

Koroner Arter Hastalığının Destek Vektör Makineleri ve Gauss Karışım Modeli ile Tespiti

Coronary Artery Disease Detection by using Support Vector Machines and Gaussian Mixture Model

Merve Begüm TERZİ ve Orhan ARIKAN

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü

Bilkent Üniversitesi

Ankara, Türkiye

mbterzi@ee.bilkent.edu.tr, oarikan@ee.bilkent.edu.tr

Özetçe —Bu çalışmada, koroner arter hastalığının (KAH) gürbüz tespitini gerçekleştirmek amacıyla EKG'deki anomalileri güncel sinyal işleme ve makine öğrenmesi yöntemlerini kullanarak tespit eden bir teknik geliştirilmiştir. Bu amaçla, European ST-T veri tabanındaki geniş bantlı kayıtlar kullanılarak, KAH'nın güvenilir tespiti için kritik olan EKG özniteliklerini elde eden özgün bir öznitelik çıkarım tekniği geliştirilmiştir. Elde edilen öznitelikleri kullanarak, KAH'nın gürbüz tespitini gerçekleştiren destek vektör makinelerine (DVM) ve çekirdek fonksiyonlarına dayalı bir gözetimli öğrenme tekniği geliştirilmiştir. İskemik EKG verilerinin eksik olduğu durumlarda, sadece bazal EKG verilerini kullanarak KAH'nın gürbüz tespitini gerçekleştiren Gauss karışım modeline (GKM) dayalı bir gözetimsiz öğrenme tekniği geliştirilmiştir. KAH'ı temsil eden aykırı değerlerin gürbüz tespitini gerçekleştirmek için Neyman-Pearson tipi bir yaklaşım geliştirilmiştir. Önerilen tekniğin European ST-T veri tabanı üzerindeki başarımları sonuçları, tekniğin oldukça güvenilir KAH tespiti sağladığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler—EKG, öznitelik çıkarımı, destek vektör makineleri, çekirdek fonksiyonları, gözetimsiz öğrenme, kümeleme, Gauss karışım modeli, Neyman-Pearson kriteri, anomali tespiti.

Abstract—In this study, a technique which detects the anomalies in ECG by using the state-of-the-art signal processing and machine learning methods is developed to perform the robust detection of coronary artery disease (CAD). For this purpose, by using the wideband recordings on European ST-T database, a novel feature extraction technique which obtains ECG features that are critical for the reliable detection of CAD is developed. By using the extracted features, a supervised learning technique based on support vector machines (SVM) and kernel functions which performs the robust detection of CAD is developed. In cases where ischaemic ECG data is missing, an unsupervised learning technique based on Gaussian mixture model (GMM) which performs the robust detection of CAD by using only basal ECG data is developed. A Neyman-Pearson type of approach is developed to perform the robust detection of the outliers that correspond to CAD. The performance results of the proposed technique over European ST-T database show that the technique provides highly reliable detection of CAD.

Keywords—ECG, feature extraction, support vector machines, kernel functions, unsupervised learning, clustering, Gaussian mixture model, Neyman-Pearson criterion, anomaly detection.

I. GİRİŞ

Koroner arter hastalığı (KAH), koroner arterlerdeki kan akışının azalması veya tamamen kesilmesine bağlı olarak gelişmekte ve miyokardiyumda iskemik nekroza yol açarak, kalıcı hasar oluşmasına neden olmaktadır [1]. KAH'da, koroner arter oklüzyonundan sonraki birkaç saat içinde ölümcül aritmiler ve miyokard infarktüsü meydana gelmektedir. Bu nedenle, KAH tüm dünyada görülme sıklığı giderek artan başlıca ölüm sebeplerinden biridir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) verilerine göre dünyada KAH'dan kaynaklanan ölümler tüm ölümlerin %38'ini oluştururken, Türkiye'de %44'ünü oluşturarak, ilk sırada yer almaktadır [2]. Bu nedenle, KAH'nın güvenilir bir şekilde erken teşhis edilmesi önemli bir klinik ihtiyaçtır.

KAH'da, geçici göğüs ağrıları ile birlikte EKG'nin ST segmentinde değişiklikler meydana gelmektedir [1]. EKG'de meydana gelen değişiklikler güncel sinyal işleme ve makine öğrenmesi teknikleri kullanılarak gürbüz bir şekilde tespit edilebilir. Böylece, KAH'a erken ve doğru tanı konulması sağlanarak, oklüzyon meydana gelen koroner arterde reperfüzyon tedavilerine erken başlanılabilmeye ve hastalığın mortalite oranlarında belirgin azalma sağlanabilir.

Literatürdeki çalışmalarda, EKG sinyalini kullanarak KAH tespitini gerçekleştirmek için çeşitli teknikler önerilmiştir. Farklı metodolojik yaklaşımları içeren bu teknikler kural-bazlı teknikleri [3], bulanık mantık yöntemlerini [4], yapay sinir ağlarını (YSA) [5], destek vektör makinelerini (DVM) [6] ve diğer sinyal analiz tekniklerini [7] kapsamaktadır. Bu teknikler arasında, DVM birçok sınıflandırma probleminin çözümünde yüksek başarımları gösteren ve en büyük pay ilkesine dayalı yaklaşımı sayesinde yüksek genelleme kabiliyetine sahip olan bir makine öğrenmesi tekniği olarak literatürdeki yerini almıştır. Ayrıca, DVM'nin en büyük pay ilkesine dayalı yaklaşımı sayesinde, sınıflandırma görevini gerçekleştirmek için sınıfların istatistiksel dağılımının çok boyutlu öznitelik uzayında tahmin edilmesine gerek kalmadığı ve bu sebeple, diğer istatistiksel öğrenme tekniklerine kıyasla boyut sayısına karşı hassasiyetinin daha az olduğu gösterilmiştir. Bu nedenle, geleneksel istatistiksel öğrenme tekniklerine kıyasla, DVM ile daha gürbüz bir KAH tespit tekniği geliştirmek mümkündür.

II. AMAÇ VE YÖNTEM

Bu çalışmada, KAH'ın gürbüz tespitini gerçekleştirmek amacıyla EKG'nin ST segmentindeki anomalileri güncel sinyal işleme ve makine öğrenmesi yöntemlerini kullanarak tespit eden özgün bir teknik geliştirilmiştir.

A. Veri Kümesinin Oluşturulması

Önerilen tekniğin geliştirilmesi sırasında, miyokard iskemisi tanısı konulan ve göğüs ağrısı bulgusunu gösteren 79 koroner arter hastasından elde edilen kayıtları içeren European ST-T veri tabanı kullanılmıştır [8]. Veri tabanı, koroner arter oklüzyonu nedeniyle gerçekleşen miyokard iskemisi sonucunda EKG'de meydana gelen yapısal değişiklikleri araştırmak amacıyla Avrupa Kardiyoloji Topluluğu tarafından yürütülen klinik araştırma çalışması kapsamında oluşturulmuştur. Koroner arter oklüzyonu sonucunda miyokardiyal kan akışının azalmasıyla, etkilenen bölgede lokal olarak miyokard iskemisi oluşmakta ve geçici göğüs ağrıları ile birlikte EKG'nin ST segmentinde değişiklikler meydana gelmektedir [6]. Veri tabanı, koroner arter oklüzyonu öncesinde ve sonrasında hastalardan elde edilen bazal ve iskemik EKG verilerinde miyokard iskemisinin yol açtığı yapısal değişiklikleri göstermesi nedeniyle, çeşitli KAH tespit tekniklerinin geliştirilmesi ve başarımlarının değerlendirilmesi için oldukça uygun bir test ortamı sunmaktadır.

Veri alımı sırasında, iskelet kasından kaynaklanan hareket artefaktlarını azaltmak amacıyla prekordiyal EKG derivasyonları için standart elektrot konfigürasyonu kullanılırken, ekstremitelerde derivasyonları için Mason-Likar elektrot konfigürasyonu kullanılmıştır. Kayıtların sayısallaştırılması sırasında, yüksek çözünürlüğe sahip sinyallerin elde edilebilmesi için $0.8 \mu V$ genlik çözünürlüğü ve 250 Hz örnekleme frekansı kullanılmıştır. Veri tabanında, kayıtlara ait derivasyon bilgileri ve hastaların klinik bulguları ile ilgili bilgiler de yer almaktadır.

B. Ön İşleme Tekniği

Geliştirilen ön işleme tekniğinin ilk aşamasında, EKG sinyalinin yapısında bulunan ve tanısal bilgi içermeyen gürültüler güncel sinyal işleme yöntemlerini kullanarak elimine edilmiştir. Bu amaçla, ön işleme tekniğinin European ST-T veri tabanındaki geniş bantlı EKG kayıtlarına uygulanması sonucunda, düşük ve yüksek frekanslı sinyal bileşenleri olan taban hattı kayması, solunum sinyali, hareket artefaktı ve iskelet kası (EMG) gürültüsü alt kesim frekansı $f_{L1}=0.5$ Hz, üst kesim frekansı ise $f_{H1}=150$ Hz olan bir bant geçiren süzgeç kullanılarak EKG sinyallerinden çıkarılmıştır. Ayrıca, 50 Hz'lik güç hattı girişiminin EKG sinyallerinden çıkarılması için alt kesim frekansı $f_{L2}=49$ Hz, üst kesim frekansı ise $f_{H2}=51$ Hz olan bir çentik süzgeç kullanılmıştır. EKG sinyallerinin başlangıcındaki ve sonundaki ani değişikliklerden kaynaklanan Gibbs etkisini azaltmak amacıyla, sinyaller süzgeçlenmeden önce başlangıcı ve bitişi yumuşatılmış bir zaman penceresiyle çarpılmıştır.

Süzgeçlenen EKG sinyallerinde QRS kompleks tespitini gerçekleştirmek amacıyla, genliği P ve T dalgalarından yüksek ve QRS kompleksinden düşük olan hastaya özgü olarak uyarlanmış eşik değerler belirlenmiştir. EKG sinyal genliklerinin belirlenen uyarlanmış eşik değerden yüksek olduğu sinyal değerlerinin bulunmasıyla, QRS komplekslerinin zaman düzlemindeki tespiti gerçekleştirilmiştir. QRS kompleksleri tespit

edilen EKG sinyalleri bölütlenerek, her bir kalp atımı için periyotlarına ayrıştırılmıştır. Son olarak, KAH'ın semptomu olan ST segmentindeki anomalilerin gürbüz tespitini sağlamak amacıyla tüm periyotlar için izoelektrik seviye bulunarak, EKG sinyallerinden çıkarılmıştır.

C. Öznitelik Çıkarım Tekniği

Ön işleme tekniğinin European ST-T veri tabanındaki geniş bantlı kayıtlara uygulanmasıyla elde edilen EKG sinyallerinden, KAH'ın güvenilir tespiti için ayırtıcılığı en yüksek olan özniteliklerin çıkarılmasını sağlayan özgün bir öznitelik çıkarım tekniği geliştirilmiştir. Öznitelik çıkarım tekniğinin veri tabanındaki bazal ve iskemik EKG sinyallerine uygulanması sonucunda, KAH'ın gürbüz tespiti için kritik olan ST segmentine ait öznitelikler tüm hastalar için elde edilmiştir.

ST Segment Seviyesi

ST segmentindeki çökme veya yükselme miktarını belirlemek için elde edilen bu öznitelik, EKG sinyalinin tüm periyotları (m) için ST segmenti boyunca var olan genlik değerlerinin toplanarak, aynı aralıktaki toplam örnek sayısına (L_m) bölünmesiyle elde edilmiştir.

$$s_1[m] = \frac{1}{L_m} \sum_{k=0}^{L_m} q[n_m + k], \quad m = 1, \dots, p. \quad (1)$$

ST Segment Eğimi

ST segmentindeki çökme veya yükselme miktarını belirlemek için elde edilen bu öznitelik, EKG sinyalinin tüm periyotları (m) için ST segmenti boyunca var olan tüm örnekler en iyi uyumu sağlayan doğru parçasının en küçük kareler tekniği kullanılarak tespit edilmesiyle elde edilmiştir.

$$s_2[\beta_{0m}, \beta_{1m}] = \sum_{i=1}^n (y_{i_m} - \beta_{0m} - \beta_{1m} x_{i_m})^2, \quad m = 1, \dots, p. \quad (2)$$

D. Sınıflandırma Tekniği

Öznitelik çıkarım tekniğinin veri tabanındaki bazal ve iskemik EKG sinyallerine uygulanmasıyla elde edilen kritik öznitelikleri kullanarak, KAH'ın gürbüz tespitini gerçekleştiren DVM'ye ve çekirdek fonksiyonlarına dayalı bir gözetimli öğrenme tekniği geliştirilmiştir. DVM'nin çalışma ilkesi, iki sınıfa ait verileri aralarında en büyük pay olacak şekilde ayıran ötelenmiş düzlemin tanımlanması esasına dayanmaktadır. DVM'nin sahip olduğu algoritmalar başlangıçta iki sınıflı ve doğrusal olarak ayrılabilen verilerin sınıflandırılması problemi için tasarlanmış, daha sonra çok sınıflı ve doğrusal olmayan verilerin sınıflandırılması için genelleştirilmiştir [9]. Verilerin doğrusal olarak ayrılamadığı problemlerde, eğitim verilerinin bir kısmının en iyi ötelenmiş düzlemin diğer tarafında kalmasından kaynaklanan problem pozitif bir yapay değişkenin (ξ) tanımlanmasıyla çözülmektedir. İki ötelenmiş düzlem arasındaki uzaklığın en büyüklenmesi ve yanlış sınıflandırma hatalarının en küçüklenmesi arasındaki denge düzenleme parametresinin (C) tanımlanmasıyla kurulmaktadır. Doğrusal olarak ayrılamayan veriler için en iyileme problemi (3)'de gösterildiği şekilde ifade edilmektedir.

$$\arg \min_{w, \xi} \left\{ \frac{1}{2} \|w\|_2^2 + C \sum_{m=1}^n \xi_m \right\}. \quad (3)$$

Buna bağlı sınırlamalar ise (4)'deki gibi ifade edilmekte ve w ötelenmiş düzleme normal olan vektörü göstermektedir.

$$y_m(w^T x - b) \geq 1 - \xi_m, \quad \xi_m \geq 0. \quad (4)$$

Denklem (3) ve (4)'deki en iyileme problemi ve $\|w\|_2$ parametresinin en küçüklenmesi Lagrange çarpanları kullanılarak (5)'de gösterildiği şekilde ifade edilebilir.

$$\arg \min_{w, \xi} \max_{\alpha, \beta} \left\{ \frac{1}{2} \|w\|_2^2 + C \sum_{m=1}^n \xi_m - \sum_{m=1}^n \beta_m \xi_m - \sum_{m=1}^n \alpha_m [y_m(w^T x - b) - 1 + \xi_m] \right\}. \quad (5)$$

Denklem (5)'de gösterilen en iyileme probleminin çözümü için çekirdek hilesi yöntemi uygulanabilir ve böylece, verilerin düşük boyutlu girdi uzayından yüksek boyutlu öznitelik uzayına dönüştürülmesi için çekirdek fonksiyonları kullanılarak, doğrusal olmayan haritalama gerçekleştirilebilir [10]. Bu sayede, girdi uzayında doğrusal olarak ayrılamayan veriler, öznitelik uzayında payı en büyük olan ayırıcı ötelenmiş düzlemin bulunmasıyla doğrusal olarak ayrılabilir. Doğrusal olmayan dönüşümleri gerçekleştiren çekirdek fonksiyonu (6)'da gösterildiği şekilde ifade edilmektedir. Bu çalışmada, doğrusal olarak ayrılabilen verilerin sınıflandırılmasında (7)'de gösterilen lineer çekirdek kullanılırken, doğrusal olarak ayrılamayan verilerin sınıflandırılmasında (8)'de gösterilen radyal tabanlı çekirdek kullanılmıştır.

$$K(x_i, x_j) = \phi(x_i)\phi(x_j) \quad (6)$$

$$K(x_i, x_j) = (x_i \cdot x_j + c) \quad (7)$$

$$K(x_i, x_j) = \exp(-\gamma \|x_i - x_j\|^2), \quad \gamma > 0. \quad (8)$$

Geliştirilen tekniğin daha önce görmediği veriler üzerindeki başarımını ve genelleme kabiliyetini göstermek amacıyla her bir hastaya ait veri kümesi k -katlı çapraz geçerlilik yöntemi kullanılarak, eğitim kümesine ve test kümesine ayrıştırılmıştır. Çapraz geçerlilik yönteminin uygulanması sırasında, tüm veri kümesi rastgele bir şekilde $k=5$ eşit alt kümeye bölünmüştür. Bu bölümün sonucunda elde edilen alt kümelerden biri tekniğin genelleme kabiliyetini göstermek için kullanılan test kümesini oluştururken, geriye kalan alt kümeler bir araya getirilerek DVM'nin eğitilmesi ve hiperparametrelerinin en iyilenmesi için kullanılan eğitim kümesini oluşturmuştur. Buna ek olarak, DVM'nin eğitim kümesine aşırı uyum sağlamasını engellemek amacıyla, eğitim kümesi rastgele bir şekilde eğitim (80%) ve doğrulama (20%) alt kümelerine ayrıştırılmıştır. Bu işlemlerin tüm çapraz geçerlilik katlarında tekrarlanması sonucunda, rastgele 5 bağımsız eğitim kümesi, doğrulama kümesi ve test kümesi elde edilmiştir.

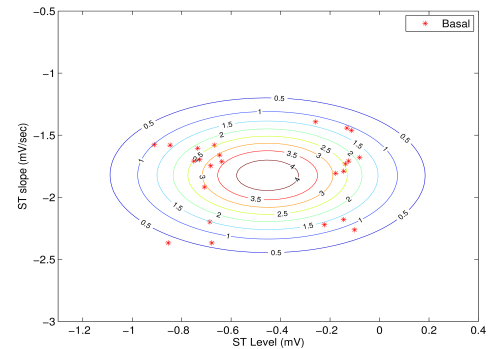
DVM algoritmasının ilgili veri kümesi üzerindeki başarımının ve genelleme kabiliyetinin seçilen çekirdek fonksiyonuna ve çekirdek fonksiyonunun hiperparametrelerine büyük ölçüde bağlı olduğu bilinmektedir [11]. Bu nedenle, farklı çekirdek fonksiyonlarına sahip modeller geliştirilerek, bu modellerin veri kümesi üzerindeki başarımları her bir hasta için hesaplanmıştır. En yüksek başarıma sahip çekirdek fonksiyonunun hasta bazında belirlenmesiyle, geliştirilen modeller hastaya özgü olacak şekilde en iyilenmiştir.

DVM'nin eğitimi sırasında, çekirdek fonksiyonunun farklı hiperparametreleri için ızgara araması yöntemi ve eğitim kümesi kullanılarak çeşitli modeller geliştirilmiş ve bu modellerin doğrulama kümesine uygulanması sonucunda, tekniğin eğitim seti üzerindeki başarımının yansız kestirimleri elde edilmiştir. Bu amaçla, istatistiksel başarımlar ölçütleri olan doğruluk, isabet oranı, yanlış alarm oranı, pozitif tahmin değeri, negatif tahmin değeri, özgüllük ve hata oranı geliştirilen tüm modeller için hesaplanmıştır. Böylece, tüm başarımlar ölçütleri için en yüksek başarımları gösteren en iyilenmiş hiperparametrelere sahip model doğrulama kümesi kullanılarak hastaya özgü olacak şekilde belirlenmiştir. En iyilenmiş çekirdek fonksiyonuna ve hiperparametrelere sahip modelin test kümesine uygulanması sonucunda, tekniğin daha önce görülmemiş bağımsız bir veri kümesi üzerindeki başarımı ve genelleme kabiliyeti belirlenmiştir. Son olarak, farklı çapraz geçerlilik katlarında en iyilenmiş modelin test kümesi üzerinde elde edilen başarımların ortalaması alınarak, her bir başarımlar ölçütü için tek bir başarımlar kestirimi elde edilmiştir.

E. Kümeleme Yöntemi

İskemik EKG verilerinin eksik olduğu durumlarda, sadece bazal EKG verilerini kullanarak KAH'ın gürbüz tespitini gerçekleştiren Gauss karışım modeline (GKM) dayalı bir gözetimsiz öğrenme tekniği geliştirilmiştir. GKM, eğitim kümesini birbirinden bağımsız birden fazla Gauss dağılımının karışımını kullanarak tanımlayan bir kümeleme yöntemidir. Bu yöntemde, eğitim kümesindeki örneklerin Gauss dağılımı ile örnek üreten birden fazla bağımsız kaynaktan üretildiği varsayılarak, bu kaynaklara ait Gauss parametrelerinin optimizasyonu karışımın olasılık yoğunluk fonksiyonunu en büyüleyecek şekilde gerçekleştirilir [12]. Bu sayede, veri kümesinin tek bir dağılımdan üretildiğini varsayarak, ilgili dağılım parametrelerinin kestirimiyle modelleme yapan yöntemlerin yetersiz kaldığı durumlarda, GKM yüksek başarımlar gösteren bir makine öğrenmesi yöntemi olarak literatürdeki yerini almıştır [12].

Bu nedenle, KAH'ın güvenilir tespiti için kritik olan ST segmentine ait özniteliklerin birleşik olasılık yoğunluk fonksiyonunun kestirimi GKM kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 1'de veri tabanındaki bir hastaya ait bazal EKG öznitelikleri ST segment seviyesinin ve ST segment eğiminin birleşik olasılık yoğunluk fonksiyonunun GKM ile kestirimi gösterilmektedir.



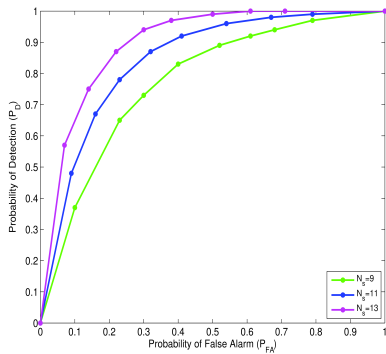
Şekil 1: European ST-T veri tabanındaki bir hastaya ait bazal EKG öznitelikleri ST segment seviyesinin ve eğiminin birleşik olasılık yoğunluk fonksiyonunun GKM ile kestirimi.

Ayrıca, KAH'ı temsil eden aykırı değerlerin gürbüz tespitini gerçekleştirmek için Neyman-Pearson tipi bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu amaçla, veri tabanındaki her bir hastanın bazal EKG sinyalleri eşit uzunluğa sahip farklı segmentlere bölütlenmiştir. Neyman-Pearson karar stratejisi, EKG segmentlerinin ortalama log-olabilirlik değerlerinin hesaplanmasıyla ve bu değerlerin farklı ayırım eşik değerleri ile kıyaslanmasıyla gerçekleştirilmiştir. Farklı EKG segment sayıları ve ayırım eşik değerleri için elde edilen isabet oranı ve yanlış alarm oranı değerleri tüm hastalar için hesaplanmıştır. Geliştirilen tekniğin European ST-T veri tabanı üzerindeki başarımları, EKG segment sayısındaki artışın GKM'ye dayalı kümeleme yönteminin başarımlarını ve genelleme kabiliyetini büyük ölçüde arttırdığını göstermektedir. Şekil 2'de veri tabanındaki bir hastaya ait bazal birleşik EKG öznitelikleri ve artan EKG segment sayıları için GKM'ye dayalı kümeleme yönteminin ROC eğrisi gösterilmektedir.

III. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

KAH'ın ayırıcılığı en yüksek olan birleşik EKG öznitelikleri ve radyal tabanlı çekirdeğe sahip DVM'ye dayalı sınıflandırma tekniği ile GKM'ye dayalı kümeleme yöntemi kullanılarak elde edilen en zor (GK_z , DV_z) ve ortalama (GK_o , DV_o) vakaların başarımları Tablo I'de gösterilmiştir. Geliştirilen tekniklerin European ST-T veri tabanı üzerindeki başarımları kıyaslandığında, hem en zor ve hem de ortalama vakalar için radyal tabanlı çekirdeğe sahip DVM'nin daha yüksek başarımlara ve genelleme kabiliyetine sahip olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, KAH'ın gürbüz tespitini gerçekleştirmek amacıyla GKM'ye dayalı kümeleme yönteminin sadece bazal sınıfa ait EKG verilerini kullanması, DVM'ye dayalı sınıflandırma tekniğinin ise hem bazal hem de iskemik sınıfa ait EKG verilerini kullanmasıdır.

Sonuç olarak, kritik birleşik EKG öznitelikleri ile radyal tabanlı çekirdeğe ve en iyilenmiş hiperparametrelere sahip DVM'nin European ST-T veri tabanındaki kayda değer sayıda hastadan elde edilen başarımları, tekniğin oldukça güvenilir KAH tespiti sağladığını göstermektedir. Bu nedenle, önerilen teknik kullanılarak KAH'ın gürbüz tespitinin başarımlarını artırılabilir ve bu sayede, KAH'a erken ve doğru tanı konulması sağlanarak, iskemik kalp hastalıklarının mortalite oranlarında belirgin azalma sağlanabilir.



Şekil 2: European ST-T veri tabanındaki bir hastaya ait bazal birleşik EKG öznitelikleri ve artan EKG segment sayıları (N_s) için GKM'ye dayalı kümeleme yönteminin ROC eğrisi.

TABLE I: Kritik Birleşik EKG Öznitelikleri ve Radyal Tabanlı Çekirdeğe Sahip DVM'ye Dayalı Sınıflandırma Tekniği ile GKM'ye Dayalı Kümeleme Yöntemi için En Zor ve Ortalama Vakaların Başarımları (%)

Başarımlar Ölçütleri	GK_z	GK_o	DV_z	DV_o
Doğruluk	65.18	78.27	71.88	85.92
İsabet Oranı	68.75	81.25	77.77	90.47
Yanlış Alarm Oranı	37.50	28.57	35.71	20.68
Pozitif Tahmin Değeri	57.89	86.66	73.68	86.36
Negatif Tahmin Değeri	53.84	62.50	69.23	85.18
Özgüllük	62.50	71.43	64.29	79.32
Hata Oranı	34.82	21.73	28.12	14.08

BİLGİLENDİRME

Bu çalışma, Bilkent Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] M. B. Terzi, O. Arıkan, A. Abacı, M. Candemir and M. Dedoğlu, "Early Diagnosis of Acute Coronary Syndromes with Automatic ST/T Classifier," *2014 18th National Biomedical Engineering Meeting*, Istanbul, 2014, pp. 1-4.
- [2] E. J. Benjamin, et al., "Heart Disease and Stroke Statistics-2019 Update," *Circulation*, 139.10 (2019): e56-e528.
- [3] C. Papaloukas, et al., "Use of a Novel Rule-Based Expert System in the Detection of Changes in the ST Segment and the T Wave in Long Duration ECGs," *Journal of Electrocardiology*, 35.1 (2002): 27-34.
- [4] S. Zahan, "A Fuzzy Approach to Computer-Assisted Acute Myocardial Ischemia Diagnosis," *Artificial Intelligence in Medicine*, 21.1-3 (2001): 271-275.
- [5] M. B. Terzi, M. K. Korkmaz, O. Arıkan, S. Topal and A. Abacı, "Detection of Acute Myocardial Ischemia based on Artificial Neural Networks and Skin Sympathetic Nerve Activity," *International Conference and Exhibition on Digital Transformation and Smart Systems (DTSS)*, Ankara, 2019, pp. 1-4.
- [6] M. B. Terzi and O. Arıkan, "Detection of Acute Myocardial Ischemia based on Support Vector Machines," *2018 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, Izmir, 2018, pp. 1-4.
- [7] P. Ranjith, et al., "ECG Analysis Using Wavelet Transform: Application to Myocardial Ischemia Detection," *ITBM-RBM*, 24.1 (2003): 44-47.
- [8] A. Taddei, et al., "The European ST-T Database: Standard for Evaluating Systems for the Analysis of ST-T Changes in Ambulatory Electrocardiography," *European Heart Journal*, 13.9 (1992): 1164-1172.
- [9] M. B. Terzi, F. Arıkan, O. Arıkan, S. Karatay and T. Gulyaeva, "Classification of Regional Ionospheric Disturbances based on Support Vector Machines," *41st COSPAR Scientific Assembly*, Vol. 41, 2016.
- [10] M. B. Terzi, O. Arıkan, S. Karatay and F. Arıkan, "Classification of Regional Ionospheric Disturbances based on Support Vector Machines," *8th International Union of Radio Science (URSI) Turkey National Committee*, Ankara, 2016.
- [11] M. B. Terzi and O. Arıkan, "Detection of Acute Coronary Syndrome based on Support Vector Machines and ECG," *2019 27th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, Sivas, Turkey, 2019, pp. 1-4.
- [12] M. B. Terzi, O. Arıkan, S. Karatay, F. Arıkan and T. Gulyaeva, "Classification of Regional Ionospheric Disturbance based on Machine Learning Techniques," *Living Planet Symposium (LPS), European Space Agency. (Special Publication) ESA SP-740*, 2016.