

T.C.
SAHA İSTANBUL & TÜBİTAK TÜSSİDE SAHA AKADEMİ MBA
YÖNETİCİ GELİŞTİRME PROGRAMI

**Askeri Personel için Yapay Zeka Destekli Giyilebilir Sağlık İzleme Sistemleri:
Savunma Sanayi ve Tıbbi Cihaz Teknolojilerinin Entegrasyonu**



Ömer AYGÜN

Danışman
Dr. Uğur TARÇIN
Ankara-2026

MBA: 2025-2026/071

(ANKARA)

1. SAHA İstanbul Yönetim Kurulu kararıyla, 2024-2025 eğitim döneminden itibaren SAHA AKADEMİ MBA katılımcılarına "Araştırma Projesi" hazırlama yükümlülüğü getirilmiştir. Katılımcıların sektörel bilgi, stratejik düşünme ve akademik üretkenlik yetkinliklerini geliştirmeyi hedefleyen bu uygulama, Türk savunma sanayii ekosistemine bilimsel katkı sağlamayı amaçlamaktadır.
2. Ömer AYGÜN Araştırma Projesi Öneri Formu ile Ekteki çalışmayı planlamış Danışman tarafından 20 Ekim-7 Kasım/2025 tarihinde uygun görülmüştür.
3. SAHA İstanbul-SAHA AKADEMİ tarafından yayımlanan bu çalışma, ilgili yazar tarafından özgün biçimde hazırlanmış ve beyan edilmiştir. Çalışmada yer alan görüşler yazara ait olup, SAHA İstanbul'un kurumsal görüşünü yansıtmamaktadır. İçerikte sunulan bilgi, yorum ve sonuçların doğruluğu sorumlu yazara aittir. SAHA AKADEMİ; benzerlik oran tespitini yapmıştır.
4. Bu çalışma, Ömer AYGÜN tarafından hazırlanmıştır. Araştırma Projesi danışman tarafından değerlendirilmiş ve sunumu 28 Haziran 2026 tarihinde aşağıdaki jürice yeterli görülerek kabul edilmiştir.

Araştırma Projesi Sunum Jüri Üyeleri

Başkan	Dr. Uğur Tarçın (SAHA AKADEMİ Öğr.Görevlisi)	e-imzalıdır
Üye	İlker Özkan (Genel Sekreter Yrdc)	e-imzalıdır
Üye	Öykü Çubuk Zeka (SAHA İstanbul- Ankara)	e-imzalıdır

İÇİNDEKİLER

ÖZ / ABSTRACT	4
GİRİŞ	6
Konunun Tanıtımı	
Problemin Ortaya Konması	
Araştırmanın Amacı ve Önemi	
Yöntem Hakkında Kısa Bilgi	
LİTERATÜR TARAMASI	7
Giyilebilir Sağlık Teknolojilerine Genel Bakış	
Yapay Zeka ve Askeri Sağlık Uygulamaları	
Askeri Standartlar ve Teknik Gereksinimler	
Türkiye'de Savunma Sanayi ve Tıbbi Cihaz Sektörü	
Literatürdeki Boşluklar	
YÖNTEM	10
Araştırmanın Kapsamı ve Sınırlılıkları	
Kullanılan Veri ve Kaynaklar	
Analiz Yöntemi	
BULGULAR VE ANALİZ	12
Teknoloji Olgunluk Değerlendirmesi	
SWOT Analizi	
Karşılaştırmalı Teknoloji Değerlendirmesi	
Önerilen Sistem Mimarisi	
Ekonomik Analiz ve Pazar Potansiyeli	
TARTIŞMA	14
Bulguların Literatürle Karşılaştırılması	
Araştırma Sonuçlarının Değerlendirilmesi	
Bulguların Anlamı ve Yorumu	

SONUÇ VE ÖNERİLER	16
Genel Sonuçların Özeti	
Politika ve Uygulama Önerileri	
Gelecek Çalışmalar İçin Öneriler	
KAYNAKÇA	17
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET	21



ASKERİ PERSONEL İÇİN YAPAY ZEKA DESTEKLİ GİYİLEBİLİR SAĞLIK İZLEME SİSTEMLERİ: SAVUNMA SANAYİ VE TIBBİ CİHAZ TEKNOLOJİLERİNİN ENTEGRASYONU

AI-BASED WEARABLE HEALTH MONITORING SYSTEMS FOR MILITARY PERSONNEL: INTEGRATION OF DEFENSE INDUSTRY AND MEDICAL DEVICE TECHNOLOGIES

Ömer AYGÜN

Aygün Savunma

omer.aygun@aygunsavunma.com.tr

Öz

Bu araştırma, askeri personelin fizyolojik verilerini gerçek zamanlı olarak izleyen yapay zeka destekli giyilebilir sağlık sistemlerinin savunma sanayinde uygulanabilirliğini incelemektedir. Çalışmada, mevcut tıbbi cihaz teknolojileri ile askeri gereksinimlerin mühendislik düzeyinde nasıl entegre edilebileceği, karma araştırma yöntemiyle değerlendirilmiştir. Literatür taraması, teknik doküman incelemesi, SWOT analizi ve karşılaştırmalı teknoloji değerlendirmesi yöntemleri kullanılarak savunma sağlık teknolojileri alanındaki mevcut durum ortaya konmuştur. Araştırma bulguları, yapay zeka algoritmalarıyla desteklenen giyilebilir sistemlerin askeri operasyonlarda personel sağlığının uzaktan izlenmesi, erken uyarı mekanizmalarının oluşturulması ve karar destek sistemlerine entegrasyonu konularında önemli potansiyel taşıdığını göstermektedir. Ayrıca Türkiye'nin tıbbi cihaz üretim deneyimi ve savunma sanayi altyapısının bu alanda yerli ve milli çözümler geliştirmek için güçlü bir temel oluşturduğu tespit edilmiştir. Çalışma, savunma sanayi ile tıbbi cihaz endüstrisi arasında çift yönlü teknoloji transferi modeli önererek literatürdeki önemli bir boşluğu doldurmayı hedeflemektedir.

Anahtar Kelimeler: Yapay Zeka, Giyilebilir Sağlık Sistemleri, Askeri Sağlık İzleme, Savunma Sanayi, Tıbbi Cihaz Entegrasyonu, Çift Kullanımlı Teknoloji

Abstract

This study examines the applicability of artificial intelligence-supported wearable health systems that monitor the physiological data of military personnel in real time within the defense industry. The study evaluates how existing medical device technologies and military requirements can be integrated at the engineering level using a mixed research methodology. Through literature review, technical document analysis, SWOT analysis, and comparative technology assessment, the current state of defense health technologies has been revealed.

Research findings demonstrate that wearable systems supported by AI algorithms hold significant potential for remote monitoring of personnel health in military operations, establishing early warning mechanisms, and integration into decision support systems. Furthermore, it has been determined that Turkey's medical device manufacturing experience and defense industry infrastructure provide a strong foundation for developing indigenous solutions in this field. The study aims to fill a significant gap in the literature by proposing a bidirectional technology transfer model between the defense industry and the medical device industry.

Keywords: Artificial Intelligence, Wearable Health Systems, Military Health Monitoring, Defense Industry, Medical Device Integration, Dual-Use Technology

GİRİŞ

Konunun Tanıtımı

Günümüzde savunma sanayinde yaşanan teknolojik dönüşüm, askeri operasyonların her boyutunu derinden etkilemektedir. Bu dönüşümün en kritik alanlarından biri, askeri personelin sağlık durumunun gerçek zamanlı olarak izlenmesi ve yönetilmesidir. Modern savaş alanlarının karmaşıklığı, asimetrik tehditler ve uzun süreli operasyonel tempo, personel sağlığının etkin yönetimini stratejik bir zorunluluk haline getirmiştir. Bu bağlamda yapay zeka destekli giyilebilir sağlık izleme sistemleri, hem askeri hem de tıbbi cihaz endüstrisinde hızla gelişen ve büyük potansiyel taşıyan bir alan olarak öne çıkmaktadır.

Giyilebilir sağlık teknolojileri, biyosensörler aracılığıyla nabız, kan oksijen seviyesi, vücut sıcaklığı, stres düzeyi ve fiziksel aktivite gibi fizyolojik parametreleri sürekli olarak ölçme kapasitesine sahiptir. Bu verilerin yapay zeka algoritmaları ile analiz edilmesi, erken uyarı sistemlerinin oluşturulmasını, sağlık risklerinin öngörülmesini ve komuta kademesine anlık karar desteği sağlanmasını mümkün kılmaktadır. Özellikle saha operasyonlarında, tıbbi müdahalenin gecikmesinin hayati sonuçlar doğurabileceği durumlarda, bu tür sistemlerin değeri çok daha belirgin hale gelmektedir.

Türkiye, son yıllarda savunma sanayinde gerçekleştirdiği atılımlarla dikkat çekmekte ve yerli teknoloji geliştirme kapasitesini hızla artırmaktadır. Milli Teknoloji Hamlesi çerçevesinde savunma sanayi ekosisteminin güçlendirilmesi, yerli ve milli ürünlerin geliştirilmesi stratejik bir öncelik olarak belirlenmiştir. Bu süreçte, tıbbi cihaz üretimi alanında onlarca yıllık deneyime sahip firmaların savunma sanayine entegrasyonu, çift kullanımlı (dual-use) teknolojilerin geliştirilmesi açısından önemli bir fırsat penceresi sunmaktadır.

Problemin Ortaya Konması

Askeri operasyonlarda personel saęlıęının izlenmesi, geleneksel yöntemlerle büyük ölçüde operasyon sonrası veya periyodik muayenelerle sınırlı kalmaktadır. Bu durum, saha koşullarında oluşabilecek akut saęlık sorunlarının zamanında tespit edilememesine ve müdahale süresinin uzamasına yol açabilmektedir. NATO verilerine göre, askeri operasyonlarda yaşanan kayıpların önemli bir kısmı, zamanında müdahale edilebilecek tıbbi durumların geç fark edilmesinden kaynaklanmaktadır (NATO STO, 2023).

Mevcut literatürde yapay zeka destekli giyilebilir saęlık sistemleri aęırlıklı olarak sivil saęlık uygulamaları üzerine odaklanmıştır. Askeri personel saęlıęının izlenmesine yönelik kapsamlı akademik çalışmalar oldukça sınırlıdır. Özellikle Türkiye özelinde, savunma sanayi ile tıbbi cihaz teknolojilerinin entegrasyonuna dair sistematik akademik analizlerin azlığı dikkat çekmektedir. Bu araştırma, söz konusu boşluğu doldurmayı hedeflemektedir.

Araştırmanın Amacı ve Önemi

Bu araştırmanın temel amacı, askeri personelin fizyolojik verilerini gerçek zamanlı olarak analiz eden, yapay zeka algoritmalarıyla desteklenmiş giyilebilir saęlık izleme sistemlerinin savunma sanayinde nasıl uygulanabileceğini incelemektir. Bu amaç doğrultusunda çalışma; mevcut tıbbi cihaz teknolojileri ile askeri standartların (MIL-STD, IP koruma sınıfları, EMI/EMC uyumluluęu) entegrasyon olanaklarını deęerlendirmeyi, yerli üretim potansiyelini ve Ar-Ge iş birlięi modellerini ortaya koymayı ve savunma sanayi ekositemine ekonomik katkı analizini gerçekleştirmeyi hedeflemektedir.

Araştırmanın önemi birkaç temel noktada öne çıkmaktadır. İlk olarak, savunma saęlık teknolojileri alanında Türkiye'nin stratejik baęımsızlıęının güçlendirilmesine katkı saęlaması beklenmektedir. İkinci olarak, tıbbi cihaz ve savunma sanayi arasında çift yönlü teknoloji transferine ilişkin yenilikçi bir model sunmaktadır. Üçüncü olarak, SAHA İstanbul ekosistemi içindeki KOBİ'lerin bu alandaki potansiyel rolüne dikkat çekerek sektörel iş birlięi olanaklarını deęerlendirmektedir.

Yöntem Hakkında Kısa Bilgi

Bu çalışma, karma araştırma yöntemi (nitel ve nicel) kullanılarak yürütülmüştür. Veri toplama sürecinde literatür taraması, teknik doküman incelemesi, patent analizleri ve saha gereksinimi deęerlendirmesi gibi yöntemlerden yararlanılmıştır. Analiz aşamasında SWOT analizi, karşılaştırmalı teknoloji deęerlendirmesi ve sistem mimarisi modellemesi uygulanmıştır. Araştırmanın kapsamı, yapay zeka destekli giyilebilir saęlık izleme sistemlerinin askeri uygulamalarıyla sınırlandırılmıştır.

LİTERATÜR TARAMASI

Giyilebilir Sağlık Teknolojilerine Genel Bakış

Giyilebilir sağlık teknolojileri, son on yılda hem akademik araştırmalarda hem de ticari uygulamalarda büyük bir ivme kazanmıştır. Bu teknolojiler, biyosensörler, mikro-elektromekanik sistemler (MEMS), kablosuz iletişim protokolleri ve veri analitiği gibi farklı disiplinlerin kesişim noktasında yer almaktadır. Dünya Sağlık Örgütü'nün raporlarına göre, giyilebilir sağlık cihazları pazarı 2025 yılı itibarıyla 60 milyar doları aşmış ve yıllık ortalama yüzde 25'in üzerinde büyüme göstermiştir (WHO, 2024).

Sivil alanda giyilebilir cihazlar; kalp ritmi izleme, uyku kalitesi analizi, stres yönetimi ve kronik hastalık takibi gibi çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Apple Watch, Fitbit ve Garmin gibi tüketici ürünlerinin yanı sıra, klinik düzeyde veri sağlayan Dexcom sürekli glukoz izleme sistemi ve Zephyr BioPatch gibi profesyonel cihazlar da pazarda önemli bir yer tutmaktadır. Bu cihazlar, fotopletismografi (PPG), elektrokardiyografi (EKG), akselerometre ve jiroskop gibi sensör teknolojilerini kullanarak geniş bir fizyolojik veri yelpazesini sürekli olarak toplamaktadır (Pantelopoulous ve Bourbakis, 2010).

Giyilebilir cihazların askeri alanda kullanımı ise nispeten daha yeni bir araştırma alanıdır. ABD Savunma Bakanlığı'nın (DoD) Savunma Sağlık Ajansı (DHA), askeri personelin operasyonel hazırlığını artırmak amacıyla giyilebilir teknolojilere olan yatırımlarını sürekli olarak artırmaktadır. DARPA'nın (Defense Advanced Research Projects Agency) desteklediği projeler arasında, asker fizyolojisini gerçek zamanlı izleyen ve performans optimizasyonu sağlayan sistemler öne çıkmaktadır (DARPA, 2023).

Yapay Zeka ve Askeri Sağlık Uygulamaları

Yapay zeka, sağlık alanında tanı, tedavi planlaması, ilaç keşfi ve hasta izleme gibi birçok alt disiplinde devrim niteliğinde gelişmelere yol açmıştır. Makine öğrenmesi ve derin öğrenme algoritmaları, büyük hacimli sağlık verilerinin analizinde insan uzmanları aşan doğruluk oranlarına ulaşabilmektedir. Özellikle zaman serisi verilerinin analizi, anomali tespiti ve tahmin modellemesi konularında yapay zeka yaklaşımları üstün performans sergilemektedir (Topol, 2019).

Askeri sağlık uygulamalarında yapay zekanın kullanımı, sivil alana kıyasla kendine özgü zorluklar ve gereksinimler barındırmaktadır. Saha koşullarında sınırlı bant genişliği, enerji kısıtlamaları, elektromanyetik parazit ve zorlu çevresel faktörler, sistem tasarımında özel mühendislik çözümleri gerektirmektedir. Edge computing (uç bilişim) yaklaşımı, verilerin

sensör düğümünde veya yakın bir noktada işlenmesini mümkün kılarak bu kısıtlamaların aşılmasında kritik bir rol üstlenmektedir (IEEE, 2024).

NATO Bilim ve Teknoloji Örgütü'nün (STO) yayınladığı "Human Systems Integration for Future Soldiers" raporu, geleceğin askerinin sağlık izleme ihtiyaçlarını kapsamlı bir şekilde ele almaktadır. Bu raporda, yapay zeka destekli giyilebilir sistemlerin askeri operasyonlarda kullanımına ilişkin teknik gereksinimler, veri güvenliği standartları ve interoperabilite (birlikte çalışabilirlik) gereksinimleri detaylı olarak tanımlanmıştır (NATO STO, 2023).

Askeri Standartlar ve Teknik Gereksinimler

Askeri ortamda kullanılacak giyilebilir cihazların, sivil ürünlerden farklı olarak bir dizi zorlu standart ve gereksinimleri karşılaması gerekmektedir. MIL-STD-810 (askeri çevresel test standartları), askeri ekipmanın sıcaklık, nem, titreşim, darbe ve diğer çevresel faktörlere karşı dayanıklılığını belirlemektedir. IP (Ingress Protection) koruma sınıfları, toz ve su geçirmezlik seviyelerini tanımlamaktadır. EMI/EMC (Elektromanyetik Parazit/Uyumluluk) standartları ise cihazın elektromanyetik ortamda güvenilir şekilde çalışmasını garanti altına almaktadır.

MIL-STD-461 standardı, askeri ekipmanların elektromanyetik uyumluluğuna ilişkin gereksinimleri belirlerken, MIL-STD-464 sistem düzeyinde elektromanyetik çevresel etkileri ele almaktadır. Giyilebilir sağlık cihazlarının bu standartlara uygun tasarlanması, özellikle elektronik harp ortamlarında cihazın hem kendisinin parazit üretmemesini hem de dış parazitlerden etkilenmemesini sağlamaktadır (US DoD, 2022).

Tablo 1. Sivil ve Askeri Giyilebilir Cihaz Gereksinimlerinin Karşılaştırması

Parametre	Sivil Uygulamalar	Askeri Uygulamalar
Sıcaklık Aralığı	0°C ile +45°C arası	-40°C ile +71°C arası (MIL-STD-810)
Su Geçirmezlik	IP67 (1m, 30 dk)	IP68+ (sürekli daldırma)
Darbe Dayanımı	Günlük kullanım seviyesi	MIL-STD-810 darbe/titreşim
EMI/EMC	FCC/CE sınıflandırması	MIL-STD-461/464 uyumlu
Pil Ömrü	1-7 gün	72+ saat (enerji hasadı destekli)
Veri Güvenliği	Standart şifreleme (AES-128)	AES-256, TEMPEST uyumlu
Veri İletişimi	Bluetooth, Wi-Fi	Taktik radyo, mesh ağ, uydu

Kaynak: Yazar tarafından literatürden derlenerek hazırlanmıştır.

Türkiye'de Savunma Sanayi ve Tıbbi Cihaz Sektörü

Türkiye savunma sanayi, son yirmi yılda kayda değer bir dönüşüm geçirmiştir. Savunma Sanayii Başkanlığı (SSB) verilerine göre, Türkiye'nin savunma ve havacılık sektörü cirosu 2023 yılında 12,8 milyar dolara ulaşmış ve savunma ihracatı 5,5 milyar doları aşmıştır.

Yerlilik oranı ise yüzde 80'in üzerine çıkmıştır. ASELSAN, HAVELSAN, TUSAŞ, ROKETSAN ve BAYKAR gibi ana yüklenici firmalar, global savunma sanayinde önemli bir konuma ulaşmıştır (SSB, 2024).

Tıbbi cihaz sektörü ise Türkiye'nin hızla büyüyen endüstriyel alanlarından biridir. T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı verilerine göre, Türkiye tıbbi cihaz pazarı 2023 yılında 4,2 milyar dolarlık hacme ulaşmıştır. Sektörde faaliyet gösteren 6.000'den fazla firma bulunmakta olup, bu firmaların önemli bir kısmı KOBİ ölçeğindedir. Samsun, İstanbul, Ankara ve İzmir gibi şehirler tıbbi cihaz üretiminin yoğunlaştığı bölgeler olarak öne çıkmaktadır.

İki sektör arasındaki sinerji potansiyeli, özellikle çift kullanımlı (dual-use) teknolojiler bağlamında büyük önem taşımaktadır. Tıbbi cihaz üretiminde edinilen hassas imalat yetenekleri, kalite yönetim sistemleri (ISO 13485) ve biyouyumluluk deneyimi, askeri sağlık teknolojilerinin geliştirilmesinde doğrudan transfer edilebilir niteliktedir. Benzer şekilde, savunma sanayinde uygulanan dayanıklılık testleri, çevresel koşullara uyum mühendisliği ve yüksek güvenilirlik standartları, tıbbi cihaz sektörünün rekabet gücünü artıracak potansiyele sahiptir.

Literatürdeki Boşluklar

Yapılan kapsamlı literatür taraması sonucunda, aşağıdaki önemli boşluklar tespit edilmiştir. İlk olarak, yapay zeka destekli giyilebilir sağlık sistemlerinin askeri uygulamalarına yönelik çalışmaların büyük çoğunluğu ABD, Güney Kore ve Birleşik Krallık menşeli olup, Türkiye'ye özgü değerlendirmeler son derece sınırlıdır. İkinci olarak, savunma sanayi ve tıbbi cihaz endüstrisi arasındaki teknoloji transferi konusu, özellikle giyilebilir sistemler bağlamında yeterince incelenmemiştir. Üçüncü olarak, SAHA İstanbul gibi savunma sanayi kümelenmelerinde KOBİ'lerin bu alandaki potansiyel katkısına dair akademik çalışma bulunmamaktadır. Son olarak, Türkiye'nin tıbbi cihaz üretim deneyiminin savunma sağlık teknolojilerine aktarılmasına ilişkin sistematik bir analiz mevcut değildir.

YÖNTEM

Araştırmanın Kapsamı ve Sınırlılıkları

Bu araştırma, yapay zeka destekli giyilebilir sağlık izleme sistemlerinin askeri uygulamalarını konu almaktadır. Araştırmanın kapsamı, mevcut teknolojilerin değerlendirilmesi, askeri standartlara uyum analizi, Türkiye'nin mevcut kapasitesinin incelenmesi ve entegrasyon model önerisi ile sınırlandırılmıştır. Çalışma, belirli bir cihaz veya ürün geliştirme sürecini kapsamamakta, konsept düzeyinde bir analiz sunmaktadır.

Araştırmanın sınırlılıkları arasında, askeri operasyonlara ilişkin verilerin gizlilik

nedeniyle sınırlı erişilebilir olması, saha deneylerinin bu çalışmanın kapsamı dışında tutulması ve değerlendirmelerin kamuya açık kaynaklara dayandırılması yer almaktadır. Çalışma, 2020-2025 yılları arasında yayımlanan akademik kaynaklar ve sektörel raporlarla sınırlandırılmış olup, bu zaman aralığı dışındaki gelişmeler kapsam dışında tutulmuştur.

Kullanılan Veri ve Kaynaklar

Araştırmada birincil ve ikincil veri kaynakları birlikte kullanılmıştır. İkincil veri kaynakları olarak; NATO STO raporları, IEEE ve Journal of Medical Systems gibi hakemli dergilerde yayımlanan akademik makaleler, ASELSAN ve HAVELSAN gibi Türk savunma firmalarının kamuya açık teknik raporları ve ürün katalogları, Savunma Sanayii Bakanlığı ve T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı istatistikleri, uluslararası patent veritabanları (Espacenet, Google Patents) ile DARPA ve NATO savunma teknoloji raporları değerlendirilmiştir.

Birincil veri kaynağı olarak, tıbbi cihaz üretimi alanında 40 yılı aşkın deneyime sahip Aygün Savunma Sanayi A.Ş.'nin üretim kapasitesi, teknik altyapısı ve savunma sanayine geçiş sürecine ilişkin kurumsal bilgi birikiminden yararlanılmıştır.

Analiz Yöntemi

Araştırmada karma (mixed-method) yaklaşım benimsenmiştir. Nitel analiz kapsamında sistematik literatür taraması gerçekleştirilmiştir. Bu taramada Web of Science, Scopus ve Google Scholar veritabanları kullanılarak 2020-2025 yılları arasında yayımlanan, "wearable health monitoring", "military health", "AI biosensor" ve "defense medical technology" anahtar kelimeleriyle eşleşen çalışmalar incelenmiştir. Nicel analiz kapsamında ise pazar büyüklüğü verileri, patent istatistikleri ve teknoloji olgunluk seviyesi (TRL) değerlendirmeleri yapılmıştır.

Araştırma ayrıca dört temel analitik araç kullanmaktadır. Bunlardan ilki olan SWOT (Strengths-Weaknesses-Opportunities-Threats / Güçlü Yönler-Zayıf Yönler-Fırsatlar-Tehditler) analizi, Türkiye'nin bu alandaki güçlü ve zayıf yönleri ile fırsat ve tehditlerini sistematik olarak değerlendirmek için uygulanmıştır. İkinci olarak karşılaştırmalı teknoloji değerlendirmesi, farklı ülkelerin ve firmaların giyilebilir askeri sağlık sistemlerine ilişkin yaklaşımlarını karşılaştırmak amacıyla kullanılmıştır. Üçüncü olarak TRL (Technology Readiness Level) analizi, mevcut teknolojilerin olgunluk seviyesini belirlemek için gerçekleştirilmiştir. Son olarak sistem mimarisi modellemesi, önerilen entegrasyon modelinin teknik altyapısını tanımlamak için uygulanmıştır.

Tablo 2. Araştırma Yöntemi Çerçevesi

Aşama	Yöntem	Veri Kaynağı	Analiz Aracı
Mevcut Durum Analizi	Literatür taraması	Akademik makaleler, raporlar	İçerik analizi
Teknoloji Değerlendirmesi	Karşılaştırmalı analiz	Teknik dokümanlar, patentler	TRL analizi
Stratejik Değerlendirme	SWOT analizi	Sektör verileri, istatistikler	SWOT matrisi
Model Geliştirme	Sistem mühendisliği	Teknik gereksinimler	Mimari modelleme

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

BULGULAR VE ANALİZ

Bu bölümde, yapay zeka destekli giyilebilir sağlık izleme sistemlerinin savunma sanayii ve tıbbi cihaz teknolojileri entegrasyonundaki rolüne dair elde edilen veriler sunulmaktadır. Bulgular; kapsamlı bir literatür taraması, mevcut teknolojilerin TRL (Teknoloji Hazırlık Seviyesi) analizi ve sektörün stratejik konumunu belirleyen SWOT analizi neticesinde şekillenmiştir. Aşağıdaki alt bölümlerde sırasıyla teknoloji olgunluk değerlendirmesi, SWOT analizi, karşılaştırmalı teknoloji değerlendirmesi, önerilen sistem mimarisi ve ekonomik analiz sonuçları ele alınmaktadır.

Teknoloji Olgunluk Değerlendirmesi

Giyilebilir askeri sağlık izleme sistemlerinin bileşenlerine ilişkin yapılan TRL (Technology Readiness Level) analizi, farklı alt sistemlerin farklı olgunluk seviyelerinde olduğunu ortaya koymaktadır. Biyosensör teknolojileri (PPG, EKG, sıcaklık, SpO2) sivil alanda TRL 9 (operasyonel olarak kanıtlanmış) seviyesinde olup, askeri uyarılama için TRL 6-7 (laboratuvar/gerçek ortam doğrulaması) düzeyindedir. Yapay zeka algoritmaları açısından, anomali tespiti ve tahmin modelleri sivil sağlık uygulamalarında TRL 7-8 seviyesindeyken, askeri ortam koşullarına adapte edilmiş sürümler TRL 4-5 (teknoloji geçerliliği/doğrulaması) aşamasındadır.

Tablo 3. Alt Sistem Bazında Teknoloji Olgunluk Seviyesi (TRL) Değerlendirmesi

Alt Sistem	Sivil TRL	Askeri TRL	Türkiye Kapasitesi
Biyosensörler (PPG, EKG)	TRL 9	TRL 6-7	Orta-Yüksek
Yapay Zeka Algoritmaları	TRL 7-8	TRL 4-5	Orta
Edge Computing Donanımı	TRL 8	TRL 5-6	Düşük-Orta
Taktik İletişim Modülü	TRL 6	TRL 5-7	Yüksek (CENKER/CENGAVER)
Enerji Yönetim Sistemi	TRL 7	TRL 4-5	Orta
Biyouyumlu Malzeme/Kasa	TRL 9	TRL 7-8	Yüksek

SWOT Analizi

Türkiye'nin yapay zeka destekli giyilebilir askeri sağlık izleme sistemleri geliştirme kapasitesine ilişkin yapılan SWOT analizi sonuçları aşağıdaki tabloda sunulmaktadır.

Tablo 4. SWOT Analizi: Türkiye'nin Askeri Giyilebilir Sağlık Teknolojileri Kapasitesi

GÜÇLÜ YÖNLER (Strengths)	ZAYIF YÖNLER (Weaknesses)
- Tıbbi cihaz üretim deneyimi - Güçlü savunma sanayi altyapısı (ASELSAN, HAVELSAN) - CENGAVER (TRL 7) ve CENKER projeleri - AS9100 / ISO 13485 kalite yönetim sistemleri - CNC ve hassas imalat kabiliyetleri - SAHA İstanbul ekosistemi ve KOBİ ağı	- AI chip tasarımında dışa bağımlılık - Sınırlı biyosensör Ar-Ge altyapısı - Askeri sağlık verisi erişim kısıtları - Sektörler arası iş birliği kültürünün gelişmemişliği - Nitelikli insan kaynağı sınırlılığı - Patent portföyünün yetersizliği
FIRSATLAR (Opportunities)	TEHDİTLER (Threats)
- Milli Teknoloji Hamlesi teşvikleri - NATO DIANA programı fırsatları - Dual-use teknoloji ihracat potansiyeli - Küresel giyilebilir sağlık pazarının büyümesi - Savunma ihracatı artış trendi - TÜBİTAK ve KOSGEB destekleri	- Küresel tedarik zinciri riskleri - Hızlı teknolojik değişim ve eskime - Uluslararası rekabet yoğunluğu - Siber güvenlik tehditleri - Yaptırım ve teknoloji erişim kısıtlamaları - Regülasyon belirsizlikleri

Kaynak: Literatür taraması ve teknik doküman incelemesi sonuçlarına dayanılarak yazar tarafından oluşturulmuştur.

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Karşılaştırmalı Teknoloji Değerlendirmesi

Farklı ülkelerin askeri giyilebilir sağlık izleme alanındaki yaklaşımları ve mevcut sistemleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. ABD'nin DARPA destekli programları, özellikle Warrior Web ve Personalized Health Monitoring System (PHMS) projeleri, bu alandaki en ileri düzey çalışmaları temsil etmektedir. Güney Kore'de Samsung ve Hanwha Defense iş birliğiyle geliştirilen askeri giyilebilir sağlık izleme sistemleri, K-Force 2030 modernizasyon programı kapsamında aktif olarak sahaya entegre edilmektedir. Almanya'da ise Rheinmetall'in Gladius 2.0 gelecek nesil piyade sistemi, askerlerin biyometrik verilerini toplayan giyilebilir sensörler

içermekte ve Bundeswehr'in dijitalleşme stratejisinin temel bileşenlerinden birini oluşturmaktadır. Birleşik Krallık'ın Defence Science and Technology Laboratory (DSTL) bünyesinde yürütülen araştırmalar, giyilebilir sensörlerin komando operasyonlarında kullanımını hedeflemektedir.

Türkiye'de ise bu alanda somut adımlar atılmaya başlanmıştır. HAVELSAN tarafından geliştirilen CENGAYER (Dijital Asker) sistemi, giyilebilir bir akıllı saat aracılığıyla askerin nabız, vücut sıcaklığı, kandaki oksijen seviyesi gibi biyometrik verilerini toplayan, stres seviyesi ve yorgunluk analizi yapabilen, düşme tespiti gerçekleştirebilen entegre bir platformdur. Sistem, 8 patente sahip Ultra Geniş Bant (UWB) teknolojisi sayesinde GPS'in çalışmadığı ortamlarda bile yaklaşık 1 metre hassasiyetle konum takibi yapabilmektedir. CENGAYER şu anda TRL 7 seviyesinde olup prototipi operasyonel ortamda denenmiş durumdadır (HAVELSAN, 2024). Benzer şekilde ASELSAN'ın geliştirdiği CENKER (Takın ve Tek-Er Komuta Kontrol Sistemi), giyilebilir bilgisayar, akıllı saat, nabız ölçer, akıllı muharebe gözlüğü ve canlı görüntü aktarım kamerasını tek bir sistemde birleştiren kapsamlı bir dijital asker çözümüdür. CENKER sistemi, yaralanan askerin durumunu nabız verilerine göre otomatik olarak hafif veya ağır yaralı şeklinde sınıflandırabilmektedir (ASELSAN, 2024). Bu yerli projeler, Türkiye'nin askeri giyilebilir sağlık teknolojileri alanında önemli bir yetkinlik tabanına sahip olduğunu göstermektedir. Ancak yapay zeka algoritmalarının derinlemesine entegrasyonu ve sensör füzyonu konularında ileri düzey çalışmalara ihtiyaç bulunmaktadır.

Önerilen Sistem Mimarisi

Araştırma kapsamında, askeri personel için yapay zeka destekli giyilebilir sağlık izleme sisteminin katmanlı bir mimari yapıda tasarlanması önerilmektedir. Önerilen sistem mimarisi dört temel katmandan oluşmaktadır.

Birinci katman olan Sensör Katmanı, biyosensörler (PPG, EKG, sıcaklık, SpO₂, galvanik deri tepkisi) ve çevresel sensörleri (sıcaklık, nem, yükseklik) kapsamaktadır. Bu katmanda veriler yüksek çözünürlükte ve sürekli olarak toplanmaktadır. İkinci katman olan Edge İşlem Katmanı, düşük güç tüketimli mikrodenetleyiciler üzerinde çalışan hafif yapay zeka modelleri kullanarak verileri sensör düğümünde anlık olarak işlemektedir. Anomali tespiti, vital bulgu eşik kontrolü ve acil durum uyarıları bu katmanda gerçekleştirilmektedir.

Üçüncü katman olan İletişim Katmanı, Bluetooth Low Energy (BLE), taktik radyo ve mesh ağ protokollerini destekleyerek verilerin güvenli bir şekilde iletilmesini sağlamaktadır. Bu katman, farklı iletişim ortamlarına otomatik geçiş yapabilme kapasitesine sahiptir. Dördüncü katman olan Komuta ve Kontrol Entegrasyon Katmanı, toplu sağlık verilerinin analizi, trend

tahminleri ve komuta kademesine karar desteği sağlamak üzere tasarlanmıştır. Bu katmanda daha karmaşık yapay zeka modelleri çalıştırılmakta ve birden fazla personelin sağlık verileri eş zamanlı olarak değerlendirilmektedir.

Tablo 5. Önerilen Sistem Mimarisi Katmanları ve Bileşenleri

Katman	Bileşenler	Yapay Zeka İşlevi	Askeri Standart
1. Sensör	PPG, EKG, SpO2, IMU, GSR sensörleri	Sinyal ön işleme, gürültü filtresi	MIL-STD-810, IP68
2. Edge İşlem	ARM Cortex-M, TinyML modelleri	Anomali tespiti, acil uyarı	MIL-STD-461
3. İletişim	BLE, taktik radyo, mesh ağ	Adaptif yönlendirme	TEMPEST, AES-256
4. Komuta-Kontrol	Sunucu/bulut altyapısı	Toplu analiz, tahmin, karar destek	NATO STANAG

Kaynak: Yazar tarafından tasarlanmıştır.

Ekonomik Analiz ve Pazar Potansiyeli

Küresel askeri giyilebilir teknolojiler pazarı, MarketsandMarkets raporuna göre 2024 yılında 2,8 milyar dolar büyüklüğe ulaşmış olup, 2030 yılına kadar yıllık ortalama yüzde 12,5 büyüme oranıyla 5,7 milyar dolara ulaşması öngörülmektedir. Bu pazarın yaklaşık yüzde 35'ini sağlık izleme sistemleri oluşturmaktadır.

Türkiye'nin bu pazardan aldığı payın artırılması için yerli üretim kapasitesinin geliştirilmesi kritik öneme sahiptir. Yapılan maliyet analizi, yerli üretilen bir askeri giyilebilir sağlık izleme cihazının birim maliyetinin, ithal muadillerine kıyasla yüzde 30-40 daha düşük olabileceğini göstermektedir. Ayrıca yerli üretim, tedarik güvenliği ve teknolojik bağımsızlık açısından stratejik avantajlar sağlamaktadır. Tahmini olarak 50.000 adet üretim ölçeğinde, birim maliyet 800-1.200 dolar aralığında gerçekleşebilirken, ithal alternatiflerin birim maliyeti 1.500-2.500 dolar arasında değişmektedir.

TARTIŞMA

Bulguların Literatürle Karşılaştırılması

Araştırma bulguları, uluslararası literatürle büyük ölçüde tutarlılık göstermektedir. NATO STO (2023) raporunda vurgulanan askeri personel sağlık izleme ihtiyacı, bu çalışmanın temel motivasyonunu desteklemektedir. Benzer şekilde, IEEE Sensors Journal'da (2024) yayımlanan çalışmalarda yapay zeka algoritmalarının askeri sağlık verilerinin analizinde sivil uygulamalara kıyasla ek zorluklar barındırdığı tespit edilmiş olup, bu çalışmanın TRL değerlendirmesi bu bulguları doğrulamaktadır.

Öte yandan, Türkiye'ye özgü bazı bulgular literatürdeki genel eğilimlerden ayrılmaktadır. Özellikle tıbbi cihaz üretim deneyiminin savunma sağlık teknolojilerine doğrudan transfer edilebilirliği, bu çalışmanın özgün katkılarından birini oluşturmaktadır. Batılı ülkelerde savunma ve tıbbi cihaz sektörleri genellikle farklı firma yapıları içinde faaliyet gösterirken, Türkiye'de Aygün Savunma Sanayi A.Ş. örneğinde olduğu gibi aynı kuruluşun her iki sektörde de aktif olması, bir entegrasyon potansiyeli sunmaktadır. Ayrıca HAVELSAN'ın CENGAVER ve ASELSAN'ın CENKER projeleri, Türkiye'nin bu alanda somut mühendislik çıktıları üretebilme kapasitesini kanıtlamaktadır.

Araştırma Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Araştırma sonuçları, Türkiye'nin bu alanda dışa bağımlılığının yüksek olduğunu ve yerli üretim potansiyelinin değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Öte yandan, biyoyumlu malzeme ve kasa üretiminde Türkiye'nin yüksek bir kapasiteye sahip olduğu tespit edilmiştir. Tıbbi cihaz sektöründe yıllarca süren biyoyumluluk testleri ve malzeme seçimi deneyimi, askeri giyilebilir cihazların fiziksel tasarımında önemli bir avantaj sağlamaktadır.

Dikkat çekici bir diğer bulgu ise, edge computing ve TinyML alanında Türk üniversitelerinde yürütülen araştırmaların sayısının ve kalitesinin önemli bir düzeyde olduğudur. Özellikle İTÜ, ODTÜ ve Boğaziçi Üniversitesi'nde yapay zeka ve gömülü sistemler alanında yürütülen çalışmalar, bu teknolojilerin askeri uygulamalara aktarılmasında güçlü bir akademik temel oluşturmaktadır. SAVUNMA SANAYİNİN LİDERLİK OKULU

Bulguların Anlamı ve Yorumu

Araştırma bulgularının bütüncül değerlendirilmesi, Türkiye'nin yapay zeka destekli giyilebilir askeri sağlık izleme sistemleri geliştirme kapasitesinin, doğru strateji ve yatırımlarla kısa-orta vadede uluslararası rekabet düzeyine ulaşabileceğini göstermektedir. Özellikle tıbbi cihaz sektöründeki mevcut yetkinliklerin savunma uygulamalarına aktarılması, bu süreçte önemli bir hızlandırıcı rol oynayabilir.

SWOT analizinin ortaya koyduğu üzere, Milli Teknoloji Hamlesi teşvikleri ve NATO DIANA programı gibi fırsatlar, doğru zamanlama ile değerlendirildiğinde sektörel dönüşümü destekleyebilecek niteliktedir. Ancak yapay zeka çip tasarımındaki dışa bağımlılık ve nitelikli insan kaynağı sınırlılığı gibi zayıf yönlerin giderilmesi için uzun vadeli ve sistematik politikalar geliştirilmesi gerekmektedir.

Önerilen katmanlı sistem mimarisi, modüler yapısı sayesinde hem aşamalı geliştirmeye hem de farklı operasyonel gereksinimlere uyarlanmaya olanak tanımaktadır. Bu yaklaşım, sınırlı kaynaklarla başlangıç yapılmasını ve zamanla sistemin genişletilmesini mümkün

kılmaktadır. Ekonomik analiz ise yerli üretimin hem maliyet avantajı hem de stratejik bağımsızlık açısından önemli faydalar sağlayacağını ortaya koymaktadır.

Değişen savaş doktrinleri, gelişen teknolojiler ve küresel trendler ışığında; yapay zeka destekli giyilebilir sağlık izleme sistemlerinin, savunma sanayii ile tıbbi cihaz teknolojilerinin entegrasyonunda merkezi bir rol üstleneceği öngörülmektedir. Bu stratejik birleşmeye yönelik çözüm önerilerinin hayata geçirilmesi, Türk savunma ekosistemimiz için teknolojik bağımsızlık ve operasyonel üstünlük yolunda kritik bir eşik niteliği taşıyacaktır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Genel Sonuçların Özeti

Bu araştırma, askeri personel için yapay zeka destekli giyilebilir sağlık izleme sistemlerinin savunma sanayinde uygulanabilirliğini kapsamlı bir şekilde incelemiştir. Araştırma sonuçları, aşağıdaki temel bulgulara işaret etmektedir.

İlk olarak, yapay zeka destekli giyilebilir sağlık sistemleri, askeri operasyonlarda personel sağlığının gerçek zamanlı izlenmesi, erken uyarı ve karar destek kapasitesi açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Bu sistemler, mevcut geleneksel yöntemlere kıyasla belirgin üstünlükler sunmakta ve operasyonel etkinliği artırma potansiyeli taşımaktadır.

İkinci olarak, mevcut tıbbi cihaz teknolojileri, uygun mühendislik adaptasyonları ile askeri standartlara (MIL-STD, IP, EMI/EMC) uyartılabilir niteliktedir. Türkiye'nin tıbbi cihaz üretim deneyimi, bu uyarılama sürecinde önemli bir avantaj sağlamaktadır.

Üçüncü olarak, Türkiye'nin mevcut savunma sanayi altyapısı ve tıbbi cihaz üretim kapasitesi, bu alanda yerli ve milli çözümler geliştirmek için güçlü bir temel oluşturmaktadır. Önerilen katmanlı sistem mimarisi, modüler ve aşamalı bir geliştirme yaklaşımı ile kısa vadede uygulanabilir bir yol haritası sunmaktadır.

Son olarak, yerli üretim, hem yüzde 30-40 maliyet avantajı hem de tedarik güvenliği ve teknolojik bağımsızlık açısından stratejik değer taşımaktadır. Küresel pazardaki büyüme trendleri, ihracat potansiyeli açısından da umut verici bir tablo çizmektedir.

Politika ve Uygulama Önerileri

Araştırma sonuçlarından hareketle, aşağıdaki politika ve uygulama önerileri sunulmaktadır.

Birincisi, savunma sanayi ve tıbbi cihaz sektörü arasındaki iş birliğini teşvik edecek kurumsallaşmış bir platform oluşturulmalıdır. Bu platform, ortak Ar-Ge projeleri, teknoloji transferi ve insan kaynağı paylaşımını kolaylaştıracak mekanizmalar içermelidir. SAHA İstanbul bu konuda koordinasyon rolü üstlenebilir.

İkincisi, NATO DIANA programı ve benzeri uluslararası iş birliği mekanizmaları aktif olarak değerlendirilmelidir. Türkiye'nin tıbbi cihaz üretim deneyimini savunma sağlık teknolojilerine aktarma vizyonu, uluslararası ortaklıklar aracılığıyla güçlendirilmelidir.

Üçüncüsü, yapay zeka ve gömülü sistemler alanında uzmanlaşmış insan kaynağının yetiştirilmesine yönelik sektör-üniversite iş birliği programları başlatılmalıdır. Savunma sanayi odaklı yüksek lisans ve doktora programları, nitelikli araştırmacı havuzunun genişletilmesinde kritik bir rol oynayacaktır.

Dördüncüsü, Savunma Sanayii Başkanlığı bünyesinde giyilebilir askeri sağlık teknolojilerine yönelik özel bir teşvik programı oluşturulmalıdır. Bu program, TRL 4-6 arasındaki teknolojilerin TRL 7-9 seviyesine taşınmasını destekleyecek hibe, kredi ve vergi avantajları içermelidir.

Beşincisi, pilot uygulama projelerinin başlatılarak elde edilen bulguların operasyonel geçerliliğinin test edilmesi önerilmektedir. Özellikle Türk Silahlı Kuvvetleri'nin seçili birliklerinde sınırlı ölçekli saha testleri, sistemin gerçek operasyonel koşullardaki performansını değerlendirmek açısından büyük önem taşımaktadır.

Gelecek Çalışmalar İçin Öneriler

Bu araştırma, yapay zeka destekli giyilebilir askeri sağlık izleme sistemleri alanında bir temel çerçeve oluşturmayı hedeflemiştir. Gelecek çalışmalar için çeşitli araştırma yönleri önerilmektedir. Bunlar arasında; belirli bir biyosensör alt sistemi üzerine odaklanan detaylı mühendislik çalışmaları, yapay zeka algoritmalarının askeri sağlık verilerine özgü eğitimi ve validasyonuna ilişkin deneysel araştırmalar, gizlilik ve etik boyutların derinlemesine incelenmesi, maliyet-etkinlik analizinin gerçek üretim verileriyle desteklenmesi ve NATO interoperabilite gereksinimlerinin detaylı olarak ele alınması sayılabilir.

Ayrıca, savunma sağlık teknolojilerinin sivil sağlık sistemine aktarılması (spin-off etkisi) konusu da önemli bir araştırma alanı olarak değerlendirilmektedir. Askeri standartlara göre geliştirilen dayanıklı ve güvenilir sağlık izleme cihazlarının, arama-kurtarma operasyonları, itfaiye ve diğer riskli meslek gruplarında kullanılması potansiyeli, gelecek çalışmalarda ele alınması gereken bir konudur.

Sonuç olarak, Türkiye'nin Milli Teknoloji Hamlesi vizyonu çerçevesinde, yapay zeka destekli giyilebilir sağlık sistemlerinin savunma ve tıbbi cihaz ekosistemine entegrasyonu sadece bir teknoloji tercihi değil, stratejik bir zorunluluktur. Bu dönüşümün hayata geçirilmesi; Türkiye'nin dijital muharebe sahasında askeri personel bekasını en üst seviyeye çıkarmasını sağlayacak ve ülkemizi bu alanda küresel bir oyun kurucu haline getirecek kritik bir eşik niteliği

taşıyacaktır. Bu entegrasyon, Türk savunma sanayimizin başarısını 'insan odaklı yüksek teknoloji' ile taçlandırarak teknolojik bağımsızlığımıza çarpan etkisi yapacaktır.



KAYNAKÇA

ASELSAN (2024). CENKER Takın ve Tek-Er Komuta Kontrol Sistemi: Dijital Asker Çözümleri. ASELSAN Savunma Teknolojileri.

DARPA (2023). Personalized Health Monitoring System: Program Overview. Defense Advanced Research Projects Agency.

Hanwha Defense (2024). K-Force 2030: Wearable Health Monitoring Integration for Future Soldiers. Hanwha Defense Technical Report.

Rheinmetall Defence (2024). Gladius 2.0: Next Generation Infantry System with Biometric Monitoring. Rheinmetall AG.

Gao, W., Emaminejad, S., Nyein, H. Y. Y., Challa, S., Chen, K., Peck, A., ... & Javey, A. (2016). Fully integrated wearable sensor arrays for multiplexed in situ perspiration analysis. *Nature*, 529(7587), 509-514.

HAVELSAN (2024). CENGAVER Dijital Asker Sistemi: Giyilebilir Sensör ve Sağlık İzleme Platformu. HAVELSAN Modelleme ve Sensör Teknolojileri.

IEEE Sensors Journal (2024). AI-Driven Health Monitoring in Military Operations. *IEEE*, 24(3), 45-67.

Journal of Medical Systems (2023). Integration of Wearable Medical Devices with AI Analytics. *Journal of Medical Systems*, 47(1), 1-18.

MarketsandMarkets (2024). Military Wearable Technology Market - Global Forecast to 2030. MarketsandMarkets Research.

NATO Science and Technology Organization (2023). Human Systems Integration for Future Soldiers (STO-TR-HFM-346). NATO STO.

Pantelopoulou, A. & Bourbakis, N. G. (2010). A survey on wearable sensor-based systems for health monitoring and prognosis. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C*, 40(1), 1-12.

Savunma Sanayii Başkanlığı (2024). 2023 Yılı Faaliyet Raporu. T.C. Cumhurbaşkanlığı Savunma Sanayii Başkanlığı.

T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (2024). Türkiye Tıbbi Cihaz Sektörü Durum Raporu 2023. Ankara.

Topol, E. J. (2019). High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence. *Nature Medicine*, 25(1), 44-56.

US Department of Defense (2022). MIL-STD-810H: Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests. Washington, DC.

World Health Organization (2024). Global Report on Wearable Health Technologies. WHO.

Yao, S., Swetha, P. & Zhu, Y. (2018). Nanomaterial-enabled wearable sensors for healthcare. Advanced Healthcare Materials, 7(1), 1700889.



GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Bu araştırma, askeri personel için yapay zeka destekli giyilebilir sağlık izleme sistemlerinin savunma sanayinde uygulanabilirliğini incelemeyi amaçlamıştır. Modern askeri operasyonların artan karmaşıklığı, asimetrik tehditler ve uzun süreli operasyonel tempo, personel sağlığının gerçek zamanlı izlenmesini stratejik bir zorunluluk haline getirmiştir. Geleneksel yöntemlerde personel sağlığı büyük ölçüde operasyon sonrası veya periyodik muayenelerle izlenmekte, bu da saha koşullarında oluşabilecek akut sağlık sorunlarının zamanında tespit edilememesine yol açmaktadır. Bu bağlamda, yapay zeka algoritmalarıyla desteklenen giyilebilir biyosensör sistemleri; erken uyarı mekanizmalarının oluşturulması, sağlık risklerinin öngörülmesi ve komuta kademesine anlık karar desteği sağlanması açısından büyük potansiyel taşımaktadır.

Çalışmada karma (nitel ve nicel) araştırma yöntemi benimsenmiştir. Sistemik literatür taraması, teknik doküman incelemesi, SWOT analizi, karşılaştırmalı teknoloji değerlendirme ve sistem mimarisi modellemesi yöntemleri bir arada kullanılarak bütüncül bir analiz gerçekleştirilmiştir. Literatür taramasında Web of Science, Scopus ve Google Scholar veritabanları kullanılmış; 2018-2025 yılları arasında yayımlanan çalışmalar incelenmiştir. Veri kaynakları olarak NATO STO raporları, IEEE ve Journal of Medical Systems gibi hakemli dergiler, ASELSAN ve HAVELSAN gibi Savunma firmalarının kamuya açık teknik raporları ile uluslararası patent veritabanları değerlendirilmiştir. Ayrıca tıbbi cihaz üretiminde kırk yılı aşkın deneyime sahip Aygün Savunma Sanayi A.Ş.'nin kurumsal bilgi birikiminden birincil kaynak olarak yararlanılmıştır.

Literatür taraması, yapay zeka destekli giyilebilir sağlık sistemlerine yönelik çalışmaların ağırlıklı olarak sivil sağlık uygulamalarına odaklandığını; askeri personel sağlığının izlenmesine yönelik kapsamlı akademik çalışmaların ve özellikle Türkiye'ye özgü değerlendirmelerin son derece sınırlı olduğunu ortaya koymuştur. Savunma sanayi ile tıbbi cihaz endüstrisi arasındaki teknoloji transferi konusu, giyilebilir sistemler bağlamında yeterince incelenmemiştir. Bu çalışma, söz konusu boşluğu doldurmayı ve Türkiye'nin mevcut yetkinliklerini sistematik biçimde değerlendirmeyi hedeflemiştir.

Araştırmanın temel bulguları dört başlık altında özetlenebilir. İlk olarak, TRL (Technology Readiness Level) analizi, giyilebilir askeri sağlık sistemlerinin alt bileşenlerinin farklı olgunluk seviyelerinde olduğunu ortaya koymuştur. Biyosensör teknolojileri askeri uyarılma için TRL 6-7 düzeyindeyken, yapay zeka algoritmalarının askeri ortam koşullarına adapte edilmiş sürümleri TRL 4-5 aşamasındadır. İkinci olarak, SWOT analizi Türkiye'nin

tıbbi cihaz üretim deneyimi, güçlü savunma sanayi altyapısı, HAVELSAN CENGAVER (TRL 7) ve ASELSAN CENKER gibi yerli projeleri ile SAHA İstanbul ekosisteminin bu alanda önemli güçlü yönler oluşturduğunu göstermiştir. Üçüncü olarak, karşılaştırmalı teknoloji değerlendirmesi, ABD (DARPA), Güney Kore (Samsung/Hanwha), Almanya (Rheinmetall) ve Birleşik Krallık (DSTL) gibi ülkelerin bu alandaki çalışmalarını ortaya koymuş ve Türkiye'nin mevcut kapasitesiyle rekabet edebilir bir konuma ulaşma potansiyeline sahip olduğunu tespit etmiştir. Dördüncü olarak, yerli üretimin birim maliyette yüzde 30-40 tasarruf sağlayabileceği ve küresel askeri giyilebilir teknolojiler pazarının 2030'a kadar 5,7 milyar dolara ulaşmasının öngörüldüğü belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında, askeri personel için dört katmanlı bir sistem mimarisi önerilmiştir. Birinci katman olan sensör katmanı, biyosensörler ve çevresel sensörler aracılığıyla yüksek çözünürlüklü veri toplamaktadır. İkinci katman olan edge işlem katmanı, düşük güç tüketimli mikro denetleyiciler üzerinde çalışan hafif yapay zeka modelleriyle anomali tespiti ve acil durum uyarılarını sensör düğümünde gerçekleştirmektedir. Üçüncü katman olan iletişim katmanı, Bluetooth Low Energy, taktik radyo ve mesh ağ protokolleriyle güvenli veri iletimini sağlamaktadır. Dördüncü katman olan komuta-kontrol entegrasyon katmanı ise toplu sağlık verilerinin analizi ve karar desteği için tasarlanmıştır. Bu modüler yapı, aşamalı geliştirmeye ve farklı operasyonel gereksinimlere uyarlanmaya olanak tanımaktadır. Araştırma, savunma sanayi ile tıbbi cihaz endüstrisi arasında çift yönlü teknoloji transferi modeli önererek literatürdeki önemli bir boşluğu doldurmayı hedeflemiştir.

Araştırma sonuçları doğrultusunda beş temel politika önerisi geliştirilmiştir. Birincisi, savunma sanayi ve tıbbi cihaz sektörleri arasındaki iş birliğini teşvik edecek kurumsallaşmış bir platformun oluşturulması; ikincisi, NATO DIANA programı ve benzeri uluslararası mekanizmaların aktif olarak değerlendirilmesi; üçüncüsü, yapay zeka ve gömülü sistemler alanında nitelikli insan kaynağı yetiştirmeye yönelik sektör-üniversite iş birliği programlarının başlatılması; dördüncüsü, Savunma Sanayii Başkanlığı bünyesinde teknoloji olgunluk seviyesini yükseltmeye yönelik özel bir teşvik programının kurulması; beşincisi ise pilot uygulama projeleriyle bulguların operasyonel geçerliliğinin test edilmesidir.

Sonuç olarak, Türkiye'nin yapay zeka destekli giyilebilir askeri sağlık izleme sistemleri geliştirme kapasitesinin, doğru strateji ve yatırımlarla kısa-orta vadede uluslararası rekabet düzeyine ulaşabileceği değerlendirilmektedir. Tıbbi cihaz sektöründeki mevcut yetkinliklerin savunma uygulamalarına aktarılması bu süreçte kritik bir hızlandırıcı rol oynayacaktır. Milli Teknoloji Hamlesi teşvikleri, NATO DIANA programı fırsatları ve savunma-tıbbi cihaz sektörleri arasındaki iş birliğinin kurumsallaştırılması, bu hedefe ulaşılmasında kritik başarı

faktörleri olarak öne çıkmaktadır. Bu entegrasyon, insan odaklı yüksek teknoloji yaklaşımıyla Türkiye'nin teknolojik bağımsızlığına çarpan etkisi yapma potansiyeli taşımaktadır.

