ. / max.)	mV/V	0.01 / 0.03
Weight, without cable	grams	500

All specifications are typical at 25 °C and rated at 10 V sensor supply voltage, unless otherwise specified.

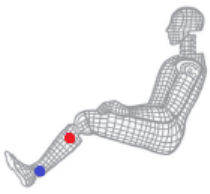
1) With UPS module 9 ... 12 VDC
2) All wires to load cell housing, measured with 500 VDC

Included Accessories	**Type No.**
• Mounting screws, imperial 1/4-28 UNF, 4 units	on request

Optional Accessories	**Type No.**
• Add. label with serial number, plug side	M015KABID
• UPS module	
• Add. label with ID number at sensor	M015KABID



• Type M55235A...

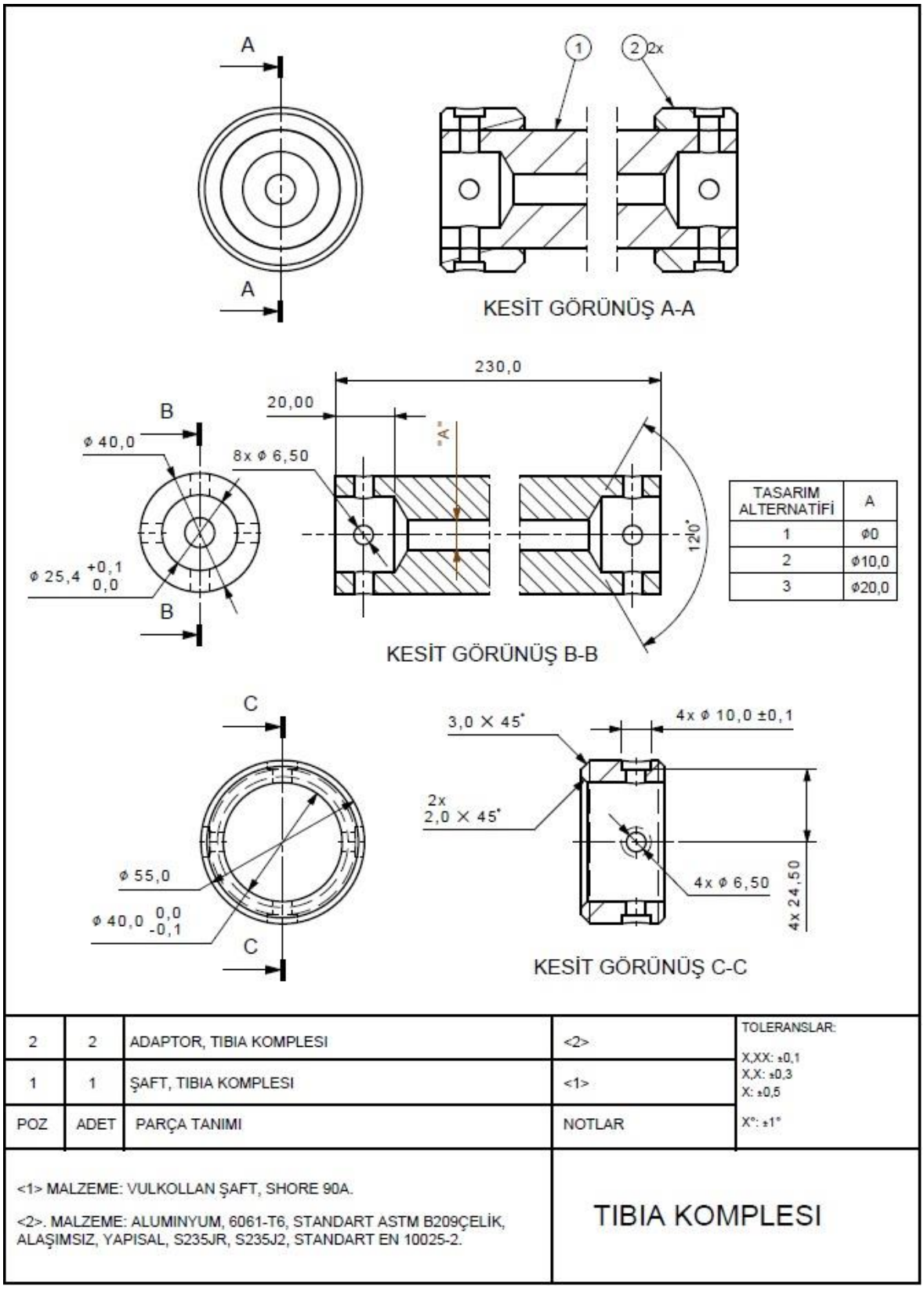




• Type M55155A...

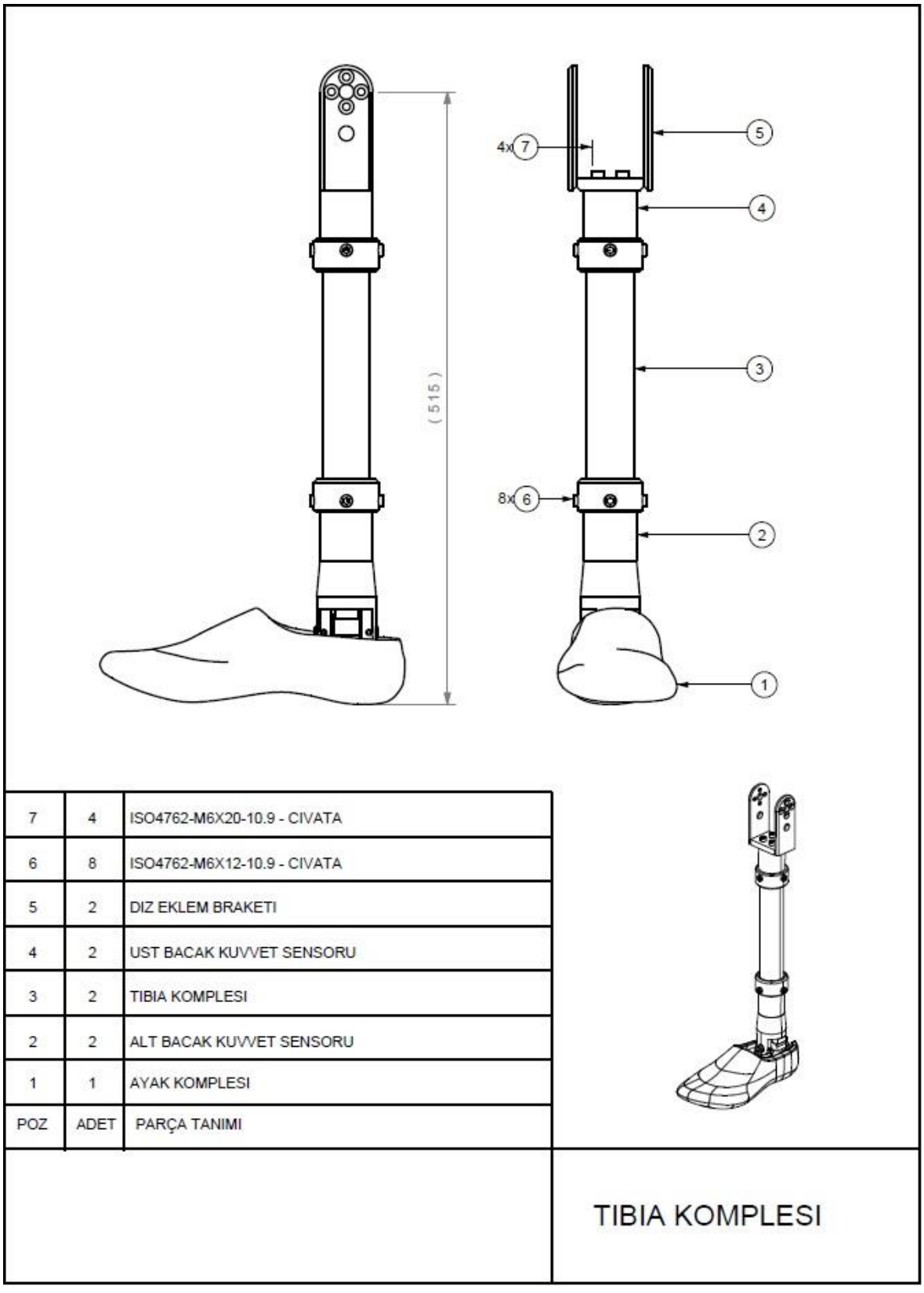
Resim 2.1. Alt ve üst tibia kuvvet sensörleri teknik verileri

EK-3. Temsili tibia komplesi ön tasarım teknik resimleri



Resim 3.1. Temsili tibia komplesi ön tasarım teknik resimleri

EK-4. Temsili alt bacak montajı teknik resmi

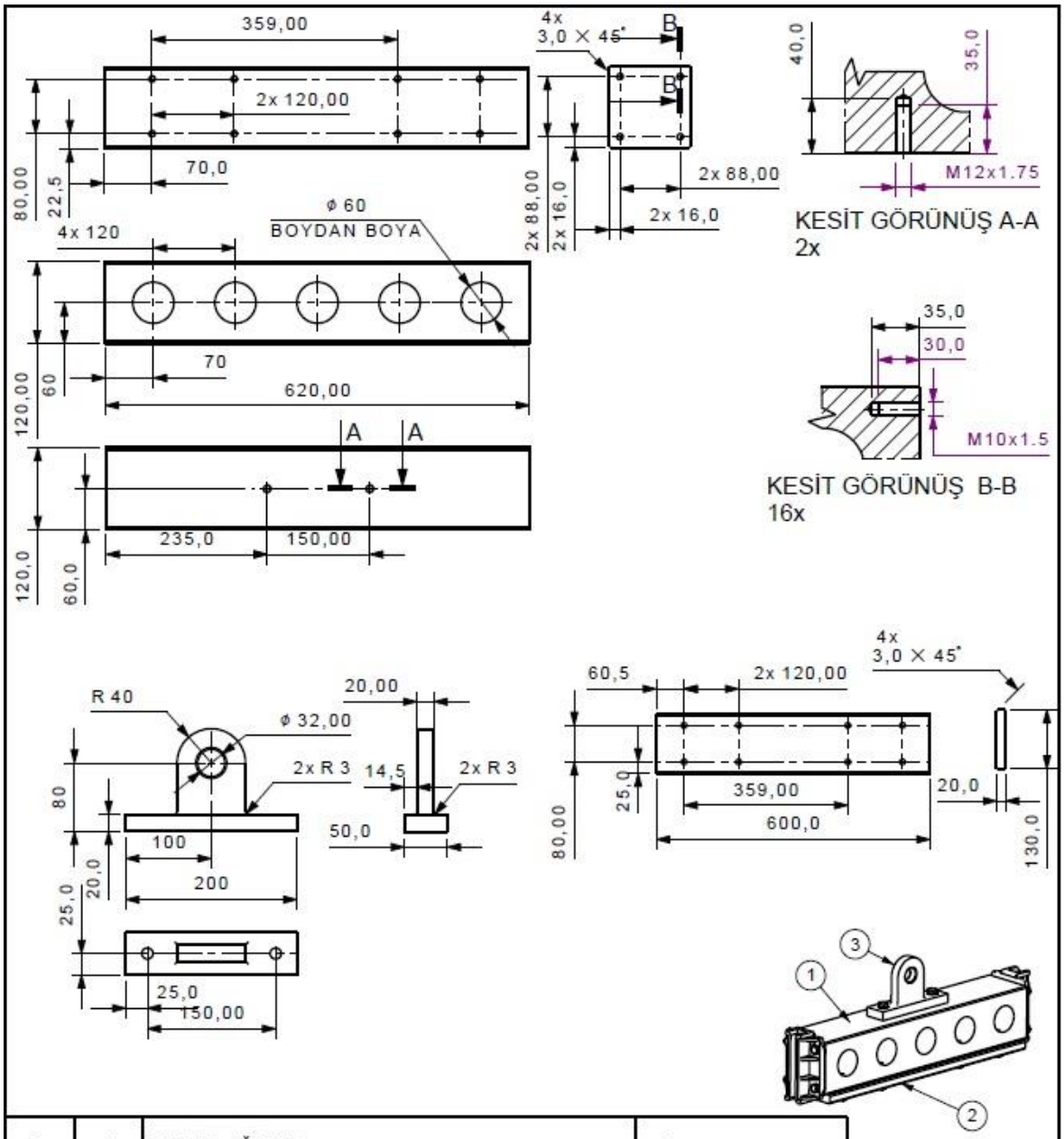


POZ	ADET	PARÇA TANIMI
7	4	ISO4762-M6X20-10.9 - CIVATA
6	8	ISO4762-M6X12-10.9 - CIVATA
5	2	DIZ EKLEM BRAKETI
4	2	UST BACAK KUVVET SENSORU
3	2	TIBIA KOMPLESI
2	2	ALT BACAK KUVVET SENSORU
1	1	AYAK KOMPLESI

TIBIA KOMPLESI

Resim 4.1. Temsili alt bacak montajı teknik resmi

EK-5. Darbe kütlesi teknik resimleri



3	1	BRAKET, AĞIRLIK	<1>	
2	1	PLAKA, AĞIRLIK	<2>	TOLERANSLAR:
1	1	BLOK, AĞIRLIK	<1>	X,XX: ±0,1 X,X: ±0,3 X: ±0,5
POZ	ADET	PARÇA TANIMI	NOTLAR	X°: ±1°

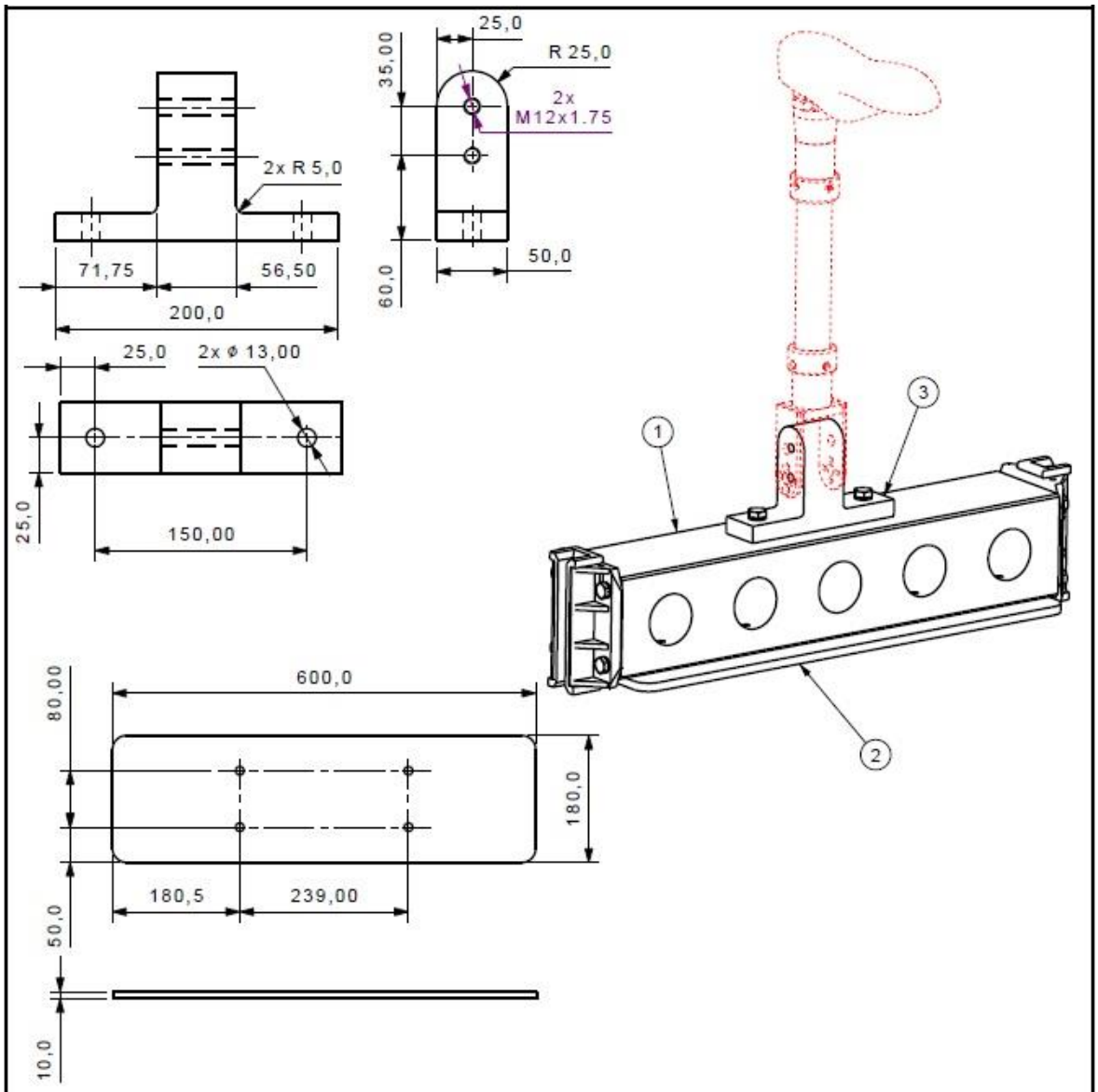
<1>. MALZEME:ÇELİK, ALAŞIMSIZ, YAPISAL, S235JR, S235J2, STANDART EN 10025-2.

<2>. MALZEME: ALUMINYUM, 6061-T6, STANDART ASTM B209ÇELİK, ALAŞIMSIZ, YAPISAL, S235JR, S235J2, STANDART EN 10025-2.

DARBE KÜTLESİ

Resim 5.1. Darbe kütlesi teknik resimleri

EK-6. Temsili insan kütlesi teknik resimleri



3	1	BRAKET, AĞIRLIK	<1>	
2	1	PLAKA, AĞIRLIK	<2>	TOLERANSLAR:
1	1	BLOK, AĞIRLIK	<1>	X,XX: ±0,1 X,X: ±0,3 X: ±0,5
POZ	ADET	PARÇA TANIMI	NOTLAR	X°: ±1°

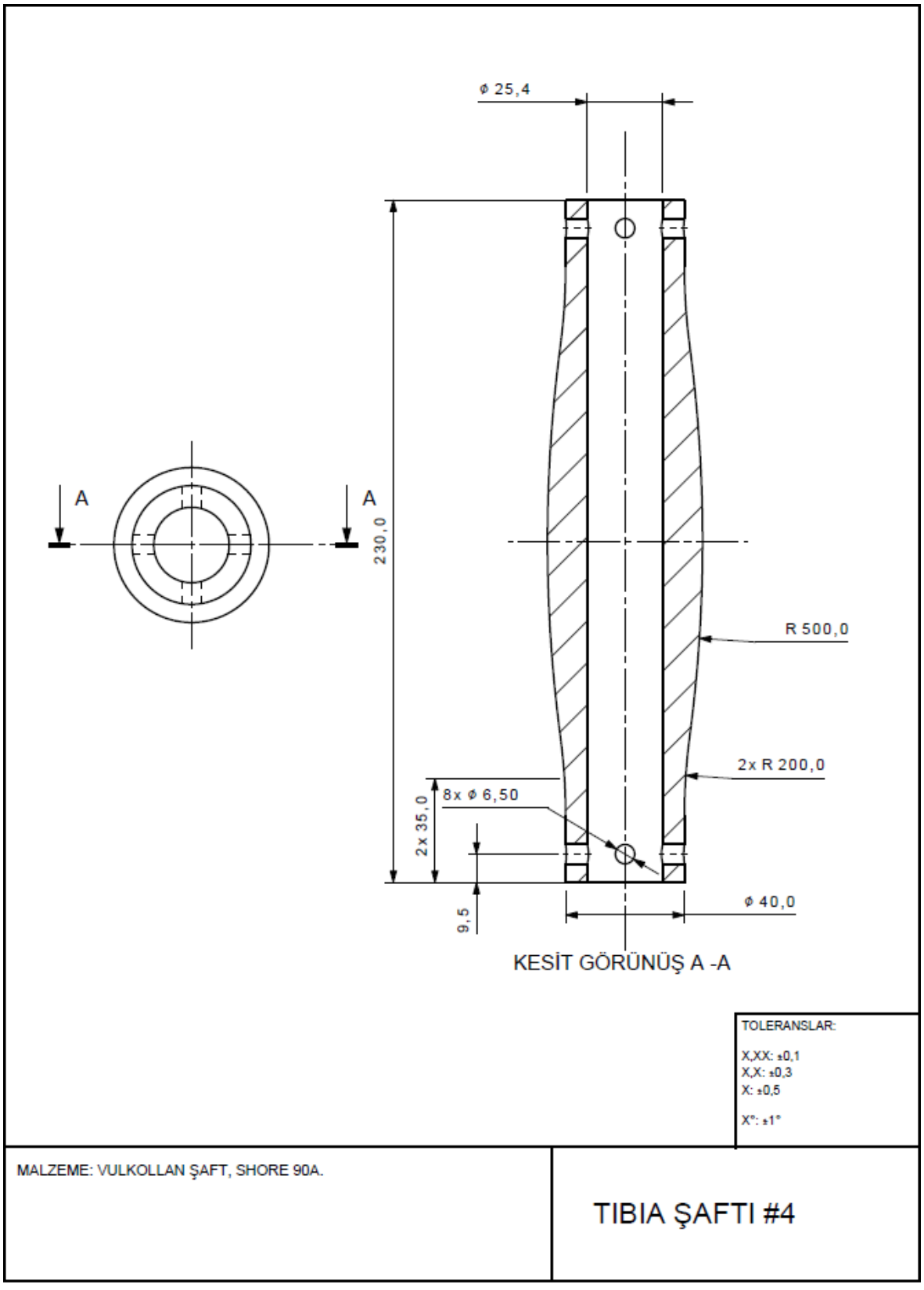
<1>. MALZEME:ÇELİK, ALAŞIMSIZ, YAPISAL, S235JR, S235J2, STANDART EN 10025-2.

<2>. MALZEME: ALUMINYUM, 6061-T6, STANDART ASTM B209ÇELİK, ALAŞIMSIZ, YAPISAL, S235JR, S235J2, STANDART EN 10025-2.

TEMSİLİ İNSAN KÜTLESİ

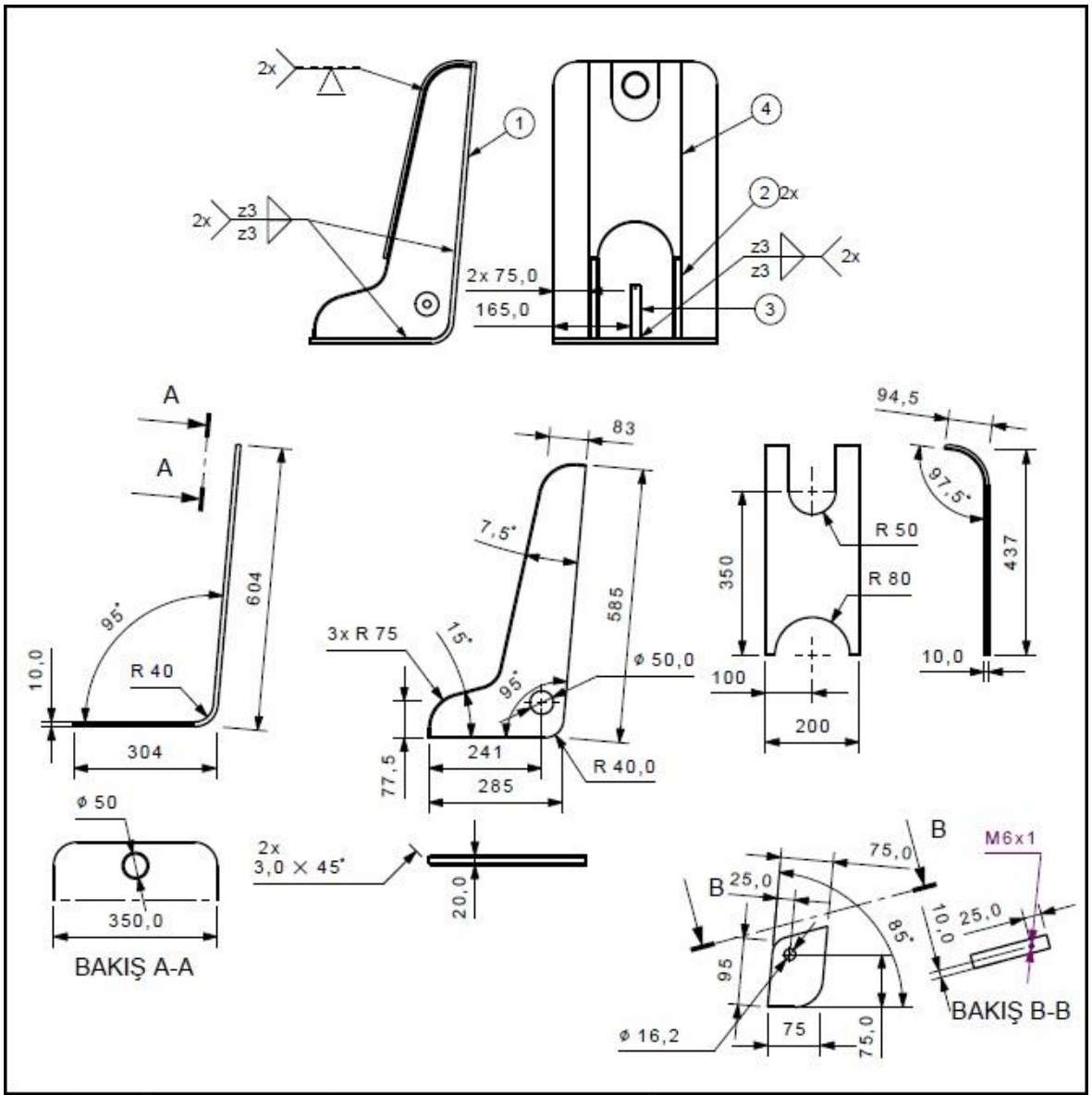
Resim 6.1. Temsili insan kütlesi teknik resimleri

EK-7. Dördüncü temsili tibia şaftı teknik resmi



Resim 7.1. Dördüncü temsili tibia şaftı teknik resmi

EK-8. Üst vücut kaynaklı komplesi teknik resimleri



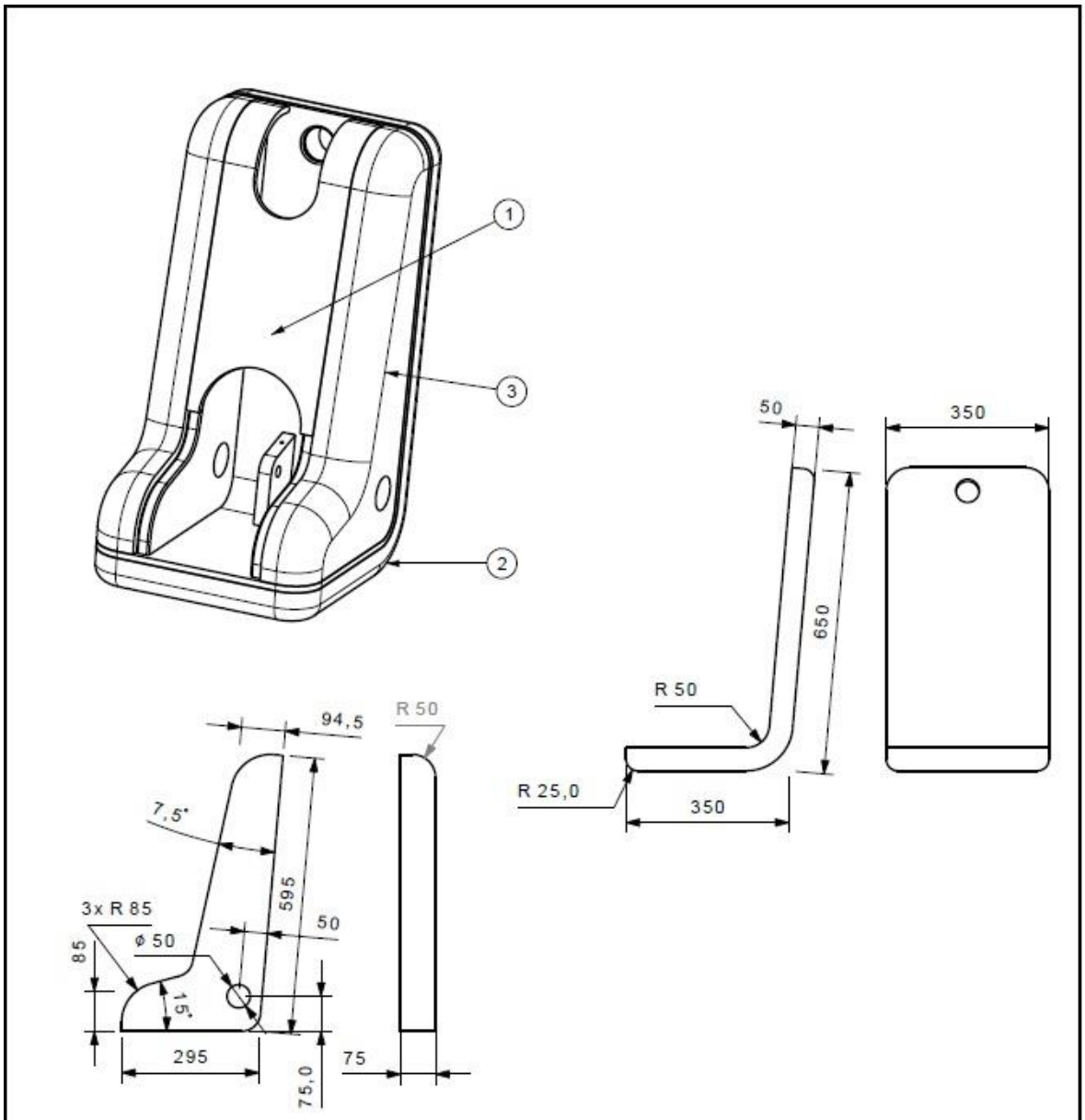
2	1	PLAKA, ÜST VÜCUT KAYNAKLI KOMPLESİ	1	
2	1	PLAKA, ÜST VÜCUT KAYNAKLI KOMPLESİ	1	TOLERANSLAR:
2	2	PLAKA, ÜST VÜCUT KAYNAKLI KOMPLESİ	1	X,XX: ±0,1 X,X: ±0,3 X: ±0,5
1	1	PLAKA, ÜST VÜCUT KAYNAKLI KOMPLESİ	1	X°: ±1°
POZ	ADET	PARÇA TANIMI	NOTLAR	

1. MALZEME: ALUMINYUM, 6061-T6, STANDART ASTM B209ÇELİK, ALAŞIMSIZ, YAPISAL, S235JR, S235J2, STANDART EN 10025-2.

ÜST VÜCUT KAYNAKLI KOMPLESİ

Resim 8.1. Üst vücut kaynaklı komplesi teknik resimleri

EK-9. Üst vücut komplesi teknik resimleri



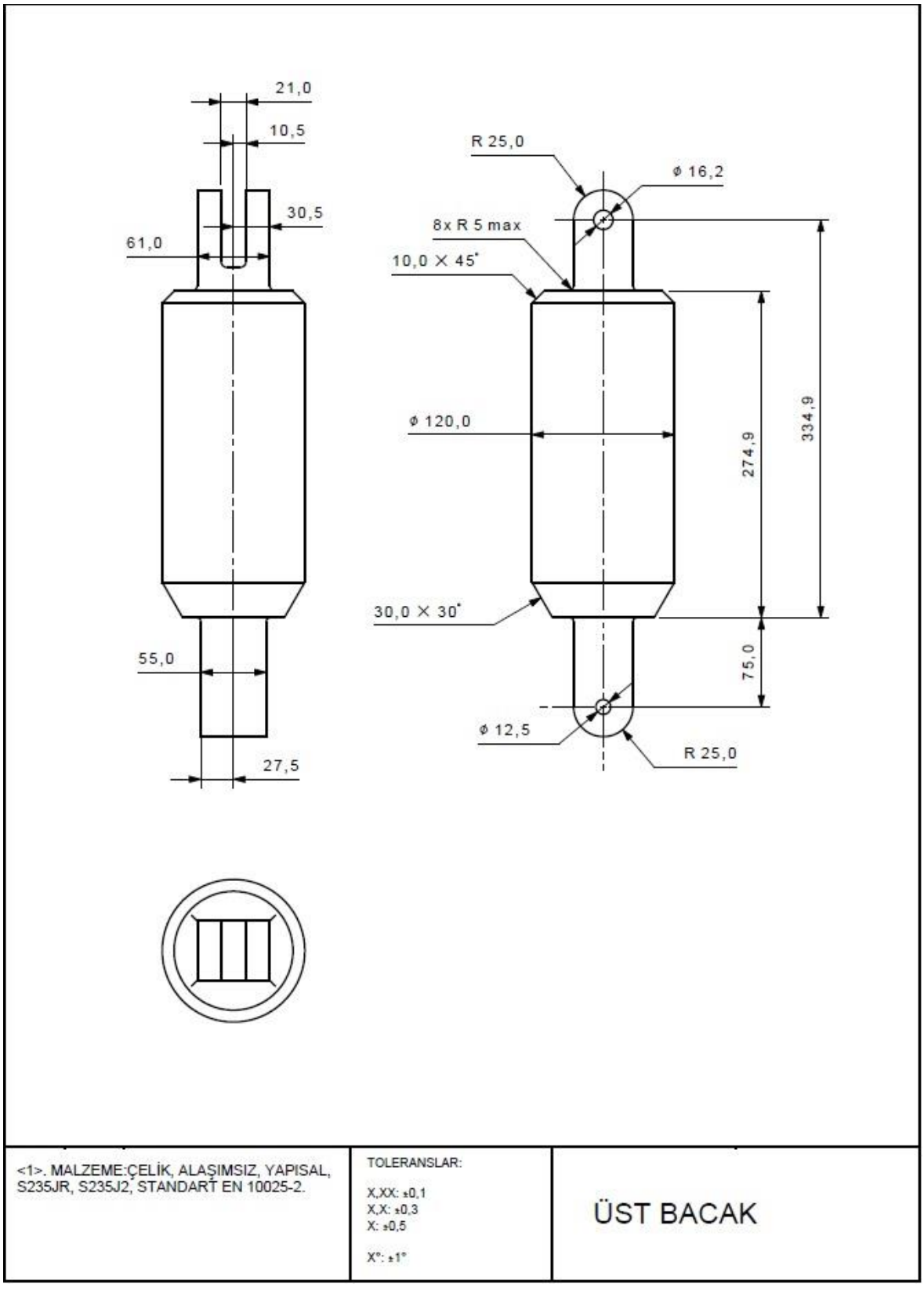
2	1	KAUÇUK DESTEK, YAN	1	TOLERANSLAR:
2	2	KAUÇUK DESTEK, ARKA	1	X,XX: ±0,1 X,X: ±0,3 X: ±0,5
1	1	ÜST VÜCUT KAYNAKLI KOMPLESİ		X°: ±1°
POZ	ADET	PARÇA TANIMI	NOTLAR	

1. MALZEME: KAUÇUK

ÜST VÜCUT KOMPLESİ

Resim 9.1. Üst vücut komplesi teknik resimleri

EK-10. Üst bacak komplesi teknik resmi



Resim 10.1. Üst bacak komplesi teknik resmi

EK-11. PR ivmeölçer teknik özellikleri

PCB PIEZOTRONICS



Model 3501A1260KG

HIGH AMPLITUDE MEMS SHOCK ACCELEROMETER

Performance	ENGLISH	SI	
Sensitivity(± 50 %)(at 10 VDC excitation)	0.003 mV/g	0.0003 mV/(m/s²)	[1]
Sensitivity	0.0003 mV/V/g	0.00003 mV/V/(m/s²)	[7]
Measurement Range	± 60 kg	± 588,400 m/s² pk	
Frequency Range(± 1 dB)	0 to 20,000 Hz	0 to 20,000 Hz	
Resonant Frequency	>120 kHz	>120 kHz	
Damping Ratio	2 % Critical	2 % Critical	[5]
Non-Linearity(per 10,000 g (98,100 m/s²))	≤ 1 %	≤ 1 %	
Transverse Sensitivity	≤ 3 %	≤ 3 %	
Environmental			
Overload Limit(Shock)	± 100,000 g pk	± 980,665 m/s² pk	[4]
Overload Limit(Mechanical Stops)	≥ 80 kg	≥ 782,534 m/s² pk	
Temperature Range(Storage)	-65 to 250 °F	-54 to 121 °C	
Temperature Range(Operating)	-65 to 250 °F	-54 to 121 °C	
Temperature Coefficient of Sensitivity	-0.11 %/°F	-0.20 %/°C	[5]
Zero g Offset Temperature Shift	± 10 mV	± 10 mV	[6]
Base Strain Sensitivity	0.3 g/με	2.94 (m/s²)/με	[5]
Electrical			
Excitation Voltage(Maximum)	15.0 VDC	15.0 VDC	
Current Consumption	<3 mA	<3 mA	
Input Resistance(± 2000 Ohm)	6000 Ohm	6000 Ohm	[1]
Output Resistance(± 2000 Ohm)	6000 Ohm	6000 Ohm	[1]
Offset Voltage	-40 to +40 mVDC	-40 to +40 mVDC	[1]
Settling Time	0.01 sec	0.01 sec	[2]
Electrical Isolation(Case)	≥ 10^8 Ohm	≥ 10^8 Ohm	[3]
Physical			
Sensing Element	Piezoresistive MEMS	Piezoresistive MEMS	
Sensing Geometry	Full Active	Full Active	
Housing Material	Titanium	Titanium	
Sealing	Epoxy	Epoxy	
Size (Hex x Height)	3/8 in x .50 in	3/8 in x 12.7 mm	
Weight(without cable)	0.088 oz	2.5 gm	[5]
Electrical Connector	Integral Cable	Integral Cable	
Electrical Connection Position	Side	Side	
Cable Type	034 4-cond Shielded	034 4-cond Shielded	
Cable Termination	Pigtail Ends	Pigtail Ends	
Cable Length	10 ft	3.05 m	
Mounting	Integral Stud	Integral Stud	
Mounting Thread	1/4-28 Male	1/4-28 Male	

Resim 11.1. PR ivmeölçer teknik özellikleri

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : ÖZDEMİR, Eren
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 27.07.1987, Akşehir/KONYA
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (506) 831 52 93
e-mail : erenozdemir@outlook.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Makina Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	İstanbul Teknik Üniversitesi / Makine Mühendisliği	2011
Lise	Akşehir Anadolu Öğretmen Lisesi	2005

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2011-Halen	FNSS Savunma Sistemleri A.Ş.	Tasarım Lideri

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Ozdemir, E., Salamcı, M.U. (2019). *Zırhlı askeri araçlarda mayın patlaması sonucunda oluşacak bacak kuvvetlerinin ölçülmesi için yerli insan maketi geliştirilmesi,* 5. Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi, İstanbul, Türkiye.

Hobiler

Karakalem, Deri işleme



GAZİ GELECEKTİR..