



**YENİ BİR KUVVET PLATFORMUNUN GELİŞTİRİLEREK
GÜVENİRLİK VE GEÇERLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İrem GÜDÜCÜ

Danışman

Doç. Dr. Uğur FİDAN

İkinci Danışman

Prof. Dr. Mehmet YILDIZ

BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Kasım 2025

Bu tez çalışması 124M278 numaralı proje ile Tübitak tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YENİ BİR KUVVET PLATFORMUNUN GELİŞTİRİLEREK
GÜVENİRLİK VE GEÇERLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

İrem GÜDÜCÜ

Danışman

Doç. Dr. Uğur FİDAN

İkinci Danışman

Prof. Dr. Mehmet YILDIZ

BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Kasım 2025

TEZ ONAY SAYFASI

İrem GÜDÜCÜ tarafından hazırlanan “Yeni Bir Kuvvet Platformunun Geliştirilerek Güvenirlik ve Geçerliğinin Araştırılması” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 12 / 11 / 2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Uğur FİDAN

İkinci Danışman: Prof. Dr. Mehmet YILDIZ

Başkan : Doç. Dr. Kubilay TAŞDELEN
: Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi,
Teknoloji Fakültesi

Üye : Doç. Dr. Uğur FİDAN
: Afyon Kocatepe Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi

Üye : Doç. Dr. Zeki AKYILDIZ
: Afyon Kocatepe Üniversitesi,
Spor Bilimleri Fakültesi

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
..... /..... /..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. Bekir YALÇIN
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

12 / 11 / 2025

İrem GÜDÜCÜ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YENİ BİR KUVVET PLATFORMUNUN GELİŞTİRİLEREK GÜVENİRLİK VE GEÇERLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

İrem GÜDÜCÜ

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Uğur FİDAN

İkinci Danışman: Prof. Dr. Mehmet YILDIZ

Bu yüksek lisans tez çalışması, sportif performans analizleri ve rehabilitasyon uygulamaları için düşük maliyetli, taşınabilir ve yüksek doğrulukla ölçüm yapabilen bir kuvvet platformunun tasarımı, geliştirilmesi ve geçerlilik-güvenilirlik analizini kapsamaktadır. Sistem; dört adet yüksek hassasiyetli yük hücresi, mikrodenetleyici tabanlı veri toplama birimi, Bluetooth destekli kablosuz iletişim altyapısı ve Windows ile mobil cihazlarda çalışabilen kullanıcı dostu bir arayüz ile yapılandırılmıştır. Geliştirilen platform hem laboratuvar hem de saha koşullarında kullanılabilir olmasıyla dikkat çekmektedir.

Ticari sistemlerden farklı olarak bu platform, zeminle rijit temas sağlanmadığı durumlarda ölçüm başlatmayan bir kalibrasyon güvenlik protokolüne sahiptir. Ayrıca kullanıcı platform üzerine çıktığında sistem, otomatik kalibrasyon işlemini başlatmakta ve hem görsel hem de sesli uyarılarla geri bildirim sağlamaktadır. Literatürdeki sistemlerde denge analizleri için genellikle çift platform ihtiyacı bulunurken, bu çalışmada geliştirilen yapı tek bir platform üzerinden balans parametrelerini yüksek doğrulukla ölçebilmektedir. Ayrıca platformun mekanik yapısına entegre edilmek üzere beşinci bir yük hücresi için bağlantı noktası hazırlanmış ve böylece izometrik çekiş testleri için ek ölçüm kapasitesi sağlanmıştır.

Sistemin geçerlilik ve güvenilirlik analizleri, standart kuvvet platformlarıyla

karşılaştırmalı olarak gerçekleştirilmiş; sıçrama yüksekliği, havada kalış süresi ve iniş kuvveti gibi değişkenler açısından istatistiksel uyumun yüksek olduğu ($r > 0.96$, $ICC > 0.90$) belirlenmiştir. Tüm bu teknik özellikler doğrultusunda geliştirilen kuvvet platformu; spor bilimleri laboratuvarları, fizik tedavi merkezleri, rehabilitasyon klinikleri ve antrenman salonları gibi çok çeşitli uygulama alanlarında kullanılmaya uygun, erişilebilir ve özelleştirilebilir bir ölçüm sistemi olarak literatüre katkı sunmaktadır.

2025, xii + 121 sayfa

Anahtar Kelimeler: Kuvvet Antrenmanı, Balans, Sıçrama, İzometrik, Rehabilitasyon



ABSTRACT

M. Sc Thesis

DEVELOPMENT OF A NEW FORCE PLATFORM AND INVESTIGATION OF ITS RELIABILITY AND VALIDITY

İrem GÜDÜCÜ

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Biomedical Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Uğur FİDAN

Co-Supervisor: Prof. Dr. Mehmet YILDIZ

This master's thesis focuses on the design, development, and validity-reliability analysis of a low-cost, portable, and high-accuracy force platform intended for sports performance assessments and rehabilitation applications. The system is structured with four high-precision load cells, a microcontroller-based data acquisition unit, Bluetooth-enabled wireless communication, and a user-friendly interface compatible with both Windows and mobile devices. The developed platform stands out with its usability in both laboratory and field conditions.

Unlike many commercial systems, the platform features a calibration safety protocol that prevents measurements from starting unless firm contact with the ground is ensured. Additionally, when a user steps onto the platform, the system automatically initiates the calibration process and provides feedback through both visual and auditory alerts. While existing systems often require dual platforms for balance analysis, the proposed solution can accurately capture balance-related parameters using a single platform. Furthermore, a dedicated mounting point has been integrated into the platform's mechanical design to allow the installation of a fifth load cell, enabling the system to measure not only the vertical force applied to the surface but also isometric pulling forces.

The system's validity and reliability were evaluated through comparative analyses against standard force platforms. The results demonstrated strong statistical agreement ($r > 0.96$,

ICC > 0.90) for key variables such as jump height, flight time, and peak landing force. With these technical features, the developed force platform offers an accessible and customizable measurement solution suitable for diverse applications in sports science laboratories, physiotherapy clinics, rehabilitation centers, and training facilities, thereby contributing to the scientific literature.

2025, xii + 121 pages

Keywords: Strength Training, Balance, Jumping, Isometric, Rehabilitation



TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, bilimsel yaklaşımın şekillendirilmesi ve elde edilen sonuçların yorumlanmasında değerli katkılarda bulunan saygıdeğer danışmanım Doç. Dr. Uğur FİDAN'a akademik rehberliği, desteği ve yol göstericiliği için en içten teşekkürlerimi sunarım. Mühendislik disiplininde doğruluk, dürüstlük ve çalışma ahlakı konusundaki örnek duruşu; bilimsel yaklaşımımın şekillenmesinde olduğu kadar hayata bakışında da kalıcı izler bırakmıştır. Bilimde titizliği, hayatta ise nezaketi ve sabrı rehber edinmemde önemli rol oynamış; yalnızca akademik bir danışman değil, aynı zamanda yoluma ışık olan değerli bir örnek olmuştur.

Spor bilimleri alanındaki derin bilgi birikimi, vizyoner bakışı ile yanımda olan, sürecin her aşamasında motivasyon kaynağı sağlayarak yolculuğuma değer katan ikinci danışmanım Prof. Dr. Mehmet YILDIZ hocama ve çalışmaya bilimsel katkı sağlayan Doç. Dr. Zeki AKYILDIZ hocama değerli katkıları için teşekkür ederim.

Bu çalışma, TÜBİTAK tarafından 124M278 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir; sağladıkları maddi destek ve bilimsel araştırmalara olan katkıları için TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Bu süreç boyunca her adımda koşulsuz sevgileri, inançları ve sabırlarıyla yanımda olan canım aileme en derin teşekkürlerimi sunarım. Bugün geldiğim noktada emeğiniz ve varlığınızın payı çok büyük. İyi ki varsınız.

Son olarak, yaşam sevincim olan ve tükenmeyen enerjisiyle ilham veren sevgili yeğenim Rüzgar ÖZER' e teşekkür ederim. Onun varlığı bana bu yolculukta umut ve motivasyon kaynağı oldu. Rüzgar, bir gün bu satırları okuduğunda bilmeni isterim ki; teyzenin en zorlu anlarında ona güç veren tek şey senin esintin oldu.

İrem GÜDÜCÜ
Afyonkarahisar, 2025

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
RESİMLER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	4
2.1 Kuvvet.....	4
2.1.1 Biyomekanikte Kuvvet.....	5
2.1.2 Kuvvet Analiz Yöntemleri	6
2.1.2.1 Basınç Dağılım Sistemleri.....	6
2.1.2.2 İvmeölçerler ve Jiroskoplar	7
2.1.2.3 Elektromiyografi (EMG).....	8
2.1.2.4 Optik Hareket Yakalama Sistemleri.....	9
2.2 Kas İmbalansı	10
2.2.1 Kas İmbalansı Tanı Yöntemleri	11
2.2.1.1 Fiziksel Muayene	11
2.2.1.2 İşlevsel Hareket Testleri.....	12
2.2.1.3 İzokinetik Dinamometri	13
2.2.1.4 Görüntüleme Yöntemleri.....	14
2.2.2 Kas İmbalansının Yaralanma Riski ve Spor Performansına Etkileri	14
2.3 Kuvvet Platformu.....	15
2.3.1 Kuvvet Platformlarının Yapısı ve Kullanım Amaçları	17
2.4 Literatür Taraması.....	18
2.4.1 Ulusal Çalışmalar	18
2.4.2 Uluslararası Çalışmalar	21
2.4.3 Literatürün Genel Değerlendirilmesi	25
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	26

3.1 Kas Fizyolojisi	26
3.2 Kasılma Türleri	27
3.2.1 İzometrik	28
3.2.2 İzotonik	29
3.2.3 İzokinetik.....	31
3.3 Sıçrama	32
3.3.1 Sıçrama Çeşitleri	33
3.4 Bilgisayar Destekli Katı Modelleme (CAD)	36
3.5 Geliştirilen Kuvvet Platformu.....	37
3.5.1 Sisteminin Mekanik, Donanım ve Yazılım Bileşenleri.....	37
3.5.2 Sisteminin Geçerlik ve Güvenirliği.....	43
3.5.2.1 Statik Kuvvet Güvenirlik ve Geçerlik Değerlendirmesi	45
3.5.2.2 Dinamik Kuvvet Güvenirlik ve Geçerlik Değerlendirmesi.....	47
3.6 Sistemin İstatistiksel Analizi	48
3.6.1 Bland Altman	50
3.6.1.1 Rastgele Hata.....	51
3.6.1.1 Sistematik Hata.....	51
3.6.2 Levene testleri	51
3.6.3 T Testi	53
3.6.4 Sınıf İçi Korelasyon	54
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	56
4.1 Kuvvet Platform Yazılımı.....	56
4.1.1 Windows Form Uygulaması	57
4.1.2 Mobil Uygulama	62
4.2 Katı Modelin Solidworks Ortamındaki Analizleri.....	65
4.3 Laboratuvar Bulguları.....	67
4.3.1 Statik Ağırlık Ölçümü	67
4.3.2 Köşe Ağırlık Ölçümü	69
4.3.3 Statik Balans Ölçümü.....	72
4.4 Saha Bulguları.....	74
4.4.1 İzometrik Ölçüm Doğruluğu	75
4.4.2 Sıçrama Ölçüm Doğruluğu	77
4.4.3 Balans Testi.....	79

4.5 İstatistiksel Analiz.....	81
4.5.1 Laboratuvar Ölçümlerinin İstatistiksel Analizi.....	82
4.5.2 Saha Ölçümlerinin İstatistiksel Analizi.....	86
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	89
6. KAYNAKLAR.....	92
ÖZGEÇMİŞ.....	104
EKLER	105
EK-1 5mm tek platform deformasyon ve gerilim analizi.....	105
EK-1 (Devam) 5mm tek platform deformasyon ve gerilim analizi.....	106
EK-1 (Devam) 5mm tek platform deformasyon ve gerilim analizi.....	107
EK-1 (Devam) 5mm tek platform deformasyon ve gerilim analizi.....	108
EK-2 5mm çift platform deformasyon ve gerilim analizi	109
EK-2 (Devam) 5mm çift platform deformasyon ve gerilim analizi	110
EK-2 (Devam) 5mm çift platform deformasyon ve gerilim analizi	111
EK-2 (Devam) 5mm çift platform deformasyon ve gerilim analizi	112
EK-3 10mm tek platform deformasyon ve gerilim analizi.....	113
EK-3 (Devam) 10mm tek platform deformasyon ve gerilim analizi.....	114
EK-3 (Devam) 10mm tek platform deformasyon ve gerilim analizi.....	115
EK-3 (Devam) 10mm tek platform deformasyon ve gerilim analizi.....	116
EK-4 10mm çift platform deformasyon ve gerilim analizi	117
EK-4 (Devam) 10mm çift platform deformasyon ve gerilim analizi	118
EK-4 (Devam) 10mm çift platform deformasyon ve gerilim analizi	119
EK-4 (Devam) 10mm çift platform deformasyon ve gerilim analizi	120
EK-5 Balans test raporu.....	121
EK-6 İzometrik test raporu	121

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

F	Kuvvet (Newton, N)
m	Kütle (kilogram, kg)
g	Yerçekimi ivmesi (9.81 m/s ²)
t	Zaman (saniye, s)
v	Hız (metre/saniye, m/s)
a	İvme (metre/saniye ² , m/s ²)
RFD	Kuvvet Gelişim Hızı (Rate of Force Development)
CoP	Basınç Merkezi (Center of Pressure)
GRF	Yer Tepkisi Kuvveti (Ground Reaction Force)
T	Tork (Nm)
σ	Gerilim (Stress, Pascal)
ϵ	Birim deformasyon (Strain)
Δt	Zaman aralığı
h	Sıçrama yüksekliği (m)
RFI	Reaktif Kuvvet İndeksi (Reactive Force Index)

Kısaltmalar

CAD	Bilgisayar Destekli Tasarım (Computer-Aided Design)
CMJ	Countermovement Jump (Karşı Hareketli Sıçrama)
DB	Dinamik Denge
DCA	Dinamik Basınç Merkezi Alanı (Dynamic COP Area)
EMG	Elektromiyografi
FMS	Fonksiyonel Hareket Taraması (Functional Movement Screen)
ICC	Sınıf İçi Korelasyon Katsayısı (Intraclass Correlation Coefficient)
IMTP	İzometrik Orta Uyluk Çekiş Testi
MR	Manyetik Rezonans
MDC	Minimum Tespit Edilebilir Değişim (Minimal Detectable Change)
RMS	Kök Ortalama Kare (Root Mean Square)
SEBT	Star Excursion Balance Test
SEM	Ölçüm Standart Hatası (Standard Error of Measurement)
sEMG	Yüzey Elektromiyografi (Surface EMG)
SLQT	Single-Leg Squat Test (Tek Bacak Squat Testi)
USG	Ultrasonografi
WBB	Wii Balance Board
WBP	Wii Balance Platformu

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Bilimsel literatürde kullanılan kuvvet platformları.....	18
Şekil 3.1 Kas tipleri.....	26
Şekil 3.2 Dikey sıçrama	32
Şekil 3.3 Sistemin mekanik konstrüksiyonu	38
Şekil 3.4 Kuvvet platformuna ait donanım blok diyagramı	39
Şekil 3.5 Sıçrama Fazı.....	41
Şekil 3.6 Statik kuvvet ölçüm güvenilirlik düzeneği.....	46
Şekil 3.7 Statik kuvvetin platformun farklı bölgelerinde ölçüm güvenilirlik düzeneği ...	47
Şekil 3.8 Kuvvet platformu güvenilirlik ve geçerlik testi	48
Şekil 3.9 Bland altman grafiği.....	50
Şekil 3.10 Levene testi	52
Şekil 4.1 Alüminyum 7075 deformasyon ve gerilim analizi	66
Şekil 4.2 Forcedecks cihazından gelen sıçrama verileri.....	78
Şekil 4.3 Geliştirilen kuvvet platformundan gelen sıçrama verileri.....	79
Şekil 4.4 Merkez bölümde referans kilo ile cihazdan ölçülen kilo bland-altman farklılıkları.....	82
Şekil 4.5 Referans mm ile cihazdan ölçülen mm bland-altman farklılıkları.....	84
Şekil 4.6 Referans kilo ile cihazdan ölçülen kilo bland-altman farklılıkları.....	85
Şekil 4.7 Fitforce ile forcedecks ımtp testi bland-altman farklılıkları	86
Şekil 4.8 Fitforce forcedecks cmj testi bland-altman farklılıkları.....	88

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1 Sistem tarafından otomatik olarak yapılan ve yazılımında bulunan testler	42
Çizelge 3.2 Güvenirlik ve geçerlik çalışmalarda değerlendirilecek olan kuvvet-zaman parametreleri ve hesaplamaları	44
Çizelge 4.1 Statik ağırlık tekrarlı ölçüm sonuçları.....	68
Çizelge 4.2 Tekrarlı köşe ağırlık 1. test ölçüm sonuçları.....	70
Çizelge 4.3 Tekrarlı köşe ağırlık 2. test ölçüm sonuçları.....	71
Çizelge 4.4 Balans testi ölçüm sonuçları	73
Çizelge 4.5 İzometrik testi ölçüm sonuçları fitforce - forcedecks	76
Çizelge 4.6 Statik köşe ağırlık ölçümü istatistiksel analizi sonuçları	82
Çizelge 4.7 İzometrik testi ölçüm sonuçları fitforce - forcedecks	83
Çizelge 4.8 Her iki ölçüm yönteminin beş farklı alandan alınan denge parametreleri ortalamalarının geçerlilik analiz sonuçları.....	84
Çizelge 4.9 Fitforce sisteminin beş farklı bölgesinden elde edilen test tekrar-test denge verilerinin güvenilirlik analiz sonuçları.....	85
Çizelge 4.10 Statik ağırlık ölçümü istatistiksel analizi sonuçları	85
Çizelge 4.11 Fitforce ile forcedecks (referans sistem) ımtp testi geçerlilik analiz değerleri sonuçları	86
Çizelge 4.12 Fitforce ile forcedecks cmj testi geçerlilik analiz sonuçları.....	87
Çizelge 5.1 Fitforce ile forcedecks cmj testi geçerlilik analiz sonuçları.....	90

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 2.1 Basınç dağılım sistemleri.....	7
Resim 2.2 Ataletsel sensörlü 3B hareket analiz sistemi.....	8
Resim 2.3 EMG cihazı	9
Resim 2.4 Qualisys hareket analiz sistemleri.....	10
Resim 2.5 Kas imbalansı.....	11
Resim 4.1 Geliştirilen kuvvet platformu ve test düzeneği	56
Resim 4.2 Dikey sıçrama windows form arayüzü	60
Resim 4.3 Dikey sıçrama raporu	61
Resim 4.4 Mobil uygulama arayüzleri	64
Resim 4.5 Geliştirilen kuvvet platformu ve statik ağırlık ölçüm düzeneği	68
Resim 4.6 Köşe ağırlık ölçüm test düzeneği	70
Resim 4.7 Balans ölçüm test düzeneği.....	73
Resim 4.8 Saha testi ölçüm düzeneği.....	75
Resim 4.9 İzometrik ölçüm için saha testi düzeneği.....	76
Resim 4.10 Sıçrama ölçümü için saha testi düzeneği	78
Resim 4.11 Balans ölçümü için saha testi düzeneği	79
Resim 4.12 Balans ölçüm arayüzü	80
Resim 4.13 Balans ölçümü test raporu.....	81

1. GİRİŞ

Spor ve egzersiz kavramları, son yüzyılda doğrudan ve dolaylı olarak büyük bir endüstriyel alan haline gelmiştir (Bradbury vd. 2023). Bu dev ekonomik sektör içerisinde rekabet sporları öne çıkmakta ve sporculardan maksimal performans beklentisi giderek artmaktadır. Bu artan beklentiler, antrenman sıklığı ve yükünün de artmasına yol açarak beraberinde sakatlık riskini getirmektedir. Antrenörler ve çalıştırıcılar, bu riskleri en aza indirmek ve motorik verimliliği arttırmak amacıyla yeni antrenman yöntemleri ve toparlanma stratejileri geliştirmeye odaklanmışlardır (Barnes vd. 2014).

Sporcuların motorik performans düzeylerinin belirlenmesi, gelişimlerinin izlenmesi ve sakatlıkların önceden tahmin edilmesi amacıyla çeşitli test ve ölçüm yöntemleri geliştirilmiş ve uygulanmaya başlanmıştır (Eckard vd. 2018). Bu testler; fiziksel uygunluğu, atletik yeteneği ve bireysel hedefleri belirlemek, antrenman programlarını optimize etmek, ilerlemeyi izlemek ve toparlanma alanlarını tespit etmek için kullanılmaktadır (Brown vd. 2020). Profesyoneller; sporcuların hız, çeviklik, güç, kuvvet, dayanıklılık ve esneklik gibi temel ölçütlerini takip ederek mevcut kondisyon düzeylerini daha objektif bir şekilde değerlendirebilmektedirler. Bu ölçümler hem ilerlemenin izlenmesi hem de antrenman hedeflerinin belirlenmesi için önemli parametreler sunmaktadır (Nimphius vd. 2020).

Performans testleri, sadece mevcut düzeyi belirlemekle kalmayıp, antrenman programlarının etkinliğini değerlendirmek ve ilerlemeyi izlemek amacıyla da kullanılmaktadır. Antrenörler, sporcuları düzenli aralıklarla test ederek antrenman programlarının hedeflenen sonuçları sağlayıp sağlamadığını belirleyebilir ve bu programları gerektiğinde optimize ederek sporcuların sürekli gelişimini destekleyebilir. Bu yaklaşım, performanstaki platoları önlemeye ve sporcuların hedeflerine istikrarlı bir şekilde ilerlemelerine olanak tanımaktadır. Bunun yanı sıra, performans testleri sporcuların güçlü ve zayıf yönlerini belirlemekte kritik bir rol oynamaktadır. Antrenörler, bu testlerden elde edilen verileri analiz ederek fiziksel uygunluk ve atletik yetenek alanlarında hangi yönlerin geliştirilmesi gerektiğini tespit edebilir ve bireysel ihtiyaçlara özel antrenman programları oluşturabilir.

Ayrıca, performans testleri bir sporcunun yarışmaya hazır olup olmadığını değerlendirmek için de kullanılmaktadır (Weakley vd. 2024). Hız, güç ve dayanıklılık gibi temel performans göstergelerinin ölçülmesiyle, sporcunun fiziksel kondisyonunun zirvede olup olmadığı ve en iyi performansını sergilemeye hazır olup olmadığı değerlendirilebilmektedir. Sonuç olarak bu test parametreleri sporcular için motive edici bir işlev de görerek odaklanma ve azimlerini artırmalarına katkı sağlamaktadır.

Kuvvet platformları, araştırmacılara; koşma, sıçrama, itme, çekme ve yürüme gibi insan hareketleri sırasında üretilen kuvvetleri ölçme ve bu hareketlerin altında yatan mekaniği anlamalarını sağlar (Beckham vd. 2014). Kuvvet platformları ile atletik performans ve rehabilitasyon açısından çok değerli olan güç, kuvvet, ivmelenme, havada kalış süresi, temas süresi, eksantrik faz süresi, konsantrik faz süresi, toplam süre, reaktif kuvvet indeksi, nöromüsküler yorgunluk, statik denge vb. birçok parametre yüksek hassasiyetle araştırmacılar tarafından ölçülüp kullanılmaktadır. Bu veriler genellikle spor bilimciler tarafından sporcuların seviyesinin belirlenmesi, yetenek seçimi, antrenman programının etkinliği ve sporcudaki gelişimin takibi için kullanılırken, fizik tedavi ve rehabilitasyon alanında ise sakatlık riskinin azaltılması, teşhis, iyileşmenin takibi ve çalışma koşullarının optimizasyonu alanlarında da kullanılmaktadır (Chavda vd. 2014).

Araştırmacılar ve terapistler, platformlara uygulanan kuvvetleri ölçerek insan hareketinin mekaniği hakkında değerli bilgiler elde etmektedir. Yüksek güvenilirlik ve geçerliliğe sahip bu analiz yöntemi, birçok alanda etkili bir şekilde kullanılmasına rağmen oldukça yüksek maliyeti nedeniyle erişimi kısıtlıdır. Türkiye’de en çok tercih edilen iki yabancı firmaya ait kuvvet platformlarının güncel fiyatları, ortalama 25.000 euro seviyesindedir. Bu tez çalışması ile düşük maliyetli, ancak standart kuvvet platformlarının sağladığı parametreleri ölçebilen yeni bir kuvvet platformunun geliştirilmesi ve bu cihazın güvenilirlik ve geçerliliğinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu tez çalışması, 5 ana bölümden oluşmaktadır.

Literatür bilgileri başlığı altında kuvvet platformlarının tarihsel gelişimi, çalışma prensipleri ve farklı alanlardaki kullanım örnekleri incelenmiştir. Ayrıca ticari sistemlerin teknik özellikleri, kullanım amaçları ve sınırlılıkları değerlendirilerek düşük maliyetli

alternatif sistem geliştirme ihtiyacı vurgulanmıştır. Materyal ve metot bölümünde, geliştirilen kuvvet platformunun donanım ve yazılım bileşenleri, sensör seçimi, veri toplama ve işleme altyapısı ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Ardından sistemin laboratuvar koşullarında yürütülen kalibrasyon, sistematik hata, bölgesel ağırlık ve statik ağırlık testleri ile saha koşullarında gerçekleştirilen izometrik kuvvet, sıçrama ve balans testleri sunulmuştur. Bulgular bölümünde, bu testlerden elde edilen veriler geçerlik ve güvenilirlik analizleri kapsamında istatistiksel yöntemlerle değerlendirilmiş ve ticari ForceDesk platformu ile karşılaştırmalı sonuçlar paylaşılmıştır. Son olarak tartışma ve sonuç bölümlerinde, geliştirilen sistemin performansı, mevcut sistemlerle kıyaslanarak avantajları ve iyileştirilmesi gereken yönleri tartışılmış, gelecekteki çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Biyomekanik ve spor bilimleri alanında, insan hareketlerinin niceliksel olarak ölçülmesi ve analiz edilmesi, performans optimizasyonu, yaralanma mekanizmalarının anlaşılması ve rehabilitasyon süreçlerinin objektif bir şekilde değerlendirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu amaca hizmet eden en temel araçlardan biri, vücut ile zemin arasındaki etkileşimi kaydeden kuvvet platformlarıdır. Kuvvet platformları, yer tepkisi kuvvetlerini (GRF) ve basınç merkezi (CoP) değişimlerini yüksek hassasiyet ve örnekleme hızıyla ölçerek, statik ve dinamik postür, denge, sıçrama mekaniği, yürüyüş analizi ve nöromüsküler performansın değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Son yıllarda, teknolojiye hızlı gelişmeler, geleneksel, yüksek maliyetli ve sabit laboratuvar sistemlerinin yanı sıra, taşınabilir, kablosuz ve düşük maliyetli kuvvet ölçüm sistemlerinin geliştirilmesine ve yaygınlaşmasına olanak tanımıştır. Bu gelişmeler, performans testlerinin ve biyomekanik değerlendirmelerin sadece kontrollü laboratuvar ortamlarından çıkıp, sahaya, kliniğe ve antrenman ortamlarına taşınmasını mümkün kılmıştır.

Bu bölümde, kuvvet platformu tasarımı ve uygulamalarına ilişkin temel bilgiler, ilgili kavramlar ve mevcut literatürdeki çalışmalar sistematik bir şekilde özetlenecektir. İlk olarak, kuvvet ve biyomekanikteki analiz yöntemleri tanımlanacak, ardından kas dengesizlikleri ve yaralanma mekanizmaları ile ilişkisi ele alınacaktır. Sonrasında, kuvvet platformlarının çalışma prensipleri, yapısal bileşenleri ve kullanım amaçları detaylandırılacaktır. Bölümün son kısmında ise, hem ulusal hem de uluslararası literatürdeki güncel çalışmalar kapsamlı bir şekilde incelenerek, mevcut araştırmaların bulguları sentezlenecek ve bu çalışmanın literatürdeki yerini ve önemini ortaya koyan genel bir değerlendirme yapılacaktır. Bu kapsamlı literatür taraması, izleyen bölümlerde anlatılacak olan özgün kuvvet platformu tasarımı ve uygulaması için bir temel ve gerekçe oluşturacaktır.

2.1 Kuvvet

Kuvvet, bir nesnenin hareket durumunu değiştirme veya şekil değiştirmesine neden olan

bir etkileşim olarak tanımlanır. Isaac Newton'un hareket yasalarına göre, kuvvet, bir cismin hızını değiştirebilen (ivme kazandıran) veya bir cismin hareketine karşı koyan bir büyüklüktür. Kuvvetin temel özellikleri, büyüklüğü ve yönüdür; bu da kuvvetin bir vektör büyüklüğü olduğunu gösterir. Newton'un ikinci yasasına göre, bir cismin kütlesi ile ivmesi çarpıldığında elde edilen değer, o cisme etki eden net kuvvete eşittir. Bu bağlamda, kuvvet sadece bir nesnenin hareketini başlatmak veya durdurmak için değil, aynı zamanda hareket halindeki bir nesnenin yönünü veya hızını değiştirmek için de gereklidir (Goren ve Galili 2019).

Kuvvetin büyüklüğü, uygulanan kuvvetin ne kadar güçlü olduğunu ifade eder ve Newton (N) birimi ile ölçülür. Vektör bir büyüklük olan kuvvetin uygulama noktası, cismin hareketten nasıl etkileneceğini ve cismin nasıl bir dönüş hareketi yapacağını belirler. Cisimde oluşan dönme etkisi etki hattı kavramıyla da ilişkilidir. Kuvvetin etki hattı, uygulama noktası ve hareketin doğrultusunun oluşturabileceği hayali bir çizgidir. Bu çizgi, kuvvetin uygulandığı noktadan başlayarak kuvvetin yönüne doğru sonsuz bir şekilde uzar. Bu hat cismin tork veya momentini hesaplamada kritik bir rol oynar.

2.1.1 Biyomekanikte Kuvvet

Biyomekanikte kuvvet kavramı, hem hareketin oluşturulmasında hem de kontrol edilmesinde kritik rol oynayan temel bir bileşendir. Spor biliminde kuvvet, sporcuların vücutları üzerinde veya vücutları aracılığıyla uygulanan itme ve çekme kuvvetleri olarak kabul edilir. Bu kuvvetler, sporcuların hızlanma, yavaşlama, zıplama ve denge sağlama gibi çeşitli hareketleri gerçekleştirmelerini sağlar (Suchomel vd. 2019). Biyomekanikte kuvvet kavramı kas kuvveti, eklem reaksiyon kuvveti, yer tepkisi kuvveti (GRF) ve dış kuvvet olmak üzere 4 ana gruba ayrılmaktadır.

Kas Kuvveti: Kas kuvveti, bir kasın veya kas grubunun karşılaştığı dirence karşılık sarf ettiği güçtür. İskelet kaslarının kasılması yoluyla üretilir ve vücudun çeşitli hareketlerini gerçekleştirmesinde anahtar rol oynar. Bu kuvvet, kasın fiziksel özelliklerine ve beyinden gönderilen sinirsel uyarılara bağlı olarak değişmektedir (Lemke vd. 2017).

Eklem Reaksiyon Kuvveti: Eklem reaksiyon kuvvetleri, eklemler arasında oluşan ve eklem stabilitesini sağlayan kuvvetlerdir. Bu kuvvet kas kuvvetleri, yer tepkisi kuvveti ve diğer dış kuvvetlerin bileşimiyle oluşur.

Yer Tepkisi Kuvveti (GRF): Yer tepkisi kuvveti, bir cismin yerle temas ettiği anda yerin cisme uyguladığı kuvvettir. Bu kuvvetler, yürüme, koşma veya zıplama gibi aktiviteler sırasında vücuda etki eder ve hareket analizi için önemli bir veri kaynağıdır. GRF, kuvvet platformları kullanılarak ölçülür ve biyomekanik modelleme için kullanılır (Suksupaet vd. 2021).

Dış Kuvvet: Dış kuvvetler, dışarıdan gelen ve vücuda etki eden kuvvetlerdir. Bu kuvvetler, çevresel faktörlerden, ağırlık taşımaktan veya bir başka cisimle etkileşimden kaynaklanabilir. Buna örnek olarak yerçekimi kuvvetinin, ayakta duran bir kişinin ağırlığını yere çekmesi verilebilir. Bir diğer örnek yürürken zeminin kişinin ayaklarından vücuda uyguladığı kuvvettir. Bu sayede kişi dengede kalır ve bir sonraki hareketini yapar (Mak vd. 2010).

2.1.2 Kuvvet Analiz Yöntemleri

Spor branşlarının performansını değerlendirmek, antrenman programlarını optimize etmek ve yaralanma riskini azaltmak amacıyla kullanılan kuvvet analizi, sporcuların kuvvet kapasitesini, kas gruplarının kullanımını, enerji sistemlerini ve fizyolojik yanıtlarını incelemektedir (Silva 2024). Bu analizlerde; kuvvet platformları, basınç dağılım sistemleri, ivmeölçerler, jiroskoplar, izokinetik dinamometreler, elektromiyografi (EMG), optik hareket yakalama sistemleri ve yüksek hızlı kameralar gibi ekipmanlar kullanılarak vücut hareketleri sırasında oluşan kuvvet ve basınçlar ölçülmektedir. Özellikle spor alanında, milisaniyelerle ölçülen hareketleri değerlendirmede bu cihazlar kritik öneme sahiptir (Cerrah vd. 2010, Dönmez vd. 2014)

2.1.2.1 Basınç Dağılım Sistemleri

Basınç dağılım sistemleri (Resim 2.1), özellikle ayak altı gibi belirli yüzeylerdeki basınç

dağılımını analiz eden sistemlerdir. Bu sistemler, ayakkabı tabanlarına veya basınç matlarına yerleştirilen sensörler (Kanatlı vd. 2008) aracılığıyla hareket sırasında belirli yüzeylerin nasıl bir basınca maruz kaldığını analiz eder. FSR (Force Sensing Resistor) veya kapasitif basınç sensörleri (Akbaş ve Aydemir 2021) gibi teknolojiler, temas yüzeylerinde oluşan basınç miktarını ve dağılımını ölçer. Ayak altı basıncı ölçümleri, özellikle ortopedik değerlendirmelerde, yürüme bozukluklarının analizinde ve diyabetik ayak yaralanmalarını önlemek amacıyla kullanılır. Ayak basınç dağılımı, vücut ağırlığının hangi bölgelere yüklendiğini gösterir ve kişiye özel tabanlıklar veya ayakkabı tasarımlarında önemli bir rol oynar (Yılmaz vd. 2015).



Resim 2.1 Basınç dağılım sistemleri (İnt. Kyn. 1)

2.1.2.2 İvmeölçerler ve Jiroskoplar

İvmeölçerler ve jiroskoplar (Resim 2.2), hareket sırasında vücudun ivmelenme, yavaşlama ve açısal hareketlerini ölçen cihazlardır. İvmeölçerler, doğrusal ivmeyi, jiroskoplar ise açısal hareketleri ölçer. Bu cihazlar, genellikle sporcu analizlerinde veya günlük yaşam aktivitelerinin takibinde giyilebilir cihazlar olarak kullanılır. MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) teknolojisi, bu cihazların küçük, hafif ve taşınabilir olmalarını sağlar. İvmeölçer ve jiroskoplar, özellikle spor hareketlerinin hızını ve yönünü

anlamada, düşme riskini analiz etmede ve hareket esnasında vücudun pozisyonunu değerlendirmede oldukça faydalıdır. Örneğin, bir koşucunun hızlanma ve yavaşlama sırasındaki adım uzunlukları ve yön değişiklikleri hakkında bilgi sağlar (Kurosawa vd. 1998).



Resim 2.2 Ataletsel sensörlü 3B hareket analiz sistemi (İnt. Kyn. 2)

2.1.2.3 Elektromiyografi (EMG)

Elektromiyografi cihazları (Resim 2.3), kasların elektriksel aktivitesini kaydederek, kas işlevlerinin analizinde kullanılan önemli bir araçtır. EMG (sEMG) sinyalleri, kasların ne zaman ve ne derecede aktif olduğunu göstererek, kasların kasılma şiddeti ve sürekliliği hakkında ayrıntılı bilgiler sağlar. Bu sinyaller sayesinde, agonist ve antagonist kas gruplarının koordinasyonu, kas yorgunluğu ve kontrol stratejileri gibi parametreler değerlendirilebilir. Gelişmiş EMG teknolojileri, özellikle hareket bilimi, spor tıbbı ve rehabilitasyon alanlarında performans analizi ve yaralanma risklerini azaltmak amacıyla yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Cerrah vd. 2010).



Resim 2.3 EMG cihazı (İnt. Kyn. 3)

2.1.2.4 Optik Hareket Yakalama Sistemleri

Optik algılama ve hareket yakalama sistemleri (Resim 2.4), vücut hareketlerinin ve eklem pozisyonlarının yüksek doğrulukla analiz edilmesi için kullanılan bir teknolojidir. Bu sistemler, vücuda yerleştirilen işaretçilerin birden fazla kamera ile izlenmesiyle çalışır. Görüntü tabanlı algoritmalar ve markerlar yardımıyla vücudun belirli noktalarını kaydeder ve üç boyutlu pozisyonları tahmin edilir. Genellikle yüksek hızlı kameralar ve yansıtıcı işaretçiler kullanan optik hareket yakalama sistemleri, spor analizi, biyomekanik araştırmalar ve klinik değerlendirmelerde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Kuvvet platformları ile birleştirildiğinde, hareket sırasındaki kuvvetler ve eklem açıları gibi çok boyutlu veri sağlar. Bu da, sporcunun performans analizinden hastanın yürüyüş dinamiklerini incelemeye kadar çeşitli uygulamalarda kritik bilgiler sunar (Tozkoparan ve Karaduman 2022).



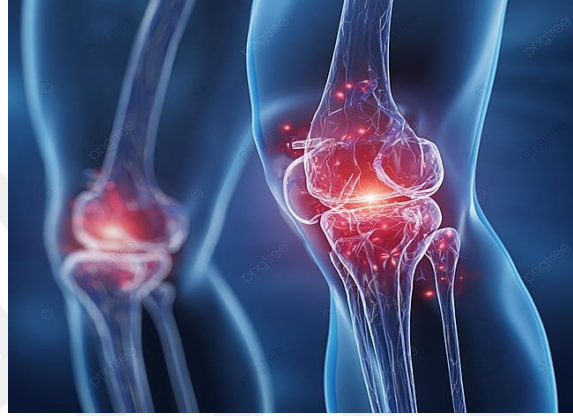
Resim 2.4 Qualisys hareket analiz sistemleri (İnt. Kyn. 4)

2.2 Kas İmbalansı

Kas imbalansı (Resim 2.5), antagonist ve agonist kas grupları arasında kuvvet veya esneklik açısından ortaya çıkan asimetri olarak tanımlanmaktadır (Gioftsidou vd. 2008). Bu tür asimetri özellikle alt ekstremité kaslarında görüldüğünde yürüme paterninde bozulmalara, asimetrinin ciddi boyutlara ulaştığı durumlarda ise kas yaralanmalarına ve atletik performans üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır (Huang vd. 2024). Bu nedenle, kas dengesizliklerinin erken tespiti ve hedefe yönelik düzeltici egzersiz programlarının uygulanması hem yaralanma riskinin azaltılması hem de performansın optimize edilmesi açısından kritik öneme sahiptir.

Kas imbalansı, yalnızca yaralanma riski oluşturmakla kalmayıp, aynı zamanda sporcuların performansı ve uzun vadeli fiziksel kapasiteleri üzerinde önemli etkiler yaratmaktadır. Asimetrik kuvvet ve esneklik dağılımı, koordinasyon, denge ve gücü olumsuz etkileyerek atletik becerileri zayıflatmaktadır. Bu durum, sporcuların optimal performansa ulaşmasını engelleyip koordinasyon kaybı, dengesiz yüklenme ve performans düşüşüne yol açabilmektedir. Özellikle futbol, basketbol ve hentbol gibi ani hızlanma, yön değiştirme ve sıçrama gibi hareketlerin yoğun olduğu sporlarda kas imbalansı, hem akut yaralanma riskini (örneğin ön çapraz bağ yırtıkları) artırmakta hem de uzun vadede kronik kas-iskelet problemlerine zemin hazırlamaktadır. Benzer şekilde, jimnastik, artistik patinaj, softbol ve tenis gibi yüksek hassasiyet ve denge gerektiren spor

dallarında kas dengesizlikleri, teknik başarısızlıkların yanı sıra kronik yaralanmaların temel nedenlerinden biri olarak öne çıkmaktadır (Newton vd. 2006). Kas imbalansının erken dönemde tespit edilmesi için izokinetik analiz ve fonksiyonel testler büyük önem taşımaktadır. Sporcuların bireysel ihtiyaçlarına uygun olarak tasarlanmış, kuvvet ve esneklik dengesi sağlamaya yönelik düzeltici egzersiz programları, yalnızca yaralanma riskini azaltmakla kalmayıp, aynı zamanda atletik performansın sürdürülebilir bir şekilde optimize edilmesine katkı sağlamaktadır.



Resim 2.5 Kas imbalansı (İnt. Kyn. 5)

2.2.1 Kas İmbalansı Tanı Yöntemleri

Kas imbalansının tanısı, sporcuların performansını ve yaralanma riskini etkileyebilecek önemli bir süreçtir. Bu bölümde kas imbalansının tanı yöntemlerine dair yaygın kullanılan yöntemler sunulmaktadır.

2.2.1.1 Fiziksel Muayene

Fiziksel muayene, kas imbalansını değerlendirmek için en temel ve yaygın kullanılan yöntemlerden biridir. Uzman bir sağlık profesyoneli tarafından gerçekleştirilen bu değerlendirme sürecinde, hastanın hareket açıklığı, kas gücü, fonksiyonel kayıpları ve postüral duruşu detaylı bir şekilde incelenir. Ayrıca, ilgili bölgede kitle veya şişlik gibi fiziksel bulgular değerlendirilerek, hastanın semptomları kapsamlı bir şekilde analiz edilir. Muayene sırasında hastadan, yaşadığı ağrının şiddetini subjektif olarak değerlendirmesi ve 0 ile 10 arasında bir skor vermesi istenir. Bu değerlendirme, hastanın

fonksiyonel durumu ve tedavi sürecinin planlanmasında önemli bir rol oynamaktadır (Szikszay vd. 2019).

2.2.1.2 İşlevsel Hareket Testleri

İşlevsel hareket testleri bireyin günlük yaşam aktivitelerine veya sportif performansına yönelik hareket yeteneklerini analiz etmeye odaklanır. Yaygın olarak kullanılan bazı işlevsel hareket testleri;

Fonksiyonel hareket sistemi (Functional Movement Screen - FMS); bireylerin hareket kabiliyetlerini değerlendirmek üzere tasarlanmış, denge gerektiren yedi temel hareket paternini analiz eden ve her birine 0 ile 3 arasında puan atayan bir tarama yöntemidir (Cook vd. 2006). Fonksiyonel hareket sistemi öncelikli olarak temel hareket kalitesinin geliştirilmesini hedeflemekte ve hareket miktarından ziyade doğru hareket paternlerinin önemini vurgulamaktadır (Brown 2012).

Yürüyüş Analizi: Yürüyüş analizi, bireyin yürüyüş ve koşu sırasında kas dengesizliklerini, uzuvlar arasındaki yük dağılımını ve eklemlerdeki değişiklikleri inceleme imkânı sunar. Bu analiz yöntemi, özellikle bacak uzunluğu tutarsızlıklarının yanı sıra yapısal ve fonksiyonel bozuklukların değerlendirilmesinde kullanılan bir araçtır (Khamis ve Carmeli 2018, Walsh vd. 2000).

Tek Bacak Squat Testi (Single-Leg Squat Test - SLQT): Alt ekstremité ve gövde kontrolünü değerlendiren, fonksiyonel hareket analizi sağlayan SLQT bireylerin kalça, diz ve ayak bileği eklemlerindeki stabiliteyi ve motor kontrolünü değerlendirmek amacıyla tek bacak üzerinde çömelme hareketi gerçekleştirmelerini gerektirir. Test, özellikle kalça kasları disfonksiyonu yaşayan bireylerin tespiti için kullanılır ve denge kontrolü, postüral stabilite ve kas-iskelet sistemi fonksiyonlarının değerlendirilmesinde güvenilir bir araç olarak kabul edilmektedir (Crossley vd. 2011). Ayrıca, bu test, sporcunun ya da bireyin ekstremité kaslarının gücü ve koordinasyonunu gözlemleyerek, olası sakatlanma risklerini belirlemeye yardımcı olabilir.

Star Excursion Balance Test (SEBT): Denge, koordinasyon, esneklik ve güç gibi nöromüsküler özelliklerin değerlendirildiği bir fonksiyonel testtir. Bu test, katılımcının tek bacak üzerinde dengeyi koruyarak, belirli yönlere (anterior, postero-medial, postero-lateral) mümkün olan en uzak mesafeye kadar uzanmasını gerektirir. Test, her iki ekstremitte için ayrı ayrı ölçülerek, ulaşılabilen mesafeler normalize edilmek amacıyla uzuv uzunluklarıyla ilişkilendirilir. SEBT, sporcuların alt ekstremitte fonksiyonlarını ve vücut kontrolünü analiz etmek için yaygın olarak kullanılan, hızlı ve güvenilir bir değerlendirme aracıdır (Plisky vd. 2006).

Y Denge Testi: Alt ekstremitte nöromüsküler kontrolünü ve dinamik stabilitesini değerlendirmek amacıyla geliştirilmiş bir testtir. Star Excursion Balance Testi'nden (SEBT) türetilen bu test, hareket yönlerini üç spesifik açıya (anterior, postero-medial ve postero-lateral) indirger. Y Denge Testi, özellikle klinik uygulamalarda ve sporcular arasında alt ekstremitte sakatlanmalarının riskini tahmin etmek için güvenilir bir araç olarak kabul edilir. Ayrıca, rehabilitasyon süreci sonrasında dinamik fonksiyonel simetriyi değerlendirme konusunda önemli bir rol oynamaktadır. Böylece potansiyel dengesizlikler tespit edilerek iyileşme sürecine yönelik müdahaleler planlanabilmektedir (Neves vd. 2017).

Forward Step-Down (FSD) Testi: Alt ekstremitte dengesizliğini değerlendirmeye yönelik fonksiyonel bir hareket analiz testidir. Özellikle diz fleksiyonu ve dengeyi inceleyerek, alt ekstremitenin hareket desenlerini değerlendirir. Bu testte, katılımcılar test edilen bacaklarında dizlerini bükerek, test edilmeyen bacaklarının topuğunun yere değmesini sağlarlar. Bu süreçte, test edilmeyen bacağın topuğuna herhangi bir ağırlık verilmemesi gerektiği vurgulanır. Ardından, katılımcı test edilen bacağı ile başlangıç pozisyonuna geri dönmek için dizini tekrar uzatır (Park vd. 2013).

2.2.1.3 İzokinetik Dinamometri

İzokinetik sistemler, belirli kas gruplarını hedef alarak güvenli ve kontrollü bir şekilde kuvvet artışı sağlaması, farklı hızlarda çalışma imkânı sunması ve kas performansını objektif ve ölçülebilir verilerle değerlendirebilmesi nedeniyle, özellikle sporcu

antrenmanlarında, kas dengesizliklerinin belirlenmesinde ve yaralanma sonrası rehabilitasyon süreçlerinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu sistemler, kas-iskelet sistemi üzerindeki yüklenmeyi kontrollü bir şekilde düzenleyerek, sporcuların performansını artırmanın yanı sıra sakatlık riskini en aza indirmeye ve kas dengesizliklerini gidermeye yardımcı olmaktadır (Şahin 2010).

2.2.1.4 Görüntüleme Yöntemleri

Manyetik rezonans (MR) ve ultrasonografi (USG), kas imbalanslarını tespit etmek için kullanılan görüntüleme yöntemleridir. MR, kaslardaki yapısal değişiklikleri, atrofiyi, hipertrofiyi ve kasın kesit alanını net bir şekilde ortaya koyar ve kaslar arasındaki kuvvet asimetrisini belirler[38]. Ultrason ise, kas kalınlığı, esneklik ve simetriyi ölçmede hızlı ve invazif olmayan bir yöntem sunar (Lee vd. 2018, Srijunto vd. 2024).

2.2.2 Kas İmbalansının Yaralanma Riski ve Spor Performansına Etkileri

Kas imbalansı, vücudun belirli bölgelerinde aşırı yüklenmeye bağlı olarak kas, tendon, bağ ve eklemler üzerinde olumsuz etkiler yaratır. Yaralanmaya zemin hazırlayan bu durumlar;

Eklemlerde düzensiz yük dağılımı: Agonist ve antagonist kas gruplarının uyum içinde çalışmadığı durumlarda, eklemler üzerinde asimetriye bağlı olarak normalin dışında stresler oluşur. Örneğin, hamstring-kuadriseps (H:Q) tork oranındaki dengesizlik diz ekleminde stabilitenin azalmasına neden olarak ön çapraz bağ (ACL) üzerindeki yükü artırabilir (Kellis vd. 2023).

Postüral Bozukluklar ve Kronik Ağrılar: İmbalansa bağlı olarak bel, omuz ve boyun bölgesinde kronik ağrılar meydana gelebilir. Bu durum hem postüral bozukluklara yol açabilir hem de kişinin günlük yaşam aktivitelerini olumsuz etkileyebilir. Örneğin, sagittal dengesizliği olan birey, öne eğilerek yürümek zorunda kalabilir ve yürüme sırasında denge sağlamakta güçlük çekebilir. Ayrıca, vücudun dengesiz konumu nedeniyle önünde bulunan nesneleri kaldırması zorlaşırken, omurgaya binen yük miktarı artarak eklem ve kaslarda fazladan stres oluşturabilir. Yokuş çıkarken ise artan

kas ve eklem zorlanması nedeniyle kişi, normalden daha fazla efor sarf etmek zorunda kalabilir (Liang vd. 2016).

Kas ve Tendon Yaralanmaları: Anormal kas aktivasyonu, zayıf antagonist kaslar tarafından yeterince desteklenmediğinde aşırı gerilmeye maruz kalabilir. Bu durum, yaralanan kasın fonksiyonel kaybına ve karşıt kas gruplarının aşırı kullanımına neden olabilir. Özellikle bu tür kas dengesizlikleri, hamstring yırtıkları ve adduktor yaralanmaları açısından önemli bir risk faktörü oluşturmaktadır (Delvaux vd. 2017).

Kas imbalansı, sporcuların genel performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Özellikle, agonist ve antagonist kas grupları arasındaki dengesizlik, yaralanma riskini artırarak performansı olumsuz yönde etkilemektedir (Lehance vd. 2009). Bu nedenle, spor programlarının içeriği, kas imbalanslarını önlemeye ve düzeltmeye yönelik olarak düzenlenmeli, böylece sporcuların sağlıklı bir şekilde spor hayatlarına ara vermeden devam etmeleri sağlanmalıdır.

2.3 Kuvvet Platformu

Son yıllarda teknoloji alanındaki hızlı gelişmeler, spor camiasında da önemli bir dönüşüm yaratmış ve spor biliminde farklı amaçlar doğrultusunda teknolojik ekipmanların yaygın olarak kullanılmasını sağlamıştır (Cardinale ve Varley 2017). Bu ekipmanlar, sportif performansın analiz edilmesi, sakatlıkların tespit edilmesi ve önlenmesi gibi süreçlerde kritik bir rol oynarken, aynı zamanda performans testlerinin de manuel yöntemlerden otomatik sistemlere evrilmesine katkıda bulunmuştur (Bourdon vd. 2017, Pino-Ortega vd. 2022). Başlangıçta yalnızca zaman ve mesafe ölçümlerinin manuel olarak yapıldığı bu testler, sensör ve transdüserlerin entegrasyonu sayesinde daha güvenilir ve geçerli hale gelmiştir. Manuel testlere kıyasla, teknolojik ekipmanlar aracılığıyla gerçekleştirilen testler, ölçüm süreçlerini hızlandırarak daha az iş gücüyle daha yüksek doğrulukta sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır. Günümüzde takımlar ve antrenörler, oyuncuların hareket modelleri, hız ve dayanıklılık gibi performans parametrelerine ilişkin büyük miktarda veri toplayıp analiz edebilmekte, bu veriler ise antrenman programlarının optimize edilmesi, toparlanma süreçlerinin iyileştirilmesi ve rekabet avantajı sağlayacak yeni stratejilerin geliştirilmesi için etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Sporcuların kuvvet,

güç, hız, dayanıklılık ve çeviklik gibi çeşitli motor becerilerini değerlendirmek amacıyla farklı testler geliştirilmiş olup, bu testler hem laboratuvar ortamında hem de saha koşullarında uygulanabilmektedir (Weakley vd. 2024).

Bu bağlamda, spor bilimlerinde yaygın olarak kullanılan kuvvet platformları, kuvvet platformlarına uygulanan kuvvetleri ölçen yük sensörleri ile donatılmış düz bir platformdan oluşmakta olup, spor bilimleri ve rehabilitasyon alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu platformlarda genellikle gerinim ölçerler (yük hücreleri) ve ivmeölçerler (akselerometre) bulunur. Gerinim ölçerler kuvvet uygulandığında platformun deformasyonunu ölçerken, ivmeölçerler platform üzerindeki ivmeyi kaydeder (Robles-Palazón vd. 2023). Toplanan veriler, gerçek zamanlı analiz veya olay sonrası değerlendirme için bir bilgisayara aktarılmakta ve bu veriler araştırmacılara koşma, sıçrama, itme, çekme ve yürüme gibi insan hareketleri sırasında üretilen kuvvetleri ölçme ve bu hareketlerin altında yatan mekaniği anlama yeteneği sunmaktadır (Beckham vd. 2014).

Kuvvet platformları arasında tekli kuvvet platformları, çok bileşenli kuvvet platformları ve kablosuz kuvvet platformları gibi çeşitli tipler bulunmaktadır. Tekli kuvvet platformları yalnızca bir yönde uygulanan kuvveti ölçerken, çok bileşenli platformlar birden fazla yöndeki kuvveti kaydedebilir. Kablosuz kuvvet platformları ise verilerin kablosuz iletişim ile bir bilgisayara veya diğer cihazlara aktarılmasını sağlamaktadır. Yük hücreleri sayesinde bu platformlar yüksek örnekleme hızına ulaşarak hem zaman hem de uygulanan kuvvetin aynı anda belirlenmesine olanak tanımakta, böylece birçok motorik performans testi gerçekleştirilmesine imkân sağlamaktadır.

Kuvvet platformları, atletik performans ve rehabilitasyon açısından son derece önemli olan güç, kuvvet, ivmelenme, havada kalış süresi, temas süresi, eksantrik ve konsantrik faz süreleri, toplam süre, reaktif kuvvet indeksi, nöromüsküler yorgunluk, statik denge gibi birçok parametreyi yüksek hassasiyetle ölçebilir. Bu veriler, genellikle spor bilimcileri tarafından sporcuların seviyesinin belirlenmesi, yetenek seçimi, antrenman programlarının etkinliğinin değerlendirilmesi ve sporcudaki gelişimin takibi için kullanılırken, fizik tedavi ve rehabilitasyon alanında sakatlık riskinin azaltılması, teşhis-

tanı, iyileşmenin izlenmesi ve çalışma koşullarının optimizasyonu gibi amaçlarla da değerlendirilmektedir (Chavda vd. 2018). Kuvvet platformları, sağladıkları yüksek hassasiyet sayesinde araştırmacıların ve terapistlerin insan hareketlerinin mekaniğini daha iyi anlamalarını sağlar. Bu nedenle, spor bilimi ve rehabilitasyon alanlarında önemli bir rol oynamaktadırlar.

2.3.1 Kuvvet Platformlarının Yapısı ve Kullanım Amaçları

Literatürde ve piyasada en çok tercih edilen kuvvet platformları arasında Hawking Dynamics, Forcedecks, AMTI, Bertec ve Kistler (Şekil 2.1) gibi lider firmaların geliştirdiği ürünler öne çıkmaktadır. Bu firmalar, yüksek hassasiyetli yük hücreleri ve gelişmiş yazılımlar kullanarak verimli ve güvenilir ölçümler elde etmeyi sağlarlar.

Kuvvet platformlarının temel bileşenlerinden biri olan yük hücreleri, kuvvet ve torku algılayarak ölçen sensörlerdir (Muller vd. 2010). Bu platformlar, yük hücrelerinden gelen verilerle kuvvet ve zaman verilerini toplar. Sensörler, platformun dört köşesine simetrik şekilde yerleştirilir, böylece her noktasından eşit ve güvenilir veri akışı sağlanır.

Kuvvet platformları, tek başına kullanılabildiği gibi, birden fazla platformun birleştirilerek kullanıldığı durumlar da mevcuttur. Özellikle dinamik kuvvet ölçümleri ve denge testleri gibi kompleks analizlerde, birden fazla platformun birleşimi daha doğru ve kapsamlı sonuçlar sağlayabilir (Dos' Santos vd. 2024). Örneğin, insan vücudunun farklı noktalarındaki kuvvetlerin eş zamanlı olarak ölçülmesi gerektiğinde, birden fazla platformdan gelen veriler, daha kapsamlı analizler yapmayı mümkün kılar.

Platformlardan alınan veriler, kablolu veya kablosuz bağlantılarla bilgisayar ortamına aktarılır. Bu veriler, platformlara özgü yazılımlar aracılığıyla işlenir ve analiz edilir. Çeşitli yazılımlar, platformlardan gelen verileri analiz eder ve test türüne bağlı olarak patlayıcı kuvvet testleri (Kinser vd. 2008), izometrik kuvvet testleri, dinamik kuvvet testleri (Haff vd. 2005) ve denge testleri (Merrigan vd. 2024) gibi farklı birçok parametre sunar. Bu testler, sporcuların performansını değerlendirmede, rehabilitasyon süreçlerini izleme ve terapötik müdahalelerin etkinliğini ölçmede önemli rol oynar.

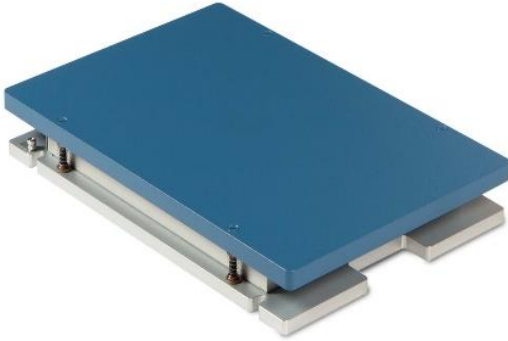
Sonuç olarak, kuvvet platformları, sporcuların performansını değerlendirmek ve rehabilitasyon süreçlerini izlemek için vazgeçilmez araçlardır. Hem tek başına hem de birden fazla platformun birleşimiyle kullanılabilen bu sistemler, biyomekanik analizlerde yüksek doğruluk ve hassasiyetle veri elde edilmesini sağlar. Gelişmiş yazılımlar sayesinde veriler, daha detaylı ve doğru şekilde işlenebilir ve analiz edilebilir.



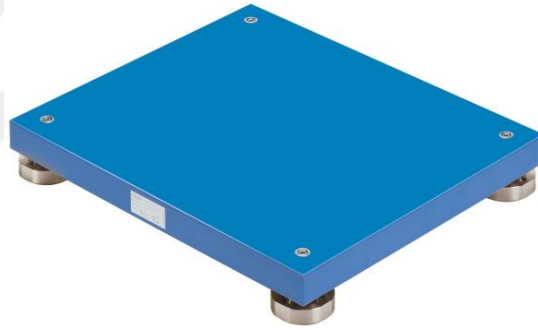
a) Hawking Dynamics kuvvet platformu



b) Forcedecks kuvvet platform



c) AMTI kuvvet platformu



d) Kistler kuvvet platformu

Şekil 2.1 Bilimsel literatürde kullanılan kuvvet platformları (İnt. Kyn. 6 - 9)

2.4 Literatür Taraması

Bu bölümde kuvvet platformu tasarımı ve mevcut kuvvet platformlarını kullanarak gerçekleştirilen ulusal ve uluslararası çalışmalar incelenmiştir.

2.4.1 Ulusal Çalışmalar

Karadenizli'nin yaptığı “Mücadele Sporlarında Bosu Topu İle Yaptırılan Antrenmanların Dinamik Denge Ve Patlayıcı Güce Etkileri” başlıklı çalışmasında, BOSU topları ile

yapılan antrenmanların dövüş sporcularında, özellikle taekwondo ve muay thai sporcularında, dinamik denge (DB) ve patlayıcı güç (EP) üzerindeki etkilerini incelemektedir. Çalışma, Düzce Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi'nden 30 erkek gönüllü sporcunun basit rastgele örnekleme yöntemiyle çalışma grubu (n=15) ve kontrol grubu (n=15) olarak ikiye ayrılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Patlayıcı gücün ölçümünde kullanılan kuvvet platformu, dikey sıçrama yüksekliklerini (iki ayakla ve tek ayakla), tepe hızını, tepe gücünü ve tepe konsantrik kuvvet değerlerini değerlendirmede kritik bir rol oynamıştır. Analizler sonucunda, özellikle sağ ayakla yapılan tek ayak dikey sıçrama performansında, deney ve kontrol grupları arasında patlayıcı güç açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$). Sonuç olarak, kuvvet platformu, sporcuların patlayıcı gücünü nicel olarak değerlendirmek ve BOSU topu antrenmanlarının performans üzerindeki etkilerini analiz etmek için önemli bir araç olarak öne çıkmıştır (Karadenizli 2024).

Diğer bir çalışmada ise sınav ve sıçrama hareketleri sırasında yüklerin tespiti ve performans değerlendirilmesi amacıyla kuvvet platformunun kullanımını incelemektedir. Çalışmada, 2288 sensörlü ve 100 Hz örnekleme frekansına sahip bir TekScan MatScan kuvvet platformu (model 3150) kullanılmıştır. Testler sırasında platform, sınav hareketlerinde ellerin, sıçrama testlerinde ise ayakların altına yerleştirilerek dikey yer reaksiyon kuvvetleri ölçülmüştür. Sporcular, patlayıcı sınav ve sıçrama testleri gerçekleştirmiş, bu testlerde havada kalma süresi, iniş kuvvetleri, temas süreleri ve reaktif güç indeksleri gibi performans metrikleri hesaplanmıştır. Derinlik sıçrama testlerinde ise sporcular belirli yüksekliklerden platforma düşerek ve tekrar yukarı sıçrayarak ilk iniş kuvvetleri, temas süreleri, düşüş sonrası havada kalma süreleri ve reaktif güç indekslerinin ölçülmesine olanak sağlamıştır. Veri toplama ve analiz süreci, kuvvet platformundan elde edilen ölçümlere dayalı performans metriklerinin kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi amacıyla belirli yüzdeliklerle yapılandırılarak gerçekleştirilmiştir (Anli vd. 2024).

Çelik vd. (2023)'nin yaptığı çalışmada, genç basketbol oyuncularında izometrik orta uyluk çekiş testi sırasında elde edilen kas kuvveti ölçümlerinin güvenilirliğini ve bu ölçümlerde taşınabilir bir kuvvet platformunun kullanımını incelemektedir. Araştırmaya,

birer hafta arayla iki oturumda izometrik orta uyluk çekiş testi gerçekleştiren on beş katılımcı dahil edilmiş ve kuvvet platformu, mutlak tepe kuvveti, normalize edilmiş tepe kuvveti ve allometrik olarak ölçeklendirilmiş tepe kuvveti olmak üzere üç farklı kas kuvveti ölçümünü değerlendirmek için kullanılmıştır. Sonuçlar, mutlak tepe kuvveti ölçümlerinin yüksek güvenilirlik sergilediğini göstermiş; gün içi ve günler arası sınıf içi korelasyon katsayısı değerleri 0.90'ın üzerinde, varyasyon katsayısı ise %10'un altında bulunmuştur. Gün içi varyasyon katsayısı %3.14, günler arası varyasyon katsayısı ise %8.67 olarak ölçülmüş; ayrıca, mutlak tepe kuvveti için ölçüm hatası standart değeri düşük tespit edilmiştir. Bu bulgular, taşınabilir kuvvet platformunun kas kuvveti ölçümlerinde güvenilir bir araç olduğunu ortaya koymaktadır (Çelik vd. 2023).

İnce (2024)' nin yaptığı çalışmada, kuvvet platformlarının, özellikle Nintendo Wii Balance Board'un (WBP), hem laboratuvar hem de klinik ortamlarda yer reaksiyon kuvvetlerini ölçmek için uygun bir alternatif olarak değerlendirilmesine odaklanmaktadır. Yer reaksiyon kuvvetlerinden türetilen maksimum kuvvet ve güç üretim oranları gibi parametrelerin, atletik performansın nesnel bir şekilde değerlendirilmesinde kritik önem taşıdığı vurgulanmaktadır. Geleneksel kuvvet platformlarının genellikle pahalı ve taşınabilir olmaması gibi sınırlamaları ele alan çalışma, WBP'nin dört sensörle donatılmış yapısını ve kuvvet dağılımını tespit etme ile basınç merkezi değişikliklerini izleme yeteneklerini incelemektedir. WBP'nin, statik postürografi için kullanılan standart kuvvet platformları ile karşılaştırılabilir güvenilirlik özellikleri sunduğu belirtilmektedir. Araştırma, WBP ile kuvvet ölçümleri yapmak üzere geliştirilen izWii adlı bir yazılımın güvenilirliğini ve geçerliliğini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. WBP'nin kuvvet ölçümleri için etkinliği konusunda sınırlı sayıda çalışma bulunması nedeniyle bu araştırma, literatürdeki önemli bir boşluğu doldurmayı hedeflemektedir. Sonuç olarak, çalışma, WBP'nin atletik performans değerlendirmelerinde kuvvet parametrelerini ölçmek için düşük maliyetli ve taşınabilir bir çözüm olarak potansiyelini vurgulamaktadır (İnce 2024).

İnce (2024)' nin yaptığı bir diğer çalışmada, geliştirilen izForce cihazının güvenilirlik ve geçerlilik analizini, Kistler Instrument AG tarafından üretilen ticari bir kuvvet platformu ile karşılaştırarak gerçekleştirmiştir. Güvenilirlik değerlendirmesinde, karşı hareket

sıçraması (CMJ), karşı hareket sıçrama kuvveti (CMJF) ve izometrik orta uyluk çekiş (IMTP) testleri uygulanmış ve sınıf içi korelasyon katsayıları (ICC), varyasyon katsayıları (CV), ölçüm standart hataları (SEM) ile minimum tespit edilebilir değişim (MDC) değerleri hesaplanmıştır. Geçerlilik analizi ise eşleştirilmiş örneklem t-testi, Bland-Altman analizi ve regresyon analizleri ile yapılmıştır. Bulgular, izForce cihazının Kistler'e kıyasla daha yüksek ölçüm değerleri verdiğini ancak bu farkın saha uygulamaları açısından anlamlı bir etki yaratmadığını ortaya koymuştur. Ayrıca, regresyon analizleri, cihazda sistematik bir hata bulunmadığını göstermiş ve izForce'un geçerli ve güvenilir bir kuvvet platformu olarak kullanılabilirliğini doğrulamıştır (İnce 2024).

Kayısoğlu ve diğerlerinin (2023) yapmış olduğu araştırma makalesinde, buz hokeyi sporcularının şut hızını etkileyen farklı performans bileşenleri ile spora özgü atletik performans faktörleri arasındaki ilişkinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, sporcuların saha dışındaki kuvvet değerleri sağlık topu atışları sırasında kuvvet platformu ile ölçülmüş, ivme değerleri ise bir g-kuvveti cihazı kullanılarak analiz edilmiştir. Araştırmaya on iki erkek buz hokeyi sporcusu katılmış olup, saha içi ve saha dışı performans değerleri arasındaki korelasyon detaylı bir şekilde incelenmiştir (Kayısoğlu vd. 2023).

2.4.2 Uluslararası Çalışmalar

Badby ve diğerlerinin (2023) yaptığı çalışmada, kablosuz ve taşınabilir çift kuvvet platformu sistemi (Hawkin Dynamics) ile geleneksel zemine entegre kuvvet platformu sistemi (AMTI) arasındaki eşzamanlı geçerliliği değerlendirmeyi amaçlanmaktadır. AMTI sistemi, karşı hareket sıçraması (CMJ) performansını ölçmek için sektörün altın standardı olarak kabul edilmekte olup, çalışmada her iki sistemden elde edilen kuvvet-zaman değişkenlerinin uyumu incelenmiştir. Katılımcılar, taşınabilir platformların gömülü sistemlerin üzerine yerleştirilmesiyle gerçekleştirilen üç maksimum efor sıçraması sırasında eşzamanlı veri toplamış, bu veriler 1000 Hz örnekleme frekansında beş saniye boyunca kaydedilmiştir. Sıradan En Küçük Ürün Regresyonu (Ordinary Least Products Regression OLPR) analizi, tüm ölçülen değişkenler açısından sistemler arasında

sabit veya orantılı bir sapma bulunmadığını göstererek taşınabilir sistemin CMJ değerlendirmelerinde geçerli bir alternatif olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, çalışmada kullanılan güçlü metodolojik ve istatistiksel yaklaşımlar, önceki araştırmalara kıyasla daha yüksek bir uyum sağlamıştır. Elde edilen kuvvet-zaman verilerinin analizi, yazılım aracılığıyla itici tepe hızı, kalkış hızı ve sıçrama yüksekliği gibi performans parametrelerinin belirlenmesine olanak tanımış ve bu doğrultuda taşınabilir kuvvet platformu sisteminin, sporcuların nöromüsküler fonksiyonlarının değerlendirilmesi ve izlenmesi için pratik ve güvenilir bir araç olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Badby vd. 2023).

Vrhovski ve diğerlerinin (2023) çalışmasında, oyuncunun basınç merkezi (CoP) ve kütle merkezi (CoM) ivmesini z eksenini boyunca ölçen bir kuvvet platformuna dayalı yenilikçi bir oyun kontrol sistemi sunulmaktadır. Sistem, oyuncuların hareketlerini algılayarak klavye girişleri (YUKARI, AŞAĞI, SOL, SAĞ, BOŞLUK) ve fare eylemlerini simüle etmek suretiyle oyun kontrolünü sağlamaktadır. Sistemin temel bileşenleri, CoP ölçümünü gerçekleştiren yük hücreleriyle donatılmış bir kuvvet platformu, verilerin işlenmesi ve USB bağlantısı aracılığıyla bilgisayara iletilmesini sağlayan bir elektronik kart ve sistemin kalibrasyonu ile oyun kontrolünü gerçekleştiren bir bilgisayar uygulamasından oluşmaktadır. Sistem, her kullanıcıya özgü üç aşamalı bir kalibrasyon sürecinden geçirilerek optimize edilmekte; bu aşamalar, oyuncunun kütlesi ve başlangıç CoP konumunun belirlenmesi, çalışma düzleminin tespiti ve belirli oyun eylemleri için tetikleme eşik değerlerinin tanımlanmasını içermektedir. Yapılan deneysel doğrulamalar, sistemin bireysel kullanıcı adaptasyonu açısından başarılı olduğunu ve oyun deneyimini iyileştirdiğini göstermektedir. Çalışma, oyun sektörünün yanı sıra mobil robotik, insan dengesi ve postür stabilitesinin analizi gibi farklı alanlarda da potansiyel uygulamalara sahip olduğunu ortaya koymaktadır (Vrhovski vd. 2023).

Merrigan ve arkadaşlarının (2024) yaptığı çalışmada, üç farklı ticari kuvvet platformu kullanılarak aktif görevdeki erkek ve kadın personelin karşı hareket sıçraması (CMJ) kuvvet-zaman eğrileri incelenmiş ve sistemler arasındaki uyum düzeyi değerlendirilmiştir. Çalışmada ForceDecks Lite (Vald Performance), Hawkin Dynamics ve Sparta Science platformları kullanılmış olup, ForceDecks ve Hawkin Dynamics çift platformlu, Sparta Science ise tek platformludur. Maksimum çaba ile yapılan

denemelerde elde edilen veriler, hareket stratejileri ve performans değerlendirmeleri açısından önemli bulunmuş, farklı platformlar arasında veri karşılaştırması yapılırken CMJ performansındaki farklılıkların göz önünde bulundurulması gerektiği belirlenmiştir. Sonuçlar, üç sistemde de grup ortalamaları açısından benzer değişimler olduğunu göstermiştir. Tüm platformlarda göreceli itici kuvvet azalırken, göreceli itici impuls (net impuls hariç) artmış ve bu artışın itici faz süresinin uzamasından kaynaklandığı tespit edilmiştir. Ancak bireysel düzeyde değişimlerin platformlar arasında düşük bir ilişkiye sahip olduğu görülmüştür. Özellikle Sparta Science ve Hawkin Dynamics sistemleri, bireysel düzeyde frenleme kuvvet gelişim hızı (RFD), göreceli itici kuvvet ve impuls açısından benzer sonuçlar vermiştir. Bununla birlikte, ForceDecks sisteminde yavaşlama RFD'si, Hawkin Dynamics sistemindeki frenleme RFD'si ile benzer bulunmuştur. Sonuç olarak, farklı kuvvet platformları grup düzeyinde benzer ölçümler sunsa da bireysel değerlendirmelerde önemli farklılıklar gösterebileceği ve sistemler arası karşılaştırmalarda bu durumun dikkate alınması gerektiği vurgulanmaktadır (Merrigan vd. 2024).

Smith ve arkadaşının (2023) yaptığı çalışmada, farklı yüzey türlerinin yer tepki kuvvetleri (GRF) ve kuvvet gelişim hızı (RFD) üzerindeki etkilerini inceleyerek, yüzey malzemesi ve kalınlık farklılıklarının bu parametreler üzerinde anlamlı değişimlere neden olabileceğini ortaya koymaktadır. Çalışmada, test edilen dört yüzey arasında GRF ve RFD değerlerinin farklılık göstereceği hipotez edilmiş ve elde edilen bulgular bu hipotezi doğrulamıştır. Yüzey türleri arasındaki karşılaştırmalarda büyükten çok büyüğe değişen etki büyüklükleri tespit edilmiş olup, bu durum yüzey seçiminin kuvvet platformları tarafından kaydedilen düşey ve yatay maksimum kuvvet değerlerini önemli ölçüde etkileyebileceğini göstermektedir. Elde edilen sonuçlar, hem bilimsel araştırmalar hem de klinik uygulamalar açısından dikkate alınması gereken önemli bulgular sunmaktadır. Ayrıca, farklı kuvvet platformu kaplamaları kullanılan mevcut veri setleri ile karşılaştırmalar yapılırken, yüzey özelliklerinin GRF değerleri üzerinde etkili olabileceği ve bu durumun eklem momentleri gibi hesaplamalar üzerinde belirleyici bir rol oynayabileceği vurgulanmaktadır (Smith vd. 2023).

Xu ve diğerlerinin (2022) yapmış oldukları çalışmada, yüksek ve düşük mesafe

koşucuları arasındaki koşu yürüyüşü desenlerindeki farkları incelemeyi amaçlamaktadır. Koşucuların yürüyüş karakteristiklerini sınıflandırmak için koşu kinematiği (eklem açısı) ve kinetiği (eklem momenti) verilerinden yararlanarak bir derin sinir ağı (DNN) modeli geliştirilmiştir. Bu amaçla, yer tepki kuvveti (GRF) verileri ve alt ekstremitte eklem kinematiği eşzamanlı olarak 1000 Hz örnekleme frekansına sahip AMTI kuvvet platformu ve Vicon hareket yakalama sistemiyle toplanmıştır. Katılımcılardan doğal şekilde koşup sağ ayaklarıyla kuvvet platformuna basmaları istenmiş ve bu sayede koşu destek fazı sırasında GRF ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca, DNN modellerinin performansı değerlendirilmiş ve Katman Bazlı İlgililik Yayılmı (LRP) yöntemiyle sınıflandırma kararlarına etki eden değişkenler ve zaman noktaları belirlenmiştir. Bu araştırma, klinik biyomekanik analizler ve tanısal çalışmalar için değerli bilgiler sunmayı hedeflemektedir (Xu vd. 2023).

Schröder ve arkadaşlarının (2024) yapmış oldukları çalışmada, basınç plakasının, hız tabanlı COP ölçümleri ve dinamik basınç merkezi alanı (DCA) gibi belirli metrikleri ölçmede altın standart kuvvet plakalarıyla güçlü korelasyonlar sergilediğini ortaya koymuştur. Bununla birlikte, basınç plakasının COP ölçümlerini sistematik olarak düşük tahmin ettiği ve bu durumun orantılı bir yanlılıkla sonuçlandığı gözlemlenmiştir. Her iki cihaz benzer şekilde işlev görse de, tamamen özdeş sonuçlar üretmemektedir. Bu bulgular, basınç plakasının postural denge, bacaklar arası senkronizasyon (BLS) ve DCA ölçümlerindeki güvenilirliğinin kuvvet plakalarına kıyasla benzer olduğunu, ancak aynı düzeyde eşdeğer olmadığını göstermektedir. Bu sonuçlar, basınç plakasının kullanılabilirlik ve güvenilirlik açısından kuvvet plakalarıyla karşılaştırıldığında bazı sınırlamalara sahip olduğunu, ancak yine de benzer parametreleri ölçme kapasitesine sahip olduğunu ortaya koymaktadır (Schröder vd. 2024).

Huang ve arkadaşlarının (2022) yaptığı çalışmada, yaşlı bireylerde duyuşal girdi miktarını belirlemek ve denge yeteneğini değerlendirmek için Ağırlıklı Denge Tahtası (WBB) kullanımının geçerliliğini test etmektir. WBB, düşük maliyetli ve basitleştirilmiş bir kuvvet platformu olarak, çeşitli duyuşal koşullar altında postural kontrolü ölçmek için kullanılmıştır. Çalışma, yaşlıların denge yeteneğini değerlendirmek amacıyla denge testlerini ve özellikle görsel, vestibüler ve proprioseptif duyuların denge üzerindeki

etkilerini inceleyen klinik testi (CTSIB) kullanmayı amaçlamaktadır. Ayrıca, WBB'nin, daha pahalı kuvvet plakalarıyla karşılaştırıldığında güvenilir ve geçerli ölçümler sağladığı ve bu nedenle klinik veya deneysel ortamlarda ayakta durma dengesini değerlendirmek için uygun bir araç olduğu doğrulanmıştır (Huang vd. 2022).

Mao ve arkadaşlarının (2024) yaptığı çalışmada, geliştirdikleri Kunwei kuvvet plakası sisteminin doğruluğunu, yaygın olarak kullanılan Kistler içine monte edilmiş kuvvet plakası sistemi ile karşılaştırmıştır. Çalışma, Countermovement Jump (CMJ) testleri sırasında farklı değişkenler arasındaki tutarlılığı incelemeyi ve taşınabilir Kunwei sisteminin CMJ ve kuvvet-zaman ölçümleri için doğru veri sağlama kapasitesini test etmeyi hedeflemektedir. Çalışmanın sonuçları, Kunwei kuvvet plakası sisteminin, CMJ ve kuvvet-zaman ölçümleri için doğru ve güvenilir bir seçenek olduğunu göstermektedir. Analizler, Kunwei ve Kistler sistemleri arasındaki ölçümlerde tutarlı bir fark olmadığını ve her iki sistemin de CMJ testinde güçlü bir korelasyon gösterdiğini ortaya koymuştur ($p < 0.01$). Ayrıca, çalışmada Absolute Maximal Force dışında diğer tüm ölçümlerin arasında anlamlı bir fark bulunmazken, Absolute Maximal Force'da birinci ve ikinci ile birinci ve üçüncü denemeler arasında anlamlı farklar gözlemlenmiştir (Mao vd. 2024).

2.4.3 Literatürün Genel Değerlendirilmesi

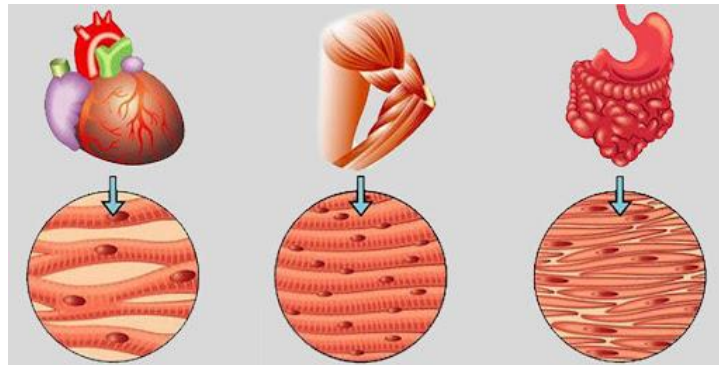
Ulusal ve uluslararası literatürdeki akademik çalışmalar irdelendiğinde kuvvet platformu kullanılarak biyomekanik, spor bilimi ve rehabilitasyon alanlarında insan hareketlerini analiz etme, denge değerlendirme, yük dağılımını belirleme ve fiziksel performansı takip etmede kullanıldığı görülmektedir. Kuvvet platformunun geliştirilmesi ile ilgili uluslararası literatür irdelendiğinde, bu platformların farklı tasarımları, doğruluk seviyeleri, kullanım alanları ve ölçüm yöntemleri üzerine çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Ayrıca, bu sistemlerin doğruluğu, kalibrasyonu ve veri işleme yöntemleri üzerine yapılan araştırmalar, farklı uygulamalara yönelik optimizasyonların geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Ancak ulusal literatürdeki çalışmalara bakıldığında sadece mevcut sistemleri kullanarak literatüre katkı sağlandığı görülmekte yeni sistem tasarımı ile ilgili çalışmaların sınırlı sayıda olduğu görülmektedir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu bölümde, çalışmanın amacı doğrultusunda geliştirilen özgün kuvvet platformunun mekanik tasarımı, donanım ve yazılım bileşenlerinin entegrasyonu ile sistemin geçerlik ve güvenilirlik analizlerine ilişkin kapsamlı metodolojik yaklaşım detaylandırılmaktadır. Çalışma, insan kas fizyolojisi ve performans ölçümüne yönelik teorik altyapıyı oluşturmayı, yerli imkanlarla çok fonksiyonlu, taşınabilir ve yüksek hassasiyetli bir kuvvet platformu tasarlayarak prototipini üretmeyi ve nihayetinde geliştirilen sistemin statik ve dinamik koşullardaki metrolojik performansını bilimsel protokoller çerçevesinde sınımayı hedeflemektedir. Bu kapsamda, öncelikle kas dokularının yapısal ve fizyolojik özellikleri, kasılma mekanizmaları, kas yaralanmaları ve sıçrama biomekaniği gibi temel konular literatür ışığında özetlenmiş; ardından geliştirilen sistemin teknik özellikleri, çalışma prensibi ve test protokolleri tekrarlanabilirlik düzeyinde açıklanmıştır. Son olarak, sistem performansının değerlendirilmesinde kullanılan istatistiksel yöntemler tanımlanmıştır.

3.1 Kas Fizyolojisi

Kaslar, kimyasal enerjiyi mekanik enerjiye (kinetik enerji) ve ısıya dönüştüren biyolojik motorlar olarak işlev görür; bu motorik süreçler, hareket üretimi ile termal homeostazın sürdürülmesinde merkezi rol oynar (Pandy vd. 2004). İnsan kas sistemi; iskeleti hareket ettiren ve tendonlarla bağlanan çizgili (iskelet) kas, kalbin kontraktıl dokusunu oluşturan kardiyak kas ve iç organların duvarlarında yer alan düz kas olmak üzere üç farklı doku tipinden oluşur (Nordin 2001).



Şekil 3.1 Kas tipleri (İnt. Kyn. 10)

İskelet Kası: Toplam vücut ağırlığının yaklaşık %40'ını teşkil eden bu kas dokusu, aynı zamanda total vücut proteinlerinin %50 ila %75'inden sorumludur. Somatik motor kontrol altında çalışan ve istemli kaslar olarak sınıflandırılan iskelet kasları, iskelet sistemine tendonlar aracılığıyla bağlanarak eklem hareketini mümkün kılar ve bu sayede lokomasyon, postürün sürdürülmesi ve çeşitli motor fonksiyonların yerine getirilmesinde kritik bir rol üstlenir (Zacharewicz vd. 2013).

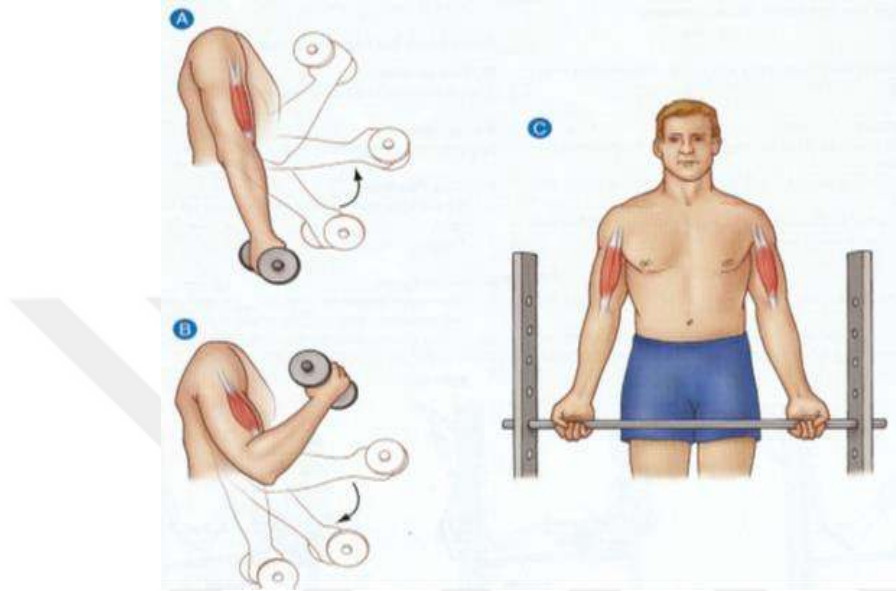
Kalp Kası: Kalp kası veya miyokard, yalnızca kalpte bulunan, istemsiz çalışan çizgili bir kastır. En temel görevi, kalbin pompalama (kontraktıl) işlevini yerine getirerek kanın tüm vasküler sistem aracılığıyla vücuda dağıtılmasını sağlamaktır. Bu işlevini, kendine özgü yapısal özellikleri sayesinde gerçekleştirir; hücreleri (kardiyomiyositler) dallanmış yapıda olup, birbirleriyle ara diskler (diskus interkalaris) aracılığıyla elektriksel ve mekanik bağlantı kurarak fonksiyonel bir sinsityum oluşturur. Bu yapı, uyarının hızla ve eşzamanlı iletilmesini mümkün kılarak, kalbin senkronize ve ritmik kasılmasını (sistol) ve gevşemesini (diastol) garanti eder (Zacharewicz vd. 2013).

Düz Kas: Düz kas, iskelet sistemine bağlı olmayan ve istemsiz olarak çalışan, çizgisiz bir kas tipidir. Bu kas türü, içi boş organların (viseral organlar) ve kan damarlarının duvarlarında yaygın olarak bulunur. Temel işlevi, bulunduğu organın lümen çapını değiştirerek içeriklerinin (kan, hava, besin maddeleri gibi) hareketini (peristaltizm) veya akışını (vazokonstriksiyon ve vazodilatasyon) düzenlemektir. Hücreleri iğ şeklinde olup, tek çekirdeklidir ve sitoplazmalarında belirgin bir çizgilenme göstermeyen aktin ve miyozin filamentleri içerir. Uzun süreli ve yavaş tonik kasılmalar yapabilme kapasitesi ile karakterizedir, bu da onu sindirim, dolaşım, solunum ve üreme sistemlerinin otonom kontrolü için hayati öneme sahip kılar (Zacharewicz vd. 2013).

3.2 Kasılma Türleri

Kas kasılması, motor nöronlardan gelen aksiyon potansiyelleri ile tetiklenen, kalsiyum (Ca^{2+}) iyonunun ana düzenleyici rol oynadığı ve aktin ile miyozin filamentleri arasında çapraz köprü (cross-bridge) oluşumuyla gerçekleşen kompleks bir sitoskeletal hareketler

bütünüdür. Bu elektromekanik uyum süreci, kayan iplikler hipotezi (sliding filament theory) ile açıklanmaktadır. Kasılma fenomeni, morfolojik ve fonksiyonel özellikler temel alınarak başlıca izometrik, izotonik ve izokinetik olmak üzere üç kategoride (Şekil 3.2) incelenir.



Şekil 3.2 Konsantrik, eksantrik ve izometrik kasılma (İnt. Kyn. 11)

3.2.1 İzometrik

İzometrik kasılma (Yunanca 'isos' [eşit] ve 'metron' [ölçü] kelimelerinden türetilmiştir), kasın sabit bir uzunlukta kalmasına rağmen kasılma mekanizmasının aktif olarak devreye girdiği ve kas içi gerilimin (tonus) arttığı statik bir kasılma formudur. Bu kasılma türünün temel biyomekanik prensibi, kasın ürettiği kuvvetin, karşılaştığı direnç veya uygulanan yük tarafından nötralize edilmesidir. Sonuç olarak, aktin ve miyozin filamentleri arasında çapraz köprü oluşumu ve enerji (ATP) hidrolizi gerçekleşmesine rağmen, filamentlerin birbirini üzerinden kayması yetersiz kalır ve dolayısıyla kasın boyunda net bir kısalma (kontraksiyon) veya eklemden bir hareket (angülasyon değişikliği) gözlemlenmez.

İzometrik kasılmanın fizyolojik rolü ve önemi şu şekildedir:

Eklemler Stabilizasyonu ve Postür: Kas-iskelet sisteminin sabit bir pozisyonda

tutulmasından birincil derecede sorumludur. Omurgayı dik tutan paravertebral kaslar veya ayakta dururken diz eklemi kilitleyen kuadriseps kasındaki aktivite bu işlevin klasik örnekleridir.

Hareketin Temel Fazı: Dinamik (izotonik) bir harekete geçişten hemen önce, eklemi sabitleyerek ve hareket için sağlam bir temel oluşturarak hareketin başlatılmasında kritik bir rol oynar. Örneğin, koşuya başlarken bloktan çıkış veya ağırlık kaldırırken barıfı yerden koparma anı ilk izometrik fazı temsil eder.

Maksimum Kuvvet Üretimi: Bir kas, izometrik koşullar altında, izotonik bir kasılmaya kıyasla daha yüksek bir kuvvet seviyesi üretebilir, çünkü kasın gerim-uzunluk ilişkisindeki optimal noktada sabit kalması sağlanır.

İzometrik kasılma, iskelet kasının yanı sıra, düz kas fizyolojisinde de hayati bir öneme sahiptir. Örneğin, kan damarlarının vasküler tonusunun ve arteriyal kan basıncının düzenlenmesi veya mesane duvarının idrar depolama sırasındaki tonusunun korunması, izometrik kasılma prensibiyle işleyen istemsiz süreçlerdir. Nöral kontrol açısından bakıldığında, izometrik kasılma, merkezi sinir sistemi tarafından hassas bir şekilde modüle edilen, yüksek seviyede koordinasyon gerektiren bir motor beceridir (Serbest ve Eldoğan 2014).

3.2.2 İzotonik

İzotonik kasılma (Yunanca 'isos' [eşit] ve 'tonos' [gerilim] kelimelerinden türetilmiştir), kasın iç geriliminin (tonus) sabit kaldığı, ancak kas boyunda belirgin bir kısalma veya uzamanın meydana geldiği dinamik bir kasılma formudur. Bu kasılma türünün temel biyomekanik prensibi, kasın ürettiği kuvvetin, karşılaştığı dirençten daha büyük olması ve bu sayede eklemden bir hareket (angülasyon değişikliği) oluşturabilmesidir. Aktin ve miyozin filamentleri arasında ardışık çapraz köprü oluşumları, filamentlerin birbiri üzerinden kaymasına (kayan iplikler mekanizması) ve dolayısıyla sarkomer boyunun kısalmasına olanak tanır (Gençoğlu 2008). İzotonik kasılma, kendi içinde iki farklı mekanik davranış biçiminde gerçekleşir:

Konsantrik Kasılma: Kasın boyunun kısaldığı ve eklemi hareket ettirdiği kasılma biçimidir. Kasın ürettiği kuvvet, uygulanan yükü (direnci) açıkça yener. Bu, lokomasyon ve nesne manipülasyonu gibi hareketlerin temelini oluşturur. Örneğin, bir dambılı dirsekten fleksiyon yaparak kaldırırken musculus biceps brachii'de gözlemlenen kasılma türüdür.

Eksantrik Kasılma: Kasın, kontrake haldeyken uzatıldığı kasılma biçimidir. Kasın ürettiği kuvvet, uygulanan yükten (genellikle yerçekimi veya ataletten kaynaklanan) daha azdır, bu nedenle kas, kasılı durumda olmasına rağmen kontrollü bir şekilde uzar. Bu kasılma, hareketi yavaşlatmak, frenlemek ve kontrol etmek için kritik öneme sahiptir. Örneğin, yokuş aşağı yürürken musculus quadriceps femoris'in veya bir nesneyi kontrollü bir şekilde indirirken musculus biceps brachii'nin kasılması bu türe örnektir.

İzotonik kasılmanın fizyolojik rolü ve önemi şu şekildedir:

Lokomasyon ve Hareket: İstemli motor aktivitelerin ve amaçlı hareketlerin (yürüme, koşma, atlama, fırlatma) gerçekleştirilmesinden birincil derecede sorumludur. Konsantrik ve eksantrik fazlar, bir hareket döngüsü içinde ardışık olarak çalışır.

Enerji Tüketimi ve Metabolik Etki: Dinamik yapısı gereği izometrik kasılmaya kıyasla genellikle daha yüksek metabolik enerji tüketimine yol açar ve bu özelliğiyle kardiyovasküler dayanıklılık egzersizlerinin temelini oluşturur.

Kas Hipertrofisi: Özellikle eksantrik kasılma, kas liflerinde mekanik stres ve mikro hasarı en üst düzeye çıkardığı için, uygun beslenme ve dinlenme koşullarında kas protein sentezini uyararak hipertrofiye (kas kitlesi artışı) yol açan güçlü bir uyarandır.

İzotonik kasılma prensibi, temel olarak iskelet kasına özgü olsa da, kalp kasında (miyokard) her sistolde kanın ventriküllerden ejeksiyonu sırasında konsantrik bir kasılma gözlemlenir. Nöral kontrol açısından bakıldığında, izotonik kasılma, somatik motor

sistem tarafından yönetilen, hassas bir kuvvet-üretim gradiyenti ve zamanlama gerektiren kompleks bir motor beceridir.

3.2.3 İzokinetik

İzokinetik kasılma (Yunanca 'isos' [eşit] ve 'kinetikos' [hareketle ilgili] kelimelerinden türetilmiştir), kasın sabit bir açısal hızda kasıldığı, ancak kasılma boyunca üretilen tork veya kuvvetin maksimum seviyede tutulabildiği özel ve dinamik bir kasılma formudur. Bu kasılma türünün temel biyomekanik prensibi, hareketin her derecesinde (range of motion - ROM) kasın maksimum eforla kasılabilesidir. Geleneksel izotonik kasılmadan farklı olarak, kasın ürettiği kuvvet, eklem açısı pozisyonuna bağlı olarak değişen mekanik avantaj (kaldıraç etkisi) ve kasın gerim-uzunluk ilişkisi nedeniyle sabit kalmaz. İzokinetik kasılma, ancak hızı sabit tutan ve direnci dinamik olarak ayarlayan özel elektronik cihazlar (izokinetik dinamometreler) aracılığıyla gerçekleştirilebilir.

İzokinetik kasılmanın fizyolojik rolü ve önemi şu şekildedir:

Hareket Boyunca Maksimum Kuvvet Üretimi: Kasın, eklem zayıf mekanik açıdaki pozisyonlarında bile maksimum eforla kasılmasını sağlar. Geleneksel serbest ağırlık veya makinelerde, eklem belirli açılarında kuvvet üretimi düşer, ancak izokinetik sistemde direnç sürekli ayarlandığı için kas her noktada maksimum yüke maruz kalır.

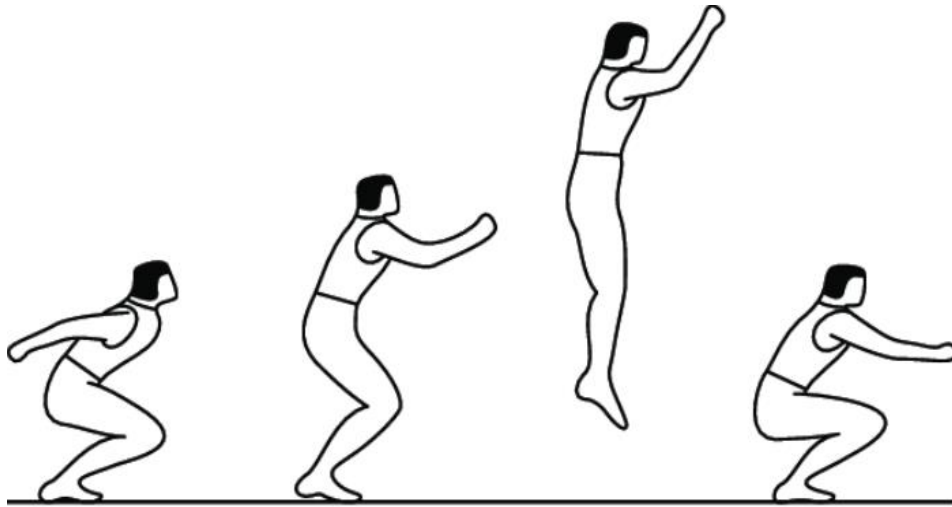
Nöromusküler Adaptasyon ve Koordinasyon: Kasın, hareketin tüm evrelerinde yüksek seviyede aktivasyonunu gerektirdiği için motor ünite rekrütmanını ve kas-içi koordinasyonu geliştirir. Bu özelliği ile rehabilitasyon ve performans artırımında kritik bir role sahiptir.

Objektif Değerlendirme ve Ölçüm: İzokinetik dinamometreler, kasın zirve tork, toplam iş ve güç çıktısı gibi parametrelerini son derece hassas ve objektif bir şekilde ölçebilir. Bu, klinik ortamlarda kas fonksiyonunun değerlendirilmesi, rehabilitasyon ilerlemesinin takibi ve atletik performans profillerinin çıkarılması için altın standart yöntemlerden biri olarak kabul edilir.

İzokinetik kasılma, temel olarak değerlendirme, rehabilitasyon ve spor bilimleri alanlarında uygulama bulur. Özellikle diz, omuz ve ayak bileği gibi ekstremit eklemlerinin etrafındaki kas gruplarının (örneğin, kuadriseps, hamstring, rotator manşet) tedavisinde ve güçlendirilmesinde yaygın olarak kullanılır. Nöral kontrol açısından, izokinetik kasılma, merkezi sinir sisteminin, kasın uzunluk ve hız değişkenlerine sürekli ve hassas uyum sağlayarak maksimum kuvvet çıktısını optimize ettiği yüksek seviyeli bir nöromüsküler kontrol örneğidir.

3.3 Sıçrama

Sıçrama (Şekil 3.3), spor bilimlerinde temel motor becerilerden biri olarak kabul edilmekte olup, birçok spor dalında performansı belirleyici bir faktör olarak öne çıkmaktadır. Atletizm, basketbol, voleybol, jimnastik ve futbol gibi branşlarda sporcuların sıçrama kapasitesi, başarı düzeylerini doğrudan etkileyen kritik bir unsur olarak değerlendirilmektedir. Sıçrama kuvveti, sporcunun yatay düzlemde en uzak noktaya veya dikey ekseninde en yüksek noktaya ulaşmasını sağlayan karmaşık motor becerileri içeren bir yetenek olarak tanımlanmaktadır. Bu yetenek, alt ekstremit e kaslarının kuvveti, patlayıcı güç kapasitesi, sıçramaya katılan kas gruplarının esnekliği ve sıçrama tekniği gibi çeşitli biyomekanik ve fizyolojik değişkenlere bağlıdır. Etkili bir sıçrama hareketinin gerçekleştirilebilmesi için, hareket sırasında ilgili eklemlerin uygun açılarda fleksiyon yapması gerekmektedir (Bobbert vd. 1996, Viitasalo 1982).



Şekil 3.2 Dikey sıçrama (İnt. Kyn. 12)

Sıçrama hareketi havalanma (take-off), uçuş (flight) ve iniş (landing) olmak üzere üç temel aşamada gerçekleşmektedir.

Havalanma Aşaması (Take-Off): Bu aşama, sporcunun sıçrama öncesinde yerle temas ettiği evreyi kapsamaktadır. Havalanma, sıçrama bacağının zeminle temas ettiği ilk andan (dikey yer tepki kuvvetinin 20 N'den büyük olduğu an) itibaren başlar ve parmak ucunun yerden tamamen ayrıldığı ana (dikey yer tepki kuvvetinin 20 N'den küçük olduğu an) kadar devam eder (Jarvis ve Kulig 2020). Bu aşama boyunca kaslar, sıçrama hareketini üretebilmek için koordineli bir şekilde çalışarak itiş kuvveti üretir.

Uçuş Aşaması (Flight): Sporcu, itiş gücüyle yerden havalandıktan sonra, kinetik enerjisi sayesinde yükselerek serbest uçuş aşamasına girer ve maksimum yüksekliğe ulaşır.

İniş Aşaması (Landing): Uçuşunu tamamlayan sporcu, yere temasla birlikte iniş aşamasına geçer. Bu aşamada, kasların eksantrik kasılmasıyla darbe emilerek güvenli ve kontrollü bir iniş sağlanır. Etkili bir iniş hem sakatlanma riskini azaltır hem de sonraki harekete ideal bir geçiş imkânı sunar.

3.3.1 Sıçrama Çeşitleri

Fizyoterapistler ve diğer sağlık profesyonelleri için, alt ekstremité fonksiyonel testleriyle kuvvet, esneklik, güç, denge, yön değişikliği ve motor kontrolü gibi çeşitli fonksiyonların doğru şekilde değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır (Swearingen vd. 2011). Bu testler arasında özellikle sıçrama, hem alt ekstremité patlayıcı güç kapasitesini ortaya koyması hem de spora özgü performansın öngörülmesine katkı sağlaması nedeniyle kritik bir göstergedir. Sıçrama türleri; spor oyunları, atletizm, jimnastik, akrobasi, dalış ve artistik buz pateni gibi farklı branşlarda, her spor dalının kendine özgü teknik, fiziksel ve biyomekanik gereksinimlerine bağlı olarak belirgin farklılıklar göstermekte olup (Wang 2024), bu çeşitlilik performans analizlerinin disipline özgü olarak ele alınmasını zorunlu kılmaktadır.

Dikey Sıçrama: Dikey sıçrama, atletik performansı değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan fonksiyonel bir ölçüttür. Sporcuların dikey ekseninde mümkün olan en yüksek noktaya ulaşmasını amaçlar ve özellikle basketbol ile voleybol gibi sporlarda büyük bir öneme sahiptir. Alt ekstremité gücünü değerlendirmek için en yaygın kullanılan hareketler arasında dikey karşı hareket sıçraması (CMJ), çömelme sıçraması (SJ) ve düşme sıçraması (DJ) yer almaktadır (McCurdy vd. 2010).

Yatay Sıçrama: İleri doğru mesafe kazanmak amacıyla uygulanır. Birçok spor dalı hem dikey hem de yatay düzlemde kuvvet üretimini gerektirmektedir. Bu nedenle, dikey sıçrama hareketlerinden elde edilen kinetik ve kinematik ölçümlerin, spor performansını öngörme açısından sınırlı bir geçerliliğe sahip olduğu ifade edilmektedir. Spor performansının daha kapsamlı ve güvenilir bir şekilde değerlendirilmesi için yatay kuvvet ölçümlerinin veya dikey ve yatay güç bileşenlerinin birlikte kullanılması daha uygun bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir (Dobbs vd. 2015).

Tek Bacak Sıçrama: Tek Ayak Dikey Sıçrama (SLVJ), denge ve koordinasyon gerektiren bir sıçrama türüdür. Bireyin spora veya işe ne zaman dönmeye hazır olduğunu belirlemeye yardımcı olmak amacıyla fizyoterapistler ve diğer sağlık profesyonelleri tarafından kullanılan bir testtir. Bu test, aynı zamanda bir bireyin yaralanmadan sonraki uzuv simetri indeksini veya yüzdelik açıklığını ölçmek ve rehabilitasyonun etkinliğini izlemek için de kullanılır (Swearingen vd. 2011).

Tekrar Sayısına Göre Sıçrama: Sporda tekrar sayısına göre sıçrama testleri, sporcuların alt ekstremité kas kuvvetini, patlayıcı gücünü ve anaerobik kapasitesini değerlendirmek amacıyla kullanılan önemli performans ölçüm aracıdır. Bu testler, sporcuların antrenman programlarının etkinliğini değerlendirmek, performans gelişimini izlemek ve olası dengesizlikleri tespit etmek için uygulanır (Boraczyński vd. 2020).

Zamana Göre Sıçrama Testleri: Zamana göre sıçrama testleri, sporcuların belirli bir süre boyunca tekrarlı sıçrama yapma yeteneklerini değerlendirerek anaerobik güç ve

dayanıklılık seviyelerini ölçmek için kullanılır (Serin ve Taşkın 2016). Bu test, sporcunun yorgunluğa karşı direncini ve patlayıcı kuvvetini belirlemede önemli rol oynar. Sporcudan belirli bir süre (örneğin 30 saniye) boyunca maksimum sayıda dikey sıçrama yapması istenir. Sıçrama sayısı, yüksekliği ve sürekliliği kaydedilir.

Ekstra Ağırlıklı Sıçrama: Ekstra ağırlıklı sıçrama egzersizleri, alt ekstremit kaslarının güçlenmesini sağlayarak sporcuların patlayıcı kuvvetini ve atlama mesafesini artırmada önemli bir rol oynar. Kalkış aşamasında uygulanan ekstra yük, zemin tepki kuvvetini ve pozitif yatay dürtüyü artırarak sporcunun daha verimli bir şekilde ivmelenmesini sağlar. Ayrıca, ekstra ağırlık kullanımı, kalça ve ayak bileği hızlarını artırarak alt ekstremit kaslarında daha fazla kuvvet üretimine olanak tanır. Bu sayede, ayakta uzun atlama gibi performansa dayalı hareketlerde belirgin bir gelişim sağlanabilir. Özellikle üst ekstremiteye eklenen ağırlıklar, kütle merkezinin dengeli bir şekilde hareket etmesini sağlayarak sıçrama mekaniğini optimize eder ve genel spor performansına olumlu katkıda bulunur (Yi vd. 2024).

Squat sıçrama: Squat sıçrama, bireyin başlangıç pozisyonunda dik durarak ellerini kalçada tuttuğu, ardından dizlerini yaklaşık 90° fleksiyona getirip belirli bir süre bekledikten sonra maksimum dikey sıçrama gerçekleştirdiği bir pliometrik egzersizdir. Bu sıçrama türü, alt ekstremit kaslarının patlayıcı kuvvetini ölçmek ve geliştirmek için kullanılır. Güvenirlik çalışmalarında, katılımcılar genellikle belirli tekrar sayısında squat sıçramaları yapar ve en yüksek sıçrama değeri istatistiksel analize dahil edilir (Markovic vd. 2004).

Aktif Sıçrama: Aktif sıçrama, bireyin başlangıç pozisyonunda dik durarak ellerini kalçada tuttuğu ve komutla birlikte dizlerini 90° fleksiyona getirip bekleme yapmaksızın maksimum dikey sıçrama gerçekleştirdiği pliometrik bir testtir. Bu sıçrama türü, özellikle alt ekstremit kaslarının patlayıcı gücünü ve reaktif kuvvet üretim kapasitesini değerlendirmek için kullanılır. Güvenirlik çalışmalarında, katılımcılar genellikle birden fazla deneme yapar ve en yüksek sıçrama değeri istatistiksel analize dahil edilir (Markovic vd. 2004).

3.4 Bilgisayar Destekli Katı Modelleme (CAD)

Günümüz endüstrisinde teknolojik gelişmeler ve dijitalleşme, endüstriyel süreçleri köklü biçimde dönüştürmekte olup, bu dönüşümün öncülerinden biride bilgisayar destekli tasarım (CAD) teknolojisidir (Selçuk ve Zengin 2021). CAD, mühendislikten mimariye, sanattan endüstriyel üretime kadar geniş bir uygulama alanına sahip olup, tasarım süreçlerini dijitalleştiren etkili bir araç olarak öne çıkmaktadır. Bilgisayar tabanlı yazılımlar aracılığıyla gerçekleştirilen CAD uygulamaları, tasarımcıların ürünleri dijital ortamda modellemelerine, analiz etmelerine ve görselleştirmelerine olanak tanımaktadır (Junk ve Burkart 2021). Karmaşık geometrik yapıların oluşturulması, düzenlenmesi ve analiz edilmesi gibi işlemleri kolaylaştıran bu yazılımlar, aynı zamanda tasarım hatalarının erken aşamalarda tespit edilmesine imkân sağlayarak ürün kalitesini artırmakta ve üretim maliyetlerini düşürmektedir (Heidari ve Iosifidis 2025). Ayrıca CAD sistemleri, ürün geliştirme süreçlerini hızlandırmakta, prototipleme ve üretim aşamalarını optimize ederek daha hızlı, doğru ve verimli sonuçlar elde edilmesine katkı sunmaktadır (Kılıçarpa vd. 2022).

Bu dijital tasarım sürecinin bir sonraki aşamasında ise, oluşturulan katı modellerin yapısal, termal veya dinamik davranışlarının analiz edilmesini sağlayan sayısal yöntemler devreye girmektedir. Bu yöntemlerin başında ise sonlu elemanlar yöntemi (FEM) gelmektedir. Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM), mühendislikte karmaşık yapıların analizinde yaygın olarak kullanılan sayısal bir yöntem olup, "parçadan bütüne gitme" prensibine dayanmaktadır. Bu yöntemde analiz edilecek sistem, iki veya üç boyutlu yapıların bir parçası olan sonlu sayıda küçük alt bölgelere (elemanlara) ayrılarak modellenir. İlk olarak gerilme analizi alanında uygulanmaya başlanan FEM, zamanla ısı transferi, akışkanlar mekaniği, piezoelektrik analizler ve elektriksel analiz gibi çok çeşitli mühendislik problemlerine uyarlanmıştır (Güler ve Şen 2016). Bu yöntem, mühendislik tasarım sürecinde modelleme ve simülasyonun etkinliğini artırmakta, özellikle inşaat, makine ve havacılık mühendisliği gibi disiplinlerde karmaşık problemlerin çözülmesine olanak tanımaktadır. Hem mühendisler hem de öğrenciler için hazırlanan kaynaklar, FEM'e ilişkin temel teori ve teknikleri özlü ve anlaşılır biçimde

sunarken, bu tekniklerin çeşitli uygulamalardaki rolünü de kapsamlı şekilde ortaya koymaktadır (Liu ve Quek 2013).

3.5 Geliştirilen Kuvvet Platformu

Geliştirilen kuvvet platformu iki temel aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada, kuvvet platformu sisteminin donanım, yazılım ve mekanik bileşenleri tasarlanmış, geliştirilmiş ve entegre edilmiştir. Bu süreçte, sistemin ölçüm hassasiyeti artırılmış, veri toplama kapasitesi optimize edilmiştir. Ayrıca, platformun stabilitesi, doğrusal tepki verme yeteneği ve uzun süreli kullanım dayanıklılığı gibi kritik performans parametreleri dikkate alınarak gerekli iyileştirmeler yapılmıştır.

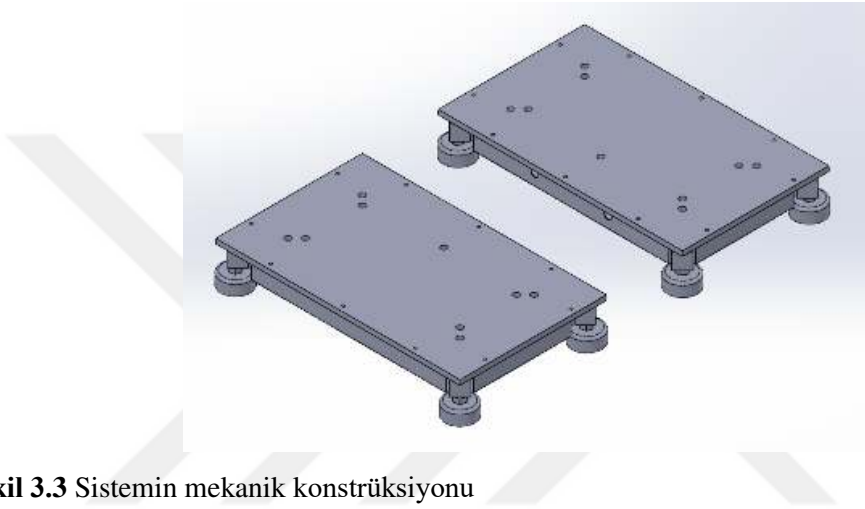
İkinci aşamada ise, geliştirilen kuvvet platformu sisteminin laboratuvar ve saha koşullarındaki geçerlilik ve güvenilirlik analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda, sistemin ürettiği verilerin doğruluğunu ve tekrarlanabilirliğini değerlendirmek amacıyla standart test protokolleri uygulanmış, farklı yükleme senaryoları altında performans ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca, elde edilen veriler referans sistemlerle karşılaştırılarak sistemin bilimsel ve pratik kullanım açısından uygunluğu belirlenmiştir. Yapılan istatistiksel analizler ve hata değerlendirme çalışmaları ile sistemin doğruluk payı ve hata oranları hesaplanmış ve sonuçların güvenilirliği akademik ölçütler çerçevesinde incelenmiştir.

3.5.1 Sisteminin Mekanik, Donanım ve Yazılım Bileşenleri

a) Mekanik Bileşenler

Kuvvet platformunun mekanik konstrüksiyonu, yüksek mukavemet ve dayanıklılık gereksinimleri doğrultusunda eklemeli imalat yöntemleri ile gerçekleştirilmiştir. Sistemin mekanik tasarımı (Şekil 3.4), 3D CAD çizim programı olan SolidWorks kullanılarak hazırlanmıştır. Platformun üst kısmı, ağır yük taşıma kapasitesi ve darbelere karşı yüksek dayanım göstermesi amacıyla 1.5 mm kalınlığındaki 7075 alüminyum alaşımından üretilmiştir. Alt ve yan kısımlarında ise sistemin toplam ağırlığının azaltılması ve taşınabilirliğin artırılması amacıyla sac malzeme tercih edilmiştir.

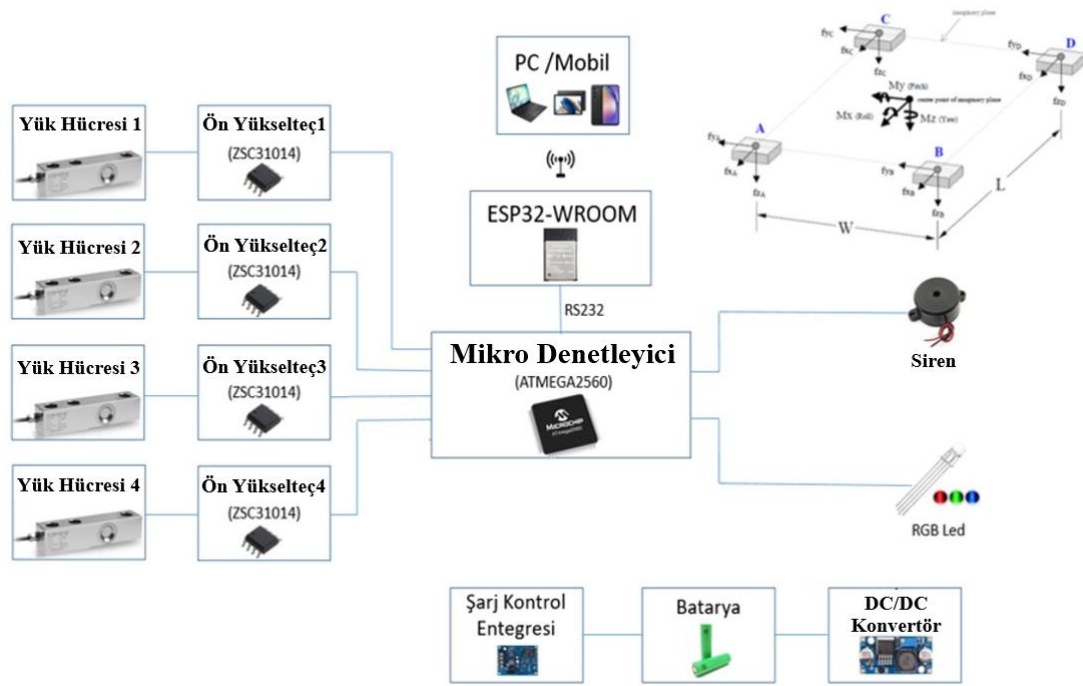
Kuvvet platformunun tek tablasının ölçüleri 50 cm × 30 cm × 6 cm olarak belirlenmiş ve toplam ağırlığı 8 kg olarak hesaplanmıştır. Bu ölçüler, literatürdeki benzer çalışmalar ve sporcunun gerçekleştireceği hareketler göz önünde bulundurularak tespit edilmiştir. Malzeme seçiminde, sistemin doğal frekansının kuvvet ölçümlerine etkisinin en aza indirilmesi, yük altında karakteristik özelliklerini koruması ve uzun ömürlü bir performans sergilemesi esas alınmıştır. Bu tasarım yaklaşımı, platformun hem mekanik dayanıklılık hem de ölçüm doğruluğu açısından optimize edilmesini sağlamıştır.



Şekil 3.3 Sistemin mekanik konstrüksiyonu

b) Donanım Bileşenleri

Bu çalışmada geliştirilen kuvvet platformunun donanım yapısı, biyomekanik ölçümlerde yüksek doğruluk, güvenilirlik ve mobilite gibi çok boyutlu ihtiyaçları karşılayacak şekilde tasarlanmıştır. Sistemin bileşenleri; kuvvet algılama ünitesi, analog-sayısal dönüştürücü modülü, mikrodenetleyici birim, kablosuz iletişim altyapısı, kullanıcıya yönelik geri bildirim mekanizmaları ve entegre enerji yönetim sisteminden oluşmaktadır. Şekil 3.5'te de görülebileceği üzere, kuvvet algılama süreci dört adet tek eksenli yük hücresi ile gerçekleştirilmiştir. Bu yük hücreleri, platformun dört köşesine simetrik olarak yerleştirilmiş ve kullanıcı tarafından uygulanan dikey kuvvet bileşenlerini yüksek hassasiyetle ölçmek amacıyla konumlandırılmıştır. Simetrik yerleşim, uygulanan kuvvetin platform yüzeyine nasıl dağıldığından bağımsız olarak tutarlı ve homojen ölçüm verileri elde edilmesini sağlamış; bu da ölçüm geçerliliğini ve güvenilirliğini önemli ölçüde artırmıştır. Özellikle postüral kontrol, sıçrama ve denge testleri gibi uygulamalarda bu yerleşim sayesinde yüksek tekrarlanabilirlik sağlanmıştır.



Şekil 3.4 Kuvvet platformuna ait donanım blok diyagramı

Yük hücrelerinden elde edilen sinyaller, mekanik deformasyonlara bağlı olarak gerinim ölçer prensibiyle analog voltajlara dönüştürülmektedir. Ancak bu düşük genlikli analog sinyallerin dijital ortama doğru bir şekilde aktarılabilmesi için yüksek doğrulukta bir analog-sayısal dönüştürücü (ADC) gereklidir. Bu amaçla, sistemde ZSC31014 entegresi tercih edilmiştir. ZSC31014, yüksek örnekleme oranı ve düşük gürültü seviyesiyle öne çıkan, 16-bit çözünürlüklü bir ADC olup; sinyalin kararlılığını ve hassasiyetini artıran sıcaklık kompanzasyonu, offset düzeltme ve kazanç ayarı gibi yerleşik özelliklere sahiptir. Bu sayede ölçüm kalitesi artırılmış ve sensör çıktılarındaki sapmalar en aza indirilmiştir. Sayısallaştırılmış kuvvet verileri, ESP32 mikrodeneleyicisi tarafından alınarak işlenmekte; bu süreçte dijital filtreleme, örnekleme azaltma ve eşikleme gibi sinyal işleme algoritmaları uygulanmaktadır. ESP32, çift çekirdekli işlemcisi ve entegre Bluetooth modülü ile gömülü sistem uygulamaları için oldukça uygun bir mikrodeneleyici olarak değerlendirilmiştir. Ölçüm verileri, Bluetooth üzerinden 2.4 GHz frekansında, RS232 haberleşme protokolü yardımıyla kablosuz olarak PC ya da mobil cihazlara aktarılmakta ve bu sayede gerçek zamanlı veri iletimi mümkün kılınmaktadır. Anlık veri aktarımı, özellikle dinamik test senaryolarında analiz sürecinin kesintisiz biçimde yürütülmesini desteklemektedir.

Platformun kullanıcı etkileşimini ve sezgisel kullanımını desteklemek amacıyla sistem içerisine hem sesli hem de görsel geri bildirim mekanizmaları entegre edilmiştir. Piezoelektrik buzzer sayesinde sesli uyarılar verilirken, RGB LED bileşenleri üzerinden görsel sinyaller oluşturulmuştur. Bu geri bildirimler, test başlangıcı, ölçüm durumu, hata uyarıları ya da batarya seviyesi gibi bilgileri kullanıcıya hızlı ve anlaşılır şekilde iletme; böylece uygulayıcıya rehberlik etmektedir. Özellikle tekrarlı test protokollerinde bu tip kullanıcı yönlendirmeleri, süreç hatalarını ve operatör kaynaklı sapmaları en aza indirmektedir. Donanım mimarisine entegre edilen batarya ve şarj kontrol sistemi ise platformun mobil uygulamalarda bağımsız olarak çalışabilmesine olanak tanımaktadır. Şarj kontrol devresi, bataryanın doluluk seviyesini sürekli izlemekte; aşırı şarj, deşarj ve kısa devre gibi durumlara karşı koruma sağlayarak sistem bileşenlerine kesintisiz ve stabil enerji iletimini garanti altına almaktadır. Bu yapı, platformun uzun süreli ölçümler boyunca harici bir güç kaynağına ihtiyaç duymadan çalışabilmesini mümkün kılmakta; özellikle saha çalışmaları, sporcu testleri ve mobil klinik uygulamalarda sistemin güvenle kullanılmasını sağlamaktadır.

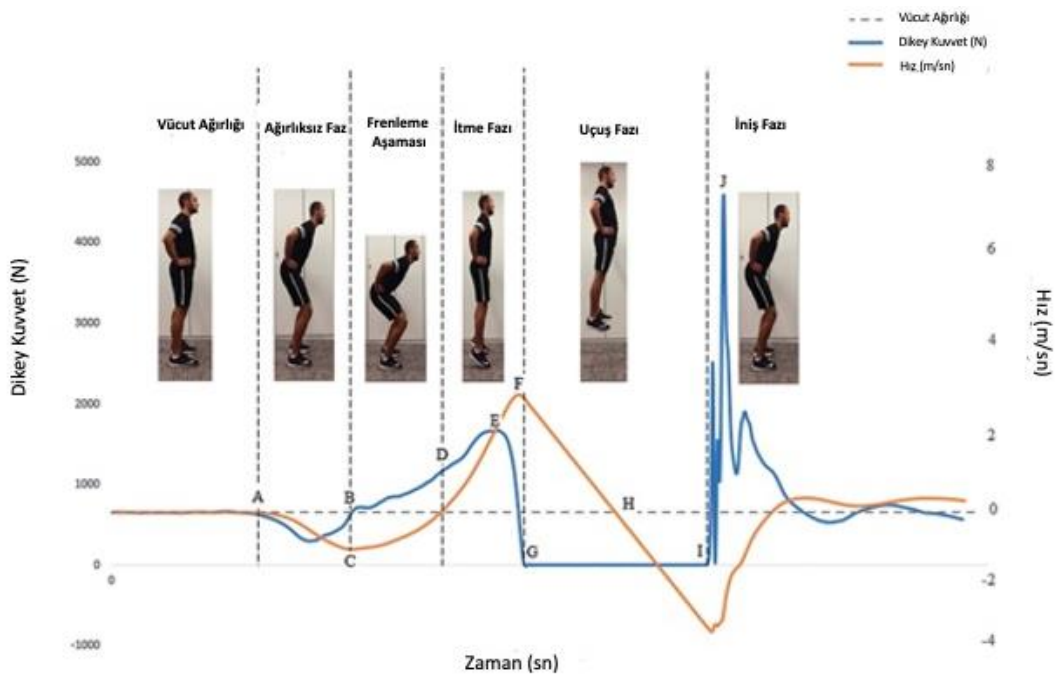
Ayrıca, sistem tekli platform konfigürasyonuna ek olarak çift platformla senkronize çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu yapı, her iki alt ekstremiteden eş zamanlı veri toplanmasına olanak sağlayarak kuvvet simetrisi, denge analizi ve yürüyüş paternlerinin değerlendirilmesi gibi daha ileri düzey biyomekanik analizlere olanak sağlamaktadır. Çift platform kullanımında, her bir ayaktan gelen kuvvet ayrı ayrı ölçülmekte; adım fazlarındaki zaman farkları, kuvvet dağılımındaki dengesizlikler ve asimetrikler hassas biçimde analiz edilebilmektedir. Bu modülerlik, sistemi yalnızca tekil testler için değil, aynı zamanda kompleks, çok değişkenli değerlendirmeler için de uygun hâle getirmektedir.

c) Yazılım Bileşeni

Sistemin PC yazılımı, Visual Studio .NET C# platformunda form tabanlı bir uygulama olarak geliştirilmiştir. Kablosuz olarak aktarılan veriler sinyal işleme teknikleri kullanılarak analiz edilmiş ve sporcuya ait vücut ağırlığı (Bodyweight), dikey kuvvet (Vertical Force - N), hız (Velocity - m/s), ağırlık azaltma aşaması (Unweighting Phase), frenleme aşaması (Braking Phase), itici faz (Propulsive Phase), havada kalma süresi

(Flight Time) ve iniş (Landing) skorları tespit edilerek eş zamanlı olarak veri tabanına kaydedilmiştir. Ölçülecek sıçrama fazları Şekil 3.6’de gösterilmiştir.

Platformdan elde edilen ham veriler, literatürde açıklanan yöntemler kullanılarak belirlenmiştir. Örneğin, sıçrama başlangıcı, vücut ağırlığı ve hareketsiz durma kuvveti, ortalama ilk 1 saniyeye eşit olacak şekilde hesaplanmıştır (her denemeden önce kuvvet platformu sistemi sıfırlanmıştır). Hareketsiz ayakta durma kuvvetinin standart sapması (SS) hesaplanmış ve vücut ağırlığının başlangıç eşiği ± 5 SS olarak ayarlanmıştır. Sonraki veri işleme, bu noktadan 30 ms önce başlatılmıştır.



Şekil 3.5 Sıçrama Fazı (İnt. Kyn.13)

Kalkış üç aşamada tanımlanmıştır. İlk olarak, 10 N’den küçük ilk kuvvet değeri ve bunu takip eden 10 N’den büyük kuvvet değeri belirlenmiştir. İkinci olarak, bu noktalardan 30 ms sonrası ve öncesindeki noktalar belirlenerek merkezi "uçuş fazı" tanımlanmıştır. Üçüncü olarak, ortalama ve SS "uçuş fazı" kuvveti hesaplanmış ve kalkış anının belirlenmesi için ortalama "uçuş fazı" kuvveti +5 SS kullanılmıştır.

Frenleme aşaması, kütle merkezi hızının en düşük olduğu karşı hareket fazından bir örnek sonra başlatılmış ve en düşük yer değiştirmede sona erdirilmiştir. Bu nokta, kalkış aşamasının sonlandığı ve itişin başlangıcının belirlendiği an olarak kabul edilmiştir.

Şekil 3.5’de gösterilen sistem üzerinde gerçekleştirilen sıçrama hareketinin fazları ve kuvvet platformundan elde edilen kuvvet verilerinin zamana göre değişimi analiz edilmiştir. Bu veriler, sinyal işleme teknikleri kullanılarak eşzamanlı olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen metrik değerler doğrultusunda, Çizelge 3.1’de belirtilen test yöntemlerini uygulayabilen bir sistem oluşturulmuştur. Platform yazılımında, spor, egzersiz ve fizyoterapi alanlarında yaygın olarak kullanılan testler baz alınmış ve bu doğrultuda Patlayıcı Kuvvet Testleri, İzometrik Kuvvet Testleri, Dinamik Kuvvet Testleri ve Denge Testleri için özel arayüzler tasarlanmıştır. Bu testler, mevcut literatür ve piyasada bulunan diğer sistemler incelenerek belirlenmiş ve platform yazılımına entegre edilmiştir. Yazılımda geliştirilen analiz sekmesi, sporcunun performans gelişimini uzun vadeli olarak takip etmeyi ve elde edilen verileri diğer sporcularla kıyaslamayı mümkün kılmaktadır. Bu sayede, sporcu kendi ilerlemesini değerlendirebilir ve eğitmenler, sporcunun sakatlanmalarını önlemek için yeni antrenman programları geliştirebilir. Bu süreç, bilimsel verilere dayanarak daha güvenli ve etkili antrenmanların oluşturulmasına yardımcı olmaktadır.

Çizelge 3.1 Sistem tarafından otomatik olarak yapılan ve yazılımında bulunan testler

Patlayıcı kuvvet testleri	İzometrik Kuvvet Testleri	Dinamik Kuvvet Testleri	Denge Testleri
Aktif dikey sıçrama testi	İzometrik Omuz I-Y-T	Squat değerlendirmesi	Statik denge
Aktif dikey sıçrama testi (ekstra ağırlıklı)	Özel İzometrik Test*	Tek ayak squat değerlendirmesi	Tek ayak statik denge
Aktif dikey sıçrama testi	İzometrik Omuz I-Y-T	Squat değerlendirmesi	Statik denge
Aktif dikey sıçrama testi (ekstra ağırlıklı)	Özel İzometrik Test*	Tek ayak squat değerlendirmesi	Tek ayak statik denge
Aktif dikey sıçrama testi	İzometrik Omuz I-Y-T	Squat değerlendirmesi	Statik denge
Aktif dikey sıçrama testi (ekstra ağırlıklı)	Özel İzometrik Test*	Tek ayak squat değerlendirmesi	Tek ayak statik denge
Squat sıçrama testi (ekstra ağırlıklı)			
Derinlik sıçraması testi			

Çizelge 3.1 (Devamı) Sistem tarafından otomatik olarak yapılan ve yazılımında bulunan testler

Patlayıcı kuvvet testleri	İzometrik Kuvvet Testleri	Dinamik Kuvvet Testleri	Denge Testleri
Tek ayak Derinlik sıçraması testi			
İniş ve Tutuş testi			
Tek Ayakla İniş ve Tutuş testi			
Durarak uzun atlama testi			
Tek Bacak Durarak uzun atlama testi			

Ayrıca, sistemin mobil uygulama yazılımı Android Studio geliştirme platformu kullanılarak hazırlanmıştır. Bu uygulama, sporcunun antrenman sürecini gerçek zamanlı olarak takip etmesini sağlayarak, antrenman sırasındaki temel metriklerin anlık izlenmesine olanak tanımıştır. Böylece, sporcunun performansı sürekli olarak değerlendirilmiş ve bireysel gelişim süreci etkin bir şekilde yönetilmiştir.

3.5.2 Sisteminin Geçerlik ve Güvenirliği

Çalışmaya, düzenli olarak sportif aktivitelere katılım sağlayan (haftada üç gün, günde 1-2 saat) 18-30 yaş aralığındaki 30 erkek üniversite öğrencisi dahil edilmiştir. Örneklem büyüklüğünün belirlenmesi için G-Power yazılımı kullanılmış olup, iki yönlü varyans analizi (ANOVA) için %95 güç ve %5 hata düzeyinde (etki büyüklüğü: 0.05) yapılan hesaplamalar sonucunda, en az 20 katılımcının yeterli olduğu tespit edilmiştir. Çalışma sürecinde yaklaşık %15 oranında katılımcı kaybı yaşanabileceği öngörülerek, toplamda 23 bireyin araştırmaya dahil edilmesine karar verilmiştir. Katılımcılar, çalışmanın potansiyel yararları ve olası riskleri hakkında bilgilendirilerek, etik kurul onayı alındıktan sonra yazılı bilgilendirilmiş gönüllü onam formları imzalatılmıştır.

Araştırmaya Dahil Edilme Kriterleri

Araştırmaya dahil edilen katılımcılar aşağıdaki kriterlere uygun bireylerden seçilmiştir:

- 18-30 yaş aralığında olmak,
- Herhangi bir sağlık sorununun bulunmaması,
- Son altı ay içinde cerrahi bir operasyon geçirmemiş olmak,
- Müsabaka döneminde bulunmak ve antrenmanlarına düzenli olarak devam etmek,
- Daha önce dikey sıçrama deneyimine sahip olmak,
- Takım sporları veya bireysel sporlarda müsabık olarak yer almak,
- Erkek cinsiyette olmak.

Araştırmadan Dışlanma Kriterleri

Aşağıdaki durumlardan herhangi birine sahip bireyler araştırmaya dahil edilmemiştir:

- Ölçüm gününden önceki 24 saat içinde kafein veya alkol tüketimi,
- Ölçüm gününden önceki 24 saat içinde yüksek şiddetli egzersiz yapılması,
- Ölçüm süreci boyunca herhangi bir yaralanma veya hastalık durumunun ortaya çıkması.

Güvenirlilik ve Geçerlik Değerlendirme Yöntemi

Bu çalışmada, geliştirilen kuvvet platformunun güvenirlik ve geçerliği statik ve dinamik kuvvet parametreleri açısından iki aşamada değerlendirilmiştir. Statik kuvvet değerlendirmeleri Biyomedikal Laboratuvarı'nda gerçekleştirilirken, dinamik kuvvet değerlendirmeleri spor salonunda uygulanmıştır. Bu süreçte, ölçüm prosedürleri titizlikle belirlenmiş ve standart test protokolleri takip edilmiştir. Çalışmada değerlendirilen ölçüm parametreleri Çizelge 3.2'de sunulmuştur.

Çizelge 3.2 Güvenirlik ve geçerlik çalışmalarda değerlendirilecek olan kuvvet-zaman parametreleri ve hesaplamaları

Değişkenler	Hesaplama	AS	SS	DS
RSI	Sıçrama Yüksekliği / Yerle Temas Süresi.			X
Sıçrama Yüksekliği (m)	Sıçrama yüksekliği $h=g \cdot ft^2/8$ (h =yükseklik, g =yerçekimi (9.8), ft =havada kalış süresi)	X	X	X
Havada kalış süresi (sn)	Platform ile temas olmadan için geçen süre.	X	X	X

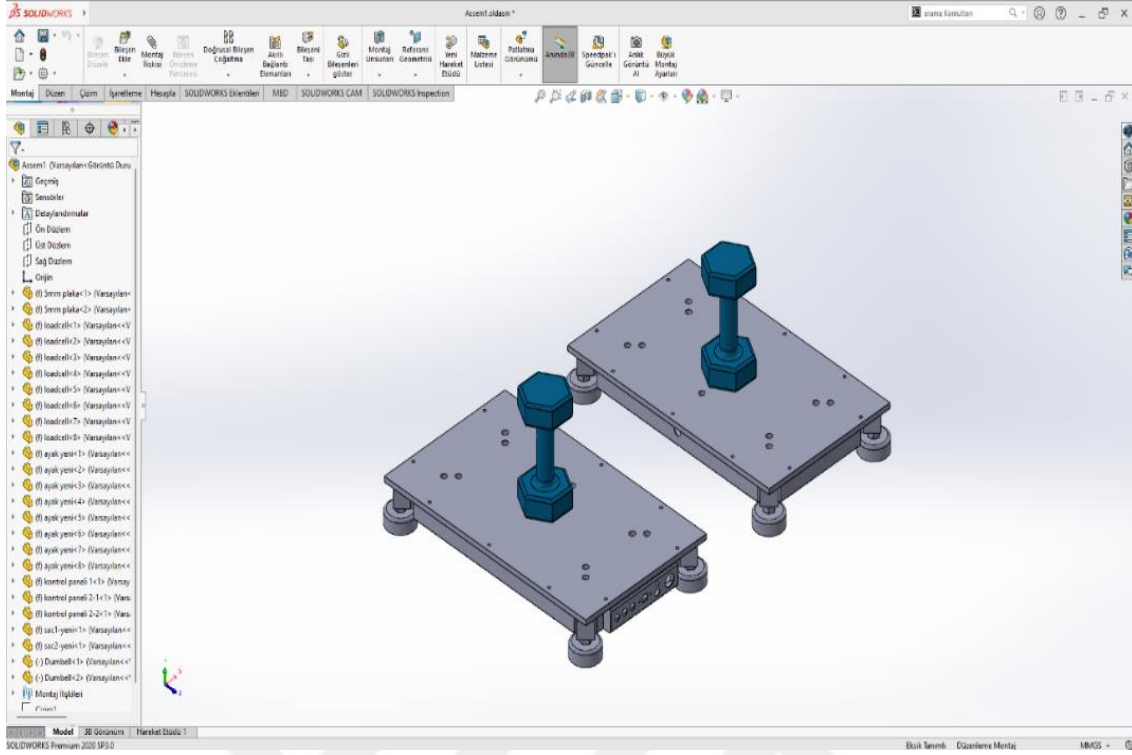
Çizelge 3.2 (Devam) Güvenirlik ve geçerlik çalışmalarda değerlendirilecek olan kuvvet-zaman parametreleri ve hesaplamaları

Değişkenler	Hesaplama	AS	SS	DS
Ortalama İtici Güç (W)	İtici faz sırasında kütle merkezine uygulanan ortalama mekanik güç.	X	X	X
Zirve İtici Güç (W)	İtiş fazı sırasında kütle merkezine uygulanan en yüksek anlık mekanik güç.	X	X	X
Zirve İtici Hız (m/sn)	İtici faz sırasında kütle merkezinin en yüksek anlık dikey hızı. İtme fazı sırasında	X	X	X
Net İtici İtki (N.sn)	İtici faz sırasında kütle merkezine uygulanan ortalama dikey yer tepki kuvveti.	X	X	X
Ortalama İtici Kuvvet (N)	İtici faz sırasında kütle merkezine uygulanan en yüksek anlık dikey yer tepki kuvveti.	X	X	X
Sertlik (N/m)	Tepe frenleme kuvvetinin frenleme derinliğine bölümü.			X
Frenleme Derinliği(m)	Frenleme fazı sırasında kütle merkezinin en yüksek negatif dikey yer değiştirmesi.			X
Aktif sıçrama derinliği (m)	Frenleme fazı sırasında kütle merkezinin en yüksek negatif dikey yer değiştirmesi.	X	X	
Ortalama Frenleme Gücü (W)	Frenleme aşaması sırasında kütle merkezine uygulanan ortalama mekanik güç	X	X	X
Zirve Frenleme Gücü (W)	Frenleme fazı sırasında kütle merkezine uygulanan en yüksek negatif anlık mekanik	X	X	X
Net Frenleme İmpulsu (N.s)	Frenleme aşaması sırasında kütle merkezine uygulanan net dikey itki.	X	X	X
Ortalama Frenleme Kuvveti (N)	Frenleme aşaması sırasında kütle merkezine uygulanan ortalama dikey yer tepki kuvveti	X	X	X
Zirve Frenleme Kuvveti (N)	Frenleme fazı sırasında kütle merkezine uygulanan en yüksek anlık dikey yer tepki	X	X	X

Anahtar: RSI, reaktif güç endeksi; b, birim; m, metre; s, saniye; W, watt; N, Newton; AS, Aktif Sıçrama; SS, Squat sıçraması DS, derinlik sıçraması; X, dahil.

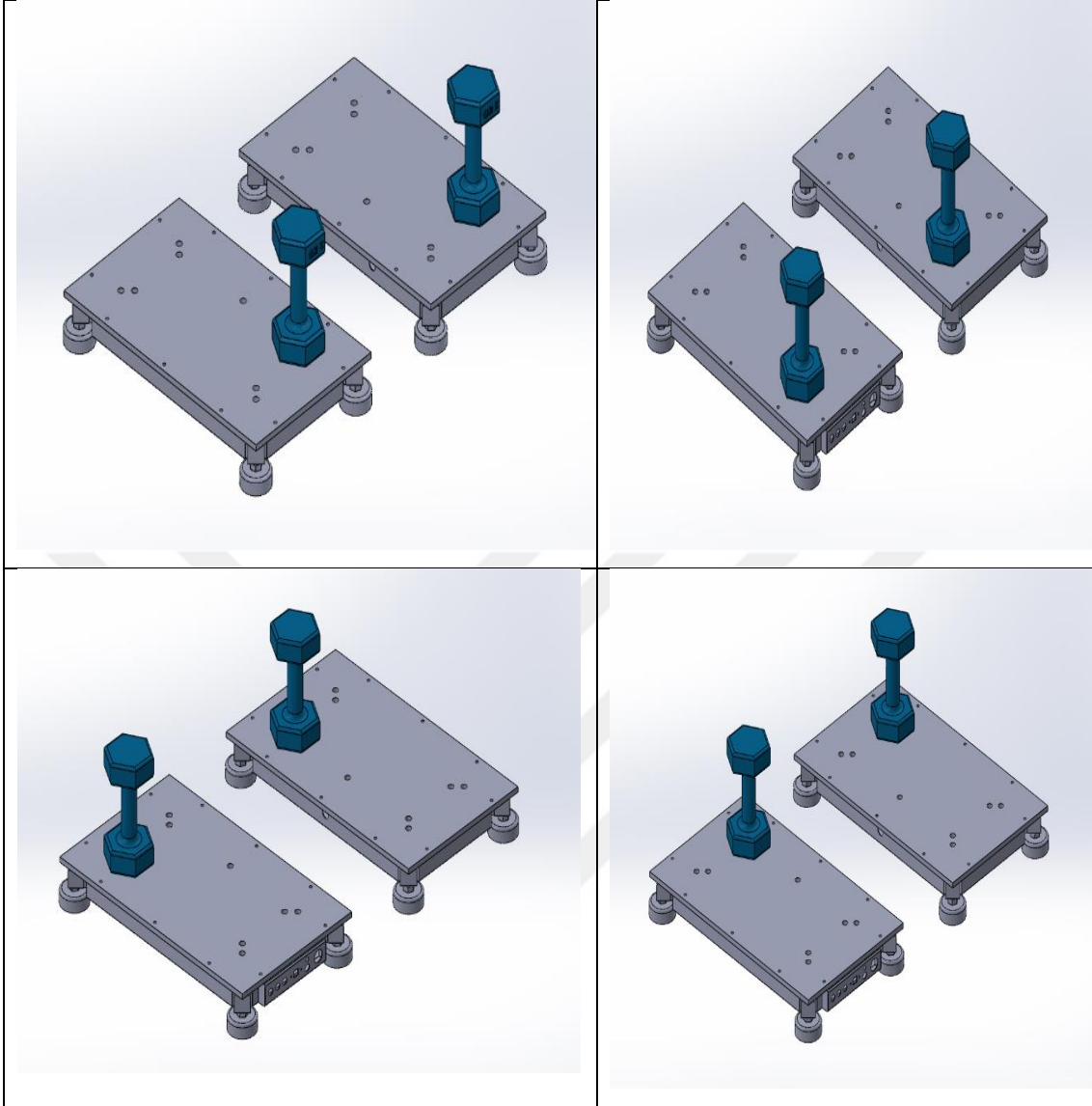
3.5.2.1 Statik Kuvvet Güvenirlik ve Geçerlik Değerlendirmesi

Geliştirilen kuvvet platformunun statik kuvvet geçerliği, platformun merkez bölgesine sırasıyla 20kg, 60kg, 100, ve 140kg'lık ağırlıkların yerleştirilmesiyle değerlendirilmiştir (Şekil 3.7). Bu süreçte, her bir ağırlık belirlenen noktalara dikkatlice konumlandırılmış ve ölçümler gerçekleştirilmiştir. Sistemin güvenirliliği ise aynı ağırlıkların platform üzerine birer dakikalık aralıklarla onar kez yerleştirilmesiyle test edilmiştir. Bu uygulamalar sırasında ölçüm sonuçlarının tutarlılığı ve tekrar edilebilirliği analiz edilerek sistemin güvenilirliği istatistiksel yöntemlerle değerlendirilmiştir.



Şekil 3.6 Statik kuvvet ölçüm güvenirlik düzeneği

Bir kuvvet platformunun, üst yüzeyi boyunca uygulanan kuvvetleri homojen bir şekilde algılaması ve her noktada tutarlı ölçümler sunması beklenmektedir. Bu doğrultuda, geliştirilen kuvvet platformunun bölgesel kuvvet algılama kapasitesini değerlendirmek amacıyla kapsamlı bir test prosedürü uygulanmıştır. Değerlendirme sürecinde, 20kg, 40 kg, 55 kg, 80 kg ve 100kg'lık standart bir ağırlıklar kullanılarak platformun dört farklı köşesinde ölçümler gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.8). Bölgesel analizlerin doğruluğunu artırmak ve sistemin ölçüm hassasiyetini belirlemek amacıyla, her bir konumda rastgele beş deneme ve 2 tekrar yapılmış ve bu denemeler sırasında platformun ürettiği veriler kayıt altına alınmıştır. Elde edilen ölçüm sonuçları, platformun yüzey boyunca kuvvet algılama yeteneğinin değerlendirilmesi için istatistiksel yöntemlerle analiz edilmiştir. Ayrıca, platformun farklı bölgelerdeki ölçümlerinin tutarlılığı karşılaştırılmış ve sistemin bölgesel güvenirliği belirlenmiştir. Böylece, platformun kuvvet algılama kapasitesinin sadece merkezi bölgede değil, tüm yüzeyinde tutarlı olup olmadığı araştırılmıştır.



Şekil 3.7 Statik kuvvetin platformun farklı bölgelerinde ölçüm güvenilirlik düzeneği

3.5.2.2 Dinamik Kuvvet Güvenirlik ve Geçerlik Değerlendirmesi

Sistemin dinamik kuvvet güvenirliliği ve geçerliğinin belirlenmesi (Şekil 3.9) amacıyla, literatürde yapılan çalışmalara benzer şekilde iki ayrı çalışma gerçekleştirilmiştir (Badby vd. 2023, Sands vd. 2020). Sistemin geçerliğini belirlemek amacıyla, geliştirilen kuvvet platformundan elde edilen veriler, literatürde güvenilirlik ve geçerliği sınanmış olan Forcadesk (İngiltere) marka kuvvet platformundan (referans sistem) elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmanın sağlıklı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için, yeni geliştirilen kuvvet platformu, referans kuvvet platformunun üzerine yerleştirilmiş ve ölçümler bu konumda yapılmıştır.



Şekil 3.8 Kuvvet platformu güvenilirlik ve geçerlik testi

Ölçüm sürecinde, katılımcılar üst üste yerleştirilmiş iki kuvvet platformunun üzerine çıkarılmış ve sistemler sıfırlanarak kalibrasyonları tamamlanmıştır. Kalibrasyon işleminin ardından, katılımcılar squat sıçraması gerçekleştirmiştir. Bu sıçramalar sırasında her iki sistemden eş zamanlı olarak elde edilen veriler kaydedilmiş ve geçerlik analizi için karşılaştırılmıştır. Testlerin güvenilir ve geçerli sonuçlar üretebilmesi için, katılımcılar ölçümlerden önce 10 dakika süren bir ısınma protokolü uygulamıştır. Isınma sürecinde, ilk beş dakika aktif egzersiz, sonraki beş dakika ise esneme (stretching) çalışmaları yapılmıştır. Ardından, katılımcılar test sürecine aşinalık kazanmaları amacıyla üç squat sıçraması ve üç aktif sıçrama gerçekleştirmiştir.

3.6 Sistemin İstatistiksel Analizi

Tüm istatistiksel analizler SPSS 18.0 yazılımı (SPSS Inc., Chicago, IL, ABD) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Verilerin normal dağılıma uygunluğunu belirlemek amacıyla Kolmogorov-Smirnov testi, varyans homojenliğini değerlendirmek için ise

Levene testi uygulanmıştır. Ölçüm sonuçları ortalama $\pm$ standart sapma (mean $\pm$ SD) olarak raporlanmıştır.

Güvenirlilik ve geçerlik analizlerinde, ölçümler arasında sistematik bir fark olup olmadığını değerlendirmek amacıyla bağımlı gruplar için T-testi kullanılmıştır. Test-tekrar test güvenilirliği, %95 güven aralığında aşağıdaki istatistiksel yöntemlerle analiz edilmiştir:

- Sınıf İçi Korelasyon Katsayısı (SKK / ICC)
- Bland-Altman analizleri: sistematik yanlılık (bias) $\pm$ rastgele hata
- Varyasyon Katsayısı (VK)
- Tipik Tahmin Hatası (TTH / Typical Error of Measurement)

Yeni geliştirilen kuvvet platformunun, referans sistemle eşzamanlı geçerliğini değerlendirmek amacıyla da SKK, Bland-Altman analizi ve TTH değerleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca, Bland-Altman grafikleri üzerinde gösterilen mutlak farklar ile ortalama değerler arasındaki korelasyon (r^2) da geçerlik ve güvenilirlik açısından yorumlanmıştır.

SKK için kabul edilen yorum aralıkları şu şekildedir (Buchheit ve Mende 2013, Rogers vd. 2019):

- Son derece yüksek: 0.99–0.90
- Çok yüksek: 0.90–0.75
- Yüksek: 0.75–0.50
- Orta: 0.50–0.20
- Düşük: <0.20

İstatistiksel anlamlılık düzeyi $p < 0.05$ olarak kabul edilmiştir.

Güvenirlilik kriterleri:

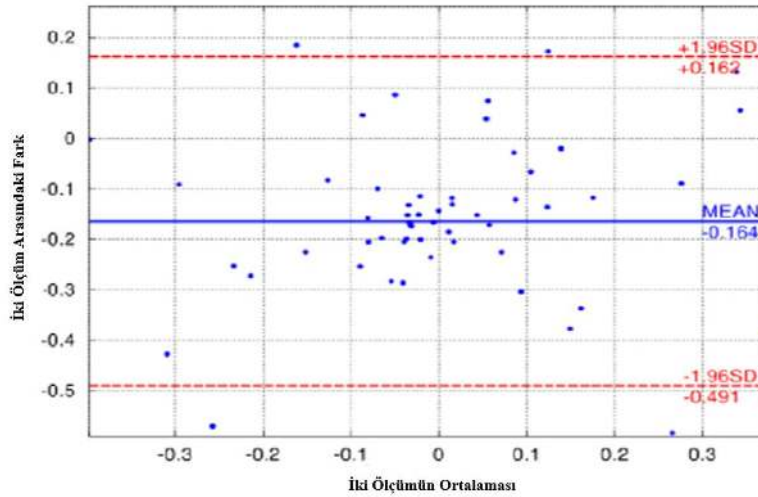
- VK < %8 (Hopkins vd. 2001)
- SKK ≥ 0.80 (Beattie ve Flanagan 2015, Rogers vd. 2019)
- TTH < %5 (O'Donnell vd. 2018)

Geçerlik kriterleri:

- $SKK \geq 0.95$ [Walsh vd. 2006]
- $TTH < \%5$ (O'Donnell vd. 2018)

3.6.1 Bland Altman

Bland-Altman analiz yöntemi, 1983 yılında Altman ve Bland tarafından geliştirilmiş olup, iki nicel ölçüm yöntemi arasındaki anlaşmayı değerlendirmek ve anlaşma sınırlarını belirlemek amacıyla kullanılan istatistiksel bir yaklaşımdır. Bu yöntem, iki ölçüm arasındaki ortalama farkı ve standart sapmayı hesaplayarak, %95 güven aralığını temsil eden ± 2 standart sapmalı anlaşma sınırlarını tanımlar. Yöntemin grafiksel sunumunda (Şekil 3.10), X ekseninde iki yöntemin ortalaması, Y ekseninde ise bu yöntemler arasındaki fark gösterilir. Basit ve esnek bir yapıya sahip olan Bland-Altman analizi, farkların hem mutlak birimlerle hem de yüzde cinsinden ifade edilmesine olanak tanır; anlaşma sınırları ise klinik gereksinimler, biyolojik değişkenlik ya da diğer hedefler doğrultusunda önceden belirlenebilir.



Şekil 3.9 Bland altman grafiği (İnt. Kyn. 14)

Bu analiz yöntemi; yeni bir ölçüm yönteminin mevcut yöntemle karşılaştırılması, cihaz validasyonu, klinik ölçümlerin doğruluğunun ve güvenilirliğinin değerlendirilmesi, laboratuvar araştırmaları, kalite kontrol ve akreditasyon çalışmaları gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Önemle vurgulanmalıdır ki, korelasyon katsayısı iki

yöntem arasındaki ilişkiyi göstermekle birlikte, yöntemler arası anlaşmayı değerlendirmek için uygun değildir; bu nedenle Bland-Altman yöntemi tercih edilir. Ancak, bu analiz yalnızca ölçümler arasındaki farkları ve yayılımı ortaya koyar, yöntemin klinik olarak kabul edilebilir olup olmadığını doğrudan belirlemez (Giavarina 2015).

3.6.1.1 Rastgele Hata

Rastgele hata, ölçme sürecinde ölçüm aracından veya ölçümü gerçekleştiren bireyden bağımsız olarak, genellikle dikkatsizlik, çevresel koşullar veya ölçüm sürecindeki öngörülemeyen değişkenlerden kaynaklanan ve yönü ile büyüklüğü önceden kestirilemeyen hata türü olarak tanımlanmaktadır. Bu tür hatalar ölçümün kimi zaman gerçek değerden küçük, kimi zaman ise büyük çıkmasına neden olur ve sistematik bir eğilim göstermedikleri için belirli bir düzeltme ile giderilmeleri mümkün değildir. Ölçme sürecinde gözlemcinin dikkatsizliği, araç kullanımındaki rastlantısal sapmalar veya yanıtların değerlendirilmesindeki özensizlik gibi faktörler, rastgele hataların temel kaynakları arasında yer almaktadır (Kasap vd. 2018).

3.6.1.1 Sistematik Hata

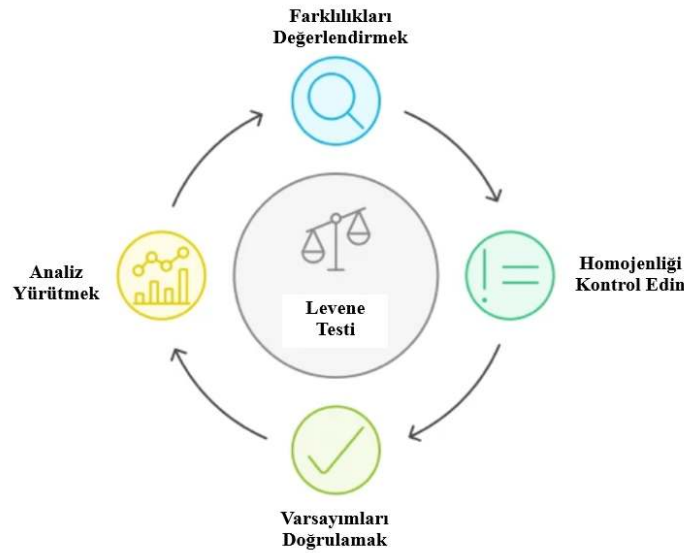
Sistematik hata, ölçülen büyüklüğe, ölçeğe veya ölçme koşullarına bağlı olarak miktarı değişen ve ölçüm sonuçlarını belirli bir yönde saptıran hata türüdür. Bu hatalar tesadüfi değil, düzenli bir şekilde tekrarlandığından ölçüm sonuçlarının güvenilirliğini ve geçerliliğini olumsuz etkiler. Nitekim bir hatanın taraf tutmaya yol açabilmesi için sistematik özellik göstermesi gerekir ve sistematik hatalar genellikle kontrollü çalışmalarda bir grubun sonuçlarının diğerine göre farklı bir yöne kaymasına neden olur (Çaparlar ve Dönmez 2016). Dolayısıyla sistematik hatalar, ölçme sürecinde yanlılık (bias) kaynağı olarak değerlendirilmekte ve bilimsel çalışmaların her zaman hataya açık olduğu gerçeğini ortaya koymaktadır.

3.6.2 Levene testleri

İstatistiksel karşılaştırmaların temel varsayımlarından biri olan varyans homojenliği,

özellikle parametrik testlerin (örneğin ANOVA) geçerliliği açısından kritik bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda, 1960 yılında Profesör Howard Levene tarafından geliştirilen Levene testi, varyansların eşitliğini değerlendirmek için sağlam ve güvenilir bir yöntem olarak literatürde geniş kabul görmüştür. Levene'in önerdiği yöntem, her bir gözlemin ait olduğu grup ortalamasından mutlak sapmalarına F-testi uygulamaya dayanır. Bu yaklaşım, özellikle normal dağılım varsayımının sağlanmadığı durumlarda da geçerliliğini koruyarak, parametrik olmayan sağlam bir varyans homojenliği testi olarak öne çıkmaktadır (Gastwirth vd. 2009).

Levene testi (Şekil 11), her bir veri noktasının ait olduğu grubun merkezi eğilim ölçüsünden (örneğin ortalama, medyan ya da trimean) olan mutlak sapmalarına dayalı sözde gözlemler (pseudo-observations) oluşturur. Daha sonra bu sözde gözlemler üzerinde klasik varyans analizi (ANOVA) uygulanarak, gruplar arasında anlamlı bir varyans farklılığı olup olmadığı test edilir (Carroll ve Schneider 1985). Bu sayede, orijinal veri dağılımlarının normal olmaması gibi kısıtlayıcı koşullarda dahi güvenilir sonuçlar elde edilebilir.



Şekil 3.10 Levene testi (İnt. Kyn. 15)

Testin klasik versiyonunda ortalamaya dayalı sapmalar kullanılsa da, son yıllarda özellikle dengesiz örneklem büyüklüklerinde medyana dayalı Levene testlerinin daha sağlam sonuçlar verdiği görülmüştür. Ancak, Levene testinin standart versiyonunun F

dağılımına dayandığında anlamlılık düzeylerini şişirebildiği ve özellikle tekrar sayılarının eşit olmadığı deneysel tasarımlarda varyans homojenliğinden farklı hipotezleri test edebildiği ifade edilmiştir. Bu doğrultuda, ağırlıklı en küçük kareler yaklaşımı ile geliştirilen yeni modeller, Levene testine istatistiksel olarak daha dengeli ve tarafsız bir yapı kazandırmayı hedeflemektedir (O'Neill ve Mathews 2000).

Bu tez kapsamında geliştirilen kuvvet platformunun istatistiksel olarak güvenilirliğini değerlendirmek amacıyla, farklı ölçüm koşulları ve tekrar oturumları arasında varyansların eşitliğini test etmek için Levene testinden yararlanılmıştır. Böylece platformun ölçüm güvenirliliği açısından tutarlı çıktılar üretip üretmediği nesnel olarak değerlendirilmiştir.

3.6.3 T Testi

T testi, iki grup arasındaki ortalama farklarını değerlendirmek amacıyla kullanılan parametrik bir testtir. Özellikle ağırlık düzeyi, performans ölçümleri veya tedavi etkinliği gibi değişkenlerin analizinde, biyomedikal araştırmalarda sıkça tercih edilmektedir (Yim vd. 2010). Parametrik testler içerisinde belki de en yaygın kullanılanlardan biri olan T testi, örneklemelerin belirli varsayımları sağlaması durumunda oldukça güçlü sonuçlar sunmaktadır. Bu varsayımlar arasında normallik, varyansların homojenliği ve örneklemelerin birbirinden bağımsız olması gibi koşullar yer alır (Lee vd. 2015).

İstatistiksel çıkarım yöntemleri genel olarak parametrik ve parametrik olmayan olarak ikiye ayrılmaktadır. Parametrik yöntemler, olasılık dağılımının belli bir forma sahip olduğunu (çoğunlukla normal dağılım) varsayarak bu dağılıma ait parametreler hakkında değerlendirmeler yapar. T testi bu bağlamda, dağılımın ortalamasına ilişkin hipotezleri test etmek amacıyla geliştirilmiş bir parametrik yöntemidir.

Araştırma tasarımına ve verilerin yapısına göre farklı T-testi türleri kullanılabilir. Genel olarak T testi üç alt başlıkta sınıflandırılmaktadır: tek örneklem t-testi, bağımsız örneklem t-testi ve bağımlı örneklem t-testi (Callak 2020).

Tek örneklem t-testi, bir örneklemin ortalamasının, bilinen bir popülasyon ortalaması ya da sabit bir referans değere göre anlamlı bir fark içerip içermediğini test eder.

Bağımsız örneklem t-testi, birbirinden bağımsız iki grubun ortalamaları arasındaki farkın istatistiksel anlamlılığını sorgular.

Bağımlı örneklem t-testi, aynı grubun farklı zamanlardaki ölçümünü (örneğin ön test-son test), ya da eşleştirilmiş iki grubun karşılaştırmalarını yapmak amacıyla kullanılır.

Tez kapsamında geliştirilen kuvvet platformu ile elde edilen ölçümler arasında anlamlı farkların olup olmadığını değerlendirmek amacıyla, uygun T testi türleri kullanılmıştır. Kullanılan test türü, ölçümün yapısı (bağımlı/bağımsız gruplar) ve araştırma hipotezlerine göre belirlenmiştir.

3.6.4 Sınıf İçi Korelasyon

Sınıf içi korelasyon katsayısı (Intraclass Correlation Coefficient, ICC), aynı bağlamda kümelenmiş ölçümler arasındaki tutarlılığı ve benzerliği değerlendirmek amacıyla kullanılan güçlü bir istatistiksel yöntemdir. Özellikle aynı özelliğin farklı zamanlarda, farklı ölçüm araçları ya da farklı gözlemciler tarafından değerlendirilmesi durumlarında ölçüm güvenilirliğini ifade etmek üzere kullanılır (Weir 2005). ICC, ölçümlerin yalnızca sıralamasına değil, mutlak değerlerine de duyarlıdır; bu yönüyle Pearson korelasyon katsayısından farklılık gösterir.

ICC, temel olarak aynı sınıfa ait (örneğin aynı birey, aynı nesne ya da aynı ölçüm sistemi) tekrar eden ölçümlerin, ölçümler arası toplam varyans içindeki payını hesaplar. Başka bir ifadeyle, ölçümler arasındaki toplam varyasyonun ne kadarının sistematik ve ne kadarının tesadüfi olduğu hakkında bilgi sunar. Bu kapsamda ICC, ölçümlerdeki toplam açıklanamayan varyasyonun ne kadarının bağlamlar (örneğin denekler, cihazlar, oturumlar) arasındaki farklardan kaynaklandığını gösteren bir oran olarak tanımlanabilir (Leyland ve Groenewegen 2024).

Sınıf içi korelasyon katsayısı çeşitli modellerle hesaplanabilmektedir. Bu modeller

arasında tek ölçüm ve ortalama ölçüm, tutarlılık ve mutlak uyum gibi seçenekler yer almaktadır. Hangi modelin seçileceği, çalışmanın tasarımına ve ölçüm amacına göre belirlenmelidir. Örneğin, eğer farklı oturumlardaki ölçümlerin birbirine ne kadar benzediği test edilmek isteniyorsa "tutarlılık" modeli tercih edilirken; cihazın birebir aynı ölçümleri tekrar edip etmediğini değerlendirmek için "mutlak uyum" modelinin tercih edilmesi daha uygundur.

Bu çalışmada geliştirilen kuvvet platformunun test-tekrar test güvenilirliğini değerlendirmek amacıyla ICC analizi uygulanmıştır. Aynı bireyden elde edilen farklı ölçümlerin ne derece benzerlik gösterdiği hesaplanarak sistemin zaman içindeki tutarlılığı ve ölçüm güvenilirliği istatistiksel olarak ortaya konmuştur

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Resim 4.1’de tez çalışması kapsamında geliştirilen kuvvet platformu ve test düzeneği görülmektedir. Çalışmanın geçerlik ve güvenirlik analizleri, laboratuvar ve saha koşullarında denenip, analiz edilmiştir. Laboratuvar testleri aşamasında standart ağırlıklara sahip dumbeller kullanılarak; sistematik hata testi, bölgesel ağırlık testi ve statik ağırlık ölçümü testleri tekrarlı olarak alınarak ölçüm verileri alınmış. Bu ölçüm sonuçları, istatistiksel metotlar kullanılarak incelenmiştir. Saha testi uygulamalarında, izometrik ölçüm doğruluğu, sıçrama ölçüm doğruluğu ve balans testi verileri alınarak, analiz edilmiştir. Bu analiz aşamasında Şekil 4.1 de görüldüğü gibi, piyasada geçerlik ve güvenirliği kanıtlanmış, ForceDesk kuvvet platformu ile, bu tez çalışması kapsamında elde edilen veriler eş zamanlı olarak kayıt edilmiş ve istatistiksel metotlarla geliştiren sistemin geçerlik ve güvenirlikleri hesaplanmıştır.



Resim 4.1 Geliştirilen kuvvet platformu ve test düzeneği

4.1 Kuvvet Platform Yazılımı

Geliştirilen kuvvet platformunun kullanıcı ile etkileşimli bir şekilde çalıştırılabilmesi amacıyla, masaüstü (Windows Form) ve mobil uygulama tabanlı yazılım arayüzleri tasarlanmıştır. Bu arayüzlerin geliştirilmesinde, Microsoft Visual Studio bütünlük geliştirme ortamı (IDE) kullanılmıştır.

4.1.1 Windows Form Uygulaması

Sistem, farklı performans parametrelerini değerlendirebilmek amacıyla üç temel mod üzerinde çalışmaktadır: izometrik, balans ve sıçrama. Bu modlar, kuvvet platformunun kullanım alanlarını çeşitlendirmekte ve elde edilen verilerin hem spor bilimleri hem de biyomedikal uygulamalarda işlevsel biçimde değerlendirilmesine olanak tanımaktadır.

İzometrik test modu, bireyin belirli bir süre boyunca sabit bir pozisyonda uyguladığı kuvveti analiz etmeyi hedeflemektedir. Spor bilimlerinde izometrik testler, özellikle maksimal kuvvet kapasitesinin objektif değerlendirilmesi, alt ekstremité kas grupları arasındaki asimetriklerin tespiti ve antrenman programlarının etkinliğinin izlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Ayrıca bu testler, sporcunun patlayıcı kuvvet gelişimine zemin hazırlayan kuvvet profillerinin çıkarılmasına ve yaralanma riskini artıracı kuvvet dengesizliklerinin belirlenmesine katkı sağlamaktadır. Bu bağlamda sistem, kullanıcıya aşağıdaki parametreleri sunmaktadır:

- Sağ ve sol ayaklar için minimum ve maksimum kuvvet değerleri (Newton),
- Kişinin platforma uyguladığı toplam minimum, maksimum ve ortalama kuvvet değerleri,
- Hareket süresince sağ ve sol ayak kullanım yüzdeleri.

Test sırasında, kullanıcının platforma uyguladığı kuvvetler eşzamanlı olarak arayüzde kayan bir grafik üzerinde gösterilmektedir. Test tamamlandığında “Analiz” butonuna basılmasıyla birlikte, grafik üzerinde testin başlangıcından bitimine kadar yapılan hareketler tek bir pencerede ayrıntılı olarak görüntülenmektedir. Kullanıcı, grafiğin herhangi bir aralığına çift tıklayarak açılan “Aralık Analizi” penceresinde şu parametrelere erişebilmektedir:

- Seçilen aralığın ortalama sağ ayak kuvveti,
- Ortalama sol ayak kuvveti,
- Ortalama toplam kuvvet,
- Maksimum toplam kuvvet.

Bu özellik sayesinde kullanıcı, ilgilendiği herhangi bir zaman aralığının analizini saniyeler içerisinde gerçekleştirebilmekte ve bu işlemi sınırsız sayıda tekrarlayabilmektedir. Böylelikle sistem, hem detaylı veri analizi imkânı sunmakta hem de kullanıcı deneyimini zenginleştirmektedir.

Uygulamada, bu verilerin kullanıcıya sunulma biçimi iki farklı seçenekle yapılandırılmıştır: “Rapor Al” ve “Detaylı Rapor Al”. “Rapor Al” seçeneğinde yukarıda belirtilen özet parametreler tablo halinde sunulurken, “Detaylı Rapor Al” seçeneğinde ise test süresince elde edilen tüm ham veriler kullanıcıya aktarılmaktadır. Böylelikle araştırmacılar ve spor bilimciler, ihtiyaçlarına uygun şekilde hem özet hem de ayrıntılı veri analizi gerçekleştirebilmektedir.

Sistemde yer alan ikinci mod, balans testi için tasarlanmıştır. Balans, bireyin statik veya dinamik durumlarda postüral kontrolünü sürdürebilme yetisi olarak tanımlanmakta ve hem spor performansının geliştirilmesi hem de yaralanma riskinin önlenmesi açısından kritik bir öneme sahiptir. Literatürde yapılan çalışmalarda, sporcularda balansın değerlendirilmesi sıklıkla gözler açık/kapalı, tek ayak üzerinde durma, çift ayak üzerinde farklı zemin koşullarıyla durma gibi protokollerle gerçekleştirilmektedir. Geliştirilen sistemde, kullanıcı dilediği protokolü uygulayabilmekte ve bu bilgileri test sırasında arayüzde yer alan “Not” kısmına kaydederek daha sonra raporlarda görebilmektedir. Böylelikle elde edilen veriler, testin hangi koşullar altında yapıldığının takibi açısından daha anlamlı bir hâle gelmektedir. Test sonucunda sistem, denge performansını değerlendirmek üzere aşağıdaki parametreleri sunmaktadır:

- CoP Anterior-Posterior (Ön-Arka Basınç Merkezi Salınımı): Bireyin öne ve arkaya doğru ağırlık aktarımındaki denge kontrolünü göstermektedir.
- CoP Range Medial-Lateral (Sağ-Sol Basınç Merkezi Aralığı): Yanlara doğru gerçekleşen salınımların genişliğini ifade etmektedir.
- CoP Area Ellipse (Basınç Merkezi Elips Alanı): Bireyin test süresi boyunca basınç merkezinin kapsadığı alanı göstererek postüral stabilitenin genel düzeyi

hakkında bilgi vermektedir.

- Total Excursion (Toplam Salınım Mesafesi): Test süresince basınç merkezinin kat ettiği toplam mesafeyi belirtmekte ve genel denge kontrolünün objektif bir göstergesi olmaktadır.

Test süresi boyunca arayüzde, platformun yüzeyi dört eşit alana bölünmüş bir grafik üzerinde gösterilmektedir. Bu grafik sayesinde kullanıcının ağırlık dağılımı eşzamanlı olarak izlenebilmekte ve kişinin test sırasında hangi bölgelerde daha yoğun olarak durduğu görsel biçimde analiz edilebilmektedir.

Balans modu için raporlama süreci, izometrik test moduna benzer şekilde yapılandırılmıştır. “Rapor Al” seçeneğinde yukarıda belirtilen parametreler tablo halinde sunulurken, “Detaylı Rapor Al” seçeneğinde test süresince elde edilen tüm ham veriler kullanıcıya aktarılmaktadır. Böylece araştırmacılar ve spor bilimciler, ihtiyaçlarına göre hem özet hem de ayrıntılı veri analizleri yapabilmektedir.

Sistemde yer alan en kapsamlı bölüm, sıçrama modudur. Bu mod, bir ana pencere üzerinden seçilebilen beş farklı test protokolünden oluşmaktadır: dikey sıçrama, tekrar sayısına göre sıçrama, zamana göre sıçrama, ekstra ağırlıklı sıçrama ve derinlik sıçrama. Sıçrama testleri, spor bilimlerinde alt ekstremité güç kapasitesinin, reaktif kuvvet gelişiminin ve yorgunluğa bağlı performans değişimlerinin objektif biçimde değerlendirilmesi açısından yaygın olarak kullanılmaktadır.

Dikey Sıçrama (Vertical Jump): Alt ekstremité kaslarının patlayıcı kuvvetini değerlendirmeye yönelik en temel testlerden biridir. Kullanıcı, test penceresinde bir liste ve grafik arayüzü ile karşılanmaktadır. (Resim 4.2). Radiobox seçenekleri aracılığıyla Countermovement Jump (CMJ) veya Squat Jump (SJ) protokollerinden biri seçilmektedir. Katılımcı platform üzerinde kalibre edildikten sonra, ellerini beline koyarak maksimum sıçramayı gerçekleştirmektedir. Sıçrama tamamlandığında, grafik üzerinde hareketin fazları eşzamanlı olarak ayrıştırılmakta ve kullanıcıya sunulmaktadır.

Bu fazlar;

- Unweighting Phase (Ağırlık Azaltma Fazı)
- Braking Phase (Frenleme Fazı)
- Propulsive Phase (İtme Fazı)
- Flight Phase (Uçuş Fazı)
- Landing Phase (İniş Fazı)

Sıra No	Adı Soyadı	Saat	Kilo(kg)	Sıçrama Yük.(cm)
1	Denek 1	17:45:18	98	17.15
2	Denek 1	17:45:58	99	19.23
3	Denek 1	17:46:18	98	21.32
4	Denek 1	17:46:42	95	23.74
5	Denek 1	17:47:03	96	22.05

Resim 4.2 Dikey sıçrama windows form arayüzü

şeklinde tanımlanmaktadır. Her sıçrama sonrası elde edilen parametreler otomatik olarak liste kutusuna (listbox) kaydedilmekte, test sonunda kullanıcıya izometrik testte olduğu gibi “Analiz” seçeneği sunulmaktadır. Bu sayede belirli aralıkların ayrıntılı incelenmesi mümkün olmaktadır. Ayrıca, tüm sıçrama modlarında olduğu gibi “Rapor Al” ve “Detaylı Rapor Al” seçenekleri mevcuttur. Resim 4.3’de örnek olarak Dikey Sıçrama Raporu verilmiştir.

Tekrar Sayısına Göre Sıçrama (Repetition-Based Jump Test): Bu testte kullanıcıdan belirli bir sıçrama sayısı girmesi istenmekte ve katılımcının bu sıçramaları maksimum hız ve performansla gerçekleştirmesi beklenmektedir. Her sıçrama sonunda bireyin ulaştığı sıçrama yüksekliği (cm) eşzamanlı olarak ekranda görüntülenmektedir. Arayüz, dikey sıçrama moduna benzer şekilde liste, grafik, faz ayrımı, analiz ve raporlama seçeneklerini

Zamana Göre Sıçrama (Time-Based Jump Test): Bu modda kullanıcıya belirli bir test süresi tanımlanmakta ve bu süre boyunca maksimum performansla sıçramalar yapması istenmektedir. Zamana göre sıçrama testleri, sporcunun dayanıklılık tabanlı sıçrama performansını, nöromüsküler yorgunluk düzeyini ve sıçrama kalitesindeki zamanla oluşan değişimleri ortaya koymak amacıyla literatürde yaygın olarak kullanılmaktadır. Grafiksel gösterimler, faz ayrımları ve raporlama seçenekleri diğer modlarla benzer şekilde çalışmaktadır.

Resim 4.3 Dikey sıçrama raporu

61

Derinlik Sıçrama (Drop Jump Test): Bu testte katılımcı belirlenen yükseklikteki bir kutu üzerinden platforma inmekte ve zemine temas eder etmez maksimum düzeyde yukarı sıçrama gerçekleştirmektedir. Kullanıcı arayüzünde kutu yüksekliği girilmekte ve sistem hesaplamaları bu değer üzerinden yapılmaktadır. Derinlik sıçrama, sporcunun reaktif kuvvet indeksini (RSI) ve elastik enerji kullanım verimliliğini değerlendirmek için yaygın kullanılan bir yöntemdir.

Tüm sıçrama testlerinin sonunda sistem, faz ayrımlarına ek olarak aşağıdaki parametreleri raporlamaktadır:

- Body Mass (kg): Teste katılan kişinin kütlesi,
- Jump Height (cm): Her sıçramada ulaşılan yükseklik,
- Contact Time (ms): Platformla temas süresi,
- RSI (Reactive Strength Index): Uçuş süresi ile temas süresi oranına dayalı reaktif kuvvet göstergesi,
- mRSI (Modified RSI): Sıçrama yüksekliği ve temas süresi üzerinden hesaplanan modifiye indeks,
- Power (W): Alt ekstremit kaslarının ürettiği güç.

Bu parametreler, sıçrama performansının kapsamlı şekilde değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Kullanıcıya hem özet raporlar hem de ayrıntılı ham veriler sunularak, spor bilimciler, antrenörler ve araştırmacılar için esnek bir analiz altyapısı sağlanmıştır.

4.1.2 Mobil Uygulama

Geliştirilen kuvvet platformu, kullanıcıya hem Windows tabanlı hem de mobil cihazlar üzerinden erişim imkânı sunacak şekilde (Resim 4.4) tasarlanmıştır. Mobil uygulama, platformun tüm test modlarını (izometrik, balans ve sıçrama) kapsamakta olup, kullanıcıların mobil cihaz üzerinden testleri başlatmasına, veri toplamasına ve analiz etmesine olanak tanımaktadır. Mobil uygulama, Android ve iOS cihazlarla uyumlu olarak geliştirilmiş olup, platform ile cihaz arasındaki veri aktarımı Bluetooth Low Energy (BLE) protokolü üzerinden sağlanmaktadır. Test verileri, mobil uygulamada gerçek

zamanlı olarak işlenmekte ve hem grafiksel hem de sayısal olarak kullanıcıya sunulmaktadır. Ayrıca tüm test verileri, güvenli bir şekilde bulut tabanlı sunucuya senkronize edilmekte ve kullanıcılar, cihaz değişikliklerinde veya farklı platformlardan erişimde veri kaybı yaşamamaktadır. Mobil uygulama arayüzü, her test moduna özgü olarak optimize edilmiş ve kullanıcı deneyimi öncelikli olarak tasarlanmıştır:

İzometrik Mod: Kullanıcı, sağ ve sol ayak kuvvetlerini eş zamanlı olarak kayan grafik üzerinde takip edebilmekte; test sırasında aralık seçerek detaylı analiz yapabilmekte ve test sonunda Rapor Al veya Detaylı Rapor Al seçeneklerini kullanabilmektedir. Çift tıklama ile seçilen zaman aralığının ortalama sağ/sol kuvvet, toplam kuvvet ve maksimum değerleri görüntülenebilmektedir.

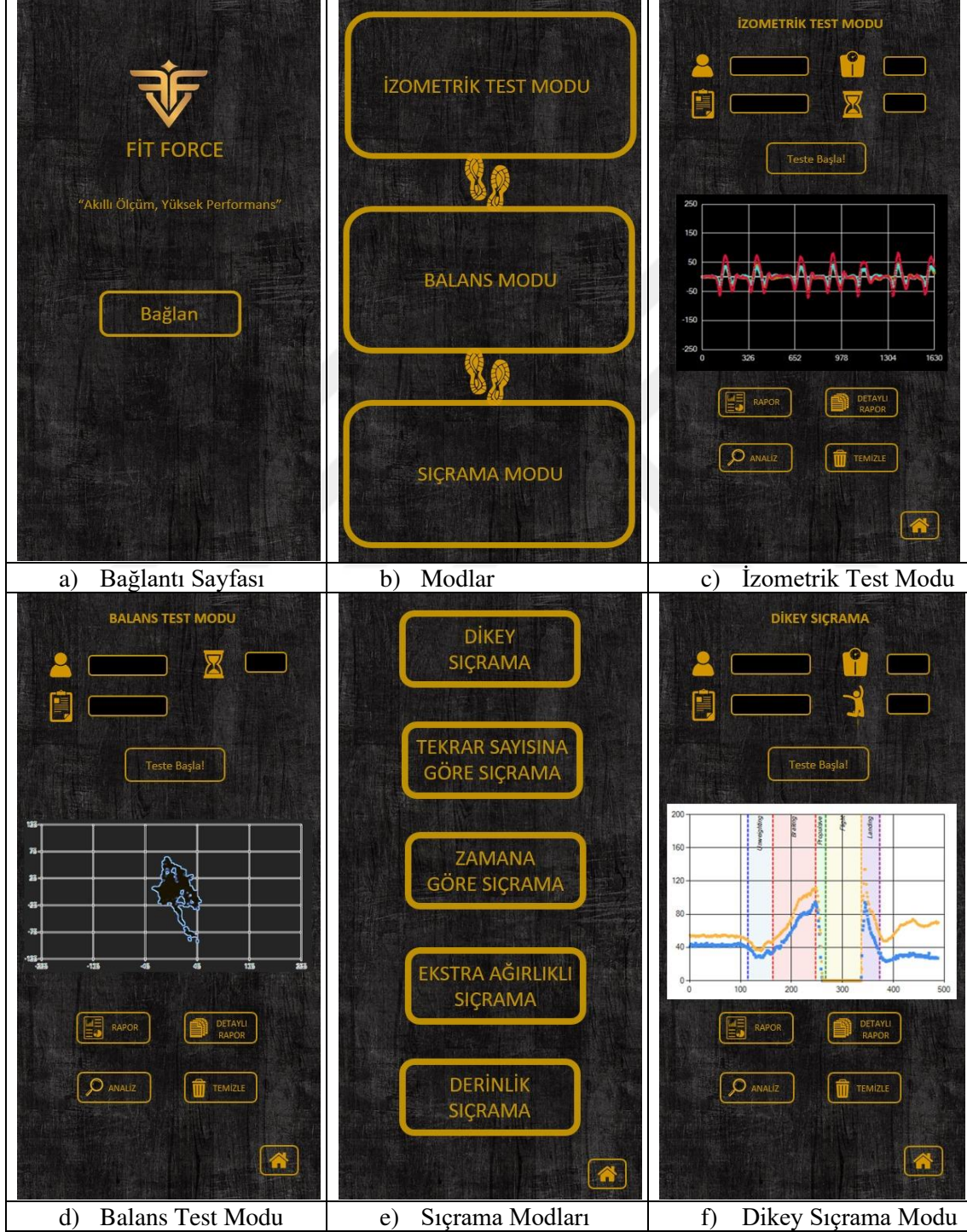
Balans Modu: Kullanıcı, farklı protokoller (gözler açık/kapalı, tek ayak veya çift ayak, farklı zemin koşulları) arasında seçim yapabilmekte; CoP parametrelerini (Anterior-Posterior, Medial-Lateral, CoP Area Ellipse, Total Excursion) gerçek zamanlı olarak izleyebilmekte ve ağırlık dağılımının platform üzerindeki görsel temsilini takip edebilmektedir.

Sıçrama Modu: Mobil uygulama, beş farklı sıçrama protokolünü (dikey, tekrar sayısına göre, zamana göre, ekstra ağırlıklı, derinlik sıçrama) desteklemektedir. Kullanıcı, sıçrama fazlarını (unweighting, braking, propulsive, flight, landing) grafik üzerinde eş zamanlı olarak görebilmekte; her sıçrama sonrası yüksekliği, RSI, mRSI, güç ve kontakt süresini liste halinde takip edebilmektedir. Test sonunda, Rapor Al ve Detaylı Rapor Al seçenekleri aracılığıyla özet ve ham veriler mobil cihaz üzerinden indirilebilmektedir.

Mobil uygulama, ayrıca kullanıcı hesap yönetimi, test geçmişi, veri bulut senkronizasyonu ve çoklu cihaz desteği gibi teknik özelliklere sahiptir. Bu sayede, kullanıcılar farklı cihazlardan testleri yönetebilir ve performanslarını takip edebilirler. Kullanıcı arayüzleri, mobil ekran boyutlarına uygun olarak tasarlanmış ve her test modu için responsive ve interaktif olacak şekilde optimize edilmiştir.

Sonuç olarak, mobil uygulama ile birlikte kuvvet platformu, taşınabilirlik, erişilebilirlik

ve veri yönetimi açısından önemli bir avantaj kazanmaktadır. Kullanıcılar, artık laboratuvar dışında da testleri gerçekleştirebilmekte ve mobil cihaz üzerinden gerçek zamanlı analiz ve raporlama yapabilmektedir. Tasarlanan ekran görüntüleri ve mobil modlar Resim 4.4 bölümünde sunulmaktadır.



Resim 4.4 Mobil uygulama arayüzleri

4.2 Katı Modelin Solidworks Ortamındaki Analizleri

Kuvvet platformunun tasarımında kullanılan malzemelerin seçiminde, sistemin hem hafif hem de yeterli mukavemete sahip olması göz önünde bulundurulmuştur. Bu kapsamda 6061 ve 7075 alüminyum alaşımları ile 304 kalite paslanmaz çelik ve ST37 çeliği (S235JR) olmak üzere dört farklı malzeme değerlendirilmiştir. Seçilen malzemeler, piyasada yaygın olarak kullanılan, maliyet açısından ulaşılabilir ve mühendislik uygulamalarında sıkça tercih edilen malzemeler olması nedeniyle incelenmiştir.

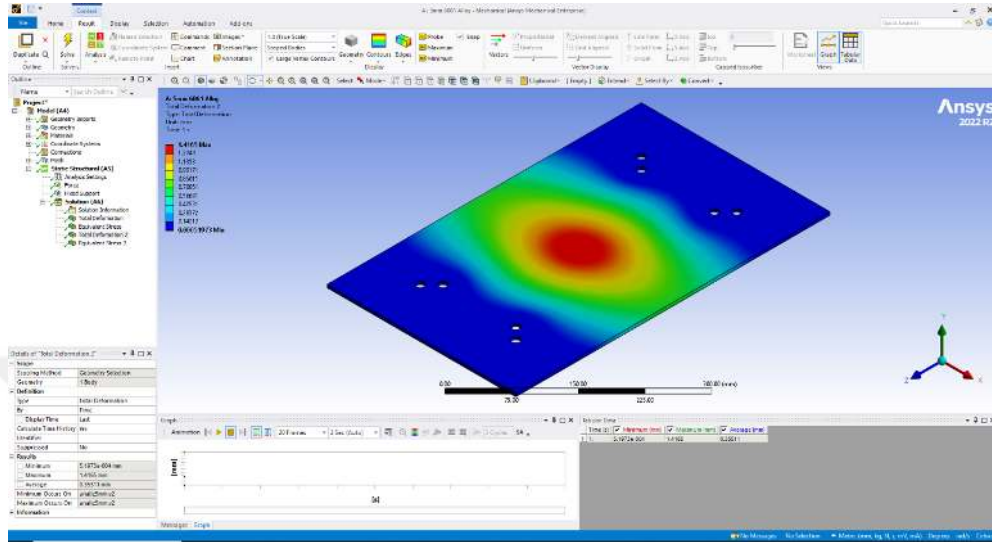
Gerçekleştirilen yapısal analizlerde iki farklı et kalınlığı (5 mm ve 10 mm) senaryosu dikkate alınmıştır. Elde edilen sonuçlar, malzeme özelliklerinin ve et kalınlığının rijitlik üzerindeki belirleyici etkisini ortaya koymaktadır.

5 mm et kalınlığında yapılan analizlerde, alüminyum 6061 ve 7075 alaşımlarında yükleme sonrası deformasyon gözlenmiştir. Bunun temel nedeni, bu malzemelerin çeliğe kıyasla daha düşük elastik modül değerine sahip olmalarıdır. Hafif yapıları ve düşük yoğunlukları sayesinde avantaj sunmalarına karşın, ince kesitlerde rijitlik eksikliği deformasyona yol açmıştır. Buna karşın, ST37 ve 304 paslanmaz çelik malzemelerde yüksek elastik modül ve yoğunluk değerleri sayesinde herhangi bir deformasyon sorunu tespit edilmemiştir.

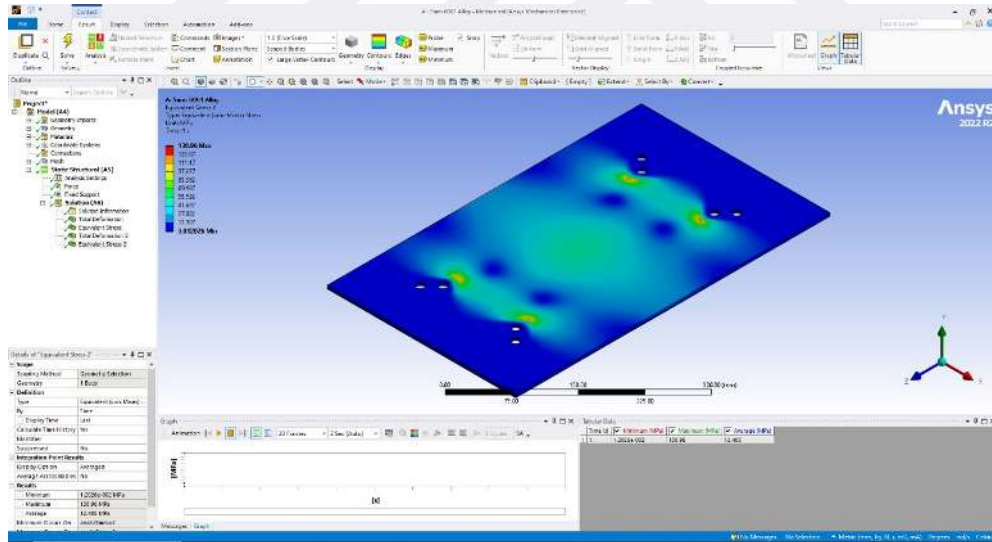
10 mm et kalınlığında yapılan analizlerde ise tüm malzemelerde deformasyonun ortadan kalktığı görülmüştür. Et kalınlığının artmasıyla birlikte rijitlik ($E \times t^3$ ilişkisi) önemli ölçüde yükselmiş, böylece yük altındaki elastik deformasyon etkin bir şekilde engellenmiştir. Bu bulgu, malzeme seçiminde kalınlığın da en az malzemenin cinsi kadar kritik bir rol oynadığını göstermektedir.

Sonuçların değerlendirilmesi neticesinde, ağırlığın kritik olmadığı uygulamalarda ST37 veya 304 paslanmaz çeliğin rijitlik açısından avantajlı olduğu söylenebilir. Ancak kuvvet platformunun tasarımında hem taşınabilirlik hem de ekonomik verimlilik hedeflenmiştir. Bu doğrultuda, 5 mm kalınlığında Alüminyum 7075 malzemesi tercih edilmiştir. 7075 alüminyum, 72.000 MPa elastik modül değerine ve 220 MPa çekme dayanımına sahip

olmasıyla, diğer alüminyum alaşımı olan 6061'e kıyasla daha yüksek mukavemet sunmaktadır. Ayrıca yoğunluğunun düşük olması (2810 kg/m^3), platformun hafifliğini koruyarak taşınabilirlik açısından önemli bir avantaj sağlamaktadır.



a) Deformasyon



b) Gerilim

Şekil 4.1 Alüminyum 7075 deformasyon ve gerilim analizi

Alüminyum 7075'in mühendislik uygulamalarında tercih edilmesinin bir diğer nedeni ise, yüksek dayanım/ağırlık oranıdır. Bu özellik, özellikle havacılık ve otomotiv sektörlerinde kullanımı yaygınlaştırmıştır. Kuvvet platformu tasarımında bu malzemenin tercih edilmesi, sistemin hem yeterli mekanik dayanımı sağlayacağı hem de

toplam kütlesini minimumda tutacağı için uygun bulunmuştur. Ayrıca maliyet ve üretilebilirlik göz önünde bulundurulduğunda, alüminyumun işlenebilirliği çeliğe göre daha kolaydır ve bu da üretim sürecinde avantaj sağlamaktadır.

Sonuç olarak, farklı malzeme ve kalınlıklarla yapılan 16 analiz neticesinde, kuvvet platformu için en uygun çözümün 5 mm et kalınlığında Alüminyum 7075 olduğu (Şekil 4.1) belirlenmiştir. Diğer malzeme türlerine ait deformasyon ve gerilim analizleri Ek1, Ek2, Ek3 ve Ek4’de sunulmuştur. Katı model analizi ile sistemin hem hafif hem de yeterli rijitliğe sahip olması sağlanmış, aynı zamanda maliyet ve üretim açısından optimize edilmiş bir malzeme seçimi gerçekleştirilmiştir. Analizler, ANSYS 22 yazılımı kullanılarak Static Structural modülü üzerinden yürütülmüş ve elde edilen sonuçlar malzeme seçiminin doğruluğunu desteklemiştir.

4.3 Laboratuvar Bulguları

Kuvvet platformunun doğruluk ve güvenilirlik analizlerinin ilk aşaması, laboratuvar ortamında gerçekleştirilen kontrollü testlerle değerlendirilmiştir. Bu kapsamda sistemin statik ağırlık ölçümü, köşe ağırlık ölçümü ve statik balans ölçümü performansı incelenmiştir. Testlerde referans değer olarak, ağırlıkları bilinen standart kütlelerden faydalanılmıştır. Böylece platformun ölçüm çıktılarının, gerçek kütle değerleriyle ne derece uyumlu olduğu belirlenmiştir.

Ayrıca, cihazın içsel kararlılığı ve ölçüm tekrar edilebilirliği, farklı oturumlarda ve tekrarlı yüklemelerle test edilmiştir. Elde edilen veriler, istatistiksel yöntemler ile analiz edilerek, platformun hem doğruluk hem de güvenilirlik düzeyi ortaya konmuştur. Tüm deneysel çalışmalar, Afyon Kocatepe Üniversitesi Biyomedikal Mühendisliği Bölümü’ne bağlı Biyomekanik Laboratuvarı’nda, kontrollü koşullar altında gerçekleştirilmiştir.

4.3.1 Statik Ağırlık Ölçümü

Geliştirilen sistemin statik yükler altındaki ölçüm performansını değerlendirmek ve farklı oturumlarda gösterdiği doğruluk ile kararlılığı ortaya koymak amacıyla, Resim 4.5’te

gösterilen deney düzeneği oluşturulmuştur. Testlerde, referans olarak 20 kg, 60 kg, 100 kg ve 140 kg ağırlığa sahip standart kütleler kullanılmıştır. Ölçümlerin tekrarlanabilirliğini incelemek üzere, her bir ağırlık için iki ayrı oturumda ve her oturumda beş tekrar olacak şekilde testler gerçekleştirilmiştir.



Resim 4.5 Geliştirilen kuvvet platformu ve statik ağırlık ölçüm düzeneği

Elde edilen ölçüm sonuçları Çizelge 4.1’de sunulmuştur. Bu veriler, sistemin sabit kütleler altındaki ölçüm çıktıları ile karşılaştırılmış ve istatistiksel yöntemlerle analiz edilmiştir. İlgili bulgular, Bölüm 4.5.1 Laboratuvar Ölçümlerinin İstatistiksel Analizi başlığı altında ayrıntılı olarak verilmiştir.

Çizelge 4.1 Statik ağırlık tekrarlı ölçüm sonuçları

OTURUM	Tekrar	Referans (kg)	Ölçülen (kg)	OTURUM	Tekrar	Referans (kg)	Ölçülen (kg)
1	1	20	19	2	1	20	19
1	2	20	19	2	2	20	19
1	3	20	20	2	3	20	19
1	4	20	19	2	4	20	18
1	5	20	19	2	5	20	18
1	1	60	61	2	1	60	59
1	2	60	61	2	2	60	58

Çizelge 4.1 (Devam) Statik ağırlık tekrarlı ölçüm sonuçları

OTURUM	Tekrar	Referans (kg)	Ölçülen (kg)	OTURUM	Tekrar	Referans (kg)	Ölçülen (kg)
1	3	60	58	2	3	60	59
1	4	60	59	2	4	60	59
1	5	60	59	2	5	60	59
1	1	100	101	2	1	100	101
1	2	100	100	2	2	100	99
1	3	100	100	2	3	100	99
1	4	100	101	2	4	100	99
1	5	100	100	2	5	100	100
1	1	140	140	2	1	140	140
1	2	140	140	2	2	140	140
1	3	140	141	2	3	140	140
1	4	140	140	2	4	140	140
1	5	140	141	2	5	140	141

4.3.2 Köşe Ağırlık Ölçümü

Kuvvet platformunun farklı bölgelerindeki ölçüm performansını değerlendirmek amacıyla Resim 4.6’da gösterilen deney düzeneği oluşturulmuştur. Bu kapsamlı test, platformun yalnızca merkez noktasında değil; ön, arka, sağ, sol ve merkez bölgelerine yerleştirilen kütleler altında sergilediği ölçüm kararlılığını ortaya koymayı hedeflemektedir. Böylece sistem, gerçek kullanım senaryolarında sporcu veya hastanın platform üzerine asimetrik yük bindirmesi durumunda dahi ne ölçüde doğru sonuçlar verebildiği açısından detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Bu yaklaşım sayesinde platformun yük dağılımından bağımsız olarak tutarlı ve doğru ölçüm yapabilme kapasitesi değerlendirilmektedir. Özellikle kenar bölgelerde oluşabilecek moment etkileri, sensörlerin doğrusal yanıt özellikleri ve mekanik yapının rijitliği gibi faktörlerin ölçüm üzerinde yaratabileceği sapmalar bu test aracılığıyla belirlenmiştir. Böylelikle sistemin hem laboratuvar şartlarında hem de saha uygulamalarında karşılaşılabilecek çeşitli duruş ve ağırlık transferi senaryolarına uyum sağlama yeterliği bilimsel olarak ortaya konmuştur.



Resim 4.6 Köşe ağırlık ölçüm test düzeneği

Testlerde, referans olarak 20 kg, 40 kg, 55 kg, 80 kg ve 100 kg ağırlığa sahip standart kütleler kullanılmıştır. Ölçümlerin tekrarlanabilirliğini belirlemek üzere her bir ağırlık için iki oturumda ve her oturumda beş tekrar yapılmıştır. Birinci oturumdan elde edilen veriler Çizelge 4.2’de, ikinci oturumdan elde edilen veriler ise Çizelge 4.3’te sunulmuştur. Bu veriler, referans kütlelerle karşılaştırılarak platformun farklı bölgelerdeki ölçüm doğruluğu analiz edilmiştir. Elde edilen ölçüm sonuçlarının istatistiksel analizi Bölüm 4.5.1 Laboratuvar Ölçümlerinin İstatistiksel Analizi başlığı altında ayrıntılı olarak verilmiştir.

Çizelge 4.2 Tekrarlı köşe ağırlık 1. test ölçüm sonuçları

Tekrar	YÖN	Referans Ağırlık				
		20kg	40kg	55kg	80kg	100kg
1. Tekrar	Ön Sağ	18	40	56	79	99
	Ön Sol	19	40	56	79	100
	Merkez	18	40	55	79	99
	Arka Sağ	20	39	55	80	99
	Arka Sol	20	38	55	78	100
2. Tekrar	Ön Sağ	19	38	55	80	101
	Ön Sol	20	39	54	81	100
	Merkez	18	39	54	80	99
	Arka Sağ	19	40	56	81	100
	Arka Sol	20	40	55	81	100

Çizelge 4.2 (Devam) Tekrarlı köşe ağırlık 1. test ölçüm sonuçları

		Referans Ağırlık				
Tekrar	YÖN	20kg	40kg	55kg	80kg	100kg
3. Tekrar	Ön Sağ	20	40	55	80	99
	Ön Sol	18	40	54	80	99
	Merkez	18	40	54	81	100
	Arka Sağ	18	39	54	79	99
	Arka Sol	18	40	54	79	99
4. Tekrar	Ön Sağ	18	39	53	79	100
	Ön Sol	19	40	53	80	100
	Merkez	18	40	54	81	99
	Arka Sağ	19	40	55	81	98
	Arka Sol	19	39	55	81	99
5. Tekrar	Ön Sağ	19	39	55	79	101
	Ön Sol	19	39	56	81	98
	Merkez	19	39	55	79	100
	Arka Sağ	18	39	56	80	99
	Arka Sol	19	38	54	80	100

Çizelge 4.3 Tekrarlı köşe ağırlık 2. test ölçüm sonuçları

		Referans Ağırlık				
Tekrar	YÖN	20kg	40kg	55kg	80kg	100kg
1. Tekrar	Ön Sağ	18	39	55	80	99
	Ön Sol	18	40	55	79	101
	Merkez	20	39	54	81	101
	Arka Sağ	19	38	56	81	100
	Arka Sol	18	40	55	81	99
2. Tekrar	Ön Sağ	18	39	55	79	98
	Ön Sol	18	41	56	79	100
	Merkez	19	40	54	79	99
	Arka Sağ	18	39	56	81	100
	Arka Sol	18	38	55	80	99

Çizelge 4.3 (Devam) Tekrarlı köşe ağırlık 2. test ölçüm sonuçları

		Referans Ağırlık				
Tekrar	YÖN	20kg	40kg	55kg	80kg	100kg
3. Tekrar	Ön Sağ	19	40	55	81	100
	Ön Sol	18	41	54	79	100
	Merkez	19	40	55	79	100
	Arka Sağ	19	40	53	81	99
	Arka Sol	18	40	54	79	100
4. Tekrar	Ön Sağ	20	40	53	80	101
	Ön Sol	18	40	53	81	99
	Merkez	20	39	56	81	99
	Arka Sağ	19	39	55	80	98
	Arka Sol	18	40	54	80	99
5. Tekrar	Ön Sağ	18	38	54	81	99
	Ön Sol	19	40	54	80	100
	Merkez	19	39	55	81	100
	Arka Sağ	19	40	55	79	99
	Arka Sol	18	41	54	79	100

4.3.3 Statik Balans Ölçümü

Statik balans ölçüm testi (Resim 4.4), geliştirilen kuvvet platformunun ağırlık merkezini belirlemedeki doğruluğunu ve hassasiyetini değerlendirmek amacıyla yapılmıştır. Bu testin temel amacı, sabit bir yük altında platformun ağırlık merkezini medial-lateral ve anterior-posterior eksenlerde ne kadar doğru konumlandırabildiğini ortaya koymaktır. Böylece sistemin, denge ve postür analizi gibi klinik ve biyomekanik uygulamalarda güvenilir biçimde kullanılabilirliği test edilmiştir.

Testlerde 20 kg referans ağırlık kullanılmıştır. Ağırlık, platformun merkezinden sırasıyla medial-lateral ve anterior-posterior yönlerde 100 mm ve 200 mm uzaklıkta olacak şekilde konumlandırılmıştır. Her bir konumlandırma için iki oturum gerçekleştirilmiş ve her oturumda beş tekrar yapılmıştır. Bu uygulamalar sonucunda platformun ölçüm çıktıları değerlendirilerek, ağırlık merkezinin gerçek konumuna olan uzaklıkları milimetre

cinsinden belirlenmiştir. Elde edilen ölçüm sonuçları ise Çizelge 4.4'te sunulmuş olup verilerin istatistiksel analizi Bölüm 4.5.1 Laboratuvar Ölçümlerinin İstatistiksel Analizi başlığı altında ayrıntılı olarak verilmiştir.



Resim 4.7 Balans ölçüm test düzeneği

Çizelge 4.4 Balans testi ölçüm sonuçları

1. Test	YÖN	Anterior Posterior (mm)	Medial Lateral (mm)	2. Test	Anterior Posterior (mm)	Medial Lateral (mm)
1. Tekrar	Ön (100 mm)	-12	125	1. Tekrar	-3	99
	Sol (100 mm)	-89	13		-98	-1
	Sol (200 mm)	-202	18		-203	10
	Merkez	3	-11		-4	-3
	Arka (100 mm)	-3	-99		11	-98
	Sağ (100 mm)	93	14		111	7
	Sağ (200 mm)	202	-5		197	-9
2. Tekrar	Ön (100 mm)	-11	114	2. Tekrar	-6	97
	Sol (100 mm)	-121	-2		-94	1
	Sol (200 mm)	-203	14		-189	4
	Merkez	2	10		-5	5
	Arka (100 mm)	8	-118		9	-109
	Sağ (100 mm)	117	22		122	7
	Sağ (200 mm)	203	7		203	-8

Çizelge 4.4 (Devam) Balans testi ölçüm sonuçları

1. Test	YÖN	Anterior Posterier (mm)	Medial Lateral (mm)	2. Test	Anterior Posterier (mm)	Medial Lateral (mm)
3. Tekrar	Ön (100 mm)	11	101	3. Tekrar	-3	100
	Sol (100 mm)	-108	-8		-104	4
	Sol (200 mm)	-203	12		-201	9
	Merkez	7	-5		3	-4
	Arka (100 mm)	19	-106		8	-99
	Sağ (100 mm)	120	12		108	-4
	Sağ (200 mm)	203	-4		197	-5
4. Tekrar	Ön (100 mm)	18	98	4. Tekrar	0	98
	Sol (100 mm)	-107	-6		-111	-4
	Sol (200 mm)	-203	16		-189	8
	Merkez	9	-13		-11	-15
	Arka (100 mm)	6	-102		4	-100
	Sağ (100 mm)	119	16		103	-2
	Sağ (200 mm)	201	-8		193	1
5. Tekrar	Ön (100 mm)	-22	118	5. Tekrar	-11	96
	Sol (100 mm)	-89	11		-87	0
	Sol (200 mm)	-203	23		-178	1
	Merkez	-7	2		3	-4
	Arka (100 mm)	26	-120		3	-90
	Sağ (100 mm)	116	23		111	2
	Sağ (200 mm)	202	-6		193	0

4.4 Saha Bulguları

Geliştirilen kuvvet platformunun laboratuvar dışındaki performansını değerlendirmek amacıyla saha testleri, Afyon Kocatepe Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi'nde gerçekleştirilmiştir. Test düzeni, Resim 4.8'de gösterilmektedir. Saha çalışmaları kapsamında sistem, piyasada yaygın olarak kullanılan Force Decks platformu ile eş zamanlı ölçümler yapacak şekilde konumlandırılmıştır. Bu testler ile platformun izometrik ve sıçrama ölçümlerinin doğruluğu analiz edilmiş ve laboratuvar ortamında

yapılan doğruluk-güvenirlik çalışmalarının saha koşullarında da geçerli olup olmadığı incelenmiştir. Elde edilen veriler, platformun saha koşullarında güvenilir bir şekilde çalışabildiğini ve ölçüm sonuçlarının laboratuvar bulguları ile tutarlı olduğunu göstermektedir.



Resim 4.8 Saha testi ölçüm düzeneği

4.4.1 İzometrik Ölçüm Doğruluğu

Geliştirilen kuvvet platformunun saha koşullarındaki izometrik ölçüm doğruluğunu değerlendirmek amacıyla oluşturulan deney düzeneği, Resim 4.9’da gösterilmektedir. Deneyde, platformlar üst üste konumlandırılmış ve katılımcılardan sabit bir demir üzerinden maksimum kuvvet uygulamaları istenmiştir. Testler, 20 katılımcı ile gerçekleştirilmiş ve hem geliştirilen platformdan hem de referans cihaz olan Force Decks’ten eş zamanlı olarak veri kaydedilmiştir.

Kaydedilen veriler arasında peak vertical force (N), peak vertical force normalize edilmiş değerleri (N/kg) ve peak vertical force (Net of Body Weight, N) parametreleri yer almaktadır. Test süresi boyunca elde edilen ölçümler, geliştirilen platform ile Force Decks’in ölçüm çıktıları arasında karşılaştırılmıştır.

Elde edilen veriler, platformun saha koşullarında ölçüm doğruluğunu ve güvenilirliğini ortaya koymak amacıyla istatistiksel olarak analiz edilmiş olup, detaylı analiz sonuçları 4.5.2 Saha Ölçümlerinin İstatistiksel Analizi başlığı altında sunulmaktadır.



Resim 4.9 İzometrik ölçüm için saha testi düzeneği

Çizelge 4.5 İzometrik testi ölçüm sonuçları fitforce - forcedecks

TEST ID	Forcedecks Tepe Dikey Kuvvet [N]	Forcedecks Tepe Dikey Kuvvet/ BM [N/kg]	Forcedecks Tepe Dikey Kuvvet (Net of BW)[N]	FitForce Tepe Dikey Kuvvet [N]	FitForce Tepe Dikey Kuvvet/ BM [N/kg]	FitForce Tepe Dikey Kuvvet (Net of BW)[N]
1	1702	15.67	636	1681	15.57	622
2	1696	15.61	630	1674	15.64	624
3	1570	14.53	510	1560	14.58	510
4	1523	14.10	463	1523	14.36	483
5	1732	22.13	964	1697	22.33	952

Çizelge 4.5 (Devam) İzometrik testi ölçüm sonuçları fitforce- forcedecks

TEST ID	Forcedecks Tepe Dikey Kuvvet [N]	Forcedecks Tepe Dikey Kuvvet/ BM [N/kg]	Forcedecks Tepe Dikey Kuvvet (Net of BW)[N]	FitForce Tepe Dikey Kuvvet [N]	FitForce Tepe Dikey Kuvvet/ BM [N/kg]	FitForce Tepe Dikey Kuvvet (Net of BW)[N]
6	1854	23.71	1087	1819	23.32	1054
7	1802	23.05	1035	1756	22.81	1001
8	1735	22.17	967	1707	22.17	952
9	1795	22.95	1028	1762	23.18	1016
10	1755	22.45	988	1715	21.98	950
11	2022	24.99	1228	1989	24.56	1195
12	1880	23.24	1087	1858	23.23	1073
13	1815	22.43	1021	1793	22.42	1008
14	1793	22.91	1025	1772	24.95	1075
15	1813	23.18	1046	1801	23.09	1036
16	1865	23.82	1097	1762	22.30	987
17	1832	22.68	1040	1813	22.66	1028
18	1938	23.98	1146	1891	23.64	1107
19	1994	24.69	1202	1946	24.64	1171
20	1992	24.66	1200	1962	24.22	1167

4.4.2 Sıçrama Ölçüm Doğruluğu

Geliştirilen kuvvet platformunun saha koşullarındaki sıçrama ölçüm doğruluğunu değerlendirmek amacıyla oluşturulan deney düzeneği, Resim 4.10’da gösterilmektedir. Deneyde, platformlar üst üste konumlandırılmış ve katılımcılardan maksimum güç ile sıçrama yapmaları istenmiştir. Testler, 40 katılımcı ile gerçekleştirilmiş ve hem geliştirilen platformdan hem de referans cihaz olan Force Decks’ten eş zamanlı olarak veri kaydedilmiştir.

Saha testlerinden elde edilen veriler Şekil 4.2’de Force Decks cihazından, Şekil 4.3’te ise geliştirilen kuvvet platformundan elde edilen sıçrama çıktıları ile gösterilmiştir. Elde edilen veriler, platformun saha koşullarında ölçüm doğruluğunu ve güvenilirliğini

belirlemek amacıyla istatistiksel olarak analiz edilmiş olup, detaylı analiz sonuçları 4.5.2 Saha Ölçümlerinin İstatistiksel Analizi başlığı altında sunulmaktadır.



Resim 4.10 Sıçrama ölçümü için saha testi düzeneği

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1		Force Desk		Zamana Bağlı Değerler			Kuvvete Bağlı Değerler						
	TEST ID	BW [KG]	Jump Height (Flight Time) [cm]	Jump Height (Imp-Dis) [cm]	Jump Height (Imp-Mom) [cm]	Flight Time [ms]	Takeoff Peak Force [N]	Peak Landing Force [N]	Mean Landing Power [W]	Peak Landing Power [W]	Braking Phase Duration [ms]	Peak Power [W]	Peak Power / BM [W/kg]
2													
3	40	68.2	24.9	25.7	25.7	451	1390	3103	339	5099	393	2945	43
4	39	68.2	25.6	25.7	25.7	457	1413	3934	345	7150	392	2923	43
5	38	68.2	24.7	24.9	24.9	449	1603	3284	363	5609	303	3131	46
6	37	68.2	26.6	25.3	25.3	466	1456	4255	340	8923	345	2916	43
7	36	68.3	25.7	26.1	26.1	458	1418	4402	347	8726	357	2975	44
8	35	68.3	32.4	30.3	30.3	514	1440	4903	454	11240	434	3147	46
9	34	68.3	33.1	32.1	32.1	520	1438	4527	467	10570	397	3255	48
10	33	68.2	35.2	33.4	33.4	536	1469	4644	535	10830	415	3138	46
11	32	68.2	36.7	33.8	33.9	547	1483	4928	520	12090	386	3421	50
12	31	68.1	35.0	32.6	32.6	534	1513	4241	523	10380	371	3341	49
13	30	68.2	33.3	32.1	32.1	521	1336	3763	473	7889	632	3147	46
14	29	68.1	31.9	29.7	29.8	510	1406	4567	467	10430	413	3134	46
15	28	68.1	29.2	28.6	28.5	488	1459	4395	383	8767	425	3139	46
16	27	68.2	31.1	30.1	30.2	504	1424	4766	394	10280	384	3208	47
17	26	68.0	34.6	32.7	32.7	531	1403	4684	440	10750	435	3285	48
18	25	68.2	34.0	32.9	32.9	527	1469	5434	480	12050	431	3247	48
19	24	68.2	31.6	30.2	30.2	508	1585	4339	422	8850	452	3403	50
20	23	68.2	25.7	25.0	25.0	458	1573	4522	351	8611	381	3089	45
21	22	68.2	23.1	23.2	23.2	434	1589	3257	320	5206	360	2987	44
22	21	68.2	34.3	32.5	32.6	529	1570	4819	434	10810	307	3496	51
23	20	69.1	31.8	30.8	30.9	509	1539	4650	445	9894	353	3364	49
24	19	69.1	27.4	25.8	25.8	473	1690	4656	398	9111	335	3271	47
25	18	69.0	25.5	24.1	24.2	456	1635	4426	340	8674	333	3032	44
26	17	69.1	24.1	23.1	23.1	443	1623	4304	361	8090	303	2971	43
27	16	69.1	25.3	25.5	25.4	454	1541	3450	344	5453	336	3111	45
28	15	69.1	26.1	26.0	26.0	461	1651	4452	360	8635	314	3176	46
29	14	69.1	31.5	31.4	31.5	507	1577	4387	398	8328	280	3534	51
30	13	69.1	30.6	29.6	29.6	500	1576	4869	396	9884	313	3345	48
31	12	69.0	28.8	28.3	28.3	485	1562	4718	365	8975	329	3266	47
32	11	69.2	28.7	27.8	27.8	484	1522	3104	406	5675	421	3211	46
33	10	69.1	27.2	26.0	26.0	471	1514	4456	366	8719	413	3115	45
34	9	69.1	32.0	30.3	30.3	511	1508	5156	434	11020	387	3320	48
35	8	69.1	27.2	26.2	26.2	471	1531	4516	376	9196	348	3147	46
36	7	69.1	28.7	29.4	29.5	484	1473	4232	398	8183	375	3250	47
37	6	69.2	24.7	24.4	24.4	449	1511	3328	345	5635	361	3006	44
38	5	69.1	24.5	24.6	24.6	447	1523	3829	332	6777	409	3023	44
39	4	69.1	23.7	23.8	23.8	440	1513	3850	316	6566	405	2966	43
40	3	69.2	28.4	28.7	28.8	481	1500	3292	389	6041	343	3206	46
41	2	69.3	25.4	23.9	23.9	455	1549	4461	343	8807	383	2974	43
42	1	69.1	22.8	22.3	22.3	431	1596	4339	299	7360	372	2943	43

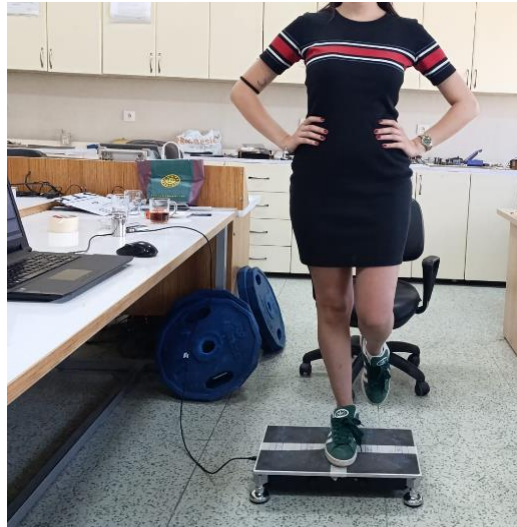
Şekil 4.2 Forcedecks cihazından gelen sıçrama verileri

	A	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX	AY
1	FitForce			Fazlar arası Süre					unweighting phase			braking phase			propulsive phase			landing phase		
TEST ID	Kilo (kg)	Jump Height (cm)	unweighting (ms)	braking (ms)	propulsive (ms)	flight (ms)	landing (ms)		up_min (N)	up_mean (N)	up_max (N)	up_min (N)	up_mean (N)	up_max (N)	up_min (N)	up_mean (N)	up_max (N)	up_min (N)	up_mean (N)	up_max (N)
2																				
3	40	67.5	26.3	333	481	99	463	222	299	453	662	594	1100	1388	0	641	1378	0	677	1838
4	39	67.5	26.3	333	481	99	463	222	299	453	662	594	1100	1388	0	641	1378	0	677	1838
5	38	69.5	24.2	309	364	105	444	232	231	429	682	594	1216	1604	0	744	1575	0	708	1487
6	37	67.5	27.7	346	212	272	475	185	211	413	672	574	1151	1457	0	1120	1447	0	871	1684
7	36	68.5	26.3	321	438	123	465	134	280	454	672	574	1100	1427	0	827	1419	0	695	1771
8	35	69.5	33.0	414	295	327	519	259	309	478	662	613	1004	1427	0	1095	1408	0	703	1731
9	34	67.5	31.8	358	278	315	525	296	191	412	652	594	1040	1418	0	1087	1399	0	725	1781
10	33	67.5	37.0	352	296	309	548	235	211	420	692	564	1014	1457	0	1114	1447	0	722	1653
11	32	67.5	46.3	364	238	296	542	247	201	418	692	594	1112	1457	0	1121	1447	0	709	1643
12	31	67.5	35.4	358	216	278	537	241	201	413	701	574	1118	1506	0	1160	1496	0	722	1653
13	30	66.5	31.8	340	735	105	523	191	368	497	652	574	855	1329	0	672	1319	0	712	1584
14	29	67.5	33.0	327	512	83	519	235	191	430	652	594	1102	1378	0	634	1368	0	715	1584
15	28	67.5	29.9	346	485	105	494	187	280	453	672	594	1125	1447	0	710	1457	0	701	1673
16	27	67.5	31.4	358	684	99	506	191	280	451	652	594	1119	1408	0	652	1399	0	689	1888
17	26	66.5	34.6	352	525	83	531	216	211	434	662	594	1104	1388	0	606	1368	0	672	1810
18	25	68.5	34.6	358	278	290	531	259	250	435	652	584	1058	1467	0	1103	1457	0	722	1918
19	24	68.5	31.4	333	778	99	506	253	348	485	662	603	830	1535	0	694	1325	0	688	1575
20	23	67.5	27.0	290	432	105	460	179	250	442	643	574	1115	1555	0	759	1535	0	672	1702
21	22	66.5	22.9	290	407	111	432	183	280	454	652	594	1097	1584	0	748	1565	0	680	1633
22	21	66.5	34.6	327	216	235	531	204	152	404	711	574	1199	1585	0	1187	1555	0	686	1830
23	20	68.5	32.2	377	383	99	512	235	270	461	652	594	1232	1506	0	736	1496	0	699	1879
24	19	68.5	27.7	302	284	154	475	210	270	459	682	594	1185	1675	0	1055	1663	0	690	1957
25	18	68.5	25.6	333	284	148	457	195	270	459	692	603	1209	1614	0	950	1575	0	693	1712
26	17	68.5	29.2	327	509	173	488	204	240	459	672	603	1161	1624	0	1092	1614	0	684	1879
27	16	70.5	25.6	296	364	130	457	232	221	451	672	594	1177	1565	0	890	1555	0	700	1486
28	15	70.5	26.3	346	272	160	463	228	240	470	652	623	1212	1643	0	1045	1633	0	687	1908
29	14	67.5	31.4	312	358	99	506	204	231	443	652	594	1286	1565	0	742	1555	0	664	1643
30	13	67.5	30.7	321	296	167	500	198	181	416	682	574	1212	1545	0	1026	1535	0	676	1504
31	12	68.5	28.4	327	352	117	481	222	172	432	672	603	1228	1535	0	807	1523	0	663	1692
32	11	69.5	29.2	377	401	93	488	247	280	477	692	603	1201	1486	0	671	1457	0	689	1604
33	10	67.5	27.7	346	432	105	475	130	329	491	652	594	1108	1506	0	772	1486	0	709	1722
34	9	68.5	32.2	333	395	130	512	191	270	453	672	594	1165	1486	0	842	1476	0	679	1771
35	8	67.5	27.7	315	395	99	475	210	221	448	711	594	1196	1525	0	722	1506	0	704	1908
36	7	67.5	29.2	327	451	83	488	183	280	471	672	594	1152	1457	0	674	1457	0	699	1928
37	6	69.5	24.9	364	426	111	451	198	368	509	652	594	1104	1525	0	804	1516	0	705	1614
38	5	69.5	24.9	395	385	117	451	185	417	517	662	613	1158	1516	0	811	1506	0	686	1697
39	4	67.5	23.8	302	426	123	438	147	348	481	652	594	1061	1516	0	855	1492	0	689	1653
40	3	69.5	28.4	321	414	105	481	93	240	457	672	613	1199	1525	0	758	1496	0	743	1506
41	2	70.5	25.6	370	389	105	457	154	319	506	672	623	1181	1535	0	709	1506	0	686	1810
42	1	69.5	22.9	352	370	111	432	154	348	514	682	613	1158	1614	0	792	1584	0	680	1771

Şekil 4.3 Geliştirilen kuvvet platformundan gelen sıçrama verileri

4.4.3 Balans Testi

Balans, bireyin statik veya dinamik durumlarda postüral kontrolünü sürdürebilme yetisi olarak tanımlanmakta ve hem spor performansının artırılması hem de yaralanma riskinin azaltılması açısından kritik öneme sahiptir. Literatürde, sporcularda balans değerlendirmeleri genellikle gözler açık/kapalı, tek ayak veya çift ayak üzerinde farklı zemin koşulları ile uygulanmaktadır. . Balans ölçümü için saha testi düzeni ise Resim 4.11’de verilmiştir.

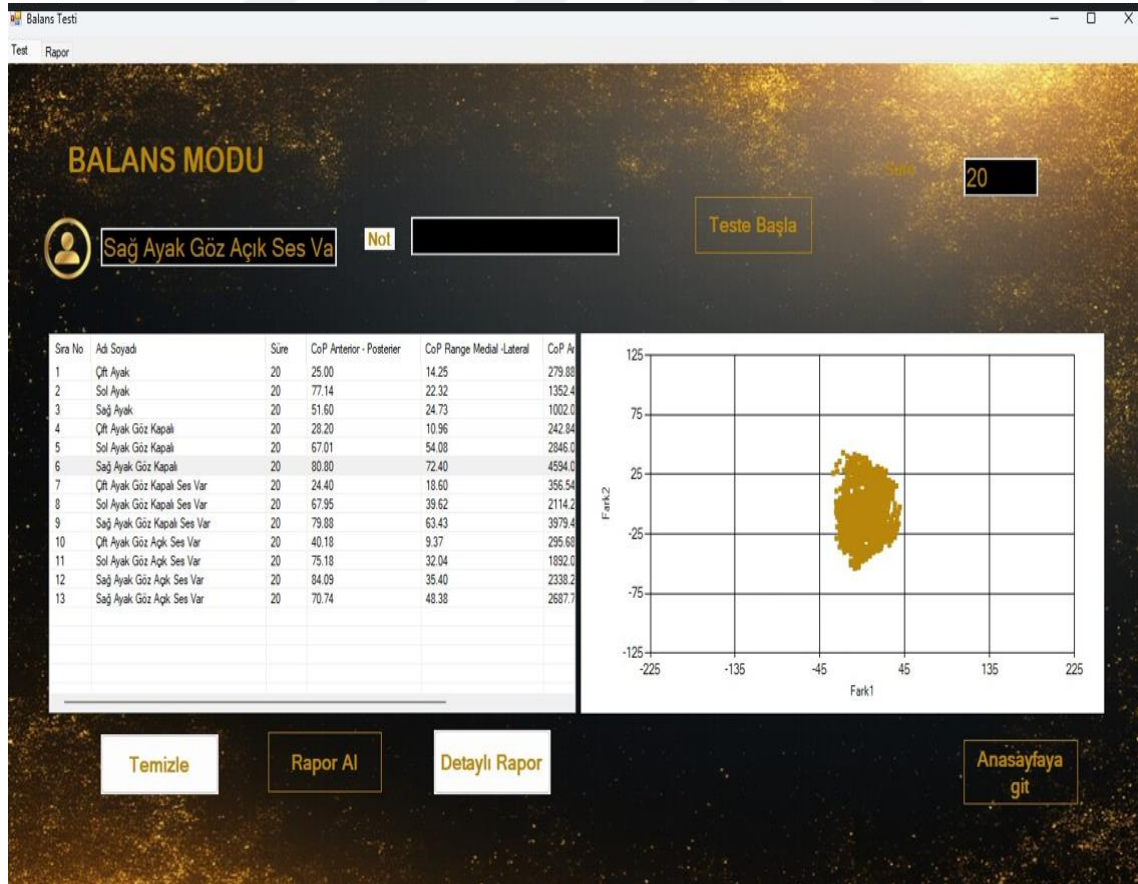


Resim 4.11 Balans ölçümü için saha testi düzeneği

Geliştirilen kuvvet platformunda, kullanıcı dilediği protokolü uygulayabilmekte ve test sırasında arayüzde yer alan “Not” kısmına protokole ilişkin bilgileri kaydedebilmektedir. Bu sayede elde edilen veriler, test koşullarının takibi açısından anlamlı hale gelmektedir. Testler sırasında sistem aşağıdaki parametreleri sunmaktadır:

- CoP Anterior-Posterior
- CoP Range Medial-Lateral
- CoP Area Ellipse
- Total Excursion

Saha testlerinde elde edilen örnek arayüz görüntüsü Resim 4.12’de, balans ölçüm sonuçlarına ait test raporu aynı şekilde Resim 4.12’de sunulmuştur. Mevcut literatürde benzer saha çalışmalarıyla kıyaslama yapılamadığından, bu veriler sistemin saha koşullarında ölçüm kapasitesini göstermek açısından önemlidir.



Resim 4.12 Balans ölçüm arayüzü

Balans Test Raporu						
Tarih	28.07.2025					
Test Sonuçları						
Sıra No	Adı Soyadı	Süre	CoP Anterior - Posterier	CoP Range Medial - Lateral	CoP Area Elips	Total Excursion
1	Çift Ayak	20	27.04	13.74	291.68	6631.39
2	Sol Ayak	20	39.19	22.37	688.43	6201
3	Sağ Ayak	20	32.53	32.65	834.04	6312.7
4	Çift Ayak Göz Kapalı	20	64.29	21.52	1086.55	6127.64
5	Sol Ayak Göz Kapalı	20	84.41	84.44	5598.29	7409.38
6	Sağ Ayak Göz Kapalı	20	73.37	78.3	4512.02	7077.96
7	Çift Ayak Göz Kapalı Ses Var	20	54.4	24.13	1030.89	6078.7
8	Sol Ayak Göz Kapalı Ses Var	20	64.46	39.4	1994.7	6373.71
9	Sağ Ayak Göz Kapalı Ses Var	20	192.09	103.93	15679.44	7588.03
10	Çift Ayak Göz Açık Ses Var	20	24.78	13.96	271.66	6316.2
11	Sol Ayak Göz Açık Ses Var	20	30.34	24.96	594.64	6460.14
12	Sağ Ayak Göz Açık Ses Var	20	43.04	19.76	667.96	6191.85
	Min Değer	20	24.78	13.74	271.66	6078.70
	Max Değer	20	192.09	103.93	15679.44	7588.03
	Ortalama	20	60.83	39.93	2770.86	6564.06

Resim 4.13 Balans ölçümü test raporu

4.5 İstatistiksel Analiz

Tüm istatistiksel analizler JASP (Version 0.19.3, University of Amsterdam, Hollanda) yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Verilerin istatistiksel analize uygunluğunu değerlendirmek için öncelikle normallik varsayımı incelenmiştir. Bu amaçla Shapiro–Wilk testi, çarpıklık (skewness) ve basıklık (kurtosis) değerleri kullanılmıştır. Tüm değişkenlerin normal dağılım gösterdiği belirlendikten sonra parametrik testler uygulanmıştır. Bulgular ortalama $\pm$ standart sapma biçiminde sunulmuştur. Ölçümlerin geçerliliğini değerlendirmek için Pearson korelasyon katsayısı ve determinasyon katsayısı hesaplanmıştır. Ölçüm sistemleri arasındaki farkları belirlemek amacıyla bağımsız örneklem t-testi uygulanmıştır. Ayrıca sistemlerin birbirine olan uyumunu incelemek için Bland–Altman grafikleri kullanılmıştır. Güvenilirlik analizlerinde Sınıf İçi Korelasyon Katsayısı, Varyasyon Katsayısı yüzdesi (% VK) hesaplanmıştır. Test ve tekrar test verileri arasındaki farkın belirlenmesi için eşleştirilmiş t testi kullanılmıştır. Tüm istatistiksel testlerde anlamlılık düzeyi $p < 0.05$ olarak kabul edilmiştir. Farkların Etki Büyüklüğü Cohen d istatistiği ile gösterilmiştir. SKK'ların kriter eşikleri: son derece yüksek, 0,99-0,90; çok yüksek, 0,90-0,75; yüksek, 0,75-0,50; orta, 0,50-0,20; ve düşük, $< 0,20$ olarak belirlenmiştir (Rogers ve ark., 2019).

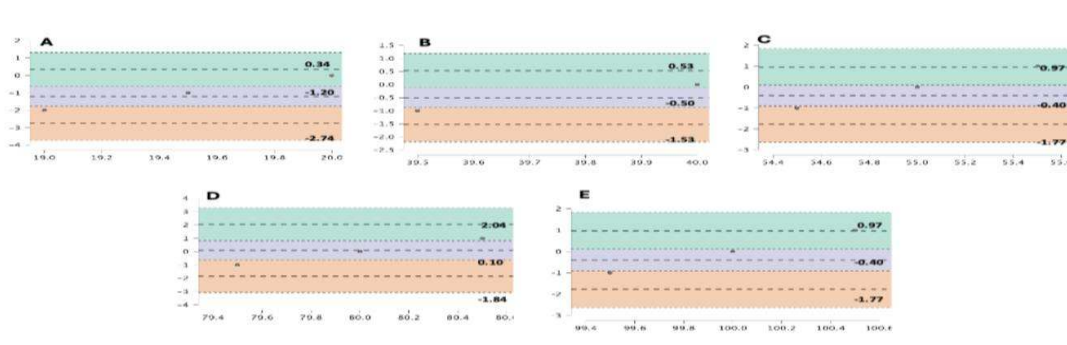
Kriter geçerliliği için eşikler $\geq 0,90$ ICC (Beattie ve Flanagan, 2015; Rogers ve ark., 2019) ve $<5\%$ TEE (O'Donnell ve ark., 2018) olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde, kriter güvenilirliğini değerlendirmek için kullanılan eşikler şu şekilde tanımlanmıştır: $\geq 80\%$ 'den az bir varyasyon katsayısı (CV) (Hopkins, Schabort ve Hawley, 2001), $0,80$ 'e eşit veya daha büyük bir sınıf içi korelasyon katsayısı (ICC) (Beattie ve Flanagan, 2015; Rogers ve ark., 2019).

4.5.1 Laboratuvar Ölçümlerinin İstatistiksel Analizi

Fitforce sistemi ile Gerçek kilo (referans değerler) arasında kuvvet değerleri açısından anlamlı bir fark saptanmamışken ($p = 0.83$), Gerçek kilo ile cihazdan ölçülen değerler arasında yüksek düzeyde korelasyon bulunmuştur ($r = 0.99$, $R^2 = 0.99$, $p < 0.05$). Bu sonuç, sistemin yük ölçümünde yüksek geçerliliğe sahip olduğunu göstermektedir (Çizelge 4.6; Şekil 4.4).

Çizelge 4.6 Statik köşe ağırlık ölçümü istatistiksel analizi sonuçları

	Fitforce Ortalama $\pm$ SS	Referans Ortalama $\pm$ SS	SKK	Ortalama Fark	R2	Cohen d	p
kg	58.46 $\pm$ 28.72	59.00 $\pm$	0.99	-0.532	0.99	-0.019	0.83



Geçerlilik verileri. $\geq 95\%$ uyum sınırları ortalama farkın üstünde ve altında kesikli olarak devam çizgilerle bulunabilir. A: 20Kg; B: 40Kg; C: 55Kg; D: 80Kg; E: 100Kg

Şekil 4.4 Merkez bölümde referans kilo ile cihazdan ölçülen kilo bland-altman farklılıkları

Fitforce sisteminin beş farklı noktasından alınan tekrarlı ölçümlere ait güvenilirlik analizleri incelendiğinde, tüm yönlerde (ön, arka, sağ, sol, merkez) tekrarlı ölçümlerde

anlamalı bir fark tespit edilmemiş, bunula beraber tüm noktalarda SKK değerlerinin 1.00 olduğu ve VK% değerlerinin %0.17 ile %1.43 arasında değiştiği görülmüştür. Bu bulgular, sistemin tekrar eden ölçümlerde üst düzey güvenilirliğe sahip olduğunu göstermektedir (Çizelge 4.7).

Çizelge 4.7 İzometrik testi ölçüm sonuçları fitforce - forcedecks

Yön	Referans Kg	Oturum 1 Ortalama± SS	Oturum 2 Ortalama± SS	VK (%)	SKK (95% GA)
Ön	20	18,80± 0,84	18,60± 0,89	1,39	1.00(1.00-1.00)
	40	39,20± 0,84	39,20± 0,84	0,64	
	55	54,80± 1,10	54,40± 0,89	0,56	
	80	79,40± 0,55	80,20± 0,84	0,31	
	100	100,00± 1,00	99,40± 1,14	0,34	
Arka	20	19,00± 0,71	18,20± 0,45	1,19	1.00 (0.99-1.00)
	40	39,60± 0,55	40,40± 0,55	0,53	
	55	54,60± 1,34	54,40± 1,14	0,68	
	80	80,20± 0,84	79,60± 0,89	0,35	
	100	99,40± 0,89	100,00± 0,71	0,26	
Sağ	20	19,20± 0,84	18,00± 0,00	1,43	1.00(1.00-1.00)
	40	39,00± 1,00	39,80± 1,10	0,86	
	55	54,60± 0,55	54,40± 0,55	0,31	
	80	79,80± 1,30	79,80± 0,84	0,41	
	100	99,60± 0,55	99,40± 0,55	0,17	
Sol	20	18,80± 0,84	18,80± 0,45	1,06	1.00(1.00-1.00)
	40	39,40± 0,55	39,20± 0,84	0,54	
	55	55,20± 0,84	55,00± 1,22	0,57	
	80	80,20± 0,84	80,40± 0,89	0,32	
	100	99,00± 0,71	99,20± 0,84	0,24	
Merkez	20	18,80± 0,84	19,40± 0,55	1,33	1.00(1.00-1.00)
	40	39,40± 0,55	39,40± 0,55	0,42	
	55	55,20± 0,84	54,80± 0,84	0,40	
	80	80,20± 0,84	80,20± 1,10	0,39	
	100	99,00± 0,71	99,80± 0,84	0,22	

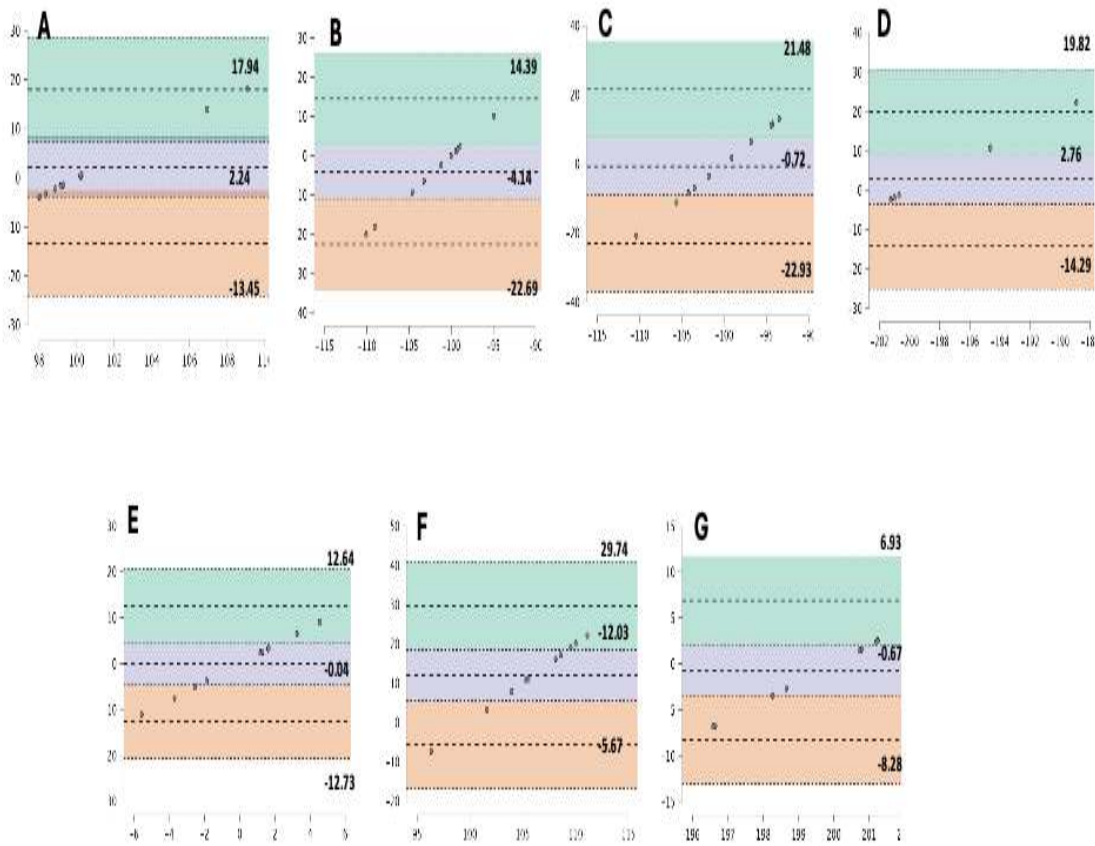
SS: Standart Sapma, SKK: Sınıf İçi Korelasyon katsayısı, VK: Varyasyon katsayısı , GA : Güven Aralığı

Benzer şekilde Denge testi geçerlilik analizinde, Fitforce ile referans değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmazken, yüksek korelasyon ($r = 0.99$, $R^2 = 0.99$) tespit edilmiştir. Güvenilirlik analizinde SKK değerlerinin 0.99–1.00 aralığında olması ve ölçümler arasında anlamlı bir farkın olmaması denge ölçümlerinin de tekrar edilebilirliğinin yüksek olduğunu göstermektedir (Çizelge 4.8, Çizelge 4.9, Şekil 4.5).

Çizelge 4.8 Her iki ölçüm yönteminin beş farklı alandan alınan denge parametreleri ortalamalarının geçerlilik analiz sonuçları

	Fitforce Ortalama $\pm$ SS	Referans Ortalama $\pm$ SS	SKK	Ortalama Fark	R2	Cohen d	p
kg	1.78 $\pm$ 133.6	0.00 $\pm$	0.99	1.789	0.99	0.013	0.93

SS: Standart Sapma, SKK: Sınıf İçi Korelasyon katsayısı,



Geçerlilik verileri. %95 uyum sınırları ortalama farkın üstünde ve altında kesikli olarak devam çizgilerle bulunabilir. A: Ön (100mm) B: Arka (-100mm); C: Sol (-100mm); D: Sol (-200mm); E: Merkez (0mm); F: Sağ (100mm); G: Sağ (200mm)

Şekil 4.5 Referans mm ile cihazdan ölçülen mm bland-altman farklılıkları

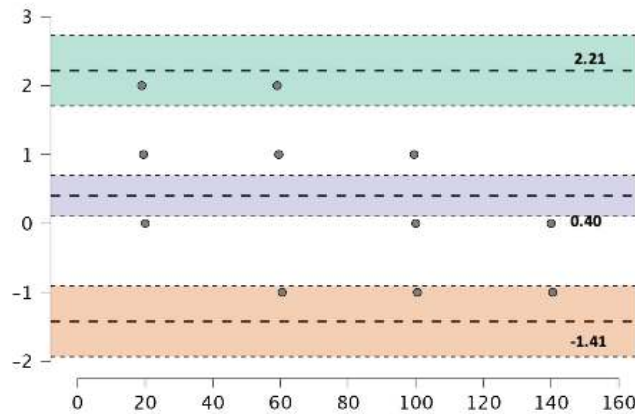
Çizelge 4.9 Fitforce sisteminin beş farklı bölgesinden elde edilen test tekrar-test denge verilerinin güvenilirlik analiz sonuçları

Yön	Oturum 1 Ortalama± SS	Oturum 2 Ortalama± SS	VK (%)	SKK (95% GA)
Arka (100mm)	-109.18 ± 9.50	-99.10 ± 6.90	2.87	1.00(0.99-1.00)
Merkez (0mm)	2.74 ± 6.28	-2.82 ± 5.95	17.46	
Sağ (100mm)	113.05 ± 11.49	111.01 ± 7.00	2.55	
Sağ (200mm)	202.08 ± 0,52	196.55 ± 3.81	0.62	
Sol (100mm)	-102.71 ± 13.88	-98.73 ± 9.29	3.56	
Sol (200mm)	-202.40 ± 0.20	-192.06 ± 10.17	1.40	

Gerçek kilo testi sonuçları da benzer şekilde yüksek doğruluk göstermiştir ($r = 1.00$, $R^2 = 1.00$, $p = 0.96$). Fitforce sisteminden elde edilen verilerin referans değerlere çok yakın olduğu ve ortalama farkın yalnızca -0.40 kg olduğu görülmüştür (Çizelge 4.10, Şekil 4.6).

Çizelge 4.10 Statik ağırlık ölçümü istatistiksel analizi sonuçları

	Fitforce Ortalama ± SS	Referans Ortalama ± SS	SKK	Ortalama Fark	R2	Cohen d	p
kg	79.60 ± 45.86	80.00 ±	1.00	-0.40	1.00	-0.009	0.96



Geçerlilik verileri. %95 uyum sınırları ortalama farkın üstünde ve altında kesikli olarak devam çizgilerle bulunabilir.

Şekil 4.6 Referans kilo ile cihazdan ölçülen kilo bland-altman farklılıkları

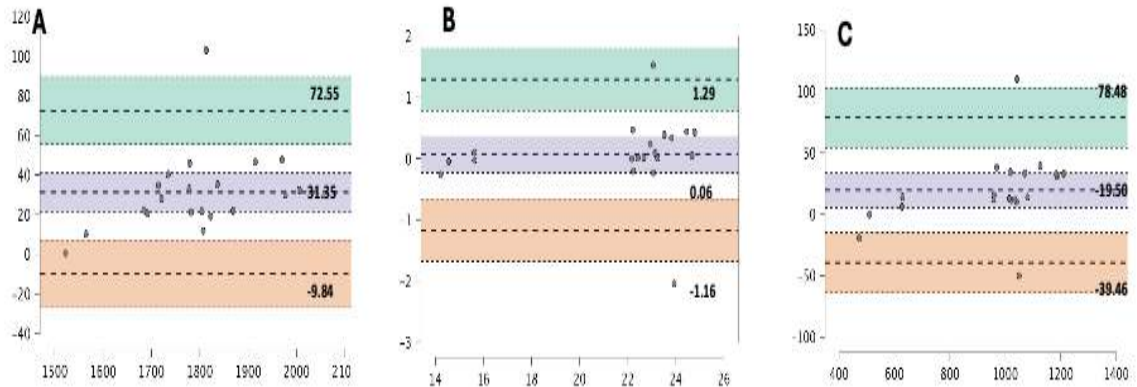
4.5.2 Saha Ölçümlerinin İstatistiksel Analizi

İzometrik çekiş kuvveti (Isometric Mid-Thigh Pull (IMTP)) testi sonuçlarına göre Fitforce ve Vald Forcedecks sistemleri arasında yüksek düzeyde korelasyon ($r = 0.95-0.98$, $R^2 = 0.96-0.98$) gözlenmiştir. Ortalama farklar minimal düzeyde olup, istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamıştır ($p > 0.05$). Bu bulgular Fitforce sisteminin kuvvet ölçümünde geçerli sonuçlar verdiğini göstermektedir (Çizelge 4.11 Şekil 4.7).

Çizelge 4.11 Fitforce ile forcedecks (referans sistem) imtp testi geçerlilik analiz değerleri sonuçları

	Fitforce Ortalama ± SS	Forcedecks Ortalama ± SS	SKK	Ortalama Fark	R ²	Cohen d	p
Zirve Vertical Kuvvet [N]	1774.04 ± 121.23	1805.40 ± 129.41	0.95	-31.35	0.97	-0.250	0.43
Zirve Vertical Kuvvet / BM _[N/kg]	21.58 ± 3.47	21.64 ± 3.53	0.98	-0.06	0.96	-0.019	0.95
Zirve Vertical Kuvvet (Net of BW)_[N]	950.49 ± 214.39	970.00 ± 255.69	0.98	-19.50	0.98	-0.089	0.78

SS: Standart Sapma, SKK: Sınıf İçi Korelasyon katsayısı,



Geçerlilik verileri. %95 uyum sınırları ortalama farkın üstünde ve altında kesikli olarak devam çizgilerle bulunabilir. A: Peak Vertical Force [N]; B: Peak Vertical Force / BM [N/kg] ; C: Peak Vertical Force (Net of BW) [N]

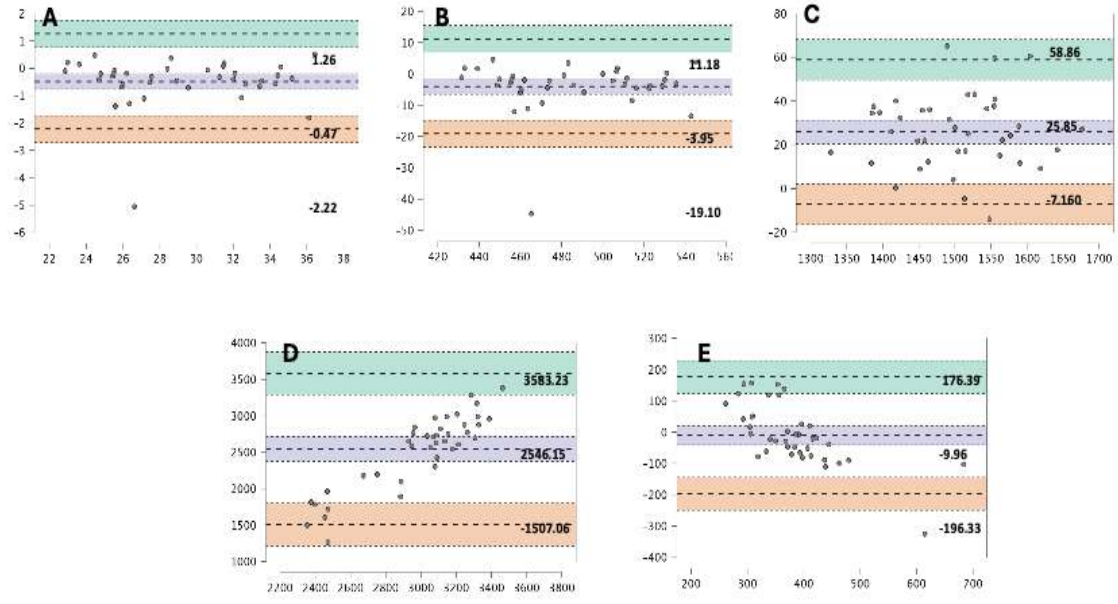
Şekil 4.7 Fitforce ile forcedecks imtp testi bland-altman farklılıkları

Here iki ölçüm sisteminden elde edilen Sıçrama yüksekliği ($r = 0.96$, $R^2 = 0.94$, $p = 0.58$) ve havada kalış süresi ($r = 0.96$, $R^2 = 0.94$, $p = 0.59$) değişkenleri için anlamlı fark saptanmamıştır. Ancak iniş sırasında oluşan tepe kuvvetinde anlamlı fark ($p < 0.001$) belirlenmiş ve Fitforce sisteminin bu değişkeni referansa göre daha düşük ölçtüğü görülmüştür. Buna rağmen, diğer değişkenlerdeki yüksek korelasyon Fitforce sisteminin genel olarak geçerli ölçümler sunduğunu göstermektedir (Çizelge 4.12, Şekil 4.8).

Çizelge 4.12 Fitforce ile forcedecks cmj testi geçerlilik analiz sonuçları

	Fitforce Ortalama ± SS	Forcedecks Ortalama ± SS	SKK	Ortalama Fark	R²	Cohen d	p
Sıçrama Yüksekliği [cm]	29.30 ± 3.92	28.82 ± 3.93	0.96	0.47	0.94	0.122	0.58
Havada kalış Süresi [ms]	487.80 ± 32.64	483.85 ± 32.96	0.96	3.95	0.94	0.121	0.59
Kalkış Zirve Kuvvet [N]	1488.42 ± 78.65	1514.27 ± 79.17	0.92	-25.85	0.95	-0.328	0.14
Zirve Konuş Kuvveti [N]	1734.89 ± 138.31	4281.05 ± 580.09	-0.88	-2546.15	0.19	-6.038	< .001
Frenleme Aşaması Süresi [ms]	388.11 ± 120.02	378.15 ± 59.26	0.50	9.96	0.37	0.105	0.63

SS: Standart Sapma, SKK: Sınıf İçi Korelasyon katsayısı,



Geçerlilik verileri. %95 uyum sınırları ortalama farkın üstünde ve altında kesikli olarak devam çizgilerle bulunabilir. A: Sıçrama Yüksekliği [cm]; B: Havada kalış Süresi [ms]; C: Kalkış Zirve Kuvvet [N]; D: Zirve Konuş Kuvveti [N]; E: Frenleme Aşaması Süresi [ms]

Şekil 4.8 Fitforce forcedecks cmj testi bland-altman farklılıkları

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışma kapsamında tasarlanan kuvvet platformu, sportif performans değerlendirmeleri ve rehabilitasyon uygulamaları için hem taşınabilir hem de ekonomik bir çözüm sunmaktadır. Dört adet yüksek hassasiyetli yük hücresi, mikrodenetleyici tabanlı veri toplama birimi ve Bluetooth destekli kablosuz iletişim altyapısı ile donatılan sistem; mobil cihazlar ve Windows tabanlı masaüstü uygulamalar aracılığıyla kullanıcı dostu bir arayüz üzerinden kolayca yönetilebilmektedir. Bu entegre yapı sayesinde cihaz, sadece kontrollü laboratuvar ortamlarında değil, aynı zamanda sahada da güvenilir ve yüksek doğrulukta ölçümler yapabilecek şekilde çok yönlü kullanım imkânı sağlamaktadır.

Sistemle gerçekleştirilen testlerde elde edilen bulgular, ölçüm güvenilirliğinin oldukça yüksek olduğunu göstermektedir. Özellikle sınıf içi korelasyon katsayısının (ICC) 0.95'in üzerinde, varyasyon katsayılarının ise %5'in altında kalması, sistemin hem tutarlı hem de tekrar edilebilir ölçümler sunduğunu ortaya koymuştur. Statik ağırlık dağılımı, köşe yüklemeleri, sıçrama ve balans testleri gibi farklı uygulama senaryolarında yapılan karşılaştırmalı analizler, geliştirilen sistemin referans cihazlarla anlamlı düzeyde korelasyon gösterdiğini kanıtlamaktadır.

Sıçrama analizlerinde Forcedecks ile karşılaştırmalı olarak yapılan testlerde sıçrama yüksekliği, temas süresi, havada kalma süresi ve reaktif kuvvet indeksi gibi parametrelerde yüksek korelasyon ($r > 0.94$) ve istatistiksel olarak anlamlı uyum elde edilmiştir. Bland-Altman analizleri, cihazlar arası sistematik hataların klinik anlamda ihmal edilebilir düzeyde olduğunu göstermiştir. IMTP testlerinde de geliştirilen sistemin mutlak tepe kuvveti ölçümleri ile referans sistemin değerleri arasında anlamlı fark gözlenmemiştir. Tüm noktalarda SKK değerlerinin 1.00 olduğu ve VK% değerlerinin %0.17 ile %1.43 arasında değiştiği görülmüştür. Bu bulgular, geliştirilen sistemin sadece deneysel düzeyde değil, aynı zamanda saha uygulamalarında da geçerli bir alternatif olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Piyasada yaygın olarak kullanılan kuvvet platformlarıyla kıyaslama yapıldığında,

özellikle maliyet ve taşınabilirlik açısından dikkat çekici avantajlar öne çıkmaktadır. Çizelge 5.1’de verilen tabloda, geliştirilen sistemin önde gelen ticari sistemlerle temel parametreler açısından karşılaştırması sunulmuştur:

Çizelge 5.1 Fitforce ile forcedecks cmj testi geçerlilik analiz sonuçları

Sistem	Örnekleme (Hz)	Taşınabilirlik	Maliyet (€)	Uygulama Tipi	Yorum
Bu Çalışma (Fitforce)	250	Yüksek	<1000	Mobil & Desktop	Yüksek doğruluk, düşük maliyet
Forcedecks	1000	Orta	~20,000	Mobil	Altın standart, pahalı
Kistler	1000+	Düşük	25,000+	Sabit/Lab tuvar	Çok yüksek doğruluk, sabit kurulum
AMTI	1000+	Düşük	30,000+	Sabit	Klinik/lab düzeyi, ağır sistem
WBB (Nintendo)	100	Yüksek	~200	Ev/amatör	Düşük doğruluk, uygun fiyat
izForce (İnce, 2024)	200–500	Orta	~1500	Desktop	Kabul edilebilir doğruluk

Bu tablo, geliştirilen sistemin sadece düşük maliyetli değil, aynı zamanda teknik doğruluk açısından da piyasadaki bazı ticari sistemlerle rekabet edebilecek düzeyde olduğunu açıkça göstermektedir. Özellikle Kistler ve AMTI gibi sabit laboratuvar sistemlerinin sunduğu yüksek örnekleme frekansları, saha taşınabilirliği ve ekonomik erişim açısından ciddi kısıtlar taşımaktadır. Buna karşılık, geliştirilen sistem ekonomik fiyatı ve portatif yapısıyla mobil uygulamalar için geniş bir kullanım alanı sunmaktadır.

Geliştirilen kuvvet platformu, mevcut ticari sistemlerden farklı olarak çeşitli özgün donanım ve yazılım yetenekleriyle öne çıkmaktadır. Sistemin altyapısına entegre edilen

zemin uyumluluğu kontrol mekanizması sayesinde, cihaz test öncesinde platformun zemine tam temas ettiğini doğrulamakta ve rijitlik sağlanmadığı durumlarda kullanıcıyı uyararak ölçüme başlanmasına izin vermemektedir. Bu sayede ölçüm koşullarında tutarlılık ve güvenilirlik artırılmaktadır. Ek olarak, kullanıcı platform üzerine çıktığında sistem otomatik olarak kalibrasyon işlemini başlatmakta ve bu durumu hem sesli hem de görsel uyarılarla geri bildirim şeklinde iletmektedir. Bu fonksiyon, özellikle saha uygulamalarında kullanıcı etkileşimini kolaylaştırarak yanlış ölçüm riskini en aza indirmektedir.

Sonuç olarak, bu çalışma ile geliştirilen kuvvet platformu; düşük maliyeti, taşınabilirliği, yüksek doğrulukta ölçüm kapasitesi ve kullanıcı dostu arayüzleriyle, mevcut ticari sistemlere ulaşamayan akademik, klinik ve sportif ortamlara etkin bir alternatif sunmaktadır. Sistem, sadece kontrollü laboratuvar koşullarında değil, aynı zamanda saha ortamlarında da güvenilir ölçümler yapabilme kapasitesi sayesinde, antrenman ve rehabilitasyon süreçlerine doğrudan entegre edilebilmektedir. Özellikle üniversite spor bilimleri laboratuvarlarında, fizik tedavi kliniklerinde, rehabilitasyon merkezlerinde ve antrenman salonlarında yaygın biçimde kullanılacak bu yapı; performans takibi, denge analizi ve kuvvet ölçümleri gibi birçok alanda işlevsel bir çözüm olarak öne çıkmaktadır. Açık kaynaklı yazılım mimarisi, sistemin araştırmacılar ve uygulayıcılar tarafından farklı test protokollerine uyarlanmasına ve yeni parametrelerin eklenmesine imkân tanımakta, bu da platformu hem akademik çalışmalar hem de bireysel uygulamalar için sürdürülebilir ve geliştirilebilir bir teknoloji haline getirmektedir. Tüm bu yönleriyle, geliştirilen kuvvet platformu yerli mühendislik kapasitesini yansıtan, erişilebilir ve bilimsel temellere dayanan güçlü bir alternatif olarak literatürdeki yerini almaktadır.

6. KAYNAKLAR

- Akbas F, Güler F, Aydemir B, Kapasitif Etki Prensipli Kuvvet Ölçme Cihazlarının Yapısı, Türleri ve Kullanım Alanlarının İncelenmesi. In 6th International Mediterranean Science and Engineering Congress, 2021, 25-27 Kasım 2021, Antalya.
- Anli F, Gerçek N, Cumbur C, Sani F, Gülmez İ, Yılmaz S, Ramazanoğlu N, 2024, Boksörlerde Alt ve Üst Ekstremitte Reaktif Kuvvet İndeksleri Arasındaki İlişkinin İncelenmesi, Spor ve Performans Araştırmaları Dergisi, 15(1), 103-114.
- Badby A J, Mundy P D, Comfort P, Lake J P, McMahon J J, 2023, The validity of Hawkin Dynamics wireless dual force plates for measuring countermovement jump and drop jump variables, Sensors, 23(10), 4820.
- Bal F, 2020, Psikologlar İçin SPSS Uygulamaları ve Araştırma Yöntemleri, Nobel Yayıncılık, Ankara
- Barnes C, Archer D T, Hogg B, Bush M, Bradley P, 2014, The evolution of physical and technical performance parameters in the English Premier League, International journal of sports medicine, 35(13), 1095-1100.
- Beattie K, Flanagan E P, 2015, Establishing The Reliability & Meaningful Change Of The Drop-Jump Reactive-Strength Index, Journal of Australian Strength & Conditioning, 23(5).
- Beckham G, Suchomel T, Mizuguchi S, 2014, Force plate use in performance monitoring and sport science testing, New Studies in Athletics, 29(3), 25-37.
- Bobbert M F, Gerritsen K G, Litjens M C, Van Soest A J, 1996, Why is countermovement jump height greater than squat jump height?, Medicine and science in sports and exercise, 28, 1402-1412.
- Boraczyński M, Boraczyński T, Podstawski R, Wójcik Z, Gronek P, 2020, Relationships between measures of functional and isometric lower body strength, aerobic capacity, anaerobic power, sprint and countermovement jump performance in professional soccer players, Journal of Human Kinetics, 75, 161.

- Bourdon P C, Cardinale M, Murray A, Gastin P, Kellmann M, Varley M. C, Cable N T, 2017, Monitoring athlete training loads: consensus statement. *International journal of sports physiology and performance*, 12(s2), S2-161.
- Bradbury J C, Coates D, Humphreys B R, 2023, The impact of professional sports franchises and venues on local economies: A comprehensive survey, *Journal of Economic Surveys*, 37(4), 1389-1431.
- Brown P, 2012, Movement: Functional movement systems—screening, assessing, corrective strategies on target publications, *The Journal of the Canadian Chiropractic Association*, 56(4), 316.
- Brown D M, Graham J D, Innes K I, Harris S, Flemington A, Bray S R, 2020, Effects of prior cognitive exertion on physical performance: A systematic review and meta-analysis, *Sports Medicine*, 50(3), 497-529.
- Buchheit M, Mendez-Villanueva A, 2013, Reliability and stability of anthropometric and performance measures in highly-trained young soccer players: effect of age and maturation, *Journal of Sports Sciences*, 31(12), 1332-1343.
- Cardinale M, Varley M C, 2017, Wearable training-monitoring technology: applications, challenges, and opportunities, *International journal of sports physiology and performance*, 12(s2), S2-55.
- Carroll R J, Schneider H, 1985, A note on Levene's tests for equality of variances, *Statistics & probability letters*, 3(4), 191-194.
- Cerrah A O, Ertan H, Soylu A R, 2010, Spor Bilimlerinde Elektromiyografi Kullanımı, *Spormetre Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, 8(2), 43-49.
- Chavda S, Bromley T, Jarvis P, Williams S, Bishop C, Turner A N, Mundy P D, 2018, Force-time characteristics of the countermovement jump: Analyzing the curve in Excel, *Strength & Conditioning Journal*, 40(2), 67-77.
- Cook G, Burton L, Hoogenboom B, 2006, Pre-participation screening: the use of fundamental movements as an assessment of function—part 1, *North American journal of sports physical therapy: NAJSPT*, 1(2), 62.

- Crossley K M, Zhang W J, Schache A G, Bryant A, Cowan S M, 2011, Performance on the single-leg squat task indicates hip abductor muscle function, *The American journal of sports medicine*, 39(4), 866-873.
- Çaparlar C Ö, Dönmez A, 2016, Bilimsel araştırma nedir, nasıl yapılır. *Türk J Anaesthesiol Reanim*, 44(4), 212-218.
- Çelik H, Mavili C, Yılmaz E, Ünver E, Öztürk F, Bulut S, Cinemre Ş A, 2023, Genç basketbol oyuncularında izometrik orta uyluk çekme testinin güvenilirliği, *Spor Bilimleri Dergisi*, 34(2), 59-70.
- Delvaux F, Kaux J F, Croisier J L, 2017 Lower limb muscle injuries: risk factors and preventive strategies, *Science & Sports*, Vol. 32, No. 4, 179-190.
- Denadai B S, de Oliveira F B D, Camarda S R D A, Ribeiro L, Greco C C, 2016, Hamstrings-to-quadriceps strength and size ratios of male professional soccer players with muscle imbalance, *Clinical physiology and functional imaging*, 36(2), 159-164.
- Dobbs C W, Gill N D, Smart D J, McGuigan M R, 2015, Relationship between vertical and horizontal jump variables and muscular performance in athletes, *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(3), 661-671.
- Dos' Santos T, Evans D T, Read D B, 2024, Validity of the hawkin Dynamics wireless dual force platform system against a piezoelectric laboratory grade system for vertical countermovement jump variables, *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 38(6), 1144-1148.
- Dönmez G, Ak E, Ödek U, Özberk N, Korkusuz F, 2014, Sporda hareket analizi, *Türk Ortopedi ve Travmatoloji Birliği Derneği (TOTBİD) Dergisi*, 13(4), 369-380.
- Eckard T G, Padua D A, Hearn D W, Pexa B S, Frank B S, 2018, The relationship between training load and injury in athletes: a systematic review, *Sports medicine*, 48(8), 1929-1961.
- Gastwirth J L, Gel Y R, Miao W, 2009, The impact of Levene's test of equality of variances on statistical theory and practice, *Statist. Sci.* 24(3): 343-360.

- Gençoğlu C, 2008, Hentbolcularda üst ekstremiteye uygulanan pliometrik egzersizin atış hızı ve izokinetik kas kuvvetine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Giavarina D, 2015, Understanding bland altman analysis, *Biochemia medica*, 25(2), 141-151.
- Gioftsidou A, Ispirlidis I, Pafis G, Malliou P, Bikos C, Godolias G, 2008, Isokinetic strength training program for muscular imbalances in professional soccer players, *Sport Sciences for Health*, 2(3), 101-105.
- Goren E, Galili I, 2019, Newton's Law-A Theory of motion or force?, In *Journal of Physics: Conference Series*, 1287, 1, 012061.
- Güler M, Şen S, 2016, Sonlu Elemanlar Yöntemi Hakkında Genel Bilgiler, *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(1), 56-66.
- Haff G G, Carlock J M, Hartman M J, Kilgore J L, Kawamori N, Jackson J R, Stone M H, 2005, Force--time curve characteristics of dynamic and isometric muscle actions of elite women olympic weightlifters, *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 19(4), 741-748.
- Heidari N, Iosifidis A, 2025, Geometric Deep Learning for Computer-Aided Design: A Survey, in *IEEE Access*, 13, 119305-119334.
- Hopkins W G, Schabort E J, Hawley J A, 2001, Reliability of power in physical performance tests, *Sports medicine*, 31(3), 211-234.
- Huang C C, Hung H H, Jaw F S, Young Y H, 2022, Comparison of the Wii balance board system and foam posturography system in assessing postural balance, *Ear and hearing*, 43(6), 1800-1806.
- Huang P, Xu W, Bai Z, Yu L, Mei Q, Gu Y, 2024, An observational study of lower limb muscle imbalance assessment and gait analysis of badminton players, *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 12, 1439889.
- İnce İ, 2024, Düşük Maliyetle geliştirilen Bir Kuvvet Platformunun Doğrulama Çalışması, *Gazi Beden Eğitimi Ve Spor Bilimleri Dergisi*, 29(3), 124-133.

- İnce İ, 2024, Nintendo Wii denge Plakasıyla Kuvvet ölçümleri İçin Yazılım Geliştirme ve Doğrulama: Güvenirlik ve Geçerlik Çalışması, *The Online Journal of Recreation and Sports*, 13(2), 184-190.
- Jarvis D N, Kulig K, 2020, What goes up must come down: Consequences of jump strategy modification on dance leap take-off biomechanics, *Journal of Sports Sciences*, 38(16), 1836-1843.
- Junk S, Burkart L, 2021, Comparison of CAD systems for generative design for use with additive manufacturing, *Procedia CIRP*, 100, 577-582.
- Kanatli U, Yetkin H, Simsek A, Ozturk A, Esen E, Besli K, 2008, Pressure distribution patterns under the metatarsal heads in healthy individuals, *Acta Orthopaedica et Traumatologica Turcica*, 42(1), 26-30.
- Karadenizli Z İ, 2024, Mücadele sporlarında bosu topu ile yaptırılan antrenmanların dinamik denge ve patlayıcı güce etkileri, *The Journal of Academic Social Science*, (96), 229-244.
- Kasap H, Kemertaş İ, Nalbant S, 2018, Eğitimde ve spor eğitiminde ölçme ve değerlendirme, Nobel Akademik Yayıncılık.
- Kayısoğlu M E, Karakaş İ, Akarçeşme C, Bağcı E, Keskin K, 2023, Buz Hokeyi Sporcularında Force Plate ve G-Force Değerleri Şut Hızı ile İlişkili Midir?, *Journal of Sport for All and Recreation*, 5(2), 78-84.
- Kellis E, Sahinis C, Baltzopoulos V, 2023, Is hamstrings-to-quadriceps torque ratio useful for predicting anterior cruciate ligament and hamstring injuries? A systematic and critical review, *Journal of Sport and Health Science*, 12(3), 343-358.
- Khamis S, Carmeli E, 2018, The effect of simulated leg length discrepancy on lower limb biomechanics during gait, *Gait & posture*, 61, 73-80.
- Ak Ç A, Efe Ö F, Altun K, 2024, Geleceğin Endüstriyel Dönüşümünün Anahtarı: CAD, *Electronic Letters on Science and Engineering*, 20(2), 70-90.
- Kinser A M, Ramsey M W, O'bryant H S, Ayres C A, Sands W A, Stone M H, 2008, Vibration and stretching effects on flexibility and explosive strength in young gymnasts, *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 40(1), 133-140.

- Kurosawa M, Fukuda Y, Takasaki M, Higuchi T, 1998, A surface-acoustic-wave gyro sensor, *Sensors and Actuators A: Physical*, 66(1-3), 33-39.
- Lee D K, In J, Lee S, 2015, Standard deviation and standard error of the mean, *Korean journal of anesthesiology*, 68(3), 220-223.
- Lee J, Kim D, Yu K, Cho Y, You J H, 2018, Comparison of isometric cervical flexor and isometric cervical extensor system exercises on patients with neuromuscular imbalance and cervical crossed syndrome associated forward head posture, *Bio-medical materials and engineering*, 29(3), 289-298.
- Lehance C, Binet J, Bury T, Croisier J L, 2009, Muscular strength, functional performances and injury risk in professional and junior elite soccer players, *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 19(2), 243-251.
- Lemke S B, Schnorrer F, 2017, Mechanical forces during muscle development, *Mechanisms of development*, 144, 92-101.
- Leyland A H, Groenewegen P P, 2024, Intraclass correlation coefficient (ICC), In *Encyclopedia of quality of life and well-being research*, 3643-3644.
- Liang C, Sun J, Cui X, Jiang Z, Zhang W, Li T, 2016, Spinal sagittal imbalance in patients with lumbar disc herniation: its spinopelvic characteristics, strength changes of the spinal musculature and natural history after lumbar discectomy, *BMC musculoskeletal disorders*, 17(1), 305.
- Liu G R, Quek S S, 2013, *The finite element method: a practical course*, Butterworth-Heinemann, USA.
- Mak A F, Zhang M, Tam E W, 2010, Biomechanics of pressure ulcer in body tissues interacting with external forces during locomotion, *Annual review of biomedical engineering*, 12(1), 29-53.
- Mao C, Li M, Li X, Li Z, Liu T, Wang L, Sun Y, 2024, The Validity of a Dual-Force Plate for Assessing Counter-Movement Jump Performance, *Sensors*, 24(17), 5748.

- Markovic G, Dizdar D, Jukic I, Cardinale M, 2004, Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests, *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 18(3), 551-555.
- McCurdy K W, Walker J L, Langford G A, Kutz M R, Guerrero J M, McMillan J, 2010, The relationship between kinematic determinants of jump and sprint performance in division I women soccer players, *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(12), 3200-3208.
- Merrigan J J, Strang A, Eckerle J, Mackowski N, Hierholzer K, Ray N T, Briggs R A, 2024, Countermovement jump force-time curve analyses: Reliability and comparability across force plate systems, *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 38(1), 30-37.
- Muller I, de Brito R M, Pereira C E, Brusamarello V, 2010, Load cells in force sensing analysis--theory and a novel application, *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, 13(1), 15-19.
- Neves L F, Souza C Q D, Stoffel M, Picasso C L M, 2017, The Y balance test--how and why to do it, *Int Phys Med Rehab J*, 2(4), 99-100.
- Newton R U, Gerber A, Nimphius S, Shim J K, Doan B K, Robertson M, Kraemer, W J, 2006, Determination of functional strength imbalance of the lower extremities, *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 20(4), 971-977.
- Nimphius S, Jordan M J, 2020, Show me the data, Jerry! Data visualization and transparency, *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 15(10), 1353-1355.
- Nordin M, Frankel V H, 2001, *Basic biomechanics of the musculoskeletal system*. Lippincott Williams & Wilkins, Tokyo.
- O'Donnell S, Tavares F, McMaster D, Chambers S, Driller M, 2018, The validity and reliability of the GymAware linear position transducer for measuring countermovement jump performance in female athletes, *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, 22(1), 101-107.

- O'Neill M E, Mathews K Y, 2000, Theory & methods: A weighted least squares approach to Levene's test of homogeneity of variance, *Australian & New Zealand Journal of Statistics*, 42(1), 81-100.
- Pandy M G, Barr R E, Kutz M, 2004, *Biomechanics of the musculoskeletal system*, Standard Handbook of Biomedical Engineering and Desing, Texas.
- Park K M, Cynn H S, Choung S D, 2013, Musculoskeletal predictors of movement quality for the forward step-down test in asymptomatic women, *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 43(7), 504-510.
- Pino-Ortega J, Oliva-Lozano J M, Gantois P, Nakamura F Y, Rico-Gonzalez M, 2022, Comparison of the validity and reliability of local positioning systems against other tracking technologies in team sport: A systematic review, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*, 236(2), 73-82.
- Plisky P J, Rauh M J, Kaminski T W, Underwood F B, 2006, Star Excursion Balance Test as a predictor of lower extremity injury in high school basketball players, *Journal of orthopaedic & sports physical therapy*, 36(12), 911-919.
- Robles-Palazon F J, Comfort P, Ripley N J, Herrington L, Bramah C, McMahon, J J, 2023, Force plate methodologies applied to injury profiling and rehabilitation in sport: A scoping review protocol, *PLoS One*, 18(10), e0292487.
- Rogers S A, Hassmén P, Hunter A, Alcock A, Crewe S T, Strauts J A, Weissensteiner J R, 2019, The validity and reliability of the MyJump2 application to assess vertical jumps in trained junior athletes, *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, 23(1), 69-77.
- Sands W A, Bogdanis G C, Penitente G, Donti O, McNeal J R, Butterfield C C, Barker L A, 2020, Reliability and validity of a low-cost portable force platform, *Isokinetics and Exercise Science*, 28(3), 247-253.
- Schröder J, Hallemans A, Saeys W, Yperzeele L, Kwakkel G, Truijen S, 2024, Is a portable pressure plate an alternative to force plates for measuring postural stability and interlimb coordination of quiet standing balance control?, *Journal of Rehabilitation and Assistive Technologies Engineering*, 11, 20556683241234858.

- Selçuk F A, Zengin A T, 2021, Bilgisayar destekli teknik tasarım dersleri için açık kaynak kodlu müfredat önerisi, İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 3(1), 26-29.
- Serbest K, Eldoğan O, 2014, İskelet kaslarının yapısı ve biyomekaniği, Academic Platform-Journal of Engineering and Science, 2(3), 41-51.
- Serin E, Taşkın H, 2016, Anaerobik dayanıklılık ile dikey sıçrama arasındaki ilişki, Spor ve Performans Araştırmaları Dergisi, 7(1), 37-43.
- Silva-García S, 2024, Biomechanical analysis of movement in high impact sports and its implications for injury prevention, Revista multidisciplinar de las Ciencias del Deporte, 24(96).
- Smith T, Ditroilo M, 2023, Force plate coverings significantly affect measurement of ground reaction forces, Plos one, 18(11), e0293959.
- Srijunto W, Namsawang J, Chaovalit S, Mickevicius M, Muanjai P, 2024, Correlations among flexibility, stiffness, strength and muscle ultrasound parameters in older males afflicted with hamstrings tightness, Journal of Bodywork and Movement Therapies, 40, 2011-2016.
- Suchomel T J, Nimphius S, Stone M H, 2016, The importance of muscular strength in athletic performance, Sports medicine, 46(10), 1419-1449.
- Suksupaet B, Senavongse W, Ritthiwat W, Sueaseenak D, 2021, A Wireless Ground Reaction Force Measurement Device Using Force Sensor, In 2021 13th International Conference on Knowledge and Smart Technology, IEEE, 33-37.
- Swearingen J, Lawrence E, Stevens J, Jackson C, Waggy C, Davis D S, 2011, Correlation of single leg vertical jump, single leg hop for distance, and single leg hop for time, Physical Therapy in Sport, 12(4), 194-198.
- Szikszay T M, Hoenick S, von Korn K, Meise R, Schwarz A, Starke W, Luedtke, K, 2019, Which examination tests detect differences in cervical musculoskeletal impairments in people with migraine? A systematic review and meta-analysis, Physical therapy, 99(5), 549-569.

- Şahin Ö, 2010, Rehabilitasyonda izokinetik değerlendirmeler, Cumhuriyet Medical Journal, 32(4), 386-396.
- Tozkoparan K E, Karaduman Ö, 2022, Spor biyomekaniğinde performans analizi için hareket yakalama teknolojisi uygulamaları, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 34(2), 95-111.
- Viitasalo J T, 1982, Anthropometric and physical performance characteristics of male volleyball players. Canadian journal of applied sport sciences, Journal canadien des sciences appliquees au sport, 7(3), 182-188.
- Vrhovski Z, Benkek G, Husak K, Sekovanić I, 2023, Development and validation of a system for game control based on a force plate, Applied Sciences, 13(21), 11753.
- Walsh M S, Ford K R, Bangen K J, Myer G D, Hewett T E, 2006, The validation of a portable force plate for measuring force-time data during jumping and landing tasks, The Journal of Strength & Conditioning Research, 20(4), 730-734.
- Walsh M S, Ford K R, Bangen K J, Myer G D, Hewett T E, 2006, The validation of a portable force plate for measuring force-time data during jumping and landing tasks, The Journal of Strength & Conditioning Research, 20(4), 730-734.
- Wang L, 2024, Selected Specific Physical Training Program to Improve Jump Ability for Aerobic Gymnastic, International Journal of Sociologies and Anthropologies Science Reviews, 4(6), 249-256.
- Weakley J, Black G, McLaren S, Scantlebury S, Suchomel T J, McMahon E, Read D B, 2024, Testing and profiling athletes: recommendations for test selection, implementation, and maximizing information, Strength & Conditioning Journal, 46(2), 159-179.
- Weir J P, 2005, Quantifying test-retest reliability using the intraclass correlation coefficient and the SEM, The Journal of Strength & Conditioning Research, 19(1), 231-240.
- Xu D, Quan W, Zhou H, Sun D, Baker J S, Gu Y, 2022, Explaining the differences of gait patterns between high and low-mileage runners with machine learning, Scientific reports, 12(1), 2981.

- Yılmaz N A, Erdeo F, Tat A M, Alp H, 2017, Vücut Kitle İndeksinin Ayak Taban Basınç Dağılımına Etkisi, Adnan Menderes Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi, 1(2), 33-39.
- Yi B, Zhang L, Zhang C, Huang T, Wang Y, Zhao X, Girard O, 2024, Effects of 6-Week Weighted-Jump-Squat Training With and Without Eccentric Load Reduction on Explosive Performance, International Journal of Sports Physiology and Performance, 19(10), 1115-1121.
- Yim K H, Nahm F S, Han K A, Park S Y, 2010, Analysis of statistical methods and errors in the articles published in the Korean journal of pain, The Korean journal of pain, 23(1), 35.
- Zacharewicz E, Lamon S, Russell A P, 2013, MicroRNAs in skeletal muscle and their regulation with exercise, ageing, and disease, Frontiers in physiology, 4, 266.

İnternet Kaynakları

- 1- <https://ohi.net/pdf/digital/langer/Langer%20Scancast%203D%20Booklet.pdf>, 16/10/2025
- 2- https://www.bravomed.com.tr/urun.aspx?urun=Kablosuz_Ataletsel_Sensorlu_3D_Hareket_Analiz_Sistemi, 16/10/2025
- 3- <https://www.allengershealthcare.com/medical-equipment.html>, 17/10/2025
- 4- <https://www.alpmed.com.tr/qualisys-insan-biyomekanigi-arastirmalari/>, 17/10/2025
- 5- https://tr.pngtree.com/freebackground/contrasting-knee-health-and-injury-in-a-detailed-medical-illustration_16673900.html, 17/10/2025
- 6- <https://www.hawkindynamics.com/hd-test-types>, 23/10/2025
- 7- https://www.bravomed.com.tr/urun.aspx?urun=ForceDecks_Kuvvet_Platformu, 23/10/2025
- 8- <https://summitmedsci.co.uk/products/amti-standard-force-plates/>, 23/10/2025
- 9- <https://www.elsa.web.tr/tr/urun/performans-olcum-ve-analiz/kuvvet-platformu>, 23/10/2025

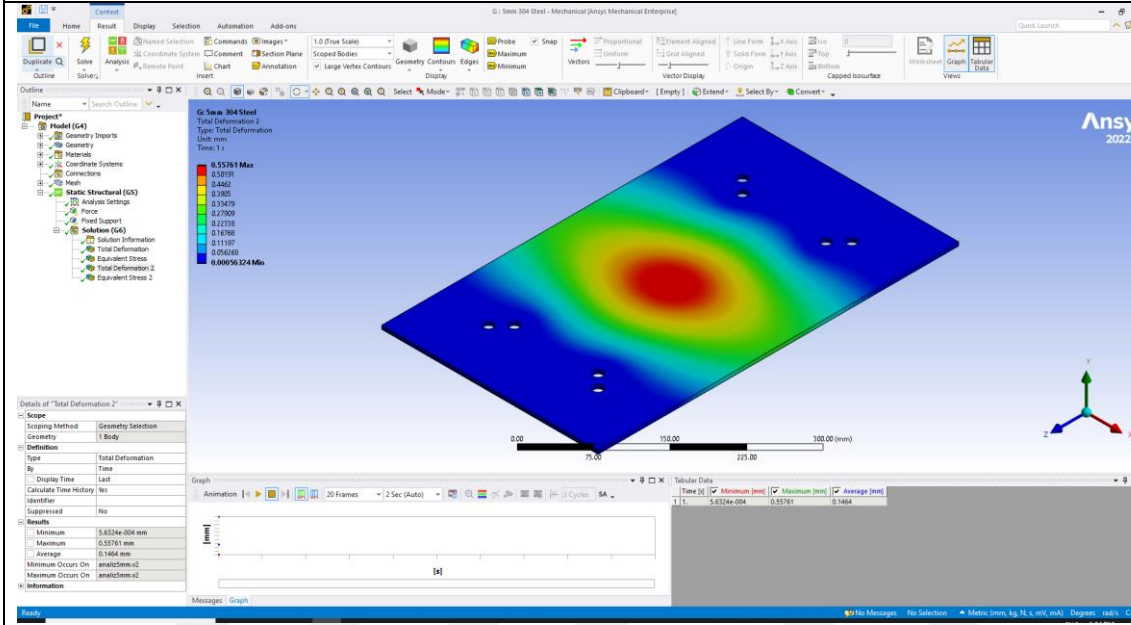
- 10-<https://biyokimyamacerasi.wordpress.com/2017/11/18/egzersiz-biyokimyasi-2/>,
17/10/2025
- 11-<https://www.unife.it/medicina/scienzemotorie/minisiti-LT/valutazioni-funzionali-I/materiale-didattico/valutazioni-funzionali-i-2015-2016/Forza%20e%20Resistenza%20muscolare.pdf>, 17/10/2025
- 12-https://www.researchgate.net/figure/Human-vertical-jumping_fig1_224705517,
17/10/2025
- 13-<https://medium.com/@mertsahan/kuvvet-platformlar%C4%B1-parametre-se%C3%A7imi-31b5d5400286>, 17/10/2025
- 14- https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bland-Altman_Plot.svg, 17/10/2025
- 15- <https://www.6sigma.us/six-sigma-in-focus/levenes-test/>, 17/10/2025



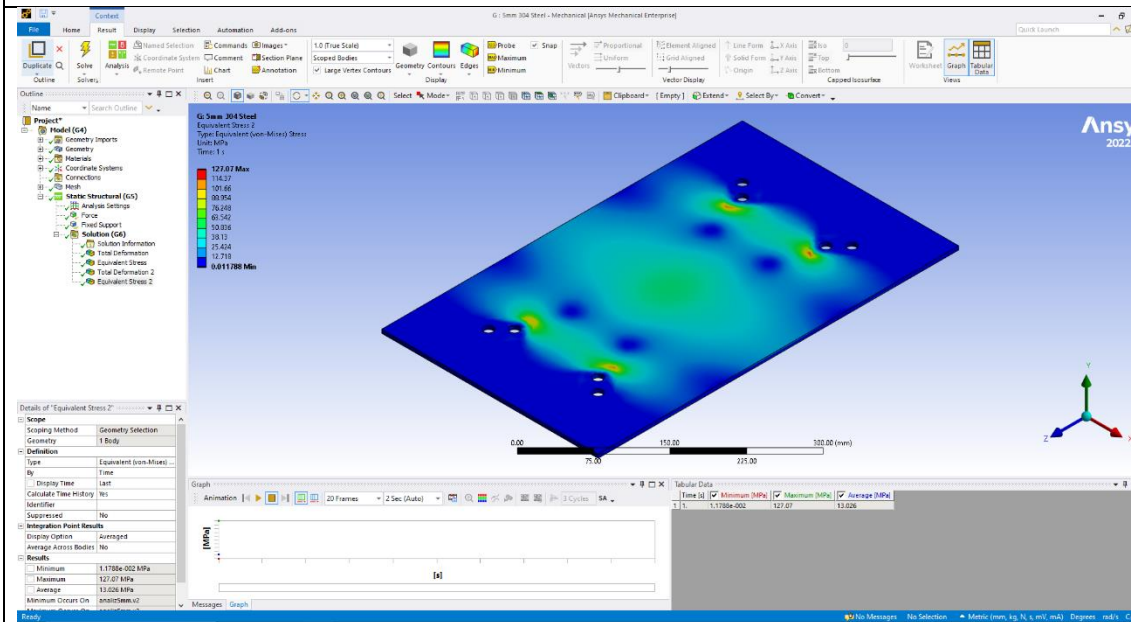
EKLER

EK-1 5mm tek platform deformasyon ve gerilim analizi

304 Paslanmaz Çelik



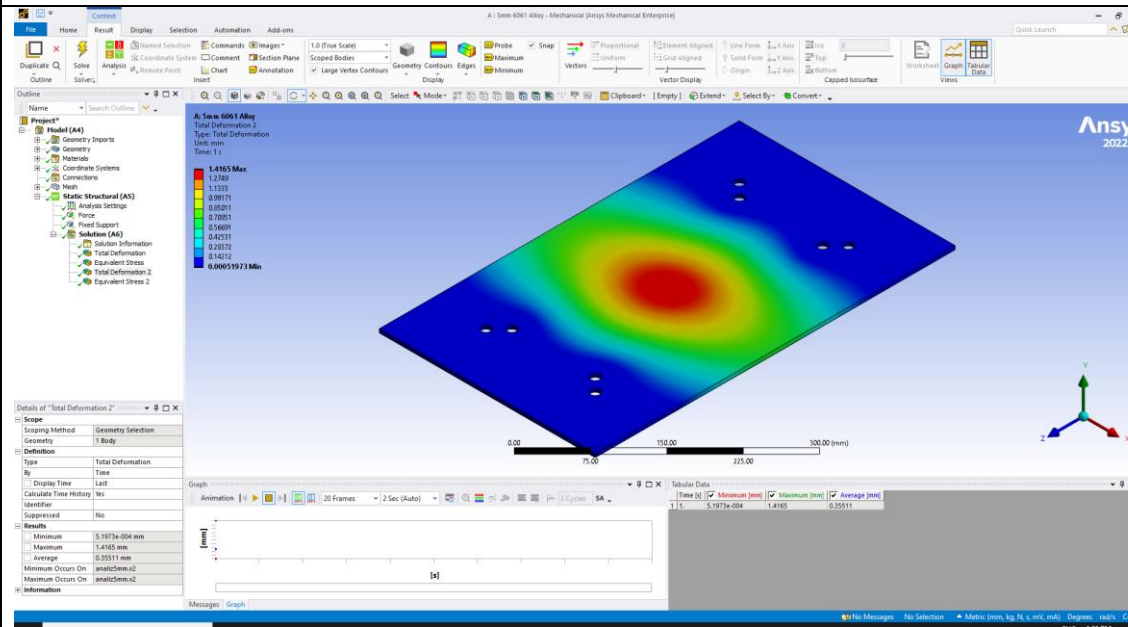
a) Deformasyon



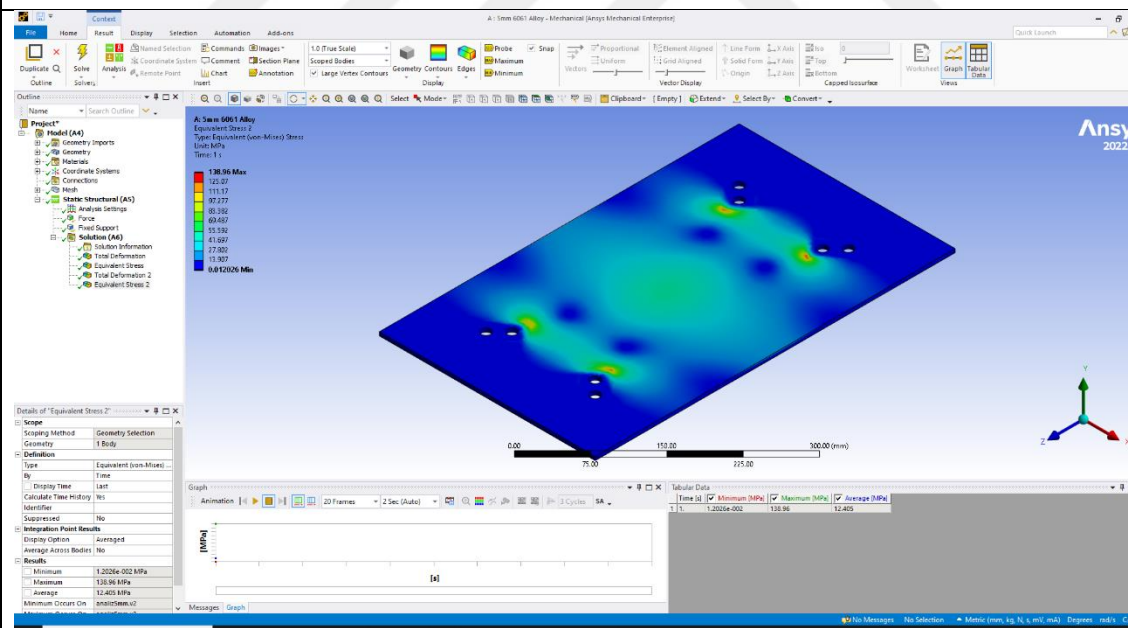
b) Gerilim

EK-1 (Devam) 5mm tek platform deformasyon ve gerilim analizi

6061 Alüminyum



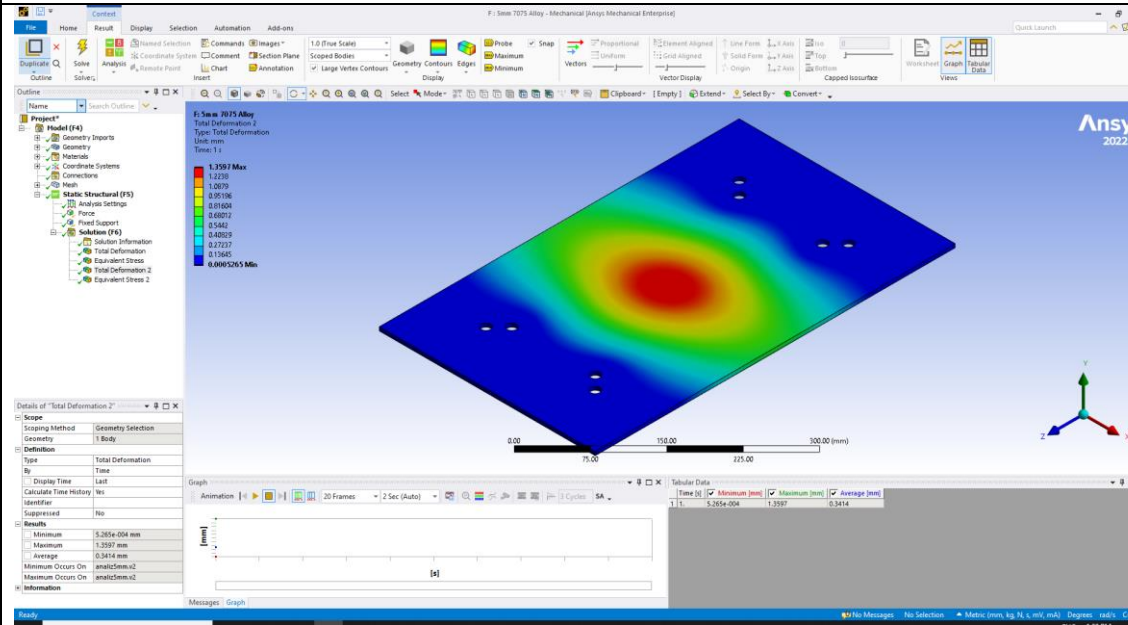
a) Deformasyon



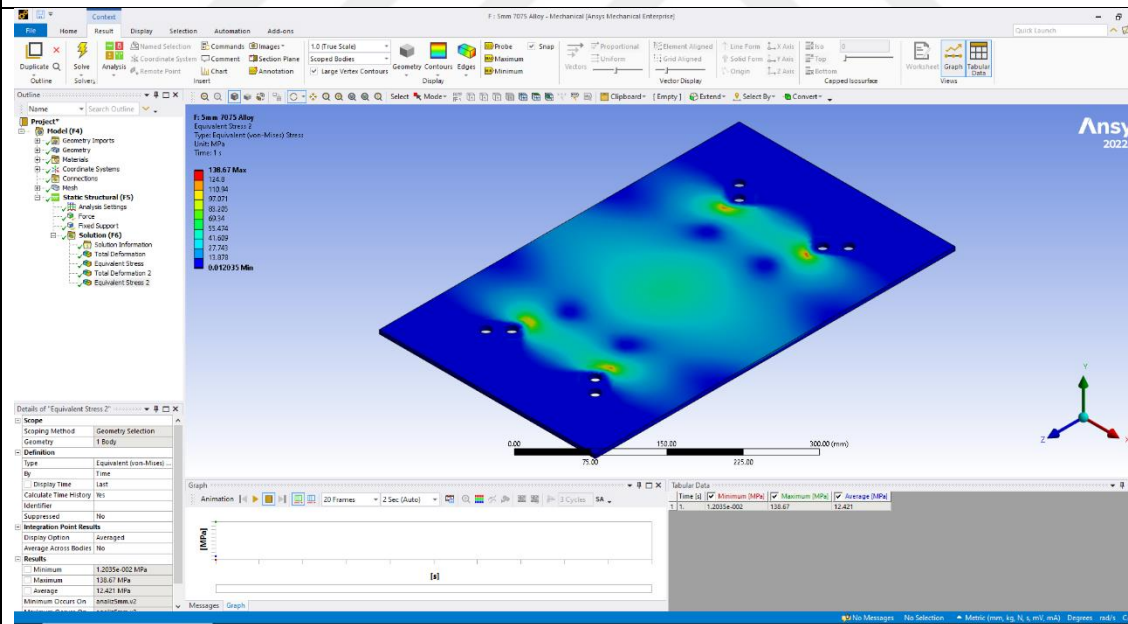
b) Gerilim

EK-1 (Devam) 5mm tek platform deformasyon ve gerilim analizi

7075 Alüminyum



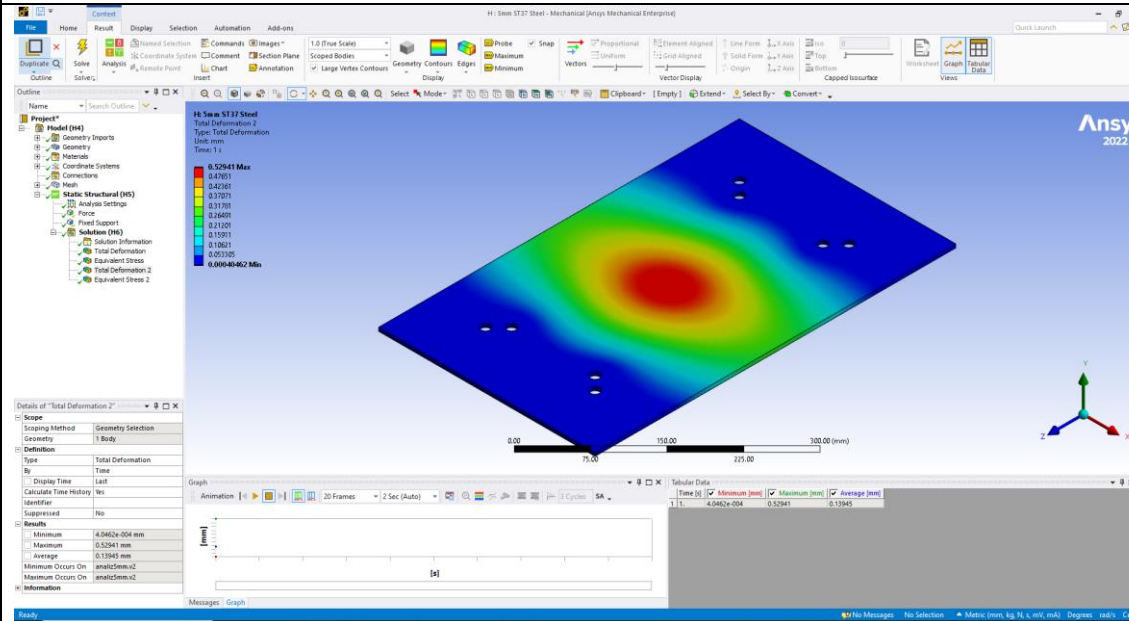
a) Deformasyon



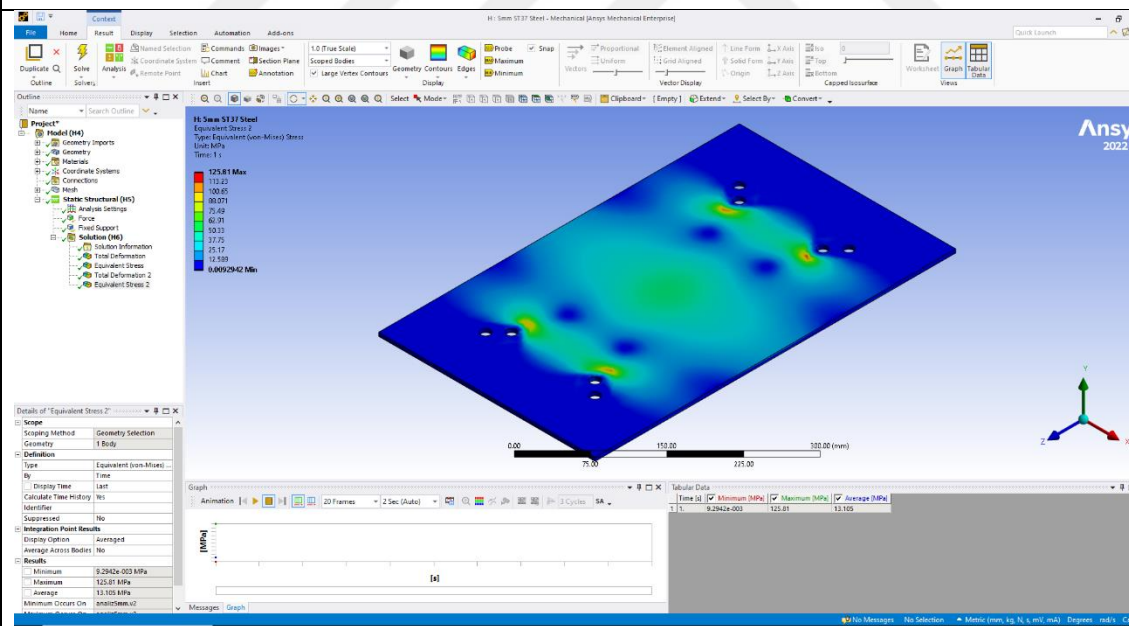
b) Gerilim

EK-1 (Devam) 5mm tek platform deformasyon ve gerilim analizi

ST37 Çelik



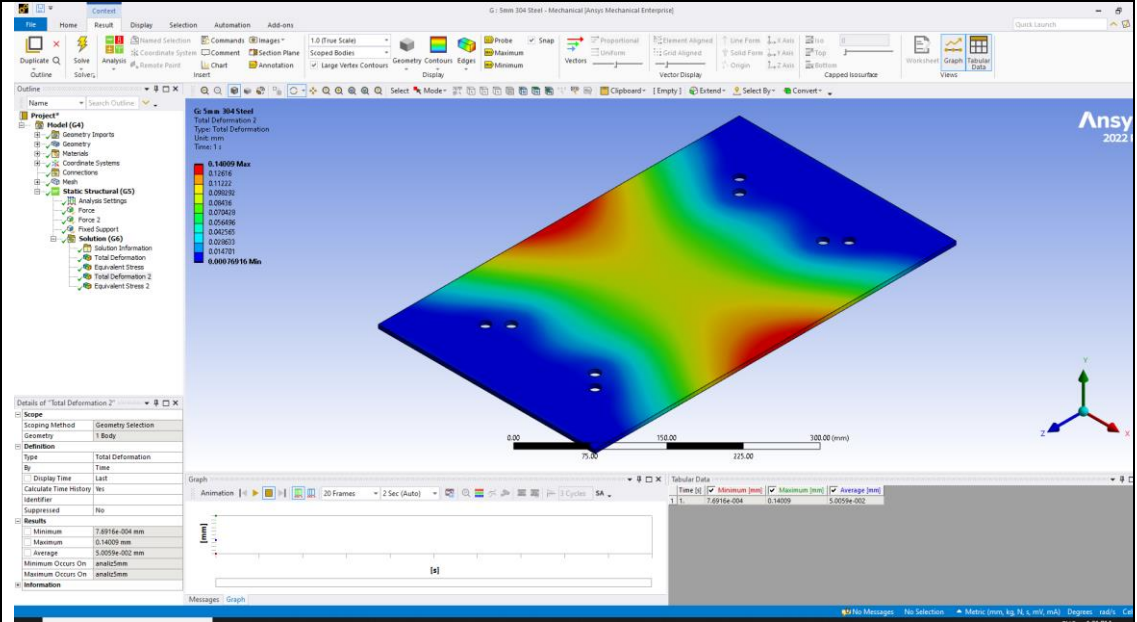
a) Deformasyon



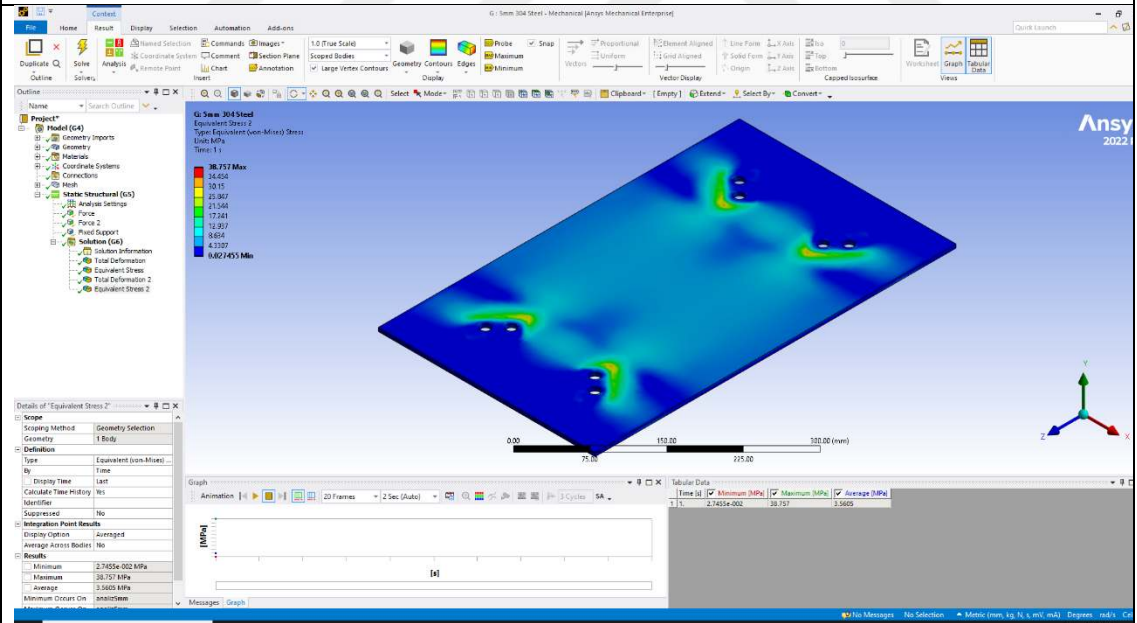
b) Gerilim

EK-2 5mm çift platform deformasyon ve gerilim analizi

304 Paslanmaz Çelik



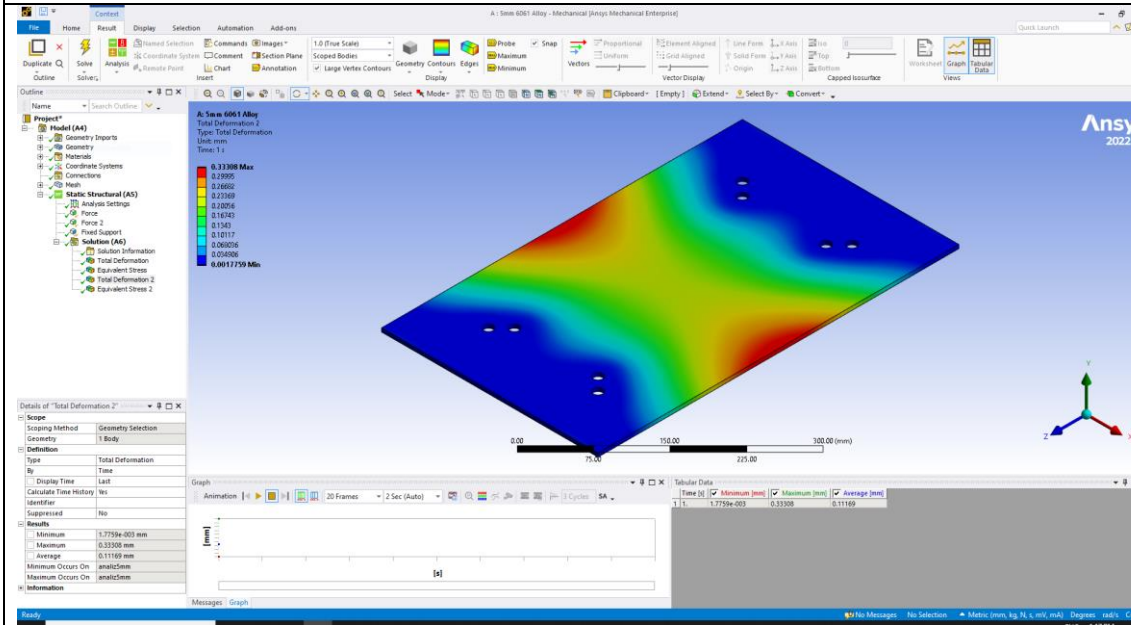
a) Deformasyon



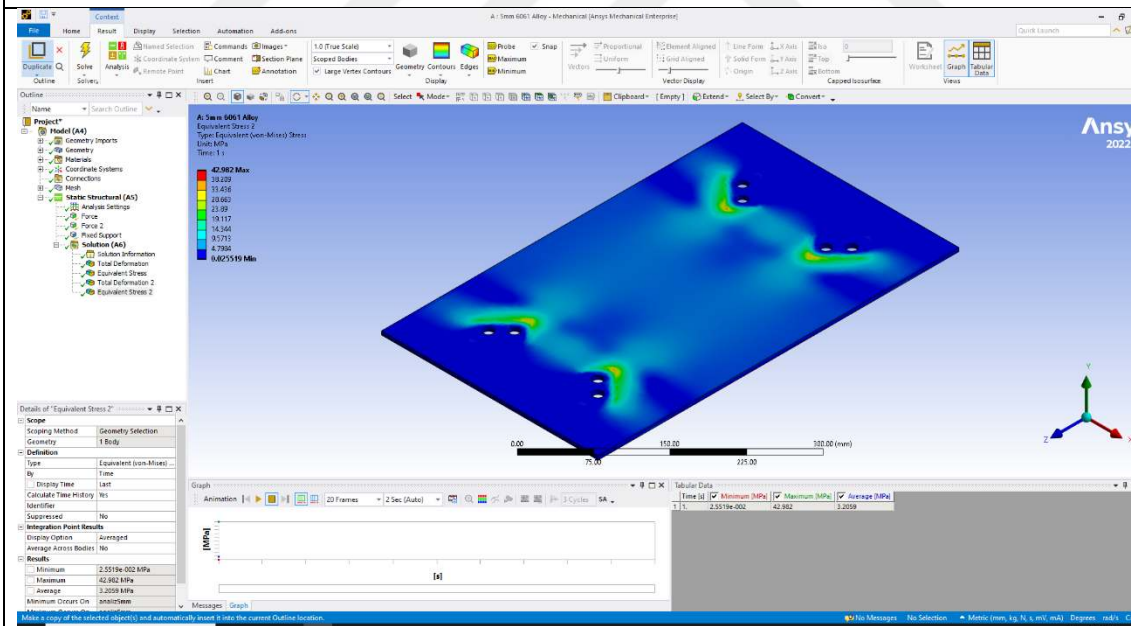
b) Gerilim

EK-2 (Devam) 5mm çift platform deformasyon ve gerilim analizi

6061Alüminyum



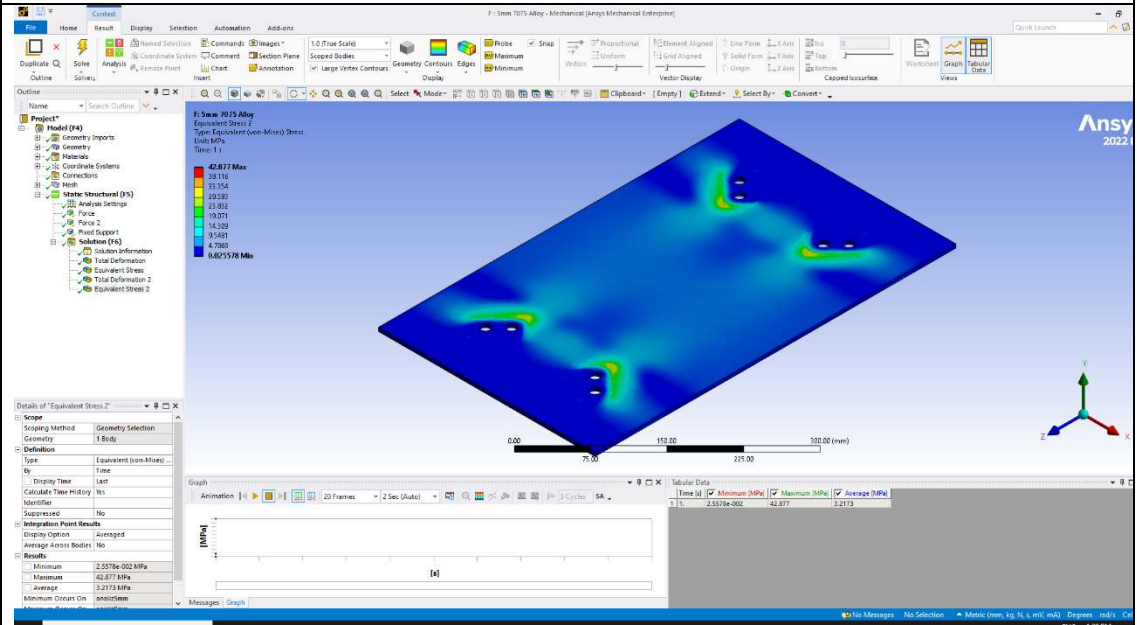
a) Deformasyon



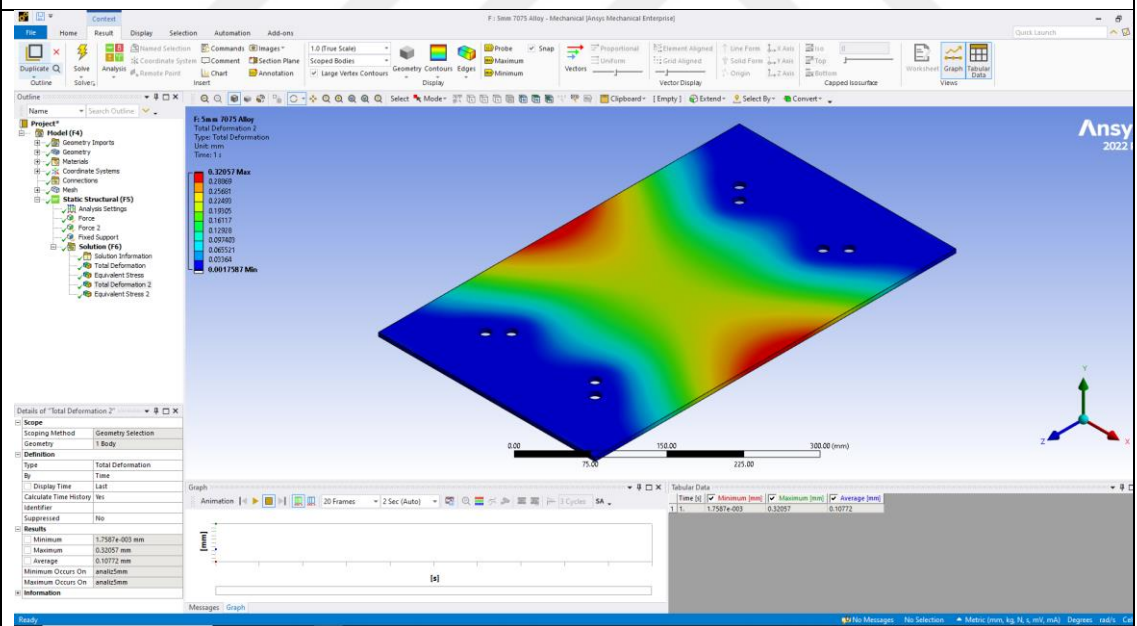
b) Gerilim

EK-2 (Devam) 5mm çift platform deformasyon ve gerilim analizi

7075Alüminyum



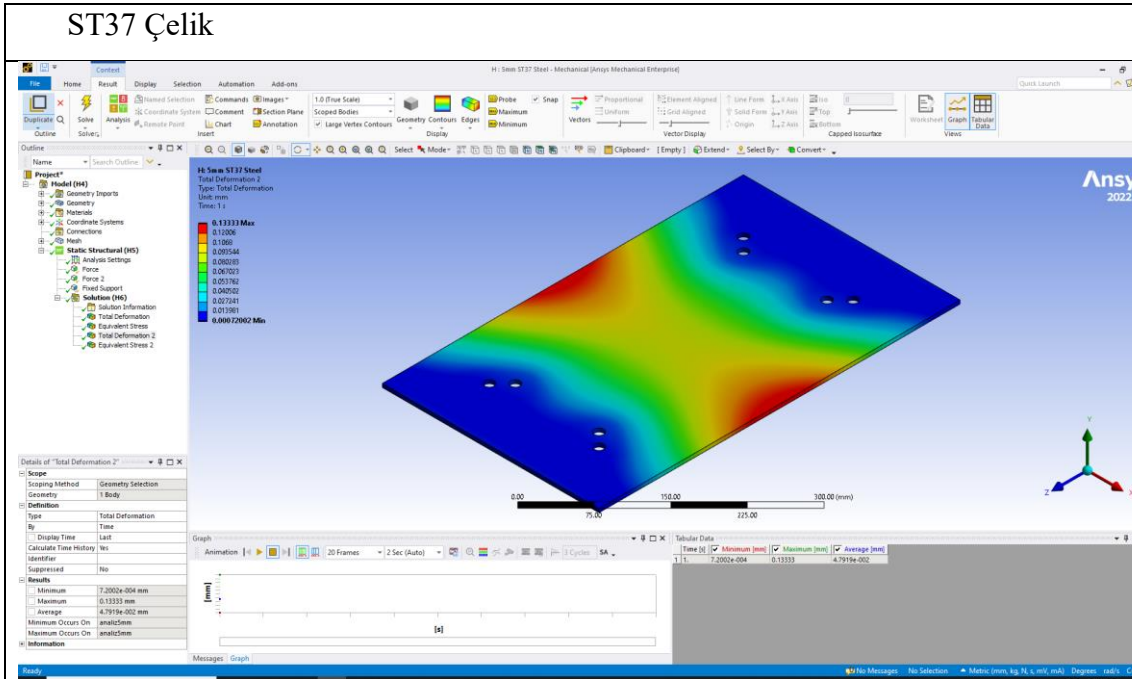
a) Deformasyon



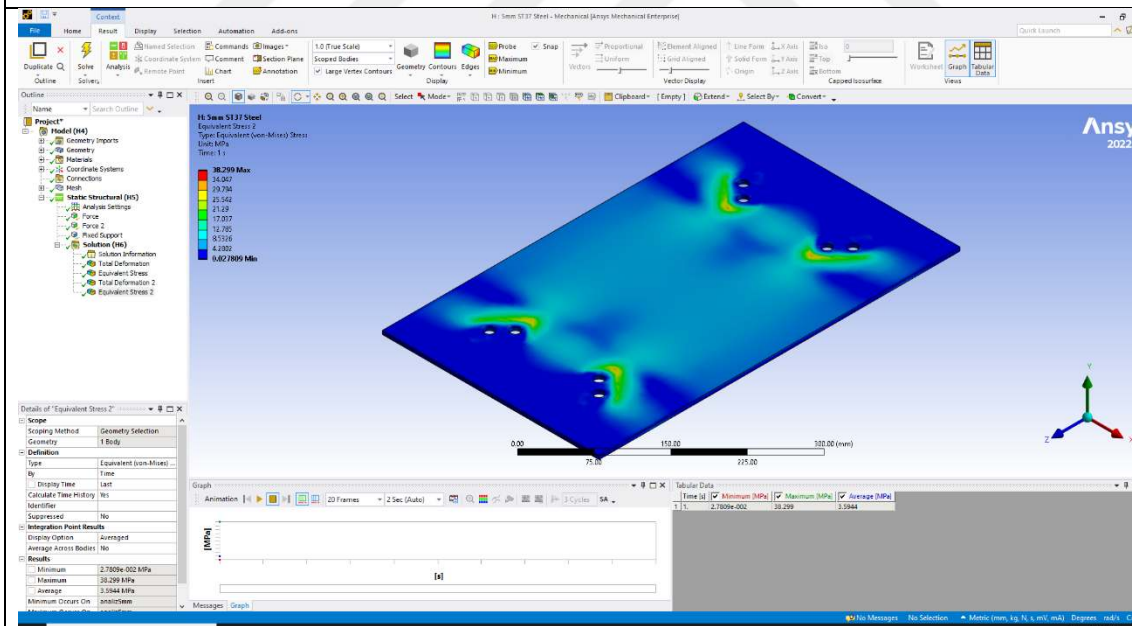
b) Gerilim

EK-2 (Devam) 5mm çift platform deformasyon ve gerilim analizi

ST37 Çelik



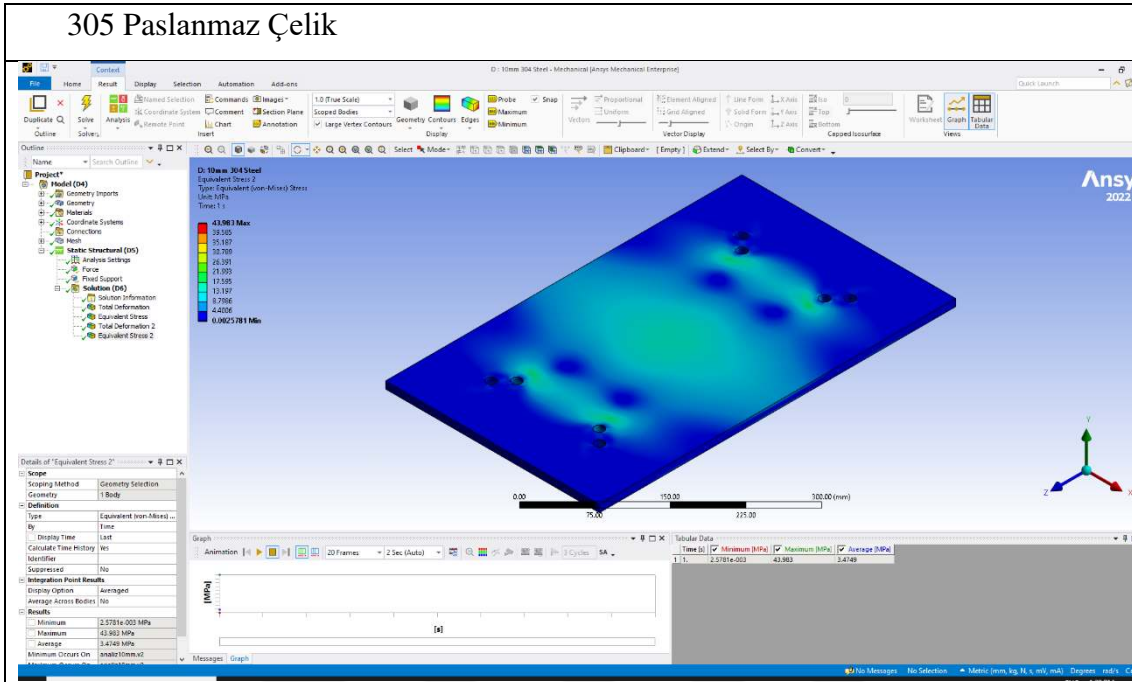
a) Deformasyon



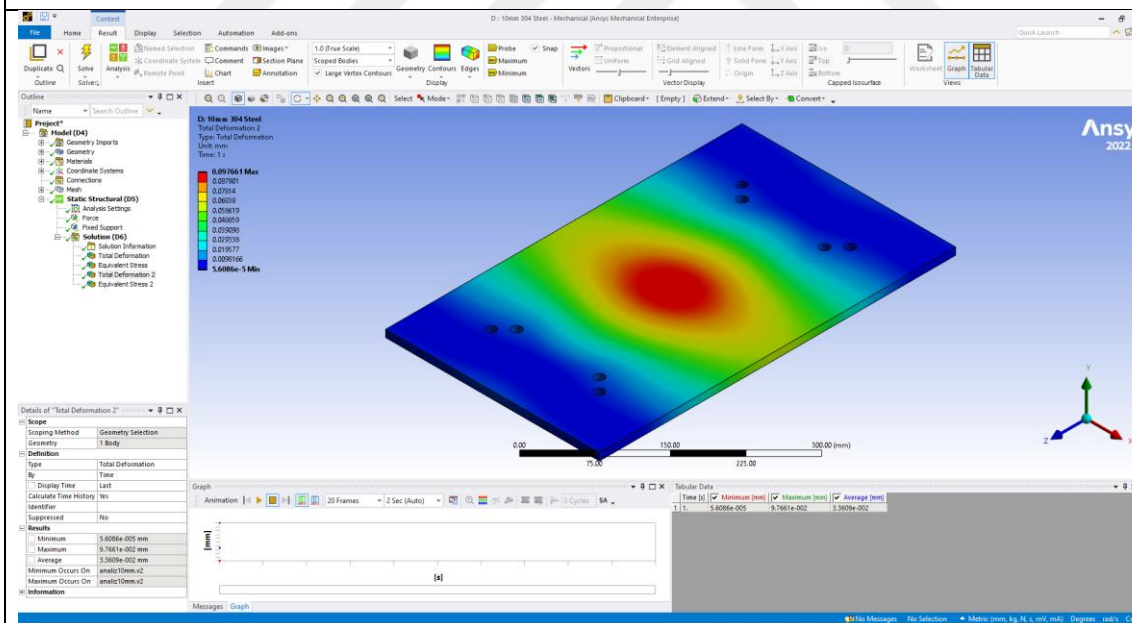
b) Gerilim

EK-3 10mm tek platform deformasyon ve gerilim analizi

305 Paslanmaz Çelik



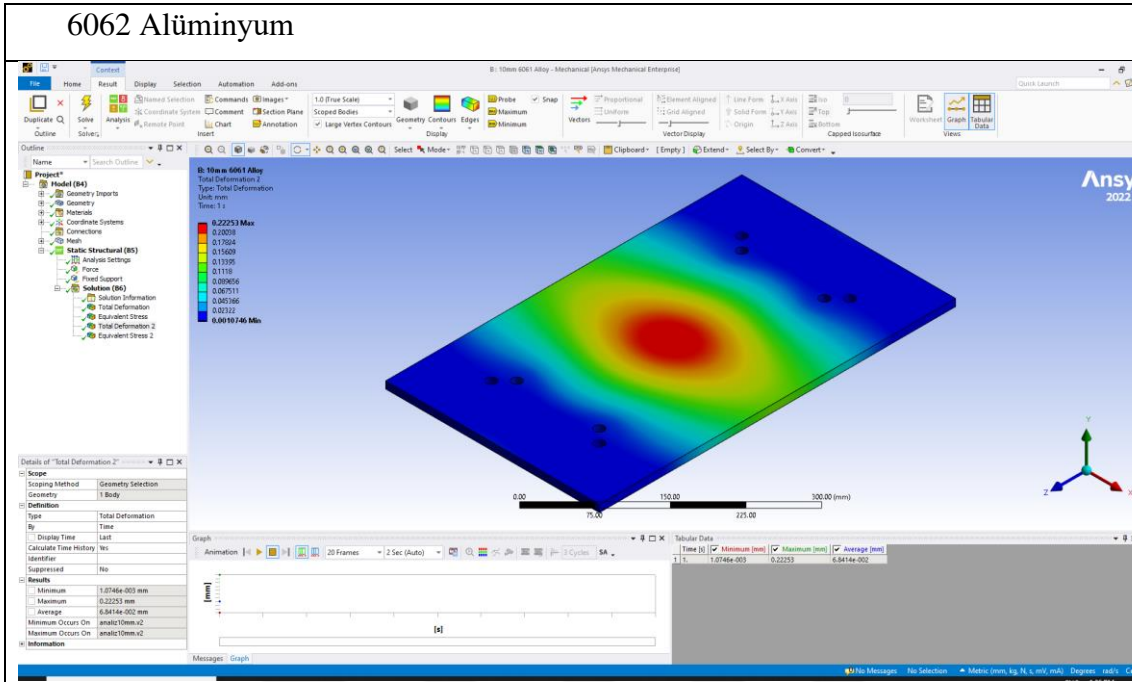
a) Deformasyon



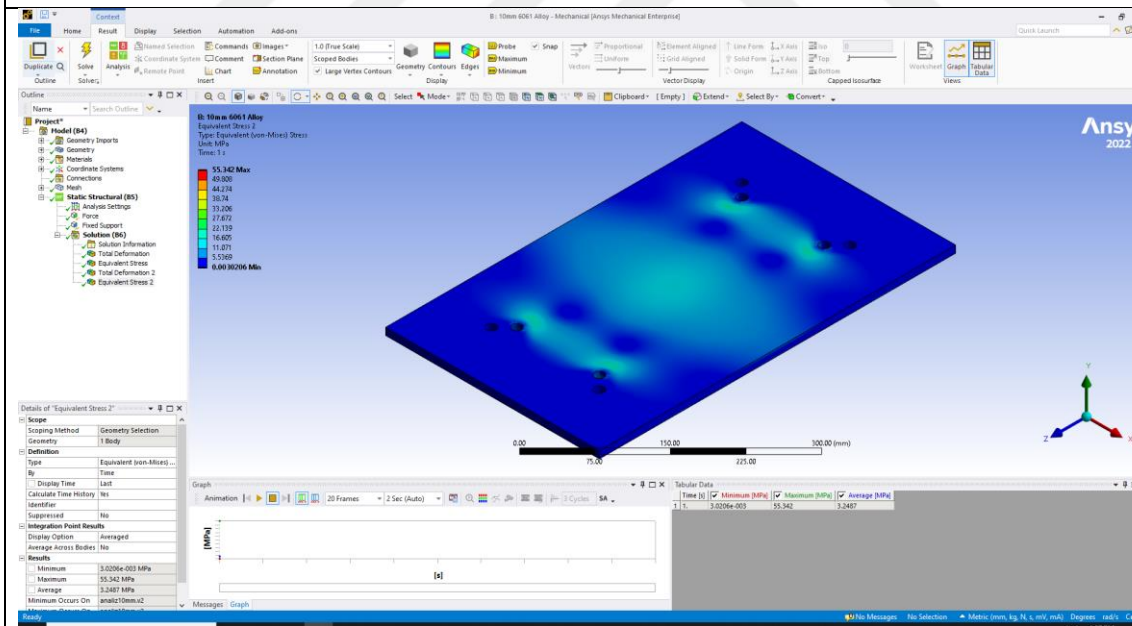
b) Gerilim

EK-3 (Devam) 10mm tek platform deformasyon ve gerilim analizi

6062 Alüminyum



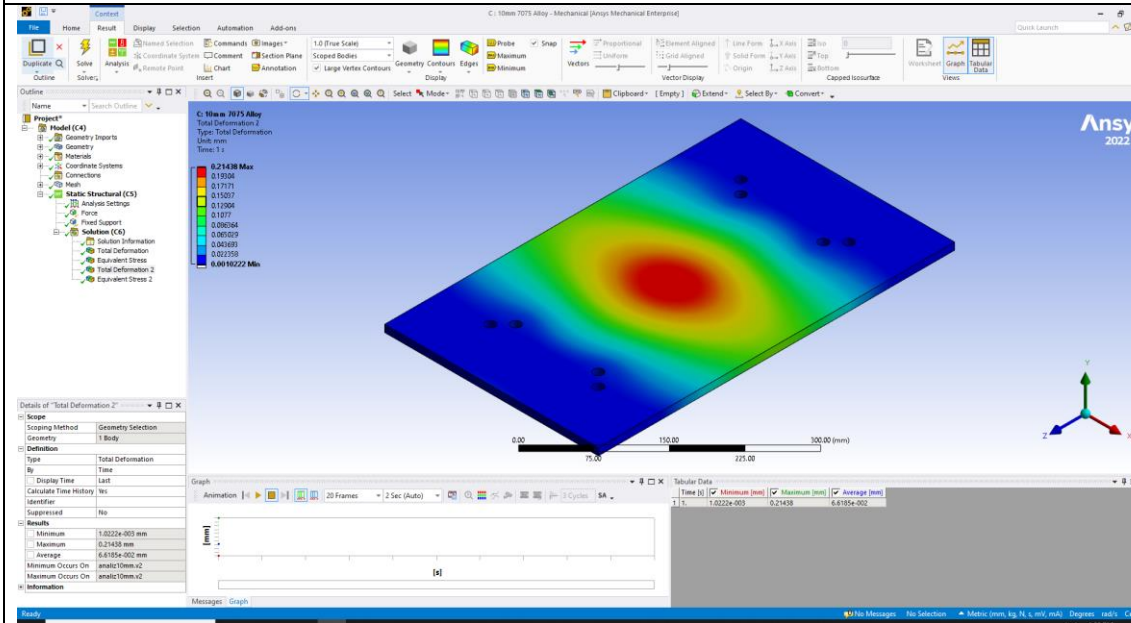
a) Deformasyon



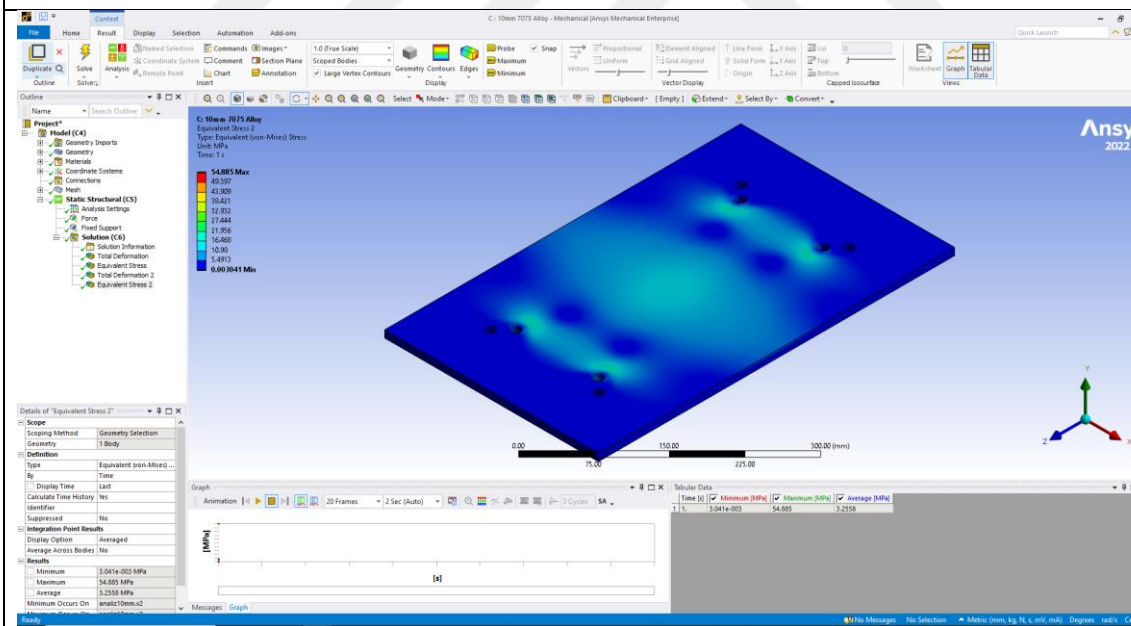
b) Gerilim

EK-3 (Devam) 10mm tek platform deformasyon ve gerilim analizi

7075 Alüminyum



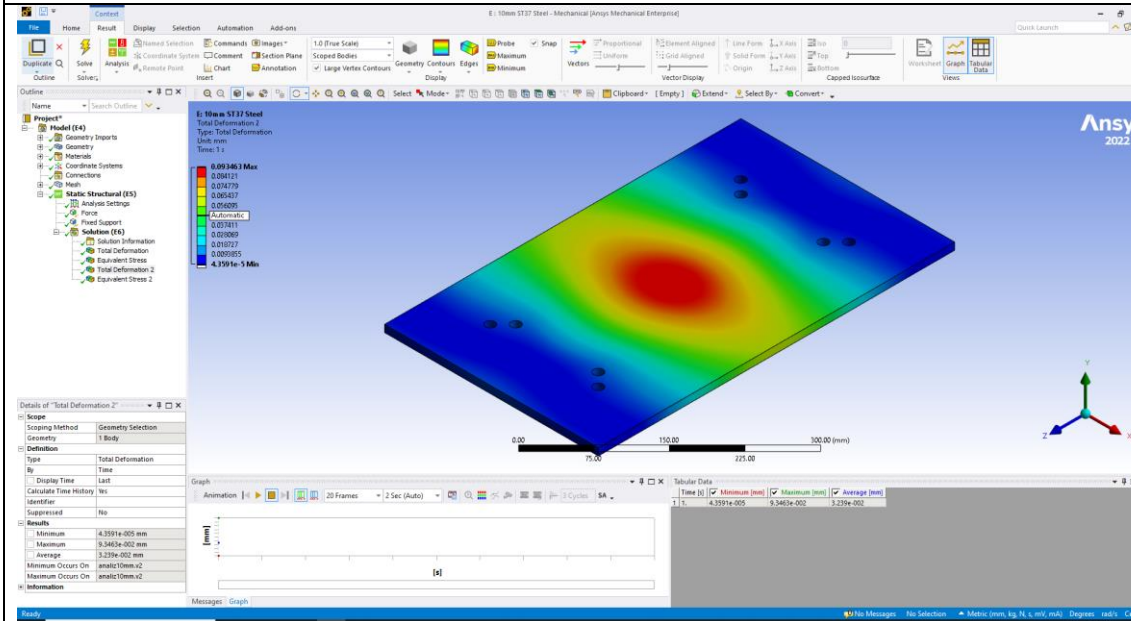
a) Deformasyon



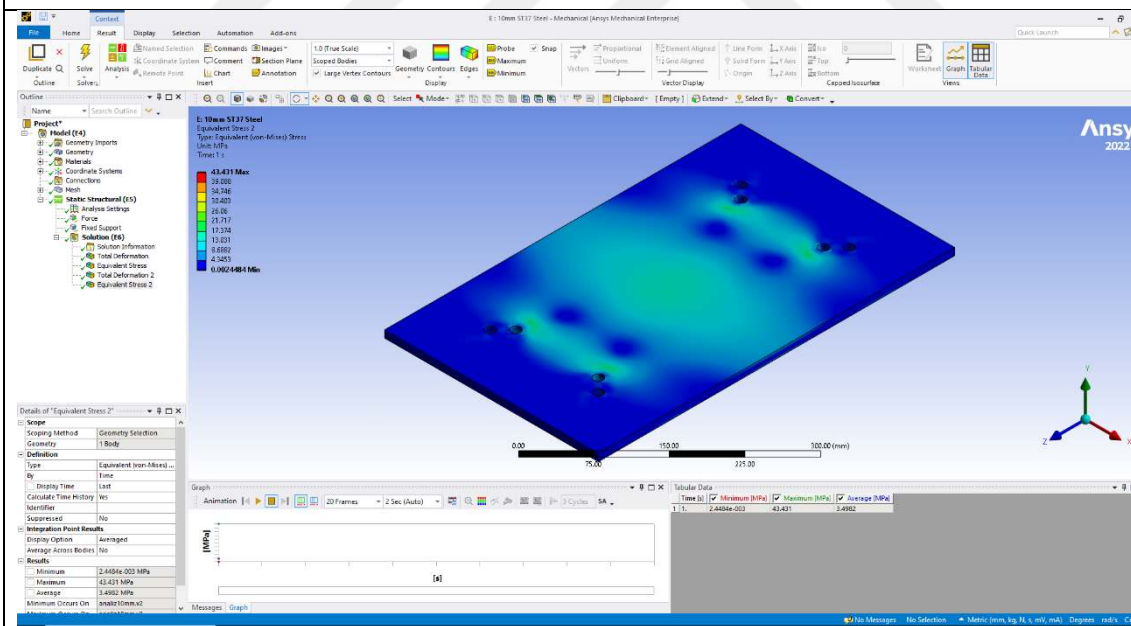
b) Gerilim

EK-3 (Devam) 10mm tek platform deformasyon ve gerilim analizi

ST37 Çelik



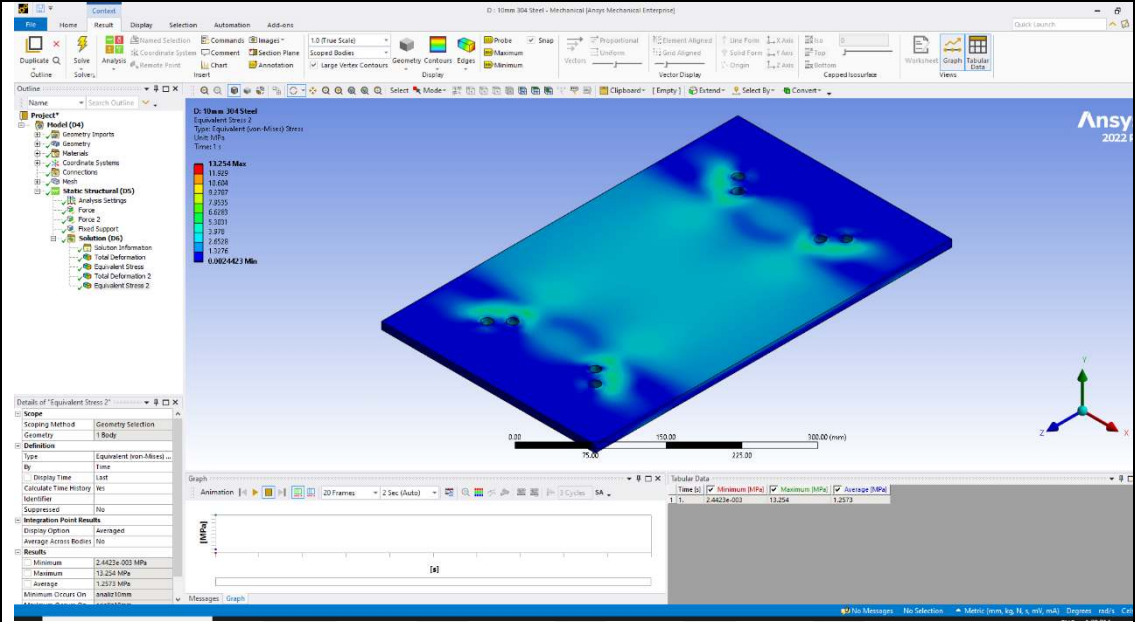
a) Deformasyon



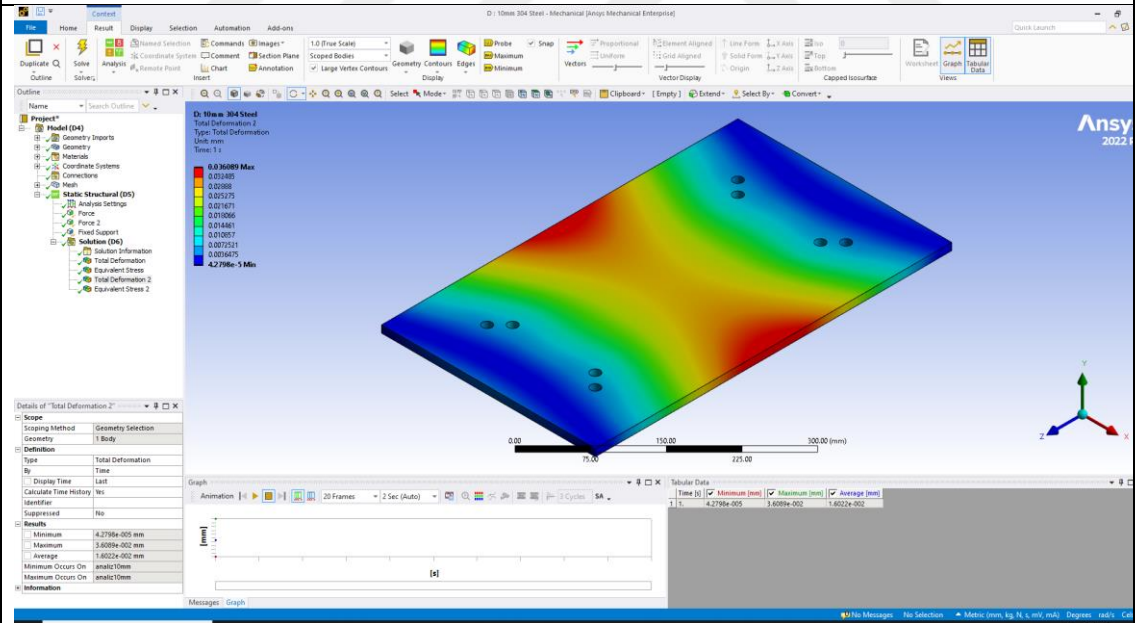
b) Gerilim

EK-4 10mm çift platform deformasyon ve gerilim analizi

306 Paslanmaz Çelik



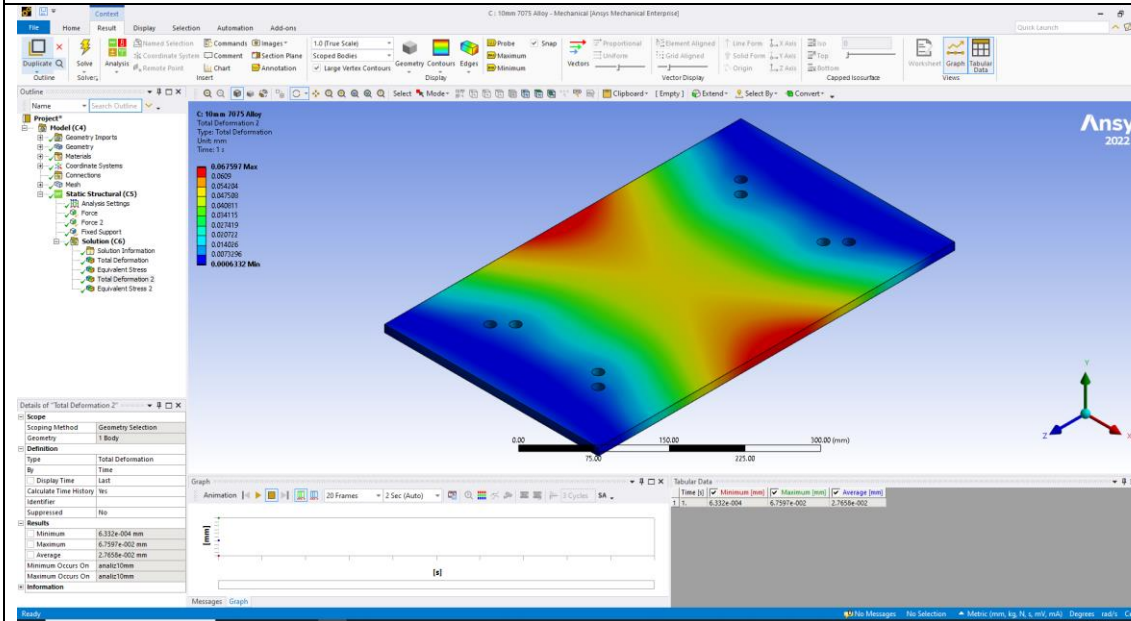
a) Deformasyon



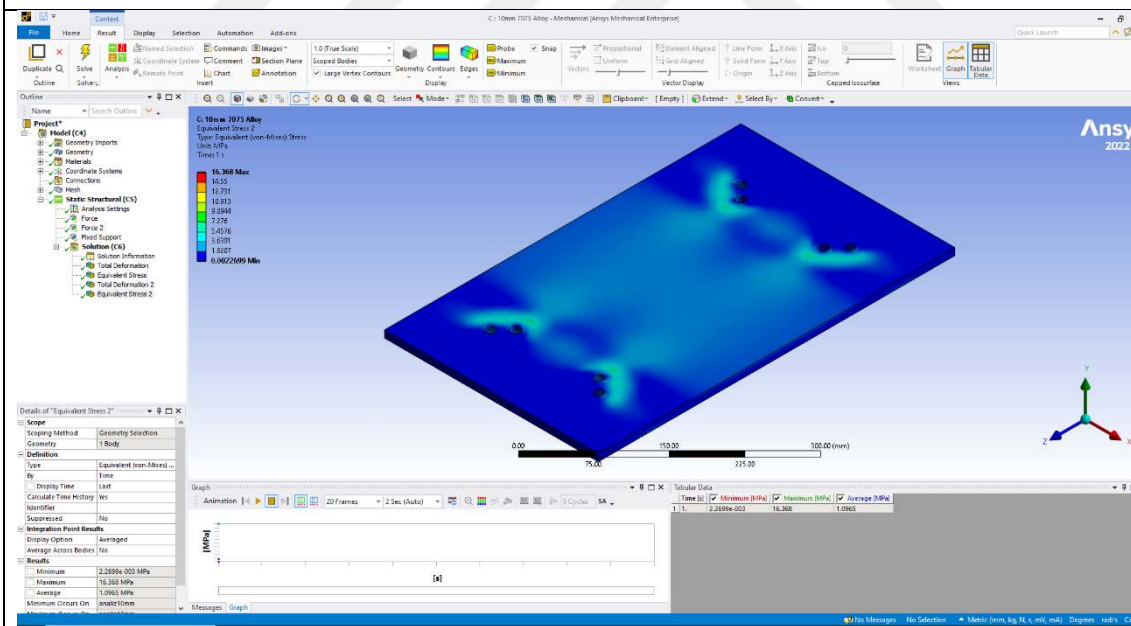
b) Gerilim

EK-4 (Devam) 10mm çift platform deformasyon ve gerilim analizi

7075Alüminyum



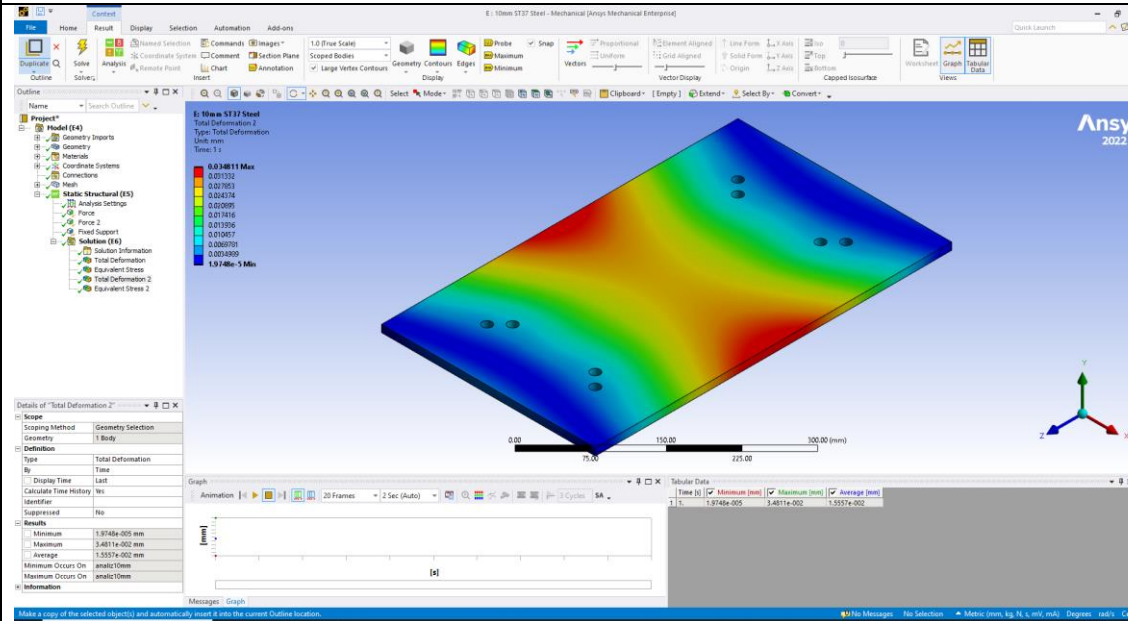
a) Deformasyon



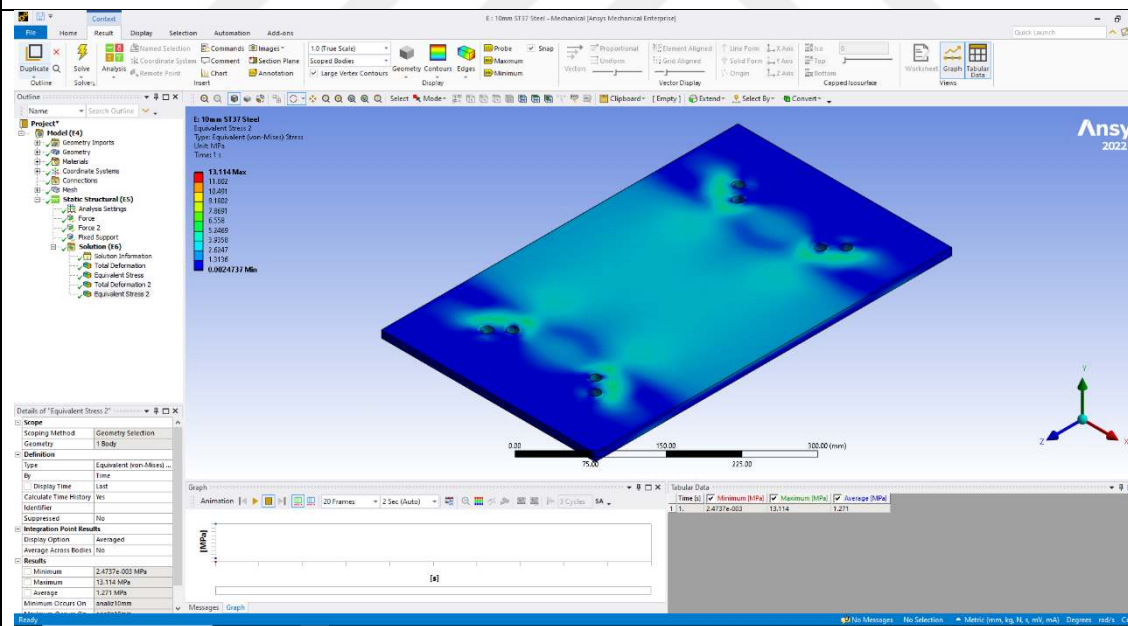
b) Gerilim

EK-4 (Devam) 10mm çift platform deformasyon ve gerilim analizi

ST37 Çelik



a) Deformasyon



b) Gerilim

EK-5 Balans test raporu

Balans Test Raporu						
Tarih 28.07.2025						
Test Sonuçları						
Sıra No	Adı Soyadı	Süre	CoP Anterior - Posterier	CoP Range Medial - Lateral	CoP Area Elips	Total Excursion
1	Çift Ayak	20	25.00	14.25	279.88	7700.93
2	Sol Ayak	20	77.14	22.32	1352.41	6769.63
3	Sağ Ayak	20	51.60	24.73	1002.09	6850.03
4	Çift Ayak Göz Kapalı	20	28.20	10.96	242.84	7347.86
5	Sol Ayak Göz Kapalı	20	67.01	54.08	2846.07	7084.67
6	Sağ Ayak Göz Kapalı	20	80.80	72.40	4594.09	7991.58
7	Çift Ayak Göz Kapalı Ses Var	20	24.40	18.60	356.54	6293.83
8	Sol Ayak Göz Kapalı Ses Var	20	67.95	39.62	2114.29	7129.79
9	Sağ Ayak Göz Kapalı Ses Var	20	79.88	63.43	3979.41	7524.01
10	Çift Ayak Göz Açık Ses Var	20	40.18	9.37	295.68	5560.03
11	Sol Ayak Göz Açık Ses Var	20	75.18	32.04	1892.02	7343.51
12	Sağ Ayak Göz Açık Ses Var	20	84.09	35.40	2338.28	6658.19
	Min Değer	20	24.40	9.37	242.84	5560.03
	Max Değer	20	84.09	72.40	4594.09	7991.58
	Ortalama	20	58.45	33.10	1774.47	7021.17

EK-6 İzometrik test raporu

İzometrik Test Raporu												
Tarih 21.07.2025												
Test Sonuçları												
Sıra No	Adı Soyadı	Süre	Kilo (kg)	Sol Min (kg)	Sol Maks (kg)	Sağ Min (kg)	Sağ Maks (kg)	Top Min (kg)	Top Maks (kg)	Mean (kg)	%Sol	%Sağ
1	ZA5	10	726	39	638	49	324	108	961	821	68	32
2	ZA6	10	746	88	706	20	373	118	1069	952	66	34
3	ZA7	10	736	0	589	20	451	108	1020	905	57	43
4	ZA8	10	736	-20	608	-78	363	108	971	733	63	37
5	ZA9	10	726	39	628	29	392	108	1030	849	64	36
6	ZA10	10	746	29	579	78	392	108	952	809	60	40
7	ZA11	10	775	-147	441	255	775	108	1207	928	30	70
8	ZA12	10	716	39	314	-216	69	108	314	189	105	-5
9	ZA12	10	765	-20	785	10	324	108	1089	786	72	28
10	ZA13	10	765	69	657	-78	383	108	1010	723	66	34
11	ZA14	10	677	-29	677	29	461	108	1079	777	60	40
12	ZA15	10	746	59	716	-49	353	108	1050	842	71	29
13	ZA16	10	755	69	579	20	422	108	991	895	59	41
14	ZA17	10	765	118	736	0	324	108	1040	831	70	30
15	ZA18	10	765	39	736	49	402	108	1118	909	64	36
16	ZA19	10	755	-59	697	-226	500	108	1187	901	60	40
17	ZA20	10	775	-147	697	-49	500	108	1177	872	57	43