EDUCATION SCIENCE and SPORTS
ISSN:3023-8668

Education, Science and Sports
8: 1-18, 2026.
doi:10.70053/esas.1928794

ARAŞTIRMA MAKALESİ / *RESEARCH ARTICLE*

Diz eklemi sakatlık riski analizinde kızılötesi termografi ve yıldız denge testi yöntemlerinin karşılaştırılması*

Mürşit Aksoy [1] **Turgay Özgür** [2]

[1]*Hakkari Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, Hakkâri, Türkiye, E-mail:mursitaksoy@hakkari.edu.tr*
[2]*Hakkari Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, Hakkâri, Türkiye, E-mail: turgayozgur@hakkari.edu.tr*

Received : 12.04.2026
Accepted: 29.07.2026
Published: 19.08.2026

Anahtar Kelimeler
Alt ekstremite asimetrisi, dinamik denge, nöromusküler kontrol, sporcu sağlığı yönetimi, termal görüntüleme

Corresponding author

Mürşit Aksoy
(mursitaksoy@hakkari.edu.tr)

Keywords
Athlete health management, dynamic balance, lower extremity asymmetry, neuromuscular control, thermal imaging

Özet

Spor sakatlık riskini öngörmek, koruyucu yaklaşımlar geliştirmek için kritiktir. Bu çalışmanın amacı, diz eklemi sakatlık riski analizinde yaygın olarak kullanılan iki non-invaziv yöntemin; Kızılötesi Termografi (IRT) ve Yıldız Denge Testi (SEBT) risk tasniflerinin uyumunu karşılaştırmaktır. Araştırmaya son bir yılda sakatlık geçirmemiş 28 aktif erkek spor bilimleri öğrencisi katılmıştır. Katılımcıların nöromusküler riskleri 3 yönlü SEBT ile, fizyolojik sıcaklık asimetrileri ise maksimal egzersiz sonrası anatomik referanslarla belirlenen alanlarda IRT ile değerlendirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, IRT asimetri riski (>0,4°C) ile SEBT fonksiyonel risk kriterleri (kompozit skor ve anterior asimetri) arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunmamıştır ($p>.05$). Bununla birlikte, SEBT anterior uzanım asimetrisi ile diz bölgesi en düşük ve ortalama sıcaklıkları arasında anlamlı negatif bir ilişki tespit edilmiştir ($p<.05$). Sonuç olarak, bu iki yöntem elde edilen risk kategorileri bakımından birbirini açıklayamamaktadır. IRT dokudaki fizyolojik stresi ve dolaşımı değerlendirirken, SEBT biyomekanik ve nöromusküler performansı ölçmektedir. Bu testler birbirinin alternatifi değil, sporcu sağlığı yönetiminde birbirini tamamlayan farklı araçlar olarak multidisipliner bir yaklaşımla birlikte kullanılmalıdır.

Comparison of infrared thermography and star excursion balance test methods in knee joint injury risk analysis

Abstract

Predicting sports injury risk is critical for developing preventive strategies. This study aimed to compare the risk classifications of two common non-invasive methods, Infrared Thermography (IRT) and the Star Excursion Balance Test (SEBT), in knee joint injury risk analysis. The study included 28 physically active male sports science students with no recent injury history. Neuromuscular risks were assessed using a 3-directional SEBT, while physiological thermal asymmetries were evaluated using IRT within anatomically defined regions of interest following a maximal exercise protocol. The results revealed no statistically significant relationship between the IRT asymmetry risk group (>0.4°C) and the SEBT functional risk criteria, including composite scores and anterior asymmetries ($p>.05$). However, a significant negative correlation was found between SEBT anterior reach asymmetry and the minimum and average knee temperatures ($p<.05$). In conclusion, these two methods do not explain each other in terms of risk categorization. While IRT evaluates physiological stress and tissue circulation, SEBT measures biomechanical and neuromuscular performance. Therefore, these tests are not alternatives to one another but complementary tools that should be used together in a multidisciplinary approach for comprehensive athlete health management.

How to cite: Aksoy, M., & Özgür, T. (2026). Diz eklemi sakatlık riski analizinde kızılötesi termografi ve yıldız denge testi yöntemlerinin karşılaştırılması. *Education, Science and Sport*, *8*, e1928794. https://doi.org/10.70053/esas.1928794.

* Bu çalışma Mürşit Aksoy'un "Sporcularda diz eklemi deri yüzey sıcaklıklarının değerlendirmesi ve denge test sonuçları ile ilişkisi" başlıklı doktora tezinden türetilmiştir.

CC BY 4.0 This is an open access paper distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

GİRİŞ

Spor sakatlıkları hem profesyonel hem de amatör düzeyde sporcuların performansını olumsuz etkileyen, sporcu kariyerini kısaltan ve önemli ekonomik maliyetlere yol açan ciddi bir sorundur (Turnbull vd., 2024). Literatürde, sporcularda sakatlık insidansının yılda %50-70 arasında değiştiği ve özellikle alt ekstremite sakatlıklarının tüm spor sakatlıklarının %60'ından fazlasını oluşturduğu bildirilmektedir. Diz eklemi, alt ekstremite sakatlıkları içinde en sık yaralanan bölgelerden biri olup, anterior cruciate ligament (ACL) yırtıkları, patellofemoral ağrı sendromu ve menisküs yaralanmaları gibi ciddi sakatlıklar sporcu kariyerini sonlandırabilmekte veya performans kaybı yaşatabilmektedir (Aicale vd., 2018, Aksoy vd., 2021, Aldanyowi vd., 2024, Ekstrand vd., 2011, Lauersen vd., 2014). Bu bağlamda, sakatlıkların tedavisinden ziyade önceden tespit edilmesi ve önlenmesi hem sporcu sağlığı hem de spor kulüplerinin ekonomik sürdürülebilirliği açısından kritik önem taşımaktadır. (Celada vd, 2021) Proaktif sakatlık önleme stratejilerinin geliştirilmesi için güvenilir, geçerli ve pratik risk değerlendirme yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Literatürde, diz sakatlıklarının sporcularda 6-12 ay arası uzun rehabilitasyon süreçlerine yol açtığı ve sporcuların %30-40'ının eski performans seviyelerine dönemediği bildirilmektedir. Ayrıca, diz sakatlıkları erken dönem osteoartrit gelişimi için önemli bir risk faktörüdür (Ardern vd., 2014, Caner ve Kırandı, 2024, Hootman vd., 2007). Bu nedenle, diz eklemi sakatlık riskinin erken tespiti ve önleyici müdahalelerin geliştirilmesi, spor hekimliği ve spor bilimleri alanında öncelikli araştırma konularından biri haline gelmiştir.

Spor sakatlık riskini değerlendirmek için saha uygulamalarında, non-invaziv yöntemler pratiklik, maliyet-etkinlik ve sporcu konforu açısından tercih edilmektedir. Non-invaziv yöntemler arasında, fizyolojik parametreleri değerlendiren (örn. termal görüntüleme, ultrasonografi) ve fonksiyonel/biyomekanik parametreleri değerlendiren (örn. denge testleri, kuvvet testleri, hareket analizi) yöntemler bulunmaktadır (Alzahrani vd., 2026). Bu bağlamda, Kızılötesi Termografi (IRT) ve Yıldız Denge Testi (SEBT) gibi non-invaziv yöntemler, spor alanında giderek daha fazla ilgi görmektedir.

IRT, vücut yüzey sıcaklığını ölçerek fizyolojik asimetrileri tespit eden, non-invaziv, temas gerektirmeyen bir görüntüleme yöntemidir. IRT, doku metabolizması, kan akımı ve inflamasyon gibi fizyolojik süreçlerdeki değişiklikleri termal asimetriler olarak görselleştirir. Termal imajlar, özelleşmiş yazılımlar aracılığıyla hedef ölçüm alanı seçilmesini sağlar ve sonrasında bu alanda kalan piksellerin sıcaklık değerleri deri yüzey sıcaklığı olarak ölçülür (Fröhlich vd., 2014). IRT, vücut yüzey sıcaklığını, deri yüzeyinden ışınan kızılötesi radyasyondan elde edilen bir renk skalası ile görselleştirir. IRT yöntemiyle elde edilen termogramlarda sıcaklık yönünden vücudun bilateral asimetrisi incelenir ve sağ-sol yerleşimli iki vücut kısmı arasındaki termal tepkinin simetrik olması beklenir (Vardasca vd., 2012). Termal görüntülemede, 0,25°C veya 0,4°C'ye kadar olan farklılıklar normalken (Priego-Quesada, 2025); bu değerlerin üzerindeki asimetriler hipertermi veya hipotermi belirtisi olarak kabul edilebilir (Garagiola ve Giani, 1990; Hildebrandt vd., 2010, 2012). IRT'nin insan termoregülasyonuna müdahale etmeden uygulanabilmesi, bu yöntemin tercih edilmesini sağlamıştır (Fernandes vd., 2014). Son yıllarda kızılötesi termografinin spor yaralanmalarını önlemedeki etkinliği literatürde giderek daha fazla dikkat çekmektedir. Quintana ve ark. (2017), termal görüntülemenin öncelikli olarak sakatlık oluşmadan önce risk tespiti için kullanımına dikkat çekmişlerdir. Örneğin, Gómez-Carmona ve ark. (2020), 33 İspanya 1. Lig erkek futbolcusuyla gerçekleştirdiği araştırmasında, ROI'de bilateral sıcaklık farkı 0,5°C'den büyük olduğunda uygulanan termal sakatlık önleyici program sayesinde, oyuncu başına sakatlık görülme sıklığının 15'ten 6'ya düştüğünü raporlamıştır. Benzer şekilde Menezes (2018), 0,7°C'den büyük asimetrilerin değerlendirilmesi ile IRT'nin yaralanmaların büyük bir kısmını (%88,40) önceden tespit edip engelleyebildiğini belirtmiştir. Ayrıca literatürde termal görüntülemenin sadece sakatlık riski analizinde değil; kas yorgunluğunun analizinde (Duarte vd., 2025; Majano vd., 2023; Shakhih vd., 2021) ve iyileşme süreçlerinin takibinde (Priego-Quesada, 2025) de önemli bir araç olduğu vurgulanmaktadır.

SEBT alt ekstremite fonksiyonel stabilitesini ve dinamik dengeyi değerlendiren, biyomekanik asimetrileri tespit etmede kullanılan bir performans testidir. SEBT, nöromüsküler kontrol, propriyosepsiyon, kas kuvveti ve eklem hareketliliği gibi çok boyutlu fonksiyonel parametreleri

entegre bir şekilde değerlendirir. Spor sakatlık riskini analiz etmek için yaygın şekilde kullanılan diğer bir non-invaziv yöntem ise SEBT'dir. Testin erişim yönlerinin sayısını azaltma önerisi üzerine birçok çalışma yapılmış ve en yaygın kombinasyon olarak Anterior (Ant), Posteromedial (PM) ve Posterolateral (PL) yönlerinin kullanıldığı üç yönlü versiyon kabul görmüştür (Hubbard vd., 2007a, 2007b; Plisky vd., 2006, 2009). Uygulaması kolay, masrafsız ve kısa zamanda çok sayıda deneğin spor sakatlık riskini tahmin edebilme özelliğine sahiptir (Kinzey ve Armstrong, 1998; Hertel vd., 2000; Stiffler vd., 2017). Test, bilateral dinamik denge özellikleri ve fonksiyonel hareketlilik niteliği hakkında kıymetli bilgiler verir. Geniş örneklem grupları ile yapılan çalışmalarda, SEBT asimetrisi ile alt ekstremite sakatlığı arasında belirgin bir ilişki olduğu bildirilmiştir. Plisky ve ark. (2006), 235 lise basketbol oyuncusuyla yaptıkları çalışmada, anterior yönündeki sağ/sol uzanma mesafesi farkı 4 cm'e eşit veya büyük olan erkek sporcuların alt ekstremite sakatlığı riskinin 2,5 kat daha fazla olduğunu ortaya koymuştur. Her ne kadar SEBT spor bilimlerinde geçerliliğini ispat etmiş güvenilir bir risk öngörü aracı olsa da test metodolojisindeki (duruş ayağı hizalama, yön tanımlaması vb.) bazı farklı uygulamalar yayınlarda tartışılmaya devam etmektedir (Picot vd., 2021).

Literatürde, IRT ve SEBT'nin her ikisi de bağımsız olarak sakatlık risk değerlendirmesinde etkinliği gösterilmiş yöntemlerdir. Ancak, IRT fizyolojik asimetrileri (doku sıcaklığı, kan akımı, inflamasyon) değerlendirirken, SEBT fonksiyonel/biyomekanik asimetrileri (denge, nöromüsküler kontrol, propriyosepsiyon) değerlendirmektedir. Bu iki yöntemin farklı perspektiflerden risk değerlendirmesi yapması, birbirini tamamlayıcı bilgiler sunabileceğini düşündürmektedir. Ancak literatür taramasında, bu iki non-invaziv yöntemin (fizyolojik IRT asimetrisi ve biyomekanik SEBT asimetrisi) sonuçlarının birbiriyle ne derece örtüştüğünü, hangi durumlarda uyumlu veya farklı sonuçlar verdiğini inceleyen bir karşılaştırma çalışmasına rastlanmamıştır. Bu karşılaştırma, sporcular, antrenörler, spor hekimleri ve alan uzmanları için koruyucu yaklaşımlar geliştirmede önemli bir referans olması, ayrıca hangi yöntemin hangi koşullarda daha uygun olduğuna dair pratik öneriler sunması hedeflenmektedir. Bu nedenle çalışmamızın amacı, diz eklemi sakatlık riski analizinde Kızılötesi Termografi ve Yıldız Denge Testi yöntemlerinden elde edilen risk tasniflerinin karşılaştırılması, bu iki yöntem arasındaki ilişkinin incelenmesi ve tanısal uyumun değerlendirilmesidir. Bu doğrultuda çalışmamızın temel hipotezleri; IRT ile SEBT yöntemlerinden elde edilen diz eklemi sakatlık riski tasnifleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir uyum/ilişki bulunabileceği ve her iki yöntemin risk analizi sonuçlarının birbirini tamamlayıcı nitelikte olabileceği yönündedir. Bu çalışmanın, spor sakatlık önleme protokollerinin geliştirilmesine ve risk değerlendirme yöntemlerinin seçimine yönelik literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

YÖNTEM

Araştırmanın Modeli

Bu çalışma, aktif sporcularda alt ekstremite sakatlık riskini değerlendirmede kullanılan iki farklı non-invaziv yöntemin (IRT ve SEBT) risk faktörleri açısından birbiriyle olan ilişkisini ve tanısal uyumunu inceleyen gözlemsel, kesitsel ve korelasyonel bir araştırmadır. Çalışma Kocaeli Üniversitesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulunun 26.04.2017 tarih ve KÜ GOKAEK 2017/6.6 karar numaralı onayı ile ile gerçekleştirilmiştir.

Evren ve Örneklem

Çalışmaya Kocaeli Üniversitesi spor bilimleri fakültesinde okuyan 36 gönüllü erkek öğrenci katılmıştır. Deneklerin son bir yıl içinde herhangi bir spor yaralanması, diz eklemi ve çevresinden ameliyat geçirmemiş olması şartları aranmıştır. Ölçümler sırasında diz ekleminde zorlanma veya ağrı hissi olanların verileri değerlendirmeye dahil edilmemiştir. Deneklerin ölçümlerden önceki 48 saat içinde zorlayıcı egzersizlere maruz kalmaması ve normal beslenme rutinlerinin dışına çıkmaması istenmiştir. Kiterleri tüm ölçümler boyunca sağlayan 28 gönüllü katılımcının verileri çalışmada değerlendirilmiştir. Deneklere test protokolleri açıklanmış ve onam formu imzalatılmıştır. Araştırmanın istatistiksel gücü ve örneklem yeterliliği G*Power (Sürüm 3.1.9.7) yazılımı kullanılarak test edilmiştir. Çalışmada alt ekstremite asimetrisi ve sıcaklık parametreleri arasında elde edilen anlamlı korelasyon katsayıları referans alınarak; çift yönlü kuyruk testi (two-tailed), etki büyüklüğü (effect size r=.50), tip-1 hata oranı (α=.05) ve toplam örneklem boyutu (N=28)

parametreleri doğrultusunda yapılan post-hoc güç analizi sonucunda, çalışmanın istatistiksel gücü %79.92 (1-β=.799) olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu değer, uluslararası literatürde kabul gören %80'lik asgari güç eşiğini pratik olarak karşılamakta olup, mevcut örneklem büyüklüğünün değişkenler arasındaki ilişkileri anlamlı şekilde tespit etmek için sınırda fakat yeterli düzeyde olduğunu ortaya koymaktadır.

Araştırma Prosedürü

SEBT ve IRT ölçümleri iki gün ara verilerek farklı günlerde uygulandı. Katılımcılara uygulanan SEBT ölçümlerinden önce Test protokolü öncesi iki bölümden oluşan geleneksel bir ısınma protokolü izlendi. Önce 10 dakika sürecek kalp atım sayısını vücut ısısını ve kan akış hızını arttıracak hafif-orta şiddette kardiyorespiratuvar koşu egzersizi ve takiben eklemlerin hareket aralığını arttırmaya yönelik dinamik germe hareketleri yapılması istendi. Yine IRT ölçümleri öncesinde treadmil üzerinde 5 dakikalık 5 km/h hızda eğimsiz olarak yapıldı. IRT ölçümleri alınmadan önce katılımcılara koşu bandında 8km/h başlanarak hızında her dakika artan bir hız uygulandı. 12km/h hıza ulaşıldıktan sonra güvenlik gerekçesiyle her dakika koşu bandı eğimi %2 derece artırılarak maksimal gönüllü tükenişe kadar protokole devam edildi. Egzersiz sonrası beklemeden termogramlar çekildi ve katılımcılardan aktif olarak dinlenmeleri istendi.

Veri Toplama Araçları

Katılımcılardan duvara sabitlenmiş şerit metre kullanılarak 0,1 cm duyarlılıkta, Topuklar bitişik, kollar serbestçe yanda tutulmuş durumda iken derin inspirasyon sonrası esnek olmayan bir aparat kullanılarak başın en üst orta noktasından boy ölçümleri alındı. Ayrıca 100g hassasiyetli elektronik baskül ile vücut ağırlığı verileri kaydedildi.

SEBT ölçümleri: 3 yönlü SEBT portokolü öncesi öğrenme etkisini standart hale getirmek için aşinalık seansı (6 tekrar) gerçekleştirilmiştir. SEBT için esnek olmayan mezuralarla hazırlanan çizgilerin orta noktasına yani sıfıra destek ayak başparmağı gelecek şekilde pozisyon aldırılmış ve test süresince denge ayağının topuğunun yerden kaldırılmaması istenmiştir. Denek dengesini kaybederse, denge ayağı hariç yerden destek alırsa, başlangıç pozisyonuna dönüşte kontrolü kaybederse, elleri bel bölgesinden ayrılırsa, test tekrarlatılmıştır (Gribble vd., 2012). Test protokolünde 3 başarılı tekrar sonuçları kayıt edilmiştir. Deneklerin SEBT verileri, ölçülen bacak uzunlukları (spina iliaca anterior superiordan ay taraftaki malleolus medialise olan uzunluk) normalleştirilerek dönüştürülmüştür.

Bireylerin alt ekstremite sakatlık risk profilleri, literatürde kabul gören tanımlara göre kategorize edilmiştir. SEBT verilerinden elde edilen nöromusküler ve fonksiyonel risk tahmini için ise güncel literatürden üç farklı kriter kullanılmıştır:

1. Kompozit Skor Riski: Bireylerin normalize edilmiş genel kompozit skorlarının %94'ün altında kalması (Plisky ve ark., 2006).
2. Mutlak Anterior Asimetri Riski: Sağ ve sol bacak anterior uzanım mesafeleri arasındaki mutlak farkın ≥4 cm olması. (Plisky ve ark., 2006)
3. Normalize Anterior Asimetri Riski: Alt ekstremite uzunluğuna göre normalize edilmiş anterior uzanım farkının ≥%4.5 olması (Stiffler vd., 2017).

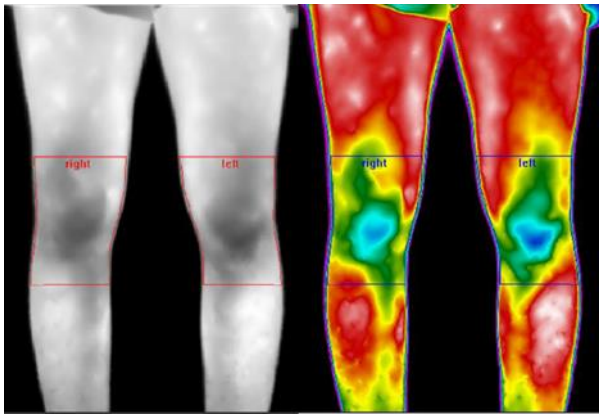
IRT ölçümleri: Arka planı siyah sıcaklık yalıtım malzemesiyle kapatılan, ayna veya yansıtıcı yüzeylerin etkisinden korunan, izole edilmiş bir görüntüleme alanı oluşturulmuştur. Ölçümler, termonötral (18-25°C) ve hava akımı olmayan bir ortamda gerçekleştirilmiş olup, insanda termografik değerlendirme protokolü (Quintana vd., 2015) ve Glamorgan protokolüne (Ammer, 2008) uyulmuştur. Çekimlerden önce vücut ısısının dengelenmesi amacıyla, katılımcılar için en az 10 dakikalık bir ortama uyum (aklimatizasyon) süresi sağlanmıştır. Önceki literatür önerileri doğrultusunda, tüm görüntülerin işlenmesinde emisyon faktörü (emissivity) .98 olarak kabul edilmiştir (Fernández-Cuevas vd., 2015). IRT ölçümleri, maksimal gönüllü tükenişe varan egzersiz protokolünün hemen sonrasında, süre kaybı yaşanmadan gerçekleştirilmiştir.

Ölçümlerde 640x480 piksel çözünürlüklü kızılötesi görüntü elde edebilen FLIR T620 (FLIR Systems, ABD) termal kamera kullanılmıştır. Kamera, ortam sıcaklığını ve önceden tanımlı emisyon değerlerini otomatik olarak algılayabildiği için termogramlar kaydedilirken ek bir işleme ihtiyaç duyulmamıştır. Elde edilen termogramlar üzerinde, FLIR ResearchIR (sürüm 4.40.7.26) yazılımı kullanılarak ilgili hedef bölgeler (Region of Interest – ROI) işaretlenmiştir. Belirlenen ROI'ler üzerinden piksel temelli en düşük, en yüksek ve ortalama sıcaklık değerleri yine aynı yazılım

aracılığıyla hesaplanarak veriler elde edilmiştir. Diz bölgesi IRT ölçümlerinde, sağ ve sol ekstremite arasındaki mutlak sıcaklık farkının 0,4°C'den büyük olması "fizyolojik asimetri riski" olarak tanımlanmıştır (Priego-Quesada, 2016).

ROI'nin belirlenmesi: Proksimalde m.quadriceps femoris tendonu, m.vastus medialis ve lateralis kaslarının distal uçları, lateralde tructus iliofemoralis, fibulanın proksimal başı, lateral retinaculum patellaris, medialde medial retinaculum patellaris ve lig. collaterale tibiale, distalde tuberositas tibia, pes anserinus ve bursası, m.tibialis anterior ve m.gastrokinemikus kaslarının proksimal uçlarını kapsayan alan ROI olarak belirlenmiştir. Alt ve üst tarafta düz bir kesitle bölümler ayrılıp diz bölgesi sıcaklıkları Resim 1'de gösterildiği gibi belirlenmiştir. ROI seçimi, literatürdeki standardizasyon önerilerine uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Anatomik referans noktaların kullanılması, ROI'nin konumunu standartlaştırmaya yardımcı olmakta ve çalışmalar arası karşılaştırılabilirliği artırmaktadır (Perpetuini, 2021).

Resim 1.
Belirlenen ROI'ler



Verilerin analizi

İstatistiksel analizler SPSS 25.0 (Statistical Package for Social Sciences, IBM Corp.) yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analizlerden önce tüm veriler için veri kontrolü (normallik, dağılım ve homojenlik) uygulamaları yapılmıştır. Katılımcıların demografik özellikleri ile ölçüm parametrelerinin özetlenmesinde tanımlayıcı istatistikler (ortalama, standart sapma, en düşük, en yüksek, frekans ve yüzde değerleri) kullanılmıştır. Sürekli değişkenler (demografik özellikler, IRT sıcaklık değerleri ve SEBT uzanım skorları) arasındaki ilişkilerin yönünü ve şiddetini belirlemek amacıyla non-parametrik Spearman Sıra Korelasyon Testi uygulanmıştır. Kategorize edilen risk grupları (IRT Riski ve SEBT Riskleri) arasındaki bağımlılığı incelemek için Çapraz Tablo (Crosstabs) analizi yapılmıştır. Beklenen frekans değerlerinin bazı hücrelerde 5'in altında kalması nedeniyle, kategorik karşılaştırmalarda Pearson Ki-Kare testi yerine Fisher'in Kesin Testi (Fisher's Exact Test) tercih edilmiş ve risk oranları (Odds Ratio - OR) hesaplanmıştır. Ayrıca, iki farklı non-invaziv yöntemin risk sınıflandırmaları (Risk var / Risk yok) arasındaki tanısal uyum düzeyini belirlemek amacıyla Cohen's Kappa uyum analizi kullanılmıştır. Kappa katsayılarının yorumlanmasında literatürde kabul gören standartlar (Landis ve Koch, 1977) temel alınmıştır. Tüm istatistiksel analizlerde anlamlılık düzeyi $p<0,05$ olarak kabul edilmiştir.

BULGULAR

Bu bölümde, çalışmaya katılan bireylerin demografik özellikleri ile IRT ve SEBT ölçümlerine ilişkin bulgular sunulmuştur. Ayrıca, IRT ve SEBT risk kriterleri arasındaki ilişkiler, korelasyonlar ve tanısal uyum analizleri aracılığıyla değerlendirilmiştir.

Tablo 1.
Katılımcıların demografik özellikleri ve bazı ölçüm parametrelerine ait tanımlayıcı istatistikler

Değişkenler	N	En Düşük	En Yüksek	Ortalama	Standart Sapma
Yaş (yıl)	28	20.00	26.00	22.93	1.59
Vücut Ağırlığı (kg)	28	60.20	85.20	73.28	6.63
Boy Uzunluğu (cm)	28	170.10	188.90	178.30	5.10
Vücut Kitle İndeksi (VKİ) (kg/m²)	28	19.33	26.58	23.05	1.84
Sağ SEBT Kompozit Skor (%)	28	80.23	104.02	92.27	5.70
Sol SEBT Kompozit Skor (%)	28	78.84	104.72	92.39	6.12
Sağ Diz Ortalama Sıcaklık (°C)	28	26.90	31.50	29.01	1.05
Sol Diz Ortalama Sıcaklık (°C)	28	26.90	31.40	29.05	1.06
Ortalama Sıcaklık Farkı (Sağ - Sol) (°C)	28	0.00	1.20	0.31	0.30

Tablo 1'de çalışmaya katılan bireylerin demografik özellikleri ile SEBT ve IRT ölçümlerine ait tanımlayıcı istatistikler sunulmuştur. Çalışmadaki 28 erkek katılımcının yaş ortalaması 22.93 ± 1.59 yıl, boy ortalaması 178,30 ± 5.10 cm, vücut ağırlığı ortalaması 73.28 ± 6.63 kg ve VKİ ortalaması 23.05 ± 1.84 kg/m² olarak hesaplanmıştır. Fonksiyonel denge performansını gösteren SEBT kompozit skorlarının ortalaması sağ bacak için %92.27 ± 5.70, sol bacak için ise %92.39 ± 6.12 olarak bulunmuştur. Diz bölgesinden alınan IRT ölçümlerinde sağ diz ortalama sıcaklığı 29.01 ± 1,05 °C, sol diz ortalama sıcaklığı 29.05 ± 1.06 °C olarak tespit edilmiş olup, iki ekstremite arasındaki ortalama mutlak sıcaklık farkı 0.31 ± 0.30 °C olarak kaydedilmiştir. Katılımcıların demografik özellikleri ile IRT verileri ve SEBT parametreleri arasındaki ilişkiler Spearman sıra korelasyon analizi ile incelenmiştir. Analiz sonuçlarına göre, katılımcıların dizleri arasındaki ortalama sıcaklık farkı ile yaş, VKİ, vücut ağırlığı ve boy uzunluğu gibi demografik özellikleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki tespit edilmemiştir ($p>.05$). Benzer şekilde, demografik veriler ve SEBT genel kompozit skorları arasında da istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon bulunmamıştır ($p>.05$). Katılımcıların demografik özellikleri ile sağ ve sol diz bölgesine ait IRT ham sıcaklık değerleri arasındaki ilişkiler Spearman sıra korelasyon analizi ile incelenmiştir. Analiz sonuçlarına göre; katılımcıların vücut ağırlığı ile sağ diz en yüksek sıcaklığı ($r = -0.466$; $p = 0.012$), sağ diz ortalama sıcaklığı ($r = -0.432$; $p = 0.022$), sol diz en yüksek sıcaklığı ($r = -0.407$; $p = 0.032$) ve sol diz ortalama sıcaklığı ($r = -0.395$; $p = 0.037$) arasında negatif yönde, istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler tespit edilmiştir. Benzer şekilde, VKİ değerleri ile sağ diz en yüksek sıcaklığı ($r = -0.406$; $p = 0.032$) ve sol diz en yüksek sıcaklığı ($r = -0.419$; $p = 0.026$) arasında da negatif yönde anlamlı korelasyonlar saptanmıştır. Buna karşın, katılımcıların yaş ve boy uzunlukları ile diz bölgesi IRT sıcaklık parametreleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunmamıştır ($p >.05$).

Tablo 2.
Katılımcıların IRT ve SEBT risk kriterlerine göre dağılımı

Risk Kriteri (Literatür Eşiği)	Risk Yok (n / %)	Risk Var (n / %)
IRT Asimetrisi (>0.4°C)	19 (%67.9)	9 (%32.1)
SEBT Kompozit Skor (<%94)	9 (%32.1)	19 (%67.9)
SEBT Anterior Mutlak Asimetri (≥4 cm)	21 (%75.0)	7 (%25.0)
SEBT Anterior Normalize Asimetri (≥%4.5)	24 (%85.7)	4 (%14.3)

Tablo 2'de çalışmaya katılan 28 erkek katılımcının termografi asimetrisi ve fonksiyonel denge sakatlık risk kriterlerine göre frekans ve yüzde dağılımları sunulmuştur. IRT ölçümlerinde, iki diz arasındaki sıcaklık asimetrisinin >0.4°C eşiğini aşması durumuna göre 9 katılımcı (%32.1) riskli kategoride yer alırken, 19 katılımcı (%67.9) risksiz grupta yer almıştır. SEBT fonksiyonel risk kriterleri incelendiğinde; genel kompozit skor eşiğine (<%94) göre katılımcıların 19'u (%67.9) riskli grupta bulunmuştur. Yön spesifik asimetri değerlendirmesinde, anterior mutlak asimetri (≥4 cm) kriterine göre riskli katılımcı sayısı 7 (%25) iken, bu asimetri alt ekstremite uzunluğuna normalize edildiğinde (>%4.5) riskli katılımcı sayısının 4'e (%14.3) düştüğü görülmüştür.

Tablo 3.
IRT sıcaklık farkları ile SEBT ham uzanım farkları arasındaki korelasyon matrisi

Değişkenler	1	2	3	4	5	6
1. IRT Ortalama Ham Fark	1					
2. IRT En Yüksek Ham Fark	0.631**	1				
3. IRT En Düşük Ham Fark	0.545**	0.157	1			
4. SEBT ANT Ham Fark (cm)	-0.011	0.125	0.195	1		
5. SEBT PM Ham Fark (cm)	0.012	0.071	0.010	-0.088	1	
6. SEBT PL Ham Fark (cm)	-0.210	-0.328	0.079	0.238	-0.076	1

** Spearman rho (r) katsayıları rapor edilmiştir. *$p < 0,01$. *(IRT: Kızılötesi Termografi, SEBT: Yıldız Denge Testi, ANT: Anteromedial, PM: Posteromedial, PL: Posterolateral).*

Tablo 3'te IRT ham sıcaklık farkları ile SEBT ham uzanım farkları arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla yapılan Spearman sıra korelasyon analizi sonuçları gösterilmiştir. Analiz sonucunda, IRT ortalama ham farkı ile IRT en yüksek ham farkı (r=0.631; p<0.01) ve IRT en düşük ham farkı (r=0.545; p<0.01) arasında pozitif yönde, istatistiksel olarak yüksek düzeyde anlamlı ilişkiler bulunmuştur. Buna karşın; IRT ortalama, en yüksek ve en düşük ham sıcaklık farkları ile SEBT anterior, posteromedial ve posterolateral yönlerindeki ham uzanım farkları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon tespit edilmemiştir (p>.05).

Tablo 4.
IRT asimetrisi ile SEBT sakatlık risklerinin karşılaştırılması

Fonksiyonel Risk Kriteri (SEBT)	IRT Riski Yok (<0.4°C)	IRT Riski Var (>0.4°C)	p	OR [95% CI]	Cohen's Kappa (κ)	p (Kappa)
Kompozit Skor Riski			0.407	0.44 [0.08 - 2.35]	-0.140	0.337
Risksiz (≥%94)	5	4				
Riskli (<%94)	14	5				
Anterior Mutlak Asimetri Riski			0.646	1.87 [0.31 - 11.02]	0.130	0.483
Risksiz (<4 cm)	15	6				
Riskli (≥ 4 cm)	4	3				
Anterior Normalize Asimetri Riski			1.000	0.66 [0.05 - 7.47]	-0.055	0.741
Risksiz (<%4.5)	16	8				
Riskli (≥%4.5)	3	1				

Tablo 4'te katılımcıların diz bölgesindeki IRT asimetri riski (>0.4°C) ile literatürde belirlenmiş SEBT fonksiyonel denge sakatlık riskleri arasındaki kategorik bağımlılığı ve tanısal uyumu inceleyen analiz sonuçları verilmiştir. Fisher'in Kesin Testi sonuçlarına göre, IRT risk grupları ile SEBT kompozit skor riski (p=.407), SEBT anterior mutlak asimetri riski (p=.646) ve SEBT anterior normalize asimetri riski (p=1.000) arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunmamıştır. Risk oranları (Odds Ratio-OR) incelendiğinde hesaplanan değerlerin hiçbiri istatistiksel olarak anlamlılığa ulaşmamıştır. İki non-invaziv yöntemin risk sınıflandırmaları (Risk Var/Risk Yok) arasındaki örtüşmeyi değerlendirmek amacıyla yapılan Cohen's Kappa uyum analizi sonuçları, testler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir uyum olmadığını göstermiştir. IRT fizyolojik asimetri riski ile SEBT fonksiyonel risk kriterleri karşılaştırıldığında; kompozit skor riski (κ = -0.140; p = .337) ve anterior normalize asimetri riski (κ = -0.055; p = .741) ile uyum bulunamazken, anterior mutlak asimetri riski (κ = 0.130; p = .483) ile istatistiksel olarak anlamsız, zayıf düzeyde bir uyum tespit edilmiştir.

Tablo 5.
SEBT anterior yön uzanım asimetrisi ile IRT ham sıcaklık değerleri arasındaki korelasyon analizi

Değişkenler (IRT)	r	p
Sağ Diz En Düşük Sıcaklık	**-0.486****	**0.009**
Sağ Diz En Yüksek Sıcaklık	-0.265	0.173
Sağ Diz Ortalama Sıcaklık	**-0.432***	**0.022**
Sol Diz En Düşük Sıcaklık	**-0.588****	**0.001**
Sol Diz En Yüksek Sıcaklık	-0.308	0.111
Sol Diz Ortalama Sıcaklık	**-0.518****	**0.005**
Ortalama Sıcaklık Farkı (Sağ - Sol)	-0.230	0.240
En Yüksek Sıcaklık Farkı (Sağ - Sol)	0.174	0.375
En Düşük Sıcaklık Farkı (Sağ - Sol)	-0.265	0.173

Analizlerde Spearman sıra korelasyon (r) katsayısı kullanılmıştır. (n=28).
SEBT Anterior Asimetrisi santimetre (cm) cinsinden hesaplanmıştır.
** Korelasyon .05 düzeyinde anlamlıdır (Çift yönlü).** Korelasyon .01 düzeyinde anlamlıdır (Çift yönlü).*

SEBT anterior yönündeki mutlak asimetri değerleri ile diz bölgesinin ham (sağ ve sol ayrı ayrı) ve fark sıcaklık değerleri arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla yapılan Spearman sıra korelasyon analizi sonuçları Tablo 5'te sunulmuştur. Analiz sonucunda, SEBT anterior asimetrisi ile sol diz en düşük sıcaklığı (r=-0.588; p=.001), sol diz ortalama sıcaklığı (r=−0.518; p=.005), sağ diz en düşük sıcaklığı (r=−0,486; p=.009) ve sağ diz ortalama sıcaklığı (r=−0,432; p=.022) arasında negatif yönde, istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler bulunmuştur. Öte yandan, SEBT anterior asimetrisi ile sağ ve sol dizin en yüksek sıcaklıkları ve iki diz arasındaki ortalama, en yüksek ve en düşük sıcaklık farkları (asimetrileri) arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki saptanmamıştır (p>.05).

TARTIŞMA

Bu çalışmada, diz eklemi sakatlık riski analizinde kullanılan iki non-invaziv yöntemin risk tasniflerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Çalışmamızın ana bulguları şu şekilde özetlenebilir: (1) IRT ile ölçülen diz bölgesi termal asimetrisi prevalansı %32,1 iken, SEBT ile ölçülen fonksiyonel asimetri prevalansı %14,3 ile %67,9 arasında değişmektedir; (2) IRT ve SEBT parametreleri arasında genel olarak zayıf-orta düzeyde korelasyonlar bulunmuştur; (3) İki yöntemin risk tasnifi uyumu düşük düzeydedir (SEBT Kompozit κ = -0,140; p = 0,337; SEBT Mutlak Asimetri; κ = -0,055; p = 0,741; SEBT Normalize asimetri κ = 0,130; p = 0,483); (4) Anterior uzanım farkı ile diz sıcaklık değerleri arasında ters yönlü anlamlı ilişki tespit edilmiştir. Bu bulgular, fizyolojik (IRT) ve biyomekanik (SEBT) asimetri değerlendirmelerinin farklı risk profillerini yansıttığını ve birbirini tamamlayıcı bilgiler sunabileceğini göstermektedir.

Çalışmamızda IRT ve SEBT parametreleri arasında genel olarak zayıf-orta düzeyde korelasyonlar bulunması, bu iki yöntemin farklı fizyolojik ve biyomekanik yapıları değerlendirdiğini göstermektedir. Aynı şekilde IRT ve SEBT risk tasnifi uyumunun düşük olması (Kompozit Skor: κ = -0,140, p = 0,337; Anterior Mutlak Asimetri: κ = 0,130, p = 0,483; Anterior Normalize Asimetri: κ = -0,055, p = 0,741), bu iki yöntemin farklı risk profillerini tanımladığını göstermektedir. Tanısal uyum çalışmalarında, Kappa değerinin 0.40'ın altında olması "zayıf uyum", 0.40-0.60 arası "orta uyum", 0.60-0.80 arası "iyi uyum" olarak yorumlanır (Landis & Koch, 1977). Bulgularımızda tüm Kappa değerlerinin 0.40'ın altında olması ve istatistiksel olarak anlamlı olmaması (p > 0,05), IRT ve SEBT'nin aynı bireylerde farklı risk faktörlerini tespit edebildiğini göstermektedir. Bu durum, sakatlık riskinin multifaktöriyel bir yapıya sahip olduğunu ve tek bir yöntemle tüm risk faktörlerinin yakalanamayacağını desteklemektedir. Literatürde, sakatlık risk değerlendirmesinde çoklu yöntem kullanımının tek yöntem kullanımına göre daha yüksek prediktif değer gösterdiği bildirilmektedir (Bahr & Holme, 2003; Meeuwisse vd., 2007). Bir sporcuda IRT ile termal asimetri tespit edilmesi fizyolojik bir risk faktörüne işaret ederken, SEBT ile fonksiyonel asimetri tespit edilmesi biyomekanik bir risk faktörüne işaret edebilir. Her iki risk faktörü de sakatlık gelişimine katkıda bulunabilir, ancak farklı mekanizmalar üzerinden etki gösterir. Bu bağlamda, çalışmamızın bulguları, kapsamlı bir sakatlık risk değerlendirmesi için hem fizyolojik (IRT) hem de fonksiyonel (SEBT) parametrelerin entegre edilmesinin önemini vurgulamaktadır. Klinik pratikte, her iki

yöntemle de risk tespit edilen sporcuların en yüksek sakatlık riskine sahip olabileceği ve öncelikli müdahale gerektirdiği düşünülebilir.

IRT uygulamalarında ROI seçimi, sonuçların güvenilirliği için kritik öneme sahiptir. Perpetuini (2021), literatürdeki IRT çalışmalarının çoğunda ROI seçim yönteminin standardize edilmediğini ve bu durumun sonuçların karşılaştırılabilirliğini sınırladığını belirtmiştir. Çalışmamızda, anatomik referans noktalar kullanılarak manuel olarak belirlenen ROI'ler, literatürdeki bu standardizasyon boşluğuna katkı sağlamaktadır. Diz bölgesi için tanımladığımız ROI, proksimalde m.quadriceps femoris tendonu, lateralde tractus iliofemoralis, medialde medial retinaculum patellaris ve distalde tuberositas tibia gibi anatomik yapıları kapsayarak, diz eklemi termal değerlendirmesi için kapsamlı bir alan sunmaktadır. Bu yaklaşım, gelecek çalışmalarda tekrarlanabilirlik ve karşılaştırılabilirlik sağlayabilir.

Ioannou (2020) araştırmasında, termal görüntülemenin fiziksel egzersiz sonrası oluşan doku gerginliğinin incelenmesi için önemli bir araç olduğunu ifade etmekte ve ayrıca yaralanmaların lokasyon olarak hassas şekilde belirlenmesini sağladığını, bunun da ortopedistlerin veya fizyoterapistlerin tedavi ve teşhisleri daha iyi uygulamalarına yardımcı olabileceğini belirtmektedir. Çalışmamızda, maksimal gönüllü tükenişe varan egzersiz protokolü sonrası alınan termal görüntülerde kasların en geniş noktalarında dolaşımın etkisiyle sıcaklık artışı olması ve diğer dokularda ısının azalması, bu dokularda görülebilecek asimetrilerin daha belirgin olabileceğini göstermektedir. Bu gözlemler, termal görüntülemenin yorgunluk ve kas dolaşım değişimlerini tespit etmede pratik bir araç olabileceğini desteklemektedir.

Literatürde, fiziksel performansın deri yüzey sıcaklığını etkilediği belirtilmiştir. Atletik performansı daha iyi olan sporcuların dokularından ısıyı uzaklaştırmada daha başarılı olduğu gözlemlenmiş ve bu durum daha iyi termoregülasyonla açıklanmıştır. Atletik performansı yüksek sporcuların, yüksek kan akışı ve düşük yağ yüzdesi sebebiyle merkezden deri yüzeyine ısı tahliyesini daha iyi yaptıkları raporlanmıştır (Akimov ve Son'kin, 2011; Chudecka ve Lubkowska, 2010; Priego-Quesada vd., 2015). Ayrıca ısının en iyi uzaklaştırılma yolunun ise terleme olduğu vurgulanmıştır (Mündel, 2020). Çalışmamızda, vücut ağırlığının ham en yüksek ve ortalama sıcaklık değerleri ile VKİ ve sağ ve sol diz en yüksek sıcaklık değerlerinin ters yönlü korelasyonu literatürle paralellik göstermektedir. Yağ doku nun artması sıcaklık verilerini ters yönlü etkilediği düşünülmektedir.

Farklı kaynaklarda farklı uygulamalara rastlansa da sağ ve sol ekstremite arasındaki mutlak sıcaklık farkının 0,4°C'den büyük olması "fizyolojik asimetri riski" olarak literatürde tanımlanmıştır (Niu vd., 2001, Priego-Quesada, 2016). Çalışmamızda egzersiz yüklemesi sonrası diz bölgesi bilateral ortalama sıcaklık değeri farkı 1,20°C'ye kadar ulaşan asimetriler bulunmuştur. Fakat bu risk faktörleri SEBT risk faktörleri ile desteklenememiştir. Uzun vadeli takip içeren çalışmalarda elde edilen veriler, belirgin bir termal asimetrinin, yüksek şiddetli egzersizlerden sonra 3, 4 veya 5 gün sonra azalsa bile altta yatan bir riski gösterebileceğine işaret etmektedir (Gómez-Carmona vd., 2020; Menezes vd., 2018). Buna karşın değerlendirme protokolüne tam olarak uyulmadıysa veya termogram potansiyel bir yanlış alarmı gösteriyorsa, sonucu dikkate almamak, denek geçmiş verilerinde geçersiz kılmak ve bir sonraki değerlendirmede yeniden değerlendirmek gerekebilir. Bununla birlikte, sporcu hâlâ müsaitse, bu farkın korunup korunmadığını doğrulamak için 15 dakika sonra değerlendirmenin tekrarlanması önerilmiştir. (Macdonald vd., 2016).

Çalışmamızda demografik veriler ile SEBT ve IRT parametreleri arasında ilişki bulunmamıştır. Vücut yüzey sıcaklık değerlerinin yaş, vücut ağırlığı, cinsiyet ve atletik performans gibi etkenlere göre değişiklik gösterebileceği; sağlıklı bilateral yapıların sıcaklık değeri farklarının ise yaş veya atletik performans düzeyinden etkilenmeksizin simetrik termal desene sahip olabileceğine işaret etmektedir. Del Estal vd. (2017)'de, Muay Thai ve Kickboks sporcularının termal profilleri analiz edilmiş ve diz ortalama sıcaklıkları 28.8±2,1 °C olarak tespit edilmiştir. Çalışmamızda ortalama diz sıcaklık değerleri benzer olarak sağ diz için 29±1,05 °C ve sol diz için 29,05±1,06 °C olarak tespit edilmiştir. Termal görüntüleme, sporcu ve antrenörler için çok değerli sonuçlar ortaya koymaktadır. Özellikle simetrik ve simetrik olmayan kas aktivitesinin tespiti ve antrenmanla iyileştirilmesi söz konusu olduğunda önem taşımaktadır. Zira yüksek spor performansında sadece simetrik kuvvet üretilen branşlar değil, asimetrik branşlar için de dengeli bir kuvvet üretimi anahtar rol oynamaktadır. Ek olarak, invaziv olmayan, basit ve kısa sürede görüntüleme yapılabilen yapısıyla

önemli bir avantaj sağlamaktadır. Bu nedenle, IRT ve SEBT gibi yöntemler bir arada değerlendirildiğinde sporcu risk yönetiminde daha kapsamlı bir tablo sunabilir.

Çalışmamızda bilateral asimetri ile temassız spor sakatlığı riskini analiz etmek için kullanılan diğer bir test SEBT'idi. Literatür incelendiğinde sporcularda SEBT birleşik skorlarının müsabaka seviyesi, spor branşı, cinsiyet ve yaş gibi değişkenlerden etkilendiği belirtilmiştir (Butler vd., 2012, Butler vd., 2013, Plisky vd., 2006, Gribble vd., 2012). Daha önce yayınlanmış olan çalışmalarda futbolcuların birleşik skorunun %97 ile %101, beyzbol oyuncularının ise %95,8 ± 6.1 olduğu raporlanmıştır (Butler vd., 2012, Butler vd., 2013, Garrison vd., 2013). Çalışmamızda dominant olmayan bacak birleşik skorları %92,38 ± 6,12 dominant olan bacak birleşik skorları %92,26 ± 5,69 ve ortalama birleşik skorun da %92,32 ± 5,78 olduğu tespit edilmiştir. Cuğ'un (2017) ve Hébert-Losier'in (2017) yapmış oldukları iki çalışamada ortaya konulan ve dikkat edilmesi gereken bir husus SEBT uygulamalarında el pozisyonunun skorlara olan etkisidir. Elin belde olmadığı ölçümlerde kompozit skorun yaklaşık 4,3 daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanında SEBT kapsamlı olarak çalışılmış olmasına rağmen, duruş ayağı hizalama, el yerleştirme ve yön tanımlaması gibi metodolojideki ortak olmayan bazı uygulamalara da bu çalışmalarda değinilmiştir. Bahsi geçen çalışmalarda (Butler vd., 2012, Butler vd., 2013, Garrison vd., 2013) protokollerde ellerin kalça üzerine konulup konulmadığına dair bir direktif geçmemektedir. Skor farklılıklarının bu uygulama farkından kaynaklanabilir. Daha önce kullanılan yöntemler arasında, ayağın erişim yönlerinin kesişim noktasında merkezlenmesi (Gribble vd., 2004), ayak başparmağının en uzak kısmının her yöne göre merkez ile hizalanması (Gribble vd., 2012), başparmağın anterior yönler için merkez kabul edilip topuğun arka yönler için merkeze hizalanması (Earl ve Hertel, 2001) gibi durumlar bu farklı uygulamalara dâhildir. Araştırmacıların SEBT verileri ile yapılacak karşılaştırmalarda bu ayrıntılara dikkat etmesi gerekmektedir. Veriler üzerinden karşılaştırma yapılırken ölçüm metodolojisindeki küçük farklar bile sonuçları etkileyebildiği ortaya konulmuş fakat çalışma içi karşılaştırmalarla SEBT'nin risk faktörleriyle güvenilir, ucuz, etkili ve kolay uygulanabilir bir test olduğu ortaya konulmuştur (Picot vd., 2021).

Çalışmamızda SEBT skorlarını ilgili kıstaslara göre düzenlenip risk olan ve olmayan olarak ikişerli gruplar oluşturulmuştur. Sağ ve sol diz IRT değerleri risk aralıklarına göre 0,4 °C'ye eşit veya daha düşük bilateral termal asimetri durumu Risk Yok, bu değerden büyük olma durumu ise Risk Var olarak gruplandırılmıştır. Çalışmamızda gruplar arasında istatistiksel bir ilişki veya fark bulunmamıştır. İki yöntemin spor yaralanması risklendirme kıstasları birbirini yordamadığı tespit edilmiştir. Anterior uzanım farkı değeri ile sağ ve sol diz en düşük ve ortalama sıcaklık değerleri arasında ters yönlü ilişki bulunmuştur ($p<0,05$). Sıcaklık değerleri arttıkça anterior uzanım farkı azalma göstermektedir. Bu bulgu ile iki yöntemin spor yaralanmaları riski bakımından ilişkili olduğunu söylemek bu çalışmada mümkün değildir. Çalışmamızdaki bu ilişki, ısınma protokolleri ve eklem hareketliliği ilişkisi ile açıklanabilir. Sportif ısınmanın kas esnekliğine ve eklem hareketliliğine pozitif etkisi olduğu literatürde belirtilmiştir (Young ve Behm 2002, McMillian vd., 2006, O'Sullivan vd., 2009).

Spor yaralanmalarının önceden tahmini için kullanılan yöntemler arasında makine öğrenimi algoritmaları da ön plana çıkmaktadır. Özellikle futbol gibi yüksek tempolu ve yoğun fiziksel yük gerektiren sporlarda, antrenman ve maç sırasında elde edilen içsel (fizyolojik) ve dışsal (mekanik) yük verileri kullanılarak yaralanma riski modellenmektedir (Alzahrani vd., 2026). Tsilimigkras ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, profesyonel erkek futbolcularda kalp atış hızı gibi fizyolojik verilerin yanı sıra hız, mesafe ve ivmelenme gibi mekanik yük değişkenlerinin makine öğrenimi modelleriyle analiz edilerek kas yaralanması riskinin yüksek doğrulukla tahmin edildiği belirtilmiştir. Bu modelde, ani yük artışları ve son dört haftalık kümülatif yük değişimleri önemli risk belirleyiciler olarak öne çıkmıştır (Tsilimigkras vd., 2024). Aynı çalışma, kalp atış hızı ile ilgili değişkenlerin modele dahil edilmesinin, fizyolojik aşırı yüklenmenin kas yaralanmalarına katkısını vurguladığını belirtmekte ve antrenörlerin bu parametreleri kontrol ederek yaralanmaları önleyebileceğini ifade etmektedir. IRTve SEBT gibi farklı risk faktörleri verilerinin bu tip makine öğrenme modellerine dahil edilmesi spor yaralanmaları tespitine yönelik girişimleri destekleyebilir. Son yıllarda teknoloji ve antrenman yöntemlerindeki ilerlemelere rağmen, sakatlıkların profesyonel ve amatör sporcular ile spor kulüpleri için hâlâ büyük bir sorun olmaya devam ettiği bildirilmiş ve bu noktada termal görüntülemenin non-invaziv ve görece ucuz bir yöntem olarak spor alanında da

kullanılmaya başlandığı ve gösterilen ilginin giderek arttığı vurgulanmış ve termal görüntüleme sayesinde yüzeyel sıcaklıkta ortaya çıkan ve sağlıklı dokudan farklılık gösteren değerler sakatlık riski için açıklayıcı olarak raporlanmıştır (Priego-Quesada, 2025). Ek olarak, termal değerlerin iyileşme süreçleri için de açıklayıcı olduğu ve termal görüntülemenin bu değerlendirmeyi bilateral olarak yaptığı ifade edilmiştir. Li vd. (2025) araştırmasında, yüksek atletik yetenek gerektiren aerobik jimnastik sporcularında yapay zekâ algoritması kullanılarak antrenman ve yarışmalarda elde edilen termal veriler değerlendirilmiş ve algoritmanın vücuttaki sıcaklık dağılımını başarılı şekilde takip ederek potansiyel sakatlık risklerini gerçek zamanlı olarak tahmin edebildiği gösterilmiştir. Bu sonuç gerek gelişen termal görüntüleme ekipmanları gerekse yapay zekâ algoritmalarıyla entegre sistemler açısından büyük umut vaat etmektedir. Bu nedenle, gelecekte hem saha hem de teknolojik değerlendirmeleri bir arada kullanmak, risk tespiti ve yönetimi açısından daha bütüncül bir yaklaşım sağlayabilir. Quintana vd. (2017)'nin oluşturduğu, bir grup araştırmacı ve uzmanın spor ve egzersizde IRT kullanımı konusunda yayınladığı protokoller ve TISEM olarak bilinen kılavuzlar spor alanında en yaygın olarak atıfta bulunulan referanslar arasında yer almaktadır. Ancak, çalışmalar hâlen birbirinden farklı yöntemleri kullanarak en ideal tespit ve yorumlama kriterlerini güncellemekte ve araştırmaktadır (Priego-Quesada, 2025).

Sınırlılıklar

Bu çalışmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Birincisi, çalışma 28 katılımcı ile gerçekleştirilmiş olup, örneklem büyüklüğünün sınırlı olması bulguların genellenebilirliğini kısıtlamaktadır. Ayrıca korelasyonel bulgular açısından G*Power analizine göre yeterli güce sahip olsa da risk tasniflerinin karşılaştırıldığı çapraz tablolarda bazı hücre frekanslarının düşük kalması, Cohen's Kappa tanısal uyum analizinin gücünü sınırlamış olabilir. İkincisi, araştırma tek bir merkezde yürütülmüş olup, farklı popülasyonlara ve spor branşlarına genelleme yapılması mümkün değildir. Üçüncüsü, çalışmada yalnızca erkek katılımcılar yer almış olup, cinsiyet farklılıklarının değerlendirilmesi mümkün olmamıştır. Dördüncüsü, çalışmada durum tespiti yapılmış olup, elde edilen risk değerlendirmelerinin gerçek sakatlık oluşumu ile ilişkisi prospektif olarak doğrulanmamıştır. Son olarak, IRT ölçümlerinin çevresel koşullardan etkilenebilmesi ve ve her iki yöntemin standardizasyon güçlükleri de dikkate alınması gereken sınırlılıklar arasındadır.

SONUÇ

Bu çalışmada, diz eklemi sakatlık riski analizinde kullanılan iki non-invaziv yöntem olan Kızılötesi Termografi ve Yıldız Denge Testi karşılaştırılmıştır. Elde edilen bulgulara göre, IRT ve SEBT yöntemlerinin bazı parametreleri arasında istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler tespit edilmiş olsa da bu iki yöntemin sakatlık riski sınıflandırması açısından birbirini yordamadıkları belirlenmiştir. IRT ile elde edilen termal asimetri risk grupları ile SEBT verileri arasında, ayrıca SEBT anterior uzanım farkı ile oluşturulan risk grupları açısından diz eklemi deri yüzeyi sıcaklık değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır.

IRT yöntemi ve SEBT, spor yaralanmaları risk analizi için kullanılan güncel iki yöntemdir. IRT, dokudaki dolaşım veya dolaşımı etkileyen değişimler hakkında bilgi verirken, SEBT nöromusküler ve mekanik performansı ölçmektedir. Çalışmamızda elde edilen sonuçlarla beraber, her iki yöntemin spor sakatlık riskinin farklı boyutlarını değerlendirdiğini ve birbirinin alternatifi değil tamamlayıcısı olarak ele alınması gerektiği ifade edilebilir.

Çalışmamızın bulguları, spor sahası uygulamaları ve klinik karar verme süreçleri için önemli pratik çıkarımlar sunmaktadır. IRT ve SEBT'nin farklı risk profillerini tanımlaması, spor kulüplerinin ve spor hekimlerinin kaynak ve zaman kısıtlamaları göz önüne alındığında, hangi yöntemin hangi durumda tercih edilebileceğine dair rehberlik sağlayabilir. SEBT, düşük maliyet, kolay uygulama ve hızlı sonuç avantajları nedeniyle rutin tarama programları için uygun olabilirken; IRT, daha yüksek maliyet ve teknik uzmanlık gerektirmesine rağmen, fizyolojik risk faktörlerinin erken tespiti ve iyileşme süreçlerinin takibi için değerli bilgiler sunabilir. Her iki yöntemle de risk tespit edilen sporcuların öncelikli müdahale grubu olarak belirlenmesi, sınırlı kaynakların daha etkin kullanılmasını sağlayabilir. Bulgularımız, sakatlık önleme programlarının tasarımında hem fizyolojik hem de biyomekanik müdahalelerin entegre edilmesinin önemini vurgulamaktadır.

Öneriler

Spor sakatlığı risk analizlerinde tek bir yönteme dayanmak yerine, birden fazla yöntemin bir arada kullanılması önerilmektedir. Gelecek çalışmalarda daha geniş ve heterojen örneklem gruplarıyla (farklı spor branşları, cinsiyet, yaş grupları) araştırmalar yapılması, prospektif takip çalışmalarıyla risk değerlendirmelerinin gerçek sakatlık oluşumu ile ilişkisinin doğrulanması, IRT teknolojisinin gelişen yapay zekâ algoritmaları ile entegre edilerek daha güvenilir ve erişilebilir sistemlerin oluşturulması ve farklı vücut bölgelerinde bu iki yöntemin karşılaştırmalı analizlerinin yapılması önerilmektedir. Çalışmamız fiziksel aktif bireylerle yapılmış olsa da bulgularımızın elit sporculara da uygulanabilirliği gelecek araştırmalarla test edilmelidir.

Sonuç olarak, IRT ve SEBT yöntemleri spor sakatlık riskinin farklı fizyolojik ve biyomekanik boyutlarını değerlendiren, birbirini tamamlayan yöntemler olarak ele alınmalı ve bütüncül bir risk değerlendirmesi için birlikte kullanılmalıdır. Teknolojik ilerlemeler, yeni yazılımlar ve yapay zeka modellerinin entegrasyonuyla birlikte IRT'nin, gelecekte daha erişilebilir bir yöntem olma ve kullanım alanını genişletme eğiliminde olduğu düşünülmektedir.

Deklerasyonlar

Çıkar Çatışması

Yazarlar, herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmişlerdir.

Etik Beyan

Bu araştırma, Bu araştırma, Kocaeli Üniversitesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulunun 26.04.2017 tarih ve KÜ GOKAEK 2017/6.6 karar numaralı onayı ile gerçekleştirilmiştir.

Mali Destek

Bu çalışma, herhangi bir kuruluş veya kişiden herhangi bir katkı ve/veya destek almamıştır.

Yapay Zeka (YZ) Beyanı

Bu makalenin hazırlanması sırasında yalnızca dil düzenlemesi için yapay zeka araçları kullanılmıştır. Yazarlar, tüm içeriği dikkatle gözden geçirip doğrulamışlardır ve nihai versiyonun bütünlüğü ve doğruluğu konusunda tüm sorumluluğu üstlenmektedirler.

Kaynaklar

Aicale, R., Tarantino, D., & Maffulli, N. (2018). Overuse injuries in sport: A comprehensive overview. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, *13*(1), Makale 309. https://doi.org/10.1186/s13018-018-1017-5.

Akimov, E. B., & Son'kin, V. D. (2011). Skin temperature and lactate threshold during muscle work in athletes. *Human Physiology*, *37*(5), 621. https://doi.org/10.1134/S0362119711050033.

Aksoy, M., Ozgur, T., Odabas Ozgur, B., Demirci, D., Gürel, G., & Özen, Şahin. (2021). Incidence of Sport Injury in Contact and Non-Contact Sports. *Progress in Nutrition*, *23*(2), e2021071. https://doi.org/10.23751/pn.v23i2.10752.

Aldanyowi, S. N., & AlOraini, L. I. (2024). Personalizing injury management and recovery: A cross-sectional investigation of musculoskeletal injuries and quality of life in athletes. *Orthopedic Research and Reviews*, *16*, 137–151. https://doi.org/10.2147/ORR.S460748.

Alzahrani, A., Aljohany, M., & Alsirhani, H. (2026). Real-time wearable biomechanics framework for sports injury prevention and rehabilitation optimization. *Scientific Reports*, *16*(1), 4436. https://doi.org/10.1038/s41598-025-34551-w.

Ammer, K. (2008). The Glamorgan Protocol for recording and evaluation of thermal images of the human body. *Thermology international*, *18*(4), 125-144.

Ardern, C. L., Taylor, N. F., Feller, J. A., & Webster, K. E. (2014). Fifty-five per cent return to competitive sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery: an updated systematic review and meta-analysis including aspects of physical functioning and contextual factors. *British Journal of Sports Medicine*, *48*(21), 1543–1552. https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-093398.

Bahr, R., & Holme, I. (2003). Risk factors for sports injuries—a methodological approach. *British Journal of Sports Medicine*, *37*(5), 384–392. https://doi.org/10.1136/bjsm.37.5.384.

Butler, R. J., Lehr, M. E., Fink, M. L., Kiesel, K. B., & Plisky, P. J. (2013). Dynamic Balance Performance and Noncontact Lower Extremity Injury in College Football Players: An Initial Study. *Sports Health*, *5*(5), 417-422. https://doi.org/10.1177/1941738113498703.

Butler, R. J., Southers, C., Gorman, P. P., Kiesel, K. B., & Plisky, P. J. (2012). Differences in Soccer Players' Dynamic Balance Across Levels of Competition. *Journal of Athletic Training*, *47*(6), 616-620.

https://doi.org/10.4085/1062-6050-47.5.14.

Caner, Z. G., & Kırandı, Ö. (2024). Spor yaralanmalarından korunma yaklaşımları. *International Journal of Sport Exercise and Training Sciences - IJSETS*, *10*(3), 172–183.

Celada, O. L., García-Cota, J., Herrero-González, H., Martínez-Rodríguez, R., Galán-del-Rio, F., Rodríguez-Iñigo, E., Fernández-Jaén, T., Fortoul-García, M., Guillén-García, P., & López-Alcorocho, J. M. (2021). Estudio de las lesiones de la selección masculina absoluta española de fútbol (2008-2015). *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte*, *21*(82). https://doi.org/10.15366/rimcafd2021.82.012.

Chudecka, M., & Lubkowska, A. (2010). Temperature changes of selected body's surfaces of handball players in the course of training estimated by thermovision, and the study of the impact of physiological and morphological factors on the skin temperature. *Journal of Thermal Biology*, *35*(8), 379-385. https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2010.08.001.

Cuğ, M. (2017). Stance foot alignment and hand positioning alter star excursion balance test scores in those with chronic ankle instability: What are we really assessing?. *Physiotherapy Theory and Practice*, *33*(4), 316–322. https://doi.org/10.1080/09593985.2017.1302028.

Del Estal, A., Brito, C.-J., Galindo, V.-E., Lopez Diaz de Durana, A., Franchini, E., & Sillero-Quintana, M. (2017). Thermal asymmetries in striking combat sports athletes measured by infrared thermography. *Science & Sports*, *32*(2), e61-e67. https://doi.org/10.1016/j.scispo.2016.09.005.

Duarte, T. S., Ferreira-Júnior, J. B., Oliveira, J. C. G., Costa, C. M. A., Coelho, D. B., Marins, J. C. B., & Bara-Filho, M. G. (2025). Is skin temperature associated with training load during preparatory period of a professional volleyball team? *Journal of Thermal Biology*, *127*, 104038. https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2024.104038.

Earl, J. E., & Hertel, J. (2001). Lower-Extremity Muscle Activation during the Star Excursion Balance Tests. *Journal of Sport Rehabilitation*, *10*(2), 93-104. https://doi.org/10.1123/jsr.10.2.93.

Ekstrand, J., Hägglund, M., & Waldén, M. (2011). Injury incidence and injury patterns in professional football: The UEFA injury study. *British Journal of Sports Medicine*, *45*(7), 553–558.

Fernandes, A. de A., Amorim, P. R. dos S., Brito, C. J., Moura, A. G. de, Moreira, D. G., Costa, C. M. A., Sillero-Quintana, M., & Marins, J. C. B. (2014). Measuring skin temperature before, during and after exercise: A comparison of thermocouples and infrared thermography. *Physiological Measurement*, *35*(2), 189. https://doi.org/10.1088/0967-3334/35/2/189.

Fernández-Cuevas, I., Bouzas Marins, J. C., Arnáiz Lastras, J., Gómez Carmona, P. M., Piñonosa Cano, S., García-Concepción, M. Á., & Sillero-Quintana, M. (2015). Classification of factors influencing the use of infrared thermography in humans: A review. *Infrared Physics & Technology*, *71*, 28-55. https://doi.org/10.1016/j.infrared.2015.02.007.

Fröhlich, M., Ludwig, O., Kraus, S., & Felder, H. (2014). Changes in Skin Surface Temperature during Muscular Endurance indicated Strain – An Explorative Study. *International Journal of Kinesiology and Sports Science*, *2*(3), 23-27.

Garagiola, U., & Giani, E. (1990). Use of Telethermography in the Management of Sports Injuries. *Sports Medicine*, *10*(4), 267-272. https://doi.org/10.2165/00007256-199010040-00005.

Garrison, J. C., Arnold, A., Macko, M. J., & Conway, J. E. (2013). Baseball players diagnosed with ulnar collateral ligament tears demonstrate decreased balance compared to healthy controls. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, *43*(10), 752-758. https://doi.org/10.2519/jospt.2013.4680.

Gómez-Carmona, P., Fernández-Cuevas, I., Sillero-Quintana, M., Arnaiz-Lastras, J., & Navandar, A. (2020). Infrared Thermography Protocol on Reducing the Incidence of Soccer Injuries. *Journal of Sport Rehabilitation*, *29*(8), 1222-1227. https://doi.org/10.1123/jsr.2019-0056.

Gribble, P. A., Hertel, J., & Plisky, P. (2012). Using the Star Excursion Balance Test to assess dynamic postural-control deficits and outcomes in lower extremity injury: A literature and systematic review. *Journal of Athletic Training*, *47*(3), 339-357. https://doi.org/10.4085/1062-6050-47.3.08.

Gribble, P. A., Hertel, J., Denegar, C. R., & Buckley, W. E. (2004). The Effects of Fatigue and Chronic Ankle Instability on Dynamic Postural Control. *Journal of Athletic Training (National Athletic Trainers' Association)*, *39*(4), 321-329.

Hébert-Losier, K. (2017). Clinical Implications of Hand Position and Lower Limb Length Measurement Method on Y-Balance Test Scores and Interpretations. *Journal of Athletic Training*, *52*(10), 910–917. https://doi.org/10.4085/1062-6050-52.8.02.

Hertel, J., Miller, S. J., & Denegar, C. R. (2000). Intratester and Intertester Reliability during the Star Excursion Balance Tests. *Journal of Sport Rehabilitation*, *9*(2), 104.

Hildebrandt, C., Raschner, C., & Ammer, K. (2010). An Overview of Recent Application of Medical Infrared Thermography in Sports Medicine in Austria. *Sensors (Basel, Switzerland)*, *10*(5), 4700-4715. https://doi.org/10.3390/s100504700.

Hildebrandt, C., Zeilberger, K., Ring, E. F. J., & Raschner, C. (2012). The application of medical infrared thermography in sports medicine. İçinde *An international perspective on topics in sports medicine and sports injury*. InTech.

Hootman, J. M., Dick, R., & Agel, J. (2007). Epidemiology of collegiate injuries for 15 sports: Summary and recommendations for injury prevention initiatives. *Journal of Athletic Training*, *42*(2), 311–319.

Hubbard, T. J., Kramer, L. C., Denegar, C. R., & Hertel, J. (2007a). Contributing Factors to Chronic Ankle Instability. *Foot & Ankle International*, *28*(3), 343-354. https://doi.org/10.3113/FAI.2007.0343.

Hubbard, T. J., Kramer, L. C., Denegar, C. R., & Hertel, J. (2007b). Correlations Among Multiple Measures of Functional and Mechanical Instability in Subjects With Chronic Ankle Instability. *Journal of Athletic Training*, *42*(3), 361-366.

Ioannou, S. (2020). Functional Infrared Thermal Imaging: A Contemporary Tool in Soft Tissue Screening. *Scientific Reports*, *10*(1), 9303. https://doi.org/10.1038/s41598-020-66397-9.

Kinzey, S. J., & Armstrong, C. W. (1998). The reliability of the star-excursion test in assessing dynamic balance. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, *27*(5), 356-360. https://doi.org/10.2519/jospt.1998.27.5.356.

Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, *33*(1), 159–174. https://doi.org/10.2307/2529310.

Lauersen, J. B., Bertelsen, D. M., & Andersen, L. B. (2014). The effectiveness of exercise interventions to prevent sports injuries: A systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *British Journal of Sports Medicine*, *48*(11), 871–877.

Li, L., Wei, Y., & Xiang, S. (2025). Infrared thermal image monitoring based on artificial intelligence application in the prevention of sports injuries in aerobics: Computational thermal modeling. *Thermal Science and Engineering Progress*, *57*, 103126. https://doi.org/10.1016/j.tsep.2024.103126.

Macdonald, A., Petrova, N., Ainarkar, S., Allen, J., Plassmann, P., Whittam, A., Bevans, J., Ring, F., Kluwe, B., Simpson, R., Rogers, L., Machin, G., & Edmonds, M. (2016). Thermal symmetry of healthy feet: A precursor to a thermal study of diabetic feet prior to skin breakdown. *Physiological Measurement*, *38*(1), 33. https://doi.org/10.1088/1361-6579/38/1/33.

Majano, C., Garcia-Unanue, J., Fernández-Cuevas, I., Escamilla-Galindo, V., Alonso-Callejo, A., Sanchez-Sanchez, J., Gallardo, L., & Felipe, J. L. (2023). Association between physical demands, skin temperature and wellbeing status in elite football players. *Scientific Reports*, *13*(1), 13780. https://doi.org/10.1038/s41598-023-40396-y.

McMillian, D. J., Moore, J. H., Hatler, B. S., & Taylor, D. C. (2006). Dynamic vs. static-stretching warm up: The effect on power and agility performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *20*(3), 492-499. https://doi.org/10.1519/18205.1.

Meeuwisse, W. H., Tyreman, H., Hagel, B., & Emery, C. (2007). A dynamic model of etiology in sport injury: the recursive nature of risk and causation. *Clinical Journal of Sport Medicine*, *17*(3), 215–219. https://doi.org/10.1097/JSM.0b013e3180592a48.

Menezes, P., Rhea, M. R., Herdy, C., & Simão, R. (2018). Effects of Strength Training Program and Infrared Thermography in Soccer Athletes Injuries. *Sports*, *6*(4), 148. https://doi.org/10.3390/sports6040148.

Mündel, T. (2020). Thermoregulatory sweating and evaporative heat loss during exercise: Is the whole greater than the sum of its parts?. *The Journal of Physiology*, *598*(13), 2535–2536. https://doi.org/10.1113/JP279944.

Niu, H. H., Lui, P. W., Hu, J. S., Ting, C. K., Yin, Y. C., Lo, Y. L., Liu, L., & Lee, T. Y. (2001). Thermal symmetry of skin temperature: Normative data of normal subjects in Taiwan. *Zhonghua Yi Xue Za Zhi = Chinese Medical Journal; Free China Ed*, *64*(8), 459-468.

O'Sullivan, K., Murray, E., & Sainsbury, D. (2009). The effect of warm-up, static stretching and dynamic stretching on hamstring flexibility in previously injured subjects. *BMC Musculoskeletal Disorders*, *10*(1), 37. https://doi.org/10.1186/1471-2474-10-37.

Perpetuini, D., Formenti, D., Cardone, D., Filippini, C., & Merla, A. (2021). Regions of interest selection and thermal imaging data analysis in sports and exercise science: A narrative review. *Physiological Measurement*, *42*(8), 08TR01. https://doi.org/10.1088/1361-6579/ac0fbd.

Picot, B., Terrier, R., Forestier, N., Fourchet, F., & McKeon, P. O. (2021). The Star Excursion Balance Test: An Update Review and Practical Guidelines. *International Journal of Athletic Therapy and Training*, *26*(6), 285-293. https://doi.org/10.1123/ijatt.2020-0106.

Plisky, P. J., Gorman, P. P., Butler, R. J., Kiesel, K. B., Underwood, F. B., & Elkins, B. (2009). The Reliability of an Instrumented Device for Measuring Components of the Star Excursion Balance Test. *North American Journal of Sports Physical Therapy : NAJSPT*, *4*(2), 92-99.

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. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical*

Therapy, *36*(12), 911-919. https://doi.org/10.2519/jospt.2006.2244.

Priego-Quesada, J. I. (Ed.). (2016). *Application of Infrared Thermography in Sports Science* (1st ed. 2017 edition). Springer.

Priego-Quesada, J. I. (Ed.). (2025). *Application of Infrared Thermography in Sports Science*. Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-93311-0.

Priego-Quesada, J. I., Carpes, F. P., Bini, R. R., Salvador Palmer, R., Pérez-Soriano, P., & Cibrián Ortiz de Anda, R. M. (2015). Relationship between skin temperature and muscle activation during incremental cycle exercise. *Journal of Thermal Biology*, *48*, 28-35. https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2014.12.005.

Quintana, M., Carmona, P., & Fernández Cuevas, I. (2017). *Infrared Thermography as a Means of Monitoring and Preventing Sports Injuries* (ss. 165-198). https://doi.org/10.4018/978-1-5225-2072-6.ch008.

Quintana, M., Fernández Cuevas, I., Arnaiz-Lastras, J., & Marins, J. (2015). *TERMOINEF Group protocol for thermographic assessment in humans*. https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1749.2969.

Shakhih, M. F. M., Ridzuan, N., Wahab, A. A., Zainuddin, N. F., Delestri, L. F. U., Rosslan, A. S., & Kadir, M. R. A. (2021). Non-obstructive monitoring of muscle fatigue for low intensity dynamic exercise with infrared thermography technique. *Medical & Biological Engineering & Computing*, *59*(7), 1447-1459. https://doi.org/10.1007/s11517-021-02387-x.

Stiffler, M. R., Bell, D. R., Sanfilippo, J. L., Hetzel, S. J., Pickett, K. A., & Heiderscheit, B. C. (2017). Star Excursion Balance Test Anterior Asymmetry Is Associated With Injury Status in Division I Collegiate Athletes. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, *47*(5), 339-346. https://doi.org/10.2519/jospt.2017.6974.

Tsilimigkras, T., Kakkos, I., Matsopoulos, G., & Bogdanis, G. (2024). Enhancing sports injury risk assessment in soccer through machine learning and training load analysis. *Journal of Sports Science and Medicine*, *23*(3), 537-550. https://doi.org/10.52082/jssm.2024.537.

Turnbull, M. R., Gallo, T. F., Carter, H. E., Drew, M., Toohey, L. A., & Waddington, G. (2024). Estimating the cost of sports injuries: A scoping review. *Journal of science and medicine in sport*, *27*(5), 307-313.

Vardasca, R., Ring, E. F. J., Plassmann, P., & Jones, C. (2012). Termal symmetry of the upper and lower extremities in healthy subjects. *Thermology International*, *22*(2), 53-60.

Young, W. B., & Behm, D. G. (2002). Should Static Stretching Be Used During a Warm-Up for Strength and Power Activities? *Strength & Conditioning Journal*, *24*(6), 33.

EXTENDED ENGLISH SUMMARY

Introduction: Sports injuries present severe challenges across both elite and amateur sports domains, directly hindering athletic performance, truncating professional careers, and incurring substantial financial burdens. Epidemiological data indicate that annual injury incidence rates among athletes fluctuate between 50% and 70%, with lower extremity conditions comprising over 60% of these occurrences. Within the lower extremity spectrum, the knee joint remains exceptionally vulnerable to disruptive pathologies—such as anterior cruciate ligament (ACL) tears, meniscal lesions, and patellofemoral pain syndrome—which frequently result in protracted rehabilitation phases lasting 6 to 12 months, and prevent 30% to 40% of affected athletes from regaining prior performance levels. Consequently, shifting the medical paradigm from reactive treatments toward proactive, non-invasive risk screening has become a primary objective in contemporary sports medicine and sports science. To optimize field-based injury prevention, sports practitioners increasingly deploy non-invasive diagnostic tools that evaluate discrete bodily mechanisms. Two prominent methodologies utilized within this scope are Infrared Thermography (IRT) and the Star Excursion Balance Test (SEBT). IRT operates as a contact-free, physiological imaging modality that maps surface radiation to visualize underlying thermal anomalies, local tissue metabolism, hemodynamic alterations, and subclinical inflammatory processes. In sports physiology, a bilateral skin temperature asymmetry exceeding 0.4 °C within an identical region of interest (ROI) is widely established as a marker of physiological stress or elevated injury risk. Conversely, the SEBT is a functional, biomechanical performance screening tool designed to evaluate dynamic postural control, neuromuscular coordination, proprioceptive feedback, and functional joint mobility. Biomechanical research indicates that a right-to-left reach distance discrepancy equal to or greater than 4 cm in the anterior direction correlates with a 2.5-fold increase in lower extremity injury risk. While both screening instruments have independently demonstrated prospective utility in predicting injury risks, a distinct gap persists in the scientific literature regarding how their respective risk classifications correlate or overlap within the same athletic cohort. Therefore, the primary objective of this investigation was to compare the injury risk classifications generated by physiological IRT profiling and biomechanical SEBT tracking in the assessment of the knee joint, while exploring their diagnostic agreement and direct correlation matrices. The core hypotheses postulated that a statistically significant diagnostic agreement would manifest between the categorical risk stratifications of IRT and SEBT, and that their continuous performance metrics would show a complementary relationship. ***Methods:*** This investigation employed an observational, cross-sectional, and correlational research design. The initial screening cohort comprised 36 volunteer male students from the Faculty of Sports Sciences. Candidates who exhibited joint discomfort during testing or had sustained lower extremity injuries or surgical interventions within the preceding year were excluded. Ultimately, 28 physically active male participants who strictly satisfied all tracking and behavioral standardizations completed the full protocol. To justify sample sufficiency, a post-hoc statistical power analysis was executed using G*Power software (Version 3.1.9.7). Utilizing a two-tailed bivariate normal model with an input effect size (Correlation rho) of 0.50 and a significance threshold (α) of 0.05, the accomplished statistical power was calculated at 79.92% ($1-\beta = 0.799$). This mathematical output demonstrates that the sample size of 28 was sufficient to reliably capture major variations without inflating Type-1 error rates. The testing protocols for IRT and SEBT were spaced exactly two days apart to prevent residual physical fatigue from confounding the data. Prior to the SEBT, participants underwent a traditional dual-phase warm-up consisting of a 10-minute submaximal running bout followed by targeted dynamic stretching routines. For the IRT trial, participants first completed a 5-minute treadmill warm-up at 5 km/h, which immediately transitioned into a progressive incremental running protocol. Running velocity commenced at 8 km/h and escalated by a steady increment each minute up to 12 km/h; thereafter, the treadmill incline was elevated by 2% every minute until the participant reached maximal voluntary exhaustion. Thermal imaging was executed immediately at the cessation of the treadmill protocol without any temporal delay. Dynamic balance was recorded via a standardized 3-directional SEBT protocol (Anterior [ANT], Posteromedial [PM], and Posterolateral [PL] vectors) following a 6-trial familiarization block to eliminate learning curve biases. Strict execution rules were enforced: the

stance foot's heel had to maintain continuous floor contact, hands were fixed firmly on the iliac crests, and any loss of balance invalidated the trial, requiring a retest. Reach data were normalized against true limb length (measured from the anterior superior iliac spine to the medial malleolus). Functional risk categories were derived using three distinct literature thresholds: a composite reach score below 94%, an absolute ANT reach asymmetry ≥ 4 cm, and a normalized ANT reach asymmetry ≥ 4.5%. IRT capturing utilized a high-resolution FLIR T620 infrared camera (640x480 pixels) within a drafts-free, thermoneutral environment following a 10-minute passive acclimatization period. Tissue emissivity was locked at 0.98, and thermal frames were analyzed via FLIR ResearchIR software (Version 4.40.7.26). The bilateral knee ROIs were manually segmented based on rigid anatomical markers, bordered proximally by the quadriceps tendon and the distal margins of the vastus medialis and lateralis, laterally by the iliotibial tract and proximal fibular head, medially by the patellar retinaculum and collateral ligament, and distally by the tibial tuberosity. Within these custom ROIs, pixel-extracted minimum, maximum, and average skin surface temperatures were gathered, with an absolute bilateral temperature difference exceeding 0.4°C denoting a positive physiological asymmetry risk. Continuous associations were tested using Spearman's Rank Correlation (r), whereas categorical dependencies and diagnostic agreements were computed using Fisher's Exact Test and Cohen's Kappa (k) coefficients via SPSS 25.0 ($p < 0.05$). ***Results***: The descriptive characteristics of the active male sample (N=28) were logged as follows: age = 22.93 ± 1.59 years, stature = 178.30 ± 5.10 cm, body mass = 73.28 ± 6.63 kg, and Body Mass Index (BMI) = 23.05 ± 1.84 kg/m2. Mean SEBT composite scores reached 92.27% ± 5.70% on the right limb and 92.39% ± 6.12% on the left limb. Post-exercise knee surface temperatures averaged 29.01°C and 29.05°C for the right and left sides, respectively, yielding a baseline absolute bilateral thermal asymmetry of 0.31 ± 0.30 °C across the cohort. Spearman matrix testing showed that absolute thermal asymmetry values did not correlate with any demographic metrics ($p > 0.05$). However, significant negative correlations were found between participant body mass and right knee maximum temperature ($r = -0.466$, $p = 0.012$), right knee average temperature ($r = -0.432$, $p = 0.022$), left knee maximum temperature ($r = -0.407$, $p = 0.032$), and left knee average temperature ($r = -0.395$, $p = 0.037$). Similarly, BMI shared a negative correlation with the maximum temperatures of both the right ($r = -0.406$, $p = 0.032$) and left ($r = -0.419$, $p = 0.026$) knee structures. Risk prevalence calculations revealed that 9 athletes (32.1%) exhibited significant physiological risk based on the IRT asymmetry threshold (> 0.4 °C). Under the SEBT structural risk definitions, 19 individuals (67.9%) were classified as at-risk based on the composite reach threshold (< 94%), 7 individuals (25.0%) presented absolute ANT asymmetry risk (≥ 4 cm), and 4 individuals (14.3%) retained normalized ANT asymmetry risk (≥ 4.5%). Fisher's Exact Test established that there was no statistically significant categorical dependence between the physiological IRT risk allocations and any of the three functional SEBT risk classifications ($p > 0.05$). Furthermore, Cohen's Kappa diagnostics demonstrated a complete absence of meaningful agreement between the screening techniques across all evaluated criteria (Composite reach risk: $k = -0.140$, $p = 0.337$; Absolute ANT asymmetry risk: $k = 0.130$, $p = 0.483$; Normalized ANT asymmetry risk: $k = -0.055$, $p = 0.741$). Crucially, continuous correlation analyses identified a statistically significant negative relationship between the absolute ANT reach asymmetry and the minimum and average thermal parameters of both knees: right knee minimum temperature ($r = -0.486$, $p = 0.009$), right knee average temperature ($r = -0.432$, $p = 0.022$), left knee minimum temperature ($r = -0.588$, $p = 0.001$), and left knee average temperature ($r = -0.518$, $p = 0.005$). No significant correlations emerged between reach asymmetries and the maximum knee temperatures or bilateral thermal difference scores ($p > 0.05$). Discussion: The empirical findings of this study underscore that physiological profiling via IRT and functional balance assessment via SEBT identify separate, non-overlapping risk profiles. The lack of categorical dependence and the low Kappa scores ($k < 0.40$) indicate that an athlete identified as high-risk under a thermal imaging protocol will not necessarily display functional or proprioceptive limitations during a dynamic balance test. This finding highlights the multifactorial nature of sports injuries, demonstrating that separate injury mechanisms operate along distinct physiological and biomechanical pathways. An anomaly at the microvascular level may present as a thermal asymmetry without limiting physical performance; conversely, a mechanoreceptive or proprioceptive deficit might alter reach distance

without causing surface thermal adjustments. The negative correlation observed between body mass/BMI and post-exercise knee surface temperatures aligns with established principles of human thermoregulation and tissue composition. Adipose tissue acts as an insulating barrier that limits the conductive transfer of metabolic heat from active muscle beds to the skin surface. Consequently, individuals with greater body mass display lower post-exhaustion surface temperatures within the designated knee ROI. Furthermore, the manual standardisation of the knee ROI using specific anatomical boundaries helps address a common limitation in sports thermography literature, where poorly defined measurement areas often limit the reproducibility of findings. Regarding the functional metrics, the mean SEBT composite scores obtained in this study (~92.3%) were slightly lower than values typically reported for elite professional cohorts (~95% to 103%). This variation is likely attributable to differences in competitive level and sport-specific training backgrounds. Methodological factors also influence these outcomes; recent literature highlights that hand positioning significantly affects dynamic balance scores. Specifically, isolating the hands on the iliac crests reduces upper-body momentum and spinal compensation, which lowers the composite reach score by approximately 4.3% compared to unrestricted testing protocols. Adhering to this hands-on-hip restriction in the current study ensured a strict assessment of core stability and ankle-knee neuromuscular control. A notable finding was the significant negative correlation between absolute ANT reach asymmetry and the minimum and average temperatures of both knee regions. Rather than demonstrating a direct link between injury risks, this relationship reflects the acute effects of localized warm-up protocols on tissue mechanics. Elevated joint temperature enhances localized blood circulation, decreases intra-articular visco-elastic resistance, and improves myofascial compliance. Consequently, participants who maintained higher post-exercise knee temperatures achieved more symmetrical and consistent reach patterns in the anterior direction. This supports the use of targeted warm-up strategies to optimize joint mobility and structural symmetry. ***Conclusion***: In conclusion, Infrared Thermography and the Star Excursion Balance Test evaluate distinct aspects of musculoskeletal health and injury risk. IRT functions as a diagnostic tool for localized circulatory strain, cellular stress, and subclinical inflammatory responses. In contrast, the SEBT serves as an indicator of dynamic balance, mechanical stability, and proprioceptive control. Because these screening methods do not predict or explain one another's outcomes, they should be viewed as complementary components of a comprehensive injury prevention protocol rather than interchangeable alternatives. From a practical perspective, sports organizations and clinical practitioners can combine both tools to optimize screening workflows under resource constraints. The SEBT represents a low-cost, space-efficient, and rapid screening option suitable for large-scale baseline testing and routine field assessments. While IRT requires greater financial investment and specialized technical training, it provides valuable physiological data for monitoring recovery, managing training loads, and detecting early-stage tissue stress before movement restrictions develop. Athletes who exhibit positive risk markers on both assessments should be prioritized for targeted training modifications and corrective exercises. Future research should utilize larger, more diverse cohorts encompassing elite athletes, female populations, and varied sport-specific groups to improve the generalizability of these findings. Prospective longitudinal designs are also needed to track actual injury incidence rates and confirm the predictive validity of these screen markers over time. Finally, integrating automated region-of-interest segmentation with machine learning models that synthesize physiological, mechanical, and workload metrics could significantly enhance the accuracy of automated injury risk modeling in sports science.