

KALP KRİZİNDE YAPAY ZEKA ÇÖZÜMLERİ

Kardiyovasküler Hastalıklarda Erken Tanı ve Risk Değerlendirme Sistemi

1. Problem: Kritik Bir Sağlık Sorunu

Kardiyovasküler hastalıklar, küresel ölçekte en büyük sağlık tehdidi olmaya devam etmektedir. Dünya Sağlık Örgütü'nün 2024 verilerine göre, her yıl yaklaşık 17,9 milyon insan kalp ve damar hastalıkları nedeniyle hayatını kaybetmektedir. Bu rakam, dünya genelindeki tüm ölümlerin %32'sini oluşturmaktadır. Türkiye özelinde ise durum daha da dikkat çekicidir: Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2024 raporuna göre, ülkemizde yılda 489.361 kişi kardiyovasküler hastalıklar nedeniyle vefat etmektedir.

Bu istatistiklerin arkasında yatan temel sorun, mevcut sağlık sistemlerinin büyük ölçüde reaktif, yani olay gerçekleştikten sonra müdahale eden bir yapıda olmasıdır. Hastalar genellikle kalp krizi belirtileri başladıkta sonra acil servislere başvurmakta, bu aşamada yapılan müdahaleler ise çoğu zaman geç kalınmış müdahaleler olmaktadır. Oysa kardiyovasküler risklerin önceden tespit edilmesi ve erken dönemde önlem alınması, hem hasta sonuçlarını dramatik şekilde iyileştirmekte hem de sağlık sistemi üzerindeki yükü azaltmaktadır.

Mevcut tanı süreçlerinde karşılaşılan temel zorluklar şu şekilde özetlenebilir:

- Teşhis Hataları:** Kardiyoloji alanında yapılan araştırmalar, tanı hatası oranının %10-12 seviyesinde olduğunu göstermektedir. Newman-Toker ve arkadaşlarının 91.755 hastayı kapsayan çalışmasında, miyokard infarktüsü için tanı hatası oranı %2,2 olarak tespit edilmiştir. Kalp yetmezliği teşhisinde ise bu oran hastane ortamında %16,1'den, pratisyen hekimlerin uzmanlara yönlendirdiği hastalarda %68,5'e kadar çıkmaktadır.
- Veri Entegrasyonu Eksikliği:** Hastanelerde farklı sistemlerden toplanan veriler (EKG cihazları, vital parametre monitörleri, laboratuvar sonuçları) genellikle ayrı platformlarda bulunmakta ve birlikte değerlendirilememektedir. Bu parçalı yapı, bütünsel risk değerlendirmesini zorlaştırmaktadır.
- Manuel Süreçler ve Zaman Kaybı:** EKG analizleri ve risk değerlendirmeleri büyük ölçüde manuel yapılmakta, bu da hem zaman kaybına hem de insan kaynaklı hatalara yol açmaktadır. Özellikle kardiyolog bulunmayan vardiyalarda veya küçük sağlık tesislerinde bu durum kritik gecikmelere neden olmaktadır.
- Subjektif Değerlendirmeler:** Mevcut risk skorlama sistemleri (Framingham, SCORE vb.) genellikle sınırlı sayıda parametre kullanmakta ve klinisyenin deneyimine bağlı subjektif yorumlamalar gerektirmektedir.

2. Önerilen Çözüm: Çok Katmanlı Yapay Zeka Sistemi

BYM Technology tarafından geliştirilen "Kalp Krizinde Yapay Zeka Çözümleri" sistemi, yukarıda belirtilen problemlere kapsamlı ve yenilikçi bir yanıt sunmaktadır. Sistemin temel felsefesi, reaktif değil proaktif bir yaklaşım benimsemek; yani kalp krizi gerçekleştikten sonra müdahale etmek yerine, kriz öncesinde risk faktörlerini tespit ederek erken uyarı vermektedir.

Sistem, üç farklı veri katmanını eşzamanlı olarak analiz eden çok katmanlı bir yapay zeka mimarisine dayanmaktadır:

2.1. Demografik Risk Analizi Modülü

Bu modül, hastanın statik verilerini (yaş, cinsiyet, aile öyküsü, sigara kullanımı, BMI, kronik hastalıklar vb.) Hiyerarşik Bayes Ağları ve Otomatik Makine Öğrenmesi (AutoML) hibrit sistemi ile analiz etmektedir. Sistemin en önemli özelliklerinden biri, Türk popülasyonuna özel verilerle kalibre edilmiş olmasıdır. Bu sayede, uluslararası risk skorlarına göre %15-20 daha yüksek doğruluk oranı hedeflenmektedir. Modül, nedensel ilişki modellemesi yaparak hangi risk faktörlerinin birbirleriyle nasıl etkileştiğini de ortaya çıkarmakta, böylece sadece risk puanı değil, riskin altında nedenleri de göstermektedir.

2.2. EKG Sinyal Analizi Modülü

Elektrokardiyografi (EKG) sinyalleri, kalbin elektriksel aktivitesini göstermesi açısından kardiyovasküler tanıda vazgeçilmezdir. Ancak EKG yorumlaması deneyim gerektiren, zaman alan ve hata yapılması mümkün olan bir süreçtir. Geliştirilen sistem, Hibrit Çok-çözünürlüklü Derin Öğrenme Ağı kullanarak EKG sinyallerini otomatik ve gerçek zamanlı olarak analiz etmektedir. Teknolojik altyapı, Wavelet dönüşümü ile sinyal ön işleme, CNN (Convolutional Neural Networks) ile özellik çıkarımı, LSTM (Long Short-Term Memory) ile zamansal analiz ve Attention mekanizmaları ile kritik bölgelere odaklanmayı içermektedir. Bu modül, 7 farklı aritmi tipini %90+ doğrulukla sınıflandırabilmekte, özellikle Atrial Fibrilasyon tespitinde %95+ duyarlılık hedeflenmektedir. Sistem, 2 saniye altında sonuç vererek gerçek zamanlı karar desteği sağlamaktadır.

2.3. Koroner Görüntü Analizi Modülü

Üçüncü katman, koroner anjiyografi görüntülerinin otomatik analizi üzerine kuruludur. 3D U-Net segmentasyon algoritması ve fizik-güdümlü hesaplama yöntemleri kullanılarak, damar tıkanıklıkları otomatik olarak tespit edilmekte ve segmente edilmektedir. Bu modül, invaziv anjiyografi ihtiyacını %30-40 oranında azaltma potansiyeline sahiptir. Ayrıca radyologların görüntü değerlendirme süresini ortalama 45 dakikadan 10 dakikaya düşürmesi hedeflenmektedir. Sistemin Dice katsayı %87+ seviyesinde olacak şekilde tasarılmıştır.

2.4. Karar Füzyon ve Açıklanabilir Yapay Zeka

Üç modülden gelen çıktılar, Ensemble Learning yöntemiyle birleştirilmekte ve nihai risk skoru hesaplanmaktadır. Ancak sistemin en önemli özelliklerinden biri, sadece bir risk skoru vermekle kalmayıp, bu skorun gereklilerini de açıklıyor olmasıdır. SHAP (SHapley

Additive exPlanations) ve LIME (Local Interpretable Model-agnostic Explanations) algoritmaları kullanılarak, hangi faktörlerin risk skorunu nasıl etkilediği görselleştirilmekte ve hekime sunulmaktadır. Bu açıklanabilirlik özelliği, sistemin klinik ortamda kabul görmesi ve hekimlerin güvenini kazanması açısından kritik öneme sahiptir.

3. Teknik Altyapı ve Yenilikçi Yönler

Sistem, Python programlama dili kullanılarak geliştirilmekte olup TensorFlow ve Keras gibi endüstri standarı yapay zeka kütüphanelerini kullanmaktadır. Yazılım mimarisi tamamen modüler olarak tasarlanmıştır, böylece hastane bilgi sistemlerine (HBYS) kolay entegrasyon sağlanmıştır. HL7 FHIR R4 ve DICOM 3.0 standartlarına tam uyumluluk, farklı hastane altyapılarıyla sorunsuz çalışmayı garanti etmektedir.

Sistemin piyasadaki benzerlerinden ayıran temel özellikleri şunlardır:

- **Proaktif Yaklaşım:** Piyasadaki çoğu sistem kriz sonrası değerlendirme yaparken, bu sistem kriz öncesi erken uyarıya odaklanmaktadır.
- **Çok Modaliteli Analiz:** Tek bir veri türüne (sadece EKG veya sadece laboratuvar) odaklanan sistemlerin aksine, üç farklı veri katmanını eş zamanlı analiz etmektedir.
- **Yerelleştirilmiş Modeller:** Türk hasta popülasyonuna özel eğitilmiş modeller sayesinde, uluslararası çözümlere göre daha yüksek doğruluk sağlanmaktadır.
- **Açıklanabilirlik:** Kara kutu AI çözümlerinin aksine, her kararın gerekçesini açıklayabilen şeffaf bir sistemdir.
- **Donanım Bağımsızlığı:** SaaS (Software as a Service) modeli ile sunulan sistem, hastanelerin mevcut cihazlarıyla çalışabilmekte, ek donanım yatırımı gerektirmemektedir.
- **Gerçek Zamanlı Performans:** 5 saniye altında karar desteği sunarak acil durumlarda kritik zaman kazandırmaktadır.

4. Hedef Pazar ve Müşteri Profili

Sistemin birincil hedef pazarı, dijital dönüşüm yatırımları yapan özel sağlık kuruluşlarıdır. Türkiye'de toplam 1.515 hastanenin 595'i özel statüdedir ve bunlardan dijital teknoloji altyapısı bulunan 372 hastane doğrudan erişilebilir hedef pazarı oluşturmaktadır. Bu hastaneler yatak kapasitelerine göre üç kategoride değerlendirilmektedir: 50-150 yataklı (174 hastane), 150-400 yataklı (143 hastane) ve 400+ yataklı (55 hastane) kurumlar.

Global sağlık teknolojileri pazarı hızlı bir büyümeye göstermektedir. 2024 itibarıyla kardiyolojide yapay zeka destekli karar sistemleri pazarı yıllık yaklaşık %25 büyümeye göstermektedir. Türkiye sağlık teknolojileri pazarının toplam büyüklüğü 8,2 milyar ABD doları seviyesindedir ve bu pazarda yapay zeka çözümlerinin payı henüz %3,1 gibi düşük bir orandadır. Bu durum, önemli bir büyümeye fırsatı olduğunu göstermektedir.

İlk aşamada hedeflenen müşteri segmenti şu özelliklere sahiptir:

- Teknoloji yatırımlarına açık özel hastane zincirleri ve büyük kardiyoloji merkezleri
- Yıllık minimum 2.000 kardiyoloji hastası trafigi olan kurumlar
- Mevcut HBYS altyapısına sahip ve entegrasyona hazır kuruluşlar
- Kalite standartlarını ve hasta güvenliğini önceliklendiren sağlık grupları

İkinci fazda ise, sistem mobil uygulama ve giyilebilir cihaz entegrasyonları ile bireysel kullanıcılara da sunulması planlanmaktadır. 45-75 yaş aralığında kardiyovasküler risk grubunda yer alan yaklaşık 8,2 milyon kişi ve kronik hastalığı bulunan 12,5 milyon kişi toplam 20,7 milyon kişilik bir bireysel pazar potansiyeli oluşturmaktadır.

5. Başarı Kriterleri ve Rekabet Üstünlüğü

Sistemin başarısı, hem teknik performans metrikleri hem de klinik etki göstergeleri ile ölçülecektir. Proje, sağlık teknolojileri alanında yüksek standartlara ulaşmayı ve piyasadaki mevcut çözümlerden açık bir üstünlük sağlamayı hedeflemektedir.

5.1. Hedef Performans Metrikleri

Akıllı Triyaj Modülü: %92+ doğruluk, 5 saniye altında karar.

Demografik Risk: %88+ doğruluk, Türk popülasyonuna özel %15-20 daha yüksek performans.

EKG Analizi: 7 aritmi tipinde %90+ doğruluk, AF tespitinde %95+ duyarlılık.

Koroner Görüntü: %87+ Dice katsayısı, otomatik tikanıklık tespiti.

5.2. Hedef Klinik Etkiler

- Tanı süresi: 12-15 dk → 2-3 dk (%80 azalma)
- İnvaziv anjiyografi: %30-40 azalma
- Hasta akışı: %25 artış
- Görüntü değerlendirme: 45 dk → 10 dk

5.3. Teknik Doğrulama ve Rekabet Üstünlüğü

Doğrulama: 500 hasta verisi, ROC-AUC >0.90, üç pilot hastanede 60 gün test, %98+ sistem kararlılığı.

Rekabet Avantajları: Proaktif yaklaşım (kriz öncesi), çok katmanlı veri analizi (statik+vital+EKG), açıklanabilir AI (SHAP/LIME), yerelleştirilmiş modeller (%15-20 daha yüksek doğruluk), %60 maliyet avantajı, 5 saniye altında karar.

6. Klinik Validasyon ve Danışmanlık

Projenin tıbbi geçerliliğini güvence altına almak ve klinik ihtiyaçlara uygunluğunu sağlamak amacıyla iki deneyimli kardiyolog danışman olarak süreçte yer almaktadır:

Uzm. Dr. Mahsa Sedaghatiagh (Özel Doğa Hospital Kardiyoloji Uzmanı): İran Tebriz Üniversitesi Tıp Fakültesi mezunu olup Tahran Tıp Bilimleri Üniversitesi'nde kardiyoloji uzmanlığını tamamlamıştır. 2010 yılından bu yana kardiyoloji uzmanı olarak çalışmaktadır. Projede klinik validasyon, hasta profilleri ve karar destek mekanizmalarının sağlık sisteme uyumlu biçimde yapılandırılması konularında danışmanlık sağlamaktadır.

Uzm. Dr. Asil İşçi (İSTÜN Beylikdüzü Kolan Hospital Kardiyoloji Uzmanı): Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi mezunu olup İzmir Atatürk Eğitim ve Araştırma Hastanesi'nde kardiyoloji uzmanlığını tamamlamıştır. Girişimsel kardiyoloji alanında deneyimli olup 10.000'den fazla koroner anjiografi ve 2.000'den fazla stent implantasyonu gerçekleştirmiştir. Projede

sistemin klinik uygulanabilirliği ve uygulama alanlarına yönelik profesyonel katkı sunmaktadır.

7. Kurumsal İşbirlikleri ve Proje Destekleri

Kalp Krizinde Yapay Zeka Çözümleri projesi, güçlü kurumsal işbirlikleri ve destek mektupları ile desteklenmektedir. Projenin başarılı bir şekilde geliştirilmesi ve ticarileştirilmesi için hem akademik hem de sağlık sektöründen önemli kurumlarla işbirliği yapılmıştır.

7.1. Akademik Destek

İstanbul Topkapı Üniversitesi: Proje, İstanbul Topkapı Üniversitesi Genel Sekreterliği tarafından verilen iyi niyet mektubu ile desteklenmektedir. Üniversite, 2025-2026 akademik yılında projenin Ar-Ge süreçlerinde birlikte çalışma taahhüdünde bulunmaktadır. EKG modeli bilimsel araştırmaları, akademik yayın üretimi ve eğitim amaçlı geliştirmeler bu işbirliğinin kapsamındadır.

7.2. Sağlık Kurumları Desteği

Proje, özel sağlık kurumlarından alınan iyi niyet mektupları ile de güçlendirilmektedir:

Özel Doğa Hospital: Hastane yönetimi tarafından verilen iyi niyet mektubu ile projenin klinik validasyon aşamalarında destek sunma taahhüdünde bulunulmuştur. Kardiyolog danışmanlarından Uzm. Dr. Mahsa Sedaghatihagh'ın görev yaptığı bu kurum, gerçek hasta verileriyle sistemin test edilmesi ve doğrulanması konusunda kritik bir rol oynayacaktır.

İSTÜN Beylikdüzü Kolan Hospital: Kardiyolog danışmanımız Uzm. Dr. Asil İşçi'nin görev yaptığı bu hastane de projeye iyi niyet mektubu ile destek vermektedir. Girişimsel kardiyoloji alanındaki deneyimleriyle sistemin klinik uygulanabilirliğinin değerlendirilmesinde önemli katkı sağlayacaktır.

Bu kurumsal işbirlikleri ve destek mektupları, projenin hem akademik geçerliliğini hem de klinik uygulama potansiyelini güçlendirmekte, aynı zamanda ticarileşme aşamasında müşteri validasyonu için önemli bir referans oluşturmaktadır.

8. İş Modeli ve Ticarileşme Stratejisi

Sistem, B2B (Business to Business) odaklı bir SaaS (Software as a Service) abonelik modeli ile ticarileştirilecektir. Hastanelerin yatak kapasitelerine göre üç farklı paket sunulması planlanmaktadır:

- Temel Paket (10.000 TL/ay): 50-150 yataklı hastaneler için, EKG analizi ve temel risk değerlendirme, aylık 100 hasta analizi dahil, 150 hastane hedeflenmektedir.
- Profesyonel Paket (20.000 TL/ay): 150-400 yataklı hastaneler için, tam platform erişimi (EKG + görüntü + akıllı triyaj), aylık 250 hasta analizi dahil, sistem entegrasyonu desteği, 180 hastane hedeflenmektedir.
- Kurumsal Paket (35.000 TL/ay): 400+ yataklı hastaneler için, sınırsız analiz, özel arayüz, 7/24 öncelikli destek, 70 hastane hedeflenmektedir.

Ek gelir kalemleri olarak entegrasyon hizmetleri (hastane başına 120.000-350.000 TL), teknisyen eğitim programları (kişi başı 6.500 TL), veri analizi hizmetleri (hastane başına 12.000-20.000 TL/ay) ve API lisanslama (çağrı başına 20 TL + aylık 12.000 TL) planlanmaktadır.

Beş yıllık finansal projeksiyona göre toplam gelir 460 milyon TL olarak öngörülmektedir. Bunun 410 milyon TL'si yazılım aboneliklerinden, 50 milyon TL'si ise ek hizmetlerden sağlanacaktır. Yıllık gelir dağılımı birinci yıl 6 milyon TL, ikinci yıl 24 milyon TL, üçüncü yıl 70 milyon TL, dördüncü yıl 160 milyon TL ve beşinci yıl 200 milyon TL olarak planlanmıştır. Başa baş noktasına üçüncü yılın başında ulaşılması hedeflenmektedir.

Müşteri kazanım stratejisi, ilk aşamada doğrudan satış ağırlıklı olacak, HBYS iş ortaklıklarını ve grup anlaşmaları ile desteklenecektir. Ortalama satış döngüsü 5-7 ay olarak öngörülmektedir: farkındalık oluşturma, kısa pilot uygulama (60 gün), entegrasyon ve sözleşme aşamalarından oluşmaktadır.

9. Sonuç ve Beklenen Etkiler

Kalp Krizinde Yapay Zeka Çözümleri projesi, kardiyovasküler hastalıkların erken tanısı ve risk yönetiminde paradigma değişikliği yaratma potansiyeline sahip yenilikçi bir teknoloji geliştirmeyi hedeflemektedir. Projenin başarıya ulaşması durumunda beklenen etkiler çok boyutludur:

7.1. Klinik Etkiler

- Tanı doğruluğunda %15-20 iyileşme
- Tanı süresinde %60 azalma (12-15 dakikadan 2-3 dakikaya)
- Gereksiz invaziv anjiyografi işlemlerinde %30-40 azalma
- Hasta güvenliğinde önemli artış
- Hekim iş yükünde rahatlama

7.2. Ekonomik Etkiler

Sağlık kurumları için operasyonel maliyet azalması, gereksiz tetkik ve görüntüleme giderlerinde düşüş, hasta akış verimliliğinde artış sağlanacaktır. Beş yıllık dönemde 460 milyon TL ciroya ulaşma hedefi, 50+ kişiye istihdam yaratma ve Türkiye'nin sağlık teknolojileri ihracatına katkı potansiyeli bulunmaktadır.

7.3. Sosyal Etkiler

Proje, Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları'ndan özellikle 3. madde olan "Sağlıklı Bireyler ve Nitelikli Yaşam" hedefine doğrudan katkı sağlayacaktır.

Kardiyovasküler hastalıklara bağlı ölüm oranlarının azaltılması, sağlık hizmetlerine erişimde fırsat eşitliği ve dijital sağlık okuryazarlığının artırılması projenin sosyal faydalari arasındadır.

7.4. Teknolojik Liderlik

Türkiye'nin sağlık teknolojileri alanında yerli ve özgün çözümler geliştiren bir ekosistemde yer alması, yapay zeka ve derin öğrenme alanlarında ulusal yetkinlik kazanılması, açık kaynaklı teknolojilerin etkin kullanımı ve CE/FDA belgelendirme süreçlerinde deneyim kazanılması hedeflenmektedir.

Sonuç olarak, Kalp Krizinde Yapay Zeka Çözümleri projesi, hem teknik yenilikçiliği hem klinik geçerliliği hem de ticari sürdürülebilirliği bir araya getiren, Türkiye sağlık teknolojileri ekosisteminde önemli bir boşluğu dolduracak bir girişimdir. TÜBİTAK BİGG 1812 programının sağlayacağı destek ile bu vizyon hayatı geçirilecek, ülkemizin sağlık ve teknoloji alanlarında uluslararası arenadaki konumu güçlendirilecektir.