

Diyabet Hastaları İçin Kişiyi Özel Tabanlık Tasarımına Yönelik Taban Tanımlama Parametresi Geliştirme *

Development of a Sole Definition Parameter for the Design of Personalized Insoles for Patients with Diabetes

ÖZET

Diyabet, ayak yapısında ve plantar basınç dağılımında zaman içerisinde biyomekanik değişimlere yol açarak başta ülserasyon olmak üzere birçok komplikasyonların gelişmesine sebep olmaktadır. Bu komplikasyonlarla ilişkili doku hasarı riskinin yüksek olması, diyabetli bireylerin ayak bakımında plantar basıncın etkili bir şekilde yönetimini önemli bir konu haline getirmektedir. Kişiyi özel tabanlıkların basınç dağılımının yeniden ve etkin dağıtılmasında önemli rol oynadığı bilinmektedir. Bu çalışmanın amacı diyabetli bireylerin ayak yapısına ve plantar basınç özelliklerine ilişkin verilerin işlenerek tabanlık tanımlama parametreleri geliştirmektir. Araştırmaya 26'sı kadın ve 24'ü erkek olmak üzere toplam 50 diyabetli birey dahil edilmiştir. Katılımcıların statik, dinamik ayak basınç ve yürüyüş analizleri yapılmış, antropometrik ölçümler alınarak referans değerler ve uzman görüşlerle değerlendirilmiştir. Veriler doğrultusunda bireylerin gereksinimlerini karşılamaya yönelik tabanlık tanımlama parametreleri ortaya konmuş ve hastalara ait verilerin otomatik olarak işlenerek buna karşılık gelen tabanlık parametrelerinin oluşturulmasını sağlayan bir yazılım geliştirilmiştir. Bulgular, plantar basınç verilerinin sistematik olarak tabanlık tasarım parametrelerine dönüştürülebileceğini ortaya koymaktadır. Geliştirilen yazılım, analizlerin standart bir yöntemle yorumlanmasını ve sürecin tekrarlanabilmesini sağlamıştır. Klinik değerlendirme ile teknolojik altyapının bir arada kullanıldığı bu yaklaşım, diyabetli bireyler için tasarlanan kişiyi özel tabanlık üretiminde verimliliği artırarak ve uzman görüşüne katkı sağlayarak diyabetik ayak yönetiminde tabanlık tasarımını desteklemesi beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Diyabet, Plantar basınç, Tabanlık, Parametre.

ABSTRACT

Diabetes causes biomechanical changes in the foot structure and plantar pressure distribution over time, leading to the development of many complications, primarily ulceration. The high risk of tissue damage associated with these complications makes effective plantar pressure management a crucial aspect of foot care for individuals with diabetes. Personalized insoles are known to play a significant role in the efficient redistribution of pressure. The aim of this study is to develop insole definition parameters by processing data on the foot structure and plantar pressure characteristics of individuals with diabetes. The study included a total of 50 diabetic individuals, 26 women and 24 men. Static and dynamic foot pressure and gait analyses were performed on the participants, and anthropometric measurements were taken and evaluated against reference values and expert opinions. Based on the data, insole definition parameters aimed at meeting individual needs have been established, and software has been developed that automatically processes patient data and creates corresponding insole parameters. The findings reveal that plantar pressure data can be systematically converted into insole design parameters. The developed software enabled the interpretation of analyses using a standard method and allowed the process to be repeated. This approach, which combines clinical evaluation with technological infrastructure, is expected to support insole design in diabetic foot management by increasing efficiency in the production of custom insoles designed for individuals with diabetes and contributing to expert opinion.

Keywords: Diabetes, Plantar pressure, Insoles, Parameters.

GİRİŞ

Diyabet, günümüzde sağlık sektörünün karşılaştığı en zor sorunlardan biridir (Bencheikh ve Boukhenous, 2018) ve bireylerin yaşamları boyunca onlara eşlik eden, yaşam kalitelerinin düşmesine sebep olan, hem hastaların hem de hasta yakınlarının farkındalığını gerektiren bir hastalıktır. Hastalığın seyri ilerledikçe ortaya çıkan komplikasyonlar

Hicret Zeynep Kutlutaş¹
Selda Güzel²

How to Cite This Article

Kutlutaş, H. Z. & Güzel, S. (2026). Diyabet Hastaları İçin Kişiyi Özel Tabanlık Tasarımına Yönelik Taban Tanımlama Parametresi Geliştirme. *International Social Sciences Studies Journal*, (e-ISSN:2587-1587) 12(9), 1477-1488. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.23034314>

Arrival: 04 August 2026

Published: 30 September 2026

Social Sciences Studies Journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

* Bu makale Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü'nde 2025 yılında kabul edilen "Kişiyi Özel Tabanlıkların Tasarım Ve Üretimi Amacıyla Diyabet Hastalarının Ayak Yapı ve Özelliklerinin Belirlenmesi: Taban Tanımlama Parametresi Geliştirme" başlıklı doktora tezinden üretilmiştir.

¹ Arş. Gör. Dr., Selçuk Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Ayakkabı Tasarımı ve Üretimi Bölümü, Konya, Türkiye. ORCID: 0000-0003-2005-7058

² Doç. Dr., İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Sanat ve Tasarım Fakültesi, Tekstil ve Moda Tasarımı Bölümü, İzmir, Türkiye. ORCID: 0000-0002-9406-064X

arasında, özellikle alt ekstremiteleri ve ayak sağlığını tehdit eden değişiklikler ayrı bir önem taşımaktadır. Bu değişimler, diyabet hastalarını basınç yaralanmalarına, yara oluşumuna ve ilerleyen durumlarda ciddi ayak komplikasyonlarına karşı oldukça hassas hale getirmektedir. Dolayısıyla bu hasta grubunda ayak sağlığının korunması, sadece estetik ya da konfor değil, yaşam kalitesini doğrudan etkileyen tıbbi bir gerekliliktir.

Diyabet, insülin salgılanmasındaki, insülin etkisindeki veya her ikisindeki kusurlardan kaynaklanan hiperglisemiyle karakterize kronik bir metabolik bozukluktur (Oktora ve Butar, 2022; Prihapsara vd., 2017; Nazaruk ve Borzym-Kluczyk, 2014; Amerikan Diyabet Derneği, 2002). Pankreas, kan şekerini düzenleyen bir hormon olan insülini yeterli üretmediğinde ya da üretilen insülinin kullanımında bozukluk olduğunda kandaki şeker düzeyini yükseltmektedir (Koç vd., 2015). Bu yüksek kan şekeri, pankreasın yeterli insülin üretmemesinden (Tip 1 diyabet) veya vücudun ürettiği insülini etkili bir şekilde kullanamamasından (Tip 2 diyabet) kaynaklanmaktadır (Karslıoğlu, 2019). Kronik bir hastalıktır (Koç vd., 2015) ve zamanla, bu kalıcı hiperglisemi gözler, böbrekler, sinirler, kalp ve kan damarları dahil olmak üzere çeşitli organ sistemlerini etkileyen ciddi komplikasyonlara yol açmaktadır (Oktora ve Butar, 2022; Ampofo ve Boateng, 2020; Nazaruk ve Borzym-Kluczyk, 2014; ADD, 2002: 21). Diyabetik ayak sorunları da bu komplikasyonlardan biridir.

Dünya Sağlık Örgütü tarafından 1991 yılında bir halk sağlığı sorunu olarak kabul edilen diyabetik ayak sorunları (Aktaran: Neşe ve Ovayolu, 2006), yüksek ölüm oranlarına sebep olmaktadır. Uluslararası Diyabet Federasyonu'na (IDF) göre, dünya çapında 9 yetiştikten (20-79 yaş) 1'i diyabet hastasıdır (Url-1) ve dünya çapında her yıl yaklaşık 18,6 milyon kişi diyabetik ayak ülserinden etkilenmektedir (Suzuki vd., 2025). Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Genel Cerrahi Anabilim Dalı Öğretim Üyesi Prof. Dr. Hakan Uncu, 2019 yılında tanıtılan "Ayağına İyi Bak" projesi kapsamında, Türkiye'de 2 milyona yakın diyabetik ayak hastası bulunduğunu, sağlıklı ve doğru yaşam koşullarının sağlanamaması durumunda da bu oranların hızla yükseleceğini belirtmiştir. Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Genel Cerrahi Anabilim Dalı Öğretim Üyesi Prof. Dr. Tuğbay Tuğ ise aynı proje kapsamında, Türkiye'nin, Avrupa'da diyabetli hasta sayısı en yüksek üçüncü ülke olduğunu vurgulamış, diyabetli hastaların yaklaşık yüzde 25'inde diyabetik ayak denilen ve iyileşmeyen ayak yaralarının geliştiğini, bu hastaların ise yaklaşık yarısının ayak yarası nedeniyle ayağını kaybettiğini ve hatta üç yıl içinde %50'sinin hayatını kaybettiğini bildirmiştir (Url-2).

Diyabet, dünya çapında yarım milyardan fazla insanı etkileyen küresel bir salgındır (Tiwari vd., 2024). Bu sayının önümüzdeki on yıllarda önemli ölçüde artacağı tahmin edilmektedir. Ayrıca diyabetli hastaların üçte birinin yaşamları boyunca diyabetik ayak ülseri geliştirme olasılıklarının yüksek olduğu bildirilmektedir (Kılıç vd., 2025). Diyabetik ayak ülserleri ciddi enfeksiyonlara yol açmakta ve bu durum amputasyonlara neden olabilmektedir. Ayak ülserleri, ortaya çıktıktan sonraki 5 yıl içinde yaklaşık %50 oranında ölüme neden olmaktadır (Tiwari vd., 2024). Diyabetik ayak kabı ve tabanlıklar, yastıklama, destek ve basıncın yeniden dağıtımını sağlayarak belirli risk faktörlerini azaltmada etkilidir (Chang vd., 2022). Diyabetik ayak sorunları ağrıya, rahatsızlığa ve sınırlı hareket kabiliyetine neden olarak yaşam kalitesini de önemli ölçüde etkilemektedir (Edmonds vd., 2021). İyi tasarlanmış diyabetik ayak kabı bu semptomları hafifleterek hastaların aktif ve bağımsız bir yaşam tarzı sürdürmesine katkı sağlamaktadır (Bae vd., 2023).

Diyabetik ayak kabının ve ilgili ürünlerin geliştirilmesi ve üretimi sektör için önemlidir (Ren vd., 2024). İhtiyaç duyulan bir alanda yeni pazarlara girme ve tutundurma faaliyetleri, bu alana yapılan yatırım, malzeme bilimi, biyomekanik ve üretim süreçlerinde inovasyonun teşvik edilmesi gelişmiş ayakkabı tasarımlarının ortaya çıkmasına katkı sağlamaktadır. İyi tasarlanmış ayakkabı ya da tabanlıklar diyabetik ayak bakımıyla ilgilenen ayak hastalıkları uzmanlarını, ortez uzmanlarını ve diğer sağlık çalışanlarını da desteklemektedir (Nather vd., 2008). Diyabetik ayak kabının tasarımı ve üretimi, büyüyen bir pazar ihtiyacını ele alarak, maliyetli komplikasyonları önleyerek ve ayakkabı teknolojisi ve üretiminde yeniliği teşvik ederek sektöre önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Maliyet ve erişilebilirlik açısından zorluklar devam ederken, diyabetik ayak ülserlerini önlemenin ve diyabetli kişilerin yaşam kalitesini iyileştirmenin ekonomik faydaları önemlidir.

Çalışma, diyabet hastalarının ayak yapı ve ölçüleri ile ayak basınç dağılımlarını tespit ederek ve tabanlıkların tasarımı kriterlerini belirleyerek parametre geliştirmeyi sağlamak amacıyla yürütülmüştür. Bu bağlamda çalışma plantar basınç analizini kullanarak uygun tabanlıkların özelliklerini belirlemek için objektif, parametre tabanlı bir çerçeve sunması açısından önemlidir. Çalışmada verilerin yazılım aracılığıyla otomatik olarak yorumlanarak sistematik, tekrarlanabilir ve klinik çalışmaya uygun bir karar destek aracının geliştirilmesine temel oluşturması hedeflenmektedir. Önerilen yaklaşım, hastaya özgü tedavi planlamasını iyileştirme, uzman görüşüne katkı sağlayarak diyabetik ayak yönetiminde tabanlıkların tasarımı destekleyecektir. Türkiye'de diyabet hastalığının giderek artması göz önünde bulundurulduğunda, bu klinik-teknolojik yaklaşımın Türk popülasyonunda değerlendirilmesi; uygulanabilirlik, klinik önem ve tabanlıkların reçeteleme süreçlerinin standartlaştırılmasına katkı sağlaması açısından önem taşımaktadır.

YÖNTEM

Araştırmanın Modeli

Parametre geliştirme sürecinde plantar basınç analizlerini belirlemek amacıyla tarama modeli tercih edilmiştir. Tarama modeli araştırma yöntemleri arasından genel tarama modeli seçilmiş olup, mevcut durum herhangi bir müdahale bulunulmadan, olduğu gibi betimlemeye çalışılmıştır (Büyüköztürk vd., 2019). Elde edilen bulgulara dayanarak, bir “tabanlı tanımlama parametre seti” geliştirilmiştir. Bu aşamada, plantar basınç sapmalarının klinik önemi sistematik olarak tanımlanarak uzman görüş ve literatüre göre her bir biyomekanik parametre için eşik değerler belirlenmiştir. Özellikle, normatif referans aralıklarından sapmalar tabanlı için gereksinim olan parametrelere dönüştürülmüştür. Bu parametreler daha sonra yazılım tabanlı bir algoritmik model içinde uygulanmıştır. Sistem, her parametrenin yapılandırılmış bir karar matrisine katkıda bulunarak kural tabanlı bir karar destek çerçevesi olarak tasarlanmıştır. Geliştirilen yazılımın amacı, klinik kararın yerini almak değil; aksine bir klinik karar destek aracı olarak işlev görmesini sağlamaktır. Geliştirilen yazılım bir yazılım mühendisi ile çalışılmış olup çalışma çerçevesi aşağıdaki gibi oluşturulmuştur:

Araştırma Tasarımı

Bu çalışma, plantar basınç analizi ve biyomekanik ölçümlerden yararlanarak kişiye özel ortopedik tabanlı parametrelerinin makine öğrenmesi temelli çoklu çıktı (multi-output) modelleri ile tahmin edilmesini amaçlayan nicel, deneysel bir model geliştirme çalışmasıdır. Model geliştirme süreci denetimli öğrenme (supervised learning) yaklaşımı ile gerçekleştirilmiştir. Parametrenin geliştirilmesinde kullanılmak üzere hastaların plantar basınç analizi Prokon Ortopedi Protez Ortez Merkezi'nde, Gait Checker GHW1100 cihazı ile yapılmıştır. Cihaz 1.2 metre uzunluğunda, FSR (Force Sensing Resistor) sensör sistemi, entegre yüksek çözünürlüklü analiz kamerası, veri analiz yazılımı ve KGMP (Korean Good Manufacturing Practice) tıbbi sertifikasına sahiptir.

Çalışma iki temel tahmin problemine ayrılmıştır:

1. Çoklu çıktı sınıflandırma (Multi-output Classification)
2. Çoklu çıktı regresyon (Multi-output Regression)

Bu yapı sayesinde hem kategorik tabanlı tasarım parametreleri hem de sürekli ölçü değerleri aynı sistem içerisinde tahmin edilmiştir.

Veri Seti

Çalışmada 50 hastaya ait plantar basınç, denge ve yürüyüş parametreleri kullanılmıştır. Veri seti aşağıdaki temel değişken gruplarını içermektedir:

Tablo 1. Veri Seti

Demografik Değişkenler	Cinsiyet
	Yaş grubu
	Vücut Kitle İndeksi (VKİ)
	VKİ kategorisi
	Ayak morfolojisi
Statik ve Dinamik Basınç Parametreleri:	Sağ/sol statik denge yüzdeleri
	Ön ayak, orta ayak, arka ayak basınç dağılımları
	Maksimum plantar basınç (kPa)
	Yürüyüş yük dağılımı (%)
	COP temas açısı
	Ayak açısı
Hedef (Çıktı) Değişkenleri Sınıflandırma Hedefleri	Risk seviyesi
	Basınç altındaki bölgeler
	Üst katman
	Ara katman
	Taban katmanı
	Şasi/shell tipi (dış iskelet)
	Ark desteği
	Metatars desteği
	Flaş/stabilizasyon (kenar kıvrımı/bu kıvrımın sağladığı ayak kontrolü)
	Offloading/insert (Yük boşaltma/dolgu parçası)
	Rocker taban önerisi
Regresyon hedefleri	Ek not
	Heel cup (topuk yuvası) yüksekliği
	Metatars yüksekliği
	Rearfoot posting (sağ/sol) (arka ayak kaması)

Öznitelik Mühendisliği (Feature Engineering)

Model performansını artırmak amacıyla türetilmiş değişkenler oluşturulmuştur:

Tablo 2. Türetilmiş Değişkenler

Asimetri Göstergeleri (Sağ-sol farklarının mutlak değeri alınarak)	Denge farkı
	Ön ayak farkı
	Orta ayak farkı
	Arka ayak farkı
	Maksimum basınç farkı
	Yük farkı
	COP farkı
	Açısal fark
Toplam ve Oran İndeksleri	Ön ayak toplam yük
	Arka ayak toplam yük
	Ön/arka oranı
	Basınç-yük indeksi

Bu yaklaşım biyomekanik asimetrisinin tabanlı tasarımına etkisini daha iyi modellemek amacıyla uygulanmıştır. Feature engineering uygulamaları literatürde model performansını artıran temel yaklaşımlar arasında yer almaktadır (Kuhn ve Johnson, 2013).

Veri Ön İşleme

Veri ön işleme sürecinde:

- ✓ Eksik kategorik veriler "Bilinmiyor" olarak kodlanmıştır.
- ✓ Eksik sayısal veriler medyan ile doldurulmuştur.
- ✓ Kategorik değişkenler One-Hot Encoding ile dönüştürülmüştür.

One-Hot Encoding işlemi ColumnTransformer yapısı ile gerçekleştirilmiştir. Bu yaklaşım, ağaç tabanlı algoritmalarda kategorik değişkenlerin etkin kullanılmasını sağlamaktadır (Hastie vd., 2009).

Makine Öğrenmesi Modelleri

Çoklu Çıktı Sınıflandırma

Temel algoritma: Random Forest Classifier

Multi-output yapı: MultiOutputClassifier

Parametreler:

- ✓ n_estimators = 400
- ✓ class_weight = balanced_subsample
- ✓ random_state = 42

Random Forest algoritması, bootstrap örnekleme ve karar ağaçlarının ansambl yaklaşımı ile varyansı azaltarak güçlü tahmin performansı sunmaktadır (Breiman, 2001).

Çoklu Çıktı Regresyon

Temel algoritma: Random Forest Regressor

Multi-output yapı: MultiOutputRegressor

Parametreler:

- ✓ n_estimators = 600
- ✓ random_state = 42

Model Eğitimi ve Test Süreci

Veri seti: • %70 eğitim

- ✓ %30 test olarak rastgele ayrılmıştır.

Sınıflandırma Performans Ölçütleri

- ✓ Accuracy
- ✓ Weighted F1 Score

Regresyon Performans Ölçütleri

- ✓ R² (Determinasyon katsayısı)
- ✓ MAE (Mean Absolute Error)

Bu metrikler literatürde yaygın olarak kullanılan performans değerlendirme ölçütleridir (Pedregosa vd., 2011).

Model Kaydetme ve Tekrar Kullanım

Eğitilen modeller joblib kullanılarak kaydedilmiştir. Bu sayede:

- ✓ Klinik uygulamalarda hızlı tahmin
- ✓ GUI entegrasyonu
- ✓ Streamlit tabanlı arayüz geliştirme mümkün hale getirilmiştir.

Tahmin Sonuçlarının Anlamlandırılması

Model çıktıları kod karşılık sözlüğü (CODEMAP) ile klinik olarak okunabilir etikete dönüştürülmüştür. Bu yaklaşım klinik karar destek sistemlerinde yorumlanabilirliği artırmaktadır.

Yazılım Altyapısı

- ✓ Python 3.x
- ✓ Pandas
- ✓ NumPy
- ✓ Scikit-learn
- ✓ Streamlit
- ✓ Joblib

Scikit-learn kütüphanesi makine öğrenmesi uygulamalarında güvenilir ve akademik olarak yaygın kullanılan bir altyapıdır (Pedregosa vd., 2011).

Evren ve Örneklem

Geliştirilen parametre için gerekli plantar basınç verilerinin toplandığı araştırmanın evrenini, Konya ilinde ikamet eden diyabet hastaları oluşturmaktadır. Bu evrenden seçilen örneklem ise 18 yaşından büyük ve çalışmaya gönüllü olarak katılım sağlayan, Tip 1 veya Tip 2 diyabet tanısı konulmuş, geçmişinde ülser veya nöropati dışında herhangi bir nörolojik rahatsızlık bulunmayan ayrıca herhangi bir yürüme yardımcısı kullanmaksızın tekrar tekrar yürüyüş gerçekleştirebilen katılımcılardan oluşturulmuştur. Örneklem grubu amaçlı örnekleme yöntemi ile seçilmiş olup araştırmanın sorunsalına uygun olduğu düşünülen ve belirli özellikleri taşıyan katılımcılardan seçilmiştir (Gülbüz ve Şahin, 2018). Katılımcılardan elde edilen bu veriler çalışmanın parametre geliştirme aşamasında kullanılmak üzere toplanmıştır. Örnekleme ait demografik özellikler aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

Tablo 3: Çalışma Grubunun Demografik Özelliklerine Göre Dağılımları (n=50)

	Kadın (n:26)		Erkek (n:24)	
Yaş Aralığı	n	%	n	%
59 ve üzeri	14	53,85	11	45,83
53-58	6	23,08	5	20,83
47-52	1	3,85	1	4,17
41-46	4	15,38	1	4,17
35-40	-	-	3	12,5
18-34	1	3,85	3	12,5
Boy	n	%	n	%
0-150 cm	4	15,38	-	-
151-161 cm	12	46,15	1	4,17
161-170 cm	9	34,62	13	54,17
171-180 cm	1	3,85	6	25
181-190 cm	-	-	4	16,67
Kilo	n	%	n	%
51-60 kg	1	3,85	-	-
61-70 kg	4	15,38	2	8,33
71-80 kg	6	23,08	9	37,5
81-90 kg	8	30,77	9	37,5
91 kg ve üzeri	7	26,92	4	16,67

BULGULAR

Çoklu Çıktı Sınıflandırma Modeli Performansı

Çalışmada geliştirilen çoklu çıktı sınıflandırma modeli, ortez tasarımına ilişkin kategorik parametrelerin tahmin edilmesinde değerlendirilmiştir. Test veri seti üzerinde elde edilen doğruluk (accuracy) ve ağırlıklı F1 skorları Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 4. Doğruluk ve F1 Skorları

Target	Accuracy	F1 weighted
AraKatman	0.933333	0.966812
RockerÖnerisi	0.933333	0.941664
Target	Accuracy	F1 weighted
Flanş/Stabilizasyon	0.933333	0.935525
TabanKatman	0.933333	0.931552
EkNot	0.933333	0.920862
ArkDesteği	0.933333	0.912297
ÜstKatman	0.933333	0.901149
Şasi/Shell	0.933333	0.923457
MetatarsDestek	0.866667	0.804762
RiskSeviyesi	0.666667	0.583851
Offloading/Insert	0.666667	0.673046
Basınç Altındaki Bölgeler	0.333333	0.321212

Tüm çıktılar için ortalama metrikler;

Ortalama Doğruluk (Accuracy): %85.56

Ortalama F1 Skoru (Weighted): %83.83

Model performansı incelendiğinde, bazı tasarım parametrelerinde oldukça yüksek doğruluk oranlarına ulaşıldığı görülmektedir. Özellikle:

- ✓ Ara Katman,
- ✓ Rocker Önerisi,

- ✓ Flanş/Stabilizasyon,
- ✓ Taban Katman

değişkenlerinde %100 doğruluk ve %100 ağırlıklı F1 skoru elde edilmiştir. Bu sonuç, ilgili parametrelerin giriş biyomekanik değişkenleri ile güçlü ve belirgin ilişkiler gösterdiğini düşündürmektedir.

Bununla birlikte;

- ✓ Üst Katman,
- ✓ Şasi/Shell,
- ✓ Ark Desteği,
- ✓ Ek Not

parametrelerinde doğruluk oranı %93,33 düzeyinde gerçekleşmiştir. Bu değerler, modelin klinik karar desenlerini büyük ölçüde öğrenebildiğini göstermektedir.

Orta düzey performans gösteren değişkenler:

- ✓ Metatars Destek (Accuracy = %86,67)
- ✓ Risk Seviyesi (Accuracy = %66,67)
- ✓ Offloading/Insert (Accuracy = %66,67)

olarak belirlenmiştir. Özellikle risk seviyesi ve offloading kararlarında model performansının düşmesi, bu parametrelerin çok faktörlü ve klinik yoruma daha açık değişkenler olduğunu düşündürmektedir.

En düşük performans:

- ✓ Basınç Altındaki Bölgeler (Accuracy = %33,33)

değişkeninde elde edilmiştir. Bu durum, çoklu anatomik bölge kombinasyonlarının tahmin edilmesinin daha karmaşık bir problem olduğunu ve veri setinin sınırlı örneklem büyüklüğünün bu sonucu etkileyebileceğini göstermektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, sınıflandırma modelinin özellikle yapısal ortez bileşenlerinin tahmininde yüksek başarı gösterdiği, ancak basınç bölgesi gibi çoklu kombinasyon içeren parametrelerde daha fazla veri gereksinimi bulunduğu söylenebilir.

Çoklu Çıktı Regresyon Modeli Performansı

Sürekli değişkenlerin tahminine yönelik geliştirilen çoklu çıktı regresyon modeli R^2 ve Ortalama Mutlak Hata (MAE) metrikleri ile değerlendirilmiştir. Buna ilişkin sonuçlar Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. R^2 ve Ortalama Mutlak Hata (MAE) Metrikleri

Target	R^2	MAE(Ortalama Mutlak Hata)
HeelCup mm	0.999519	0.003556
RearfootPosting Sağ	0.951843	0.373333
RearfootPosting Sol	0.488214	0.545556
MetatarsYükseklik mm	0.088173	0.323000

Heel Cup Yüksekliği

- ✓ $R^2 = 0.9995$
- ✓ MAE = 0.0036 mm

Bu sonuç, modelin heel cup yüksekliğini neredeyse hatasız şekilde tahmin edebildiğini göstermektedir. R^2 değerinin 1'e çok yakın olması, açıklanan varyansın son derece yüksek olduğunu göstermektedir.

Rearfoot Posting (Sağ)

- ✓ $R^2 = 0.9518$
- ✓ MAE = 0.3733

Sağ rearfoot posting tahmininde oldukça yüksek bir açıklama gücü elde edilmiştir. Bu sonuç, plantar yük dağılımı ile rearfoot posting arasında güçlü bir ilişki bulunduğunu göstermektedir.

Rearfoot Posting (Sol)✓ $R^2 = 0.4882$ ✓ $MAE = 0.5456$

Sol taraf için model performansı orta düzeydedir. Bu durum, sağ ve sol ayak biyomekaniği arasındaki varyasyon farklılıklarından kaynaklanabilir.

Metatars Yüksekliği✓ $R^2 = 0.0882$ ✓ $MAE = 0.3230$

Metatars yüksekliği tahmininde modelin açıklayıcılığı düşüktür. Bu parametrenin klinik karar sürecinde daha subjektif veya ek ölçümler gerektiren bir değişken olabileceği düşünülmektedir.

Streamlit Arayüzü Üzerinden Örnek Hasta Tahmini

Geliştirilen model, Streamlit tabanlı bir arayüz ile klinik kullanım senaryosu üzerinden test edilmiştir. Örnek bir hasta için girilen parametreler doğrultusunda model aşağıdaki orteز tasarım önerisini üretmiştir:

Klinik Risk ve Basınç Değerlendirmesi

✓ Risk Seviyesi: Orta

✓ Basınç Altındaki Bölgeler: Topuk | Medial ark / orta ayak

Bu sonuç, hastada posterior yük artışı ve medial ark stresinin birlikte değerlendirildiğini göstermektedir.

Önerilen Tabanlık Katman Yapısı

✓ Üst Katman: Plastazote 5 mm

✓ Ara Katman: EVA orta yoğunluk (3 mm)

✓ Taban Katman: EVA yüksek yoğunluk (3–4 mm)

✓ Şasi/Shell: Tam temas kontur | Rijit shell minimum düzeyde

Bu yapı, hem yük dağılımını optimize etmeyi hem de yapısal stabilite sağlamayı hedefleyen bir kombinasyon sunmaktadır.

Biyomekanik Destek Elemanları

✓ Ark Desteği: Ark dolgusu / total contact | Orta profil | Yumuşak

✓ Metatars Destek: Metatarsal dome

✓ Metatars Yüksekliği: 4 mm

✓ Heel Cup: 12 mm

Bu kombinasyon, medial ark desteği ve ön ayak yük redistribüsyonunu amaçlayan bir tasarım önerisine işaret etmektedir.

Rearfoot Posting

✓ Sağ: 3° lateral rear foot posting

✓ Sol: 3° lateral rear foot posting

Her iki tarafta lateral posting önerilmesi, hastada lateral denge ihtiyacının bulunduğunu göstermektedir.

Ek Öneriler

✓ Flanş/Stabilizasyon: Gerekli değil

✓ Offloading/Insert: Gerekli değil

✓ Rocker Taban: Önerilir

✓ Ek Not: Asimetri yok

✓ Ön ayak yükünü azaltmak amacıyla rocker taban önermiştir.

AH					
1	RearfootPosting_Sp ²	RearfootPosting_Sp ¹	Flanş/Stabilizasyon	Offloading/Insert	RockerÖnerisi
2	5° medial rearfoot posting	4° lateral rearfoot posting		Lateral ön ayak offloading (metatars 4-5); Topuk şok emici insert	Rocker taban önerilir (ön ayak yükünü azaltmak için)
3	3° medial rearfoot posting	0°	Sağ tarafta lateral stabilizasyon flanşı	Lateral ön ayak offloading (metatars 4-5); Topuk şok emici insert	Rocker taban önerilir (ön ayak yükünü azaltmak için)
4	0°	4° lateral rearfoot posting	Sağ tarafta lateral stabilizasyon flanşı		Rocker taban önerilir (ön ayak yükünü azaltmak için)
			Sağ tarafta lateral stabilizasyon flanşı	Topuk şok emici insert	Rocker taban önerilir (ön ayak yükünü azaltmak için)
					Kenarlar yuvarlatılmış, dikışsiz üst yüze basınç noktalarında lokal boşaltma

Şekil 3. Parametreler (3)

Elde edilen bulgular, geliştirilen makine öğrenmesi tabanlı çoklu çıktı modelinin:

- ✓ Yapısal orteز bileşenlerini yüksek doğrulukla tahmin edebildiğini,
- ✓ Heel cup ve sağ rearfoot posting parametrelerinde güçlü regresyon performansı gösterdiğini,
- ✓ Çoklu anatomik basınç kombinasyonlarının tahmininde daha fazla veri gereksinimi bulunduğunu ortaya koymaktadır.

Streamlit arayüzü üzerinden gerçekleştirilen örnek hasta senaryosu, sistemin klinik karar destek aracı olarak kullanılabilirliğini göstermektedir. İlgili yazılım Şekil 4'te ve örnek veri ile yapılan analiz sonuçları ise Tablo 4'de sunulmuştur:

İç Tabanlık Parametre Tahmini

Cinsiyet: Kadın Vki (sayısal): 27.50 Statik Denge Sağ (%): 52.00

Yaş Grubu: 18-34 Vki Kategorisi: Ağır zayıflık Statik Denge Sol (%): 48.00

Morfoloji: Pes cavus (yüksek ke...) Max Basınç Sağ (kPa): 520.00 Yürüyüş Yık Sağ (%): 51.00

Max Basınç Sol (kPa): 500.00 Yürüyüş Yık Sol (%): 49.00

Ayak Bölge Yük Dağılımı (%)

Ön Ayak Sağ (%): 26.00 Orta Ayak Sağ (%): 20.00 Arka Ayak Sağ (%): 54.00

Ön Ayak Sol (%): 25.00 Orta Ayak Sol (%): 21.00 Arka Ayak Sol (%): 54.00

Açılar (deg)

Ayak Açısı Sağ (deg): 7.50 Ayak Açısı Sol (deg): 6.00

COP Temas Açısı Sağ (deg): 8.00 COP Temas Açısı Sol (deg): 7.00

Tahmin Et ☒

Tahmin tamamlandı.

Okunur Sonuç (Etiketli)

Risk Seviyesi	Basınç Altındaki Bölgeler	Üst Katman	Ara Katman
0 Orta	Topuk Medial ark/orta ayak	Plastazote 5 mm	EVA orta yoğunluk (3 mm) (Shore A 35-45)

Ham Sonuç (Kodlu / Float)

Risk Seviyesi	Basınç Altındaki Bölgeler	Üst Katman	Ara Katman	Taban Katman	Şasi/Shell	Ark Desteği
0 2	3, 2	2	1	1	1, 2	1; 2, 3

Şekil 4. Parametre Tahmini

Tablo 6. Örnek Veriler ile Elde Edilen Sonuçlar

Varyasyon Kaynağı	Ham Sonuç (Kodlu)	Etiketli Sonuçlar
Risk Seviyesi	2	Orta
Basınç Altındaki Bölgeler	3, 2	Topuk Medial ark/orta ayak
Üst Katman	2	Plastazote 5 mm
Ara Katman	1	EVA orta yoğunluk (3 mm) (Shore A 35-45)
Taban Katman	1	EVA yüksek yoğunluk (3-4 mm) (Shore A 50-60)
Şasi/Shell	1, 2	Tam temas kontur Rijit shell minimum düzeyde
Ark Desteği	1; 2, 3	Ark dolgusu/total contact Orta profil Yumuşak
HeelCup mm	1,0067	12 mm
Metatars Destek	1	Metatarsal dome
Metatars Yükseklik mm	2,105	4 mm
Rearfoot Posting Sağ	3,1433	3° lateral rear foot posting
Rearfoot Posting Sol	3,4517	3° lateral rear foot posting
Flaş/Stabilizasyon	3,0	3.0
Offloading/Insert	4	Gerekli değil
Rocker Önerisi	1	Rocker taban önerilir (ön ayak yükünü azaltmak için)
EkNot	3	Asimetri yok

KAYNAKÇA

Amerikan Diyabet Derneği (2002). Screening for diabetes, *Diabetes Care*, 25 (1), 21-24.

Ampofo AG, Boateng EB. Beyond (2020). Modelling obesity and diabetes prevalence. *Diabetes Res Clin Pract.* 2020 Sep;167:108362. doi: 10.1016/j.diabres.2020.108362. Epub 2020 Aug 3. PMID: 32758618.

Bae, Y., Y., Kim, H., S. ve Choi, H.,E. (17-20 Mayıs 2023). Analysis of plantar contours and derivation of design baseline for the development of functional insoles to prevent diabetic foot ulcers (Bildiri). *Bahar Konferansı Ergonomi Topluluğu*, Anseoung, Kore.

Bencheikh, M. A. ve Boukhenous, S. (2018). A wearable preventive insole for diabetic patients. *International Conference on Computer Systems and Applications (AICCSA)*. Akabe, Ürdün

Breiman, L. Random Forests (2001). *Machine Learning*, 45, 5–32 <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>

- Büyüköztürk, Ş., Çakmak, Kılıç, E., Akgün, Ö., Erkan, Karadeniz, Ş. ve Demirel F. (2019). *Eğitimde Bilimsel Araştırma Yöntemleri* (26. Baskı), Pegem Akademi: Ankara.
- Chang, T. T., Chen, C., & Chen, J. W. (2022). *CCL7 as a novel inflammatory mediator in cardiovascular disease, diabetes mellitus, and kidney disease. Cardiovascular Diabetology*, 21(1), 1-8.
- Edmonds, M., Manu, C., & Vas, P. (2021). The current burden of diabetic foot disease. *Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma*, 17, 88–93.
- Gürbüz, S., & Şahin, F. (2018). *Sosyal bilimlerde araştırma yöntemleri: Felsefe – yöntem – analiz*. Seçkin Yayıncılık.
- Hastie, T., Tibshirani, R., Friedman, J. H., & Friedman, J. H. (2009). *The elements of statistical learning: data mining, inference, and prediction* (Vol. 2, pp. 1-758). New York: Springer.
- Karşlıoğlu, D. H. (2019). Obezite, tip 2 diyabet ve beslenme. *Klinik Tıp Bilimleri*, 7(3), 36-43.
- Kılıç, M., Olgun N., Dünder M., Çelik Advan S., Küçük F. Z., Okçuoğlu S., Şahin S., Kır Biçer E., Ülkeri, Y. Şahin P., Taşkiran, Z. (2025). Prevalence, risk level and risk factors of diabetic foot ulcer among adult individuals with diabetes in the Southeastern Anatolia Region of Türkiye, *Journal of Tissue Viability* 34, 1-7.
- Koç, E., Güler, S. ve Aslan, D. (2015). Diyabet-Şeker hastalığı, Toplum İçin Bilgilendirme Sunumları, *Hacettepe Üniversitesi Tıp Fakültesi Halk Sağlığı Anabilim Dalı*.
- Kuhn, M., & Johnson, K. (2013). *Applied predictive modeling* (Vol. 26, p. 13). New York: Springer.
- Nather A, Keng Lin W, Aziz Z, Hj Ong C, Mc Feng B, B Lin C. (2011). Assessment of sensory neuropathy in patients with diabetic foot problems. *Diabet Foot Ankle*, 2, 1-5.
- Nazaruk, J., ve Borzym-Kluczyk, M. (2014). The role of triterpenes in the management of diabetes mellitus and its complications, *Phytochem Rev.* 14(4), 675-690.
- Neşe, Çaparuşağı, A. ve Ovayolu, N. (2006). Diyabetik ayak ve bakımı. *Atatürk Üniversitesi Hemşirelik Yüksekokulu Dergisi*, 9 (2), 89-97.
- Oktora, S. I., & Butar, D. B. (2022). Determinants of Diabetes Mellitus Prevalence in Indonesia, *KEMAS*, 18(2), 266-273.
- Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., ... & Duchesnay, É. (2011). Scikit-learn: Machine learning in Python. *the Journal of machine Learning research*, 12, 2825-2830.
- Priharsara, F., Harini, M., Widiyanti, T., Artanti, A.N. ve Ani, I., L. (2017). Antidiabetic activity of self nanoemulsifying drug delivery system from bay leaves (*eugenia polyantha* wight) ethyl acetate fraction, *10p conf. series: Materials Science and Engineering*, 176, 1-6.
- Ren, Y., Wang, H., Song, X., Wu, Y., Lyu, Y. ve Zeng, W. (2024). Advancements in diabetic foot insoles: a comprehensive review of design, manufacturing and performance evaluation, *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 1-20.
- Suzuki, H., Vaughan-Sarrazin, M., Ohl, M., Mecham, B., McCoy, K., Brennan, M. B., Robbins, J. M. ve Livorsi, D., J. (2025). Facility-level variation in major leg amputation among patients with newly diagnosed diabetic foot ulcer. *JAMA Network Open*, 8(4), 1-11.
- Tiwari B., Jeanmonod K., Germano P., Koechli C., Ntella SL., Pataky Z., Civet Y. ve Perriard Y. A (2024). Tunable self-offloading module for plantar pressure regulation in diabetic patients. *Applied System Innovation*, 7(1), 1-10.
- Url-1 <https://idf.org/about diabetes/diabetes-facts-figures/> (Erişim Tarihi: 22.07.2021)
- Url-2 <https://www.aa.com.tr/tr/saglik/uzmanlar-diyabetli-hastalari-uyardi/1674234> (Erişim Tarihi: 13.06.2021).