

## Air Write Letter Recognition Using Random Forest Classification on Arduino Dataset

Osman Ecer (Corresponding author)  
University of Mersin, Computer Engineering Department  
E-mail: osmanecer@gmail.com

Zeki Yetgin  
University of Mersin, Computer Engineering Department  
E-mail: zyetgin@mersin.edu.tr

Turgay Celik  
University of Witwatersrand, School of Computer Science  
E-mail: turgay.celik@wits.ac.za

### Abstract

In this paper, we propose to use a random forest technique based on a bundle of decision tree classifiers as weak classifiers to classify the Turkish letters written on the air. Air write recognition enable applications to read the text that users wrote on the air as an invisible surface. Such applications are very useful for disabled people. Air writing here uses Arduino MPU 6050 sensors, namely gyroscope and accelerometer. As a main contribution, random forest classification is applied to air write recognition problem using the Arduino dataset for Turkish letters. Features are extracted from sensor signals using 2-dimensional Fourier transform. The results show that Random Forest outperforms the other three methods, namely k-nearest neighbor, decision tree and Mahalanobis classifier.

**Key Words:** Air write, letter recognition, Arduino, Fourier transform, Random forest, Decision tree

## Arduino Veriseti Üzerinde Rassal Orman Sınıflandırma Yöntemi Kullanarak Havaya Yazılan Harfi Tanıma

### Özet

Bu çalışmada, havaya yazılan Türkçe harfleri sınıflandırmak için bir grup Karar Ağacını kullanan Rassal Orman sınıflandırıcısını kullanmayı öneriyoruz. Hava yazma tanıma, kullanıcıların gizli bir yüzey olarak havaya yazdıkları metni, uygulamaların tanınmasını sağlar. Bu tür uygulamalar özellikle engelliler için çok yararlıdır. Burada havaya yazma, Arduino MPU 6050 sensörleri olan jiroskop ve ivme ölçeri kullanır. Bu çalışmada, ana katkı olarak, Türkçe harfler için Arduino veri seti kullanarak Rassal Orman sınıflamasını, havaya yazma tanıma problemine uyguladık. Özellikler 2 boyutlu Fourier Dönüşümü kullanılarak sensör sinyallerinden çıkarıldı. Sonuçlar, Rassal Orman yönteminin, diğer yöntemler olan k-en-yakın komşu, Karar Ağacı ve Mahalanobis sınıflayıcıyı geride bıraktığını göstermektedir.

**Anahtar Kelime:** Havaya yazma, Harf Tanıma, Arduino, Fourier dönüşümü, Rassal orman, Karar ağacı

### 1. Giriş

İnsan evrendeki en önemli varlıktır. Bu yüzden teknolojik gelişmelerin merkezinde hep insan vardır. İnsan hareketi ise teknolojik gelişmeler için en önemli girdilerden biridir. Bu yüzden insan ve bilgisayar arasındaki arayüze odaklanarak, tasarım ve teknolojinin en kullanılabilir uygulamalarını geliştirmeyi

amaçlayan çalışmalar olan İnsan-bilgisayar etkileşimi (HCI) araştırmacıları hem insanların bilgisayarla etkileşimini gözlemlerken hem de değişik teknolojiler tasarlayıp bu teknolojileri insanların hizmetine sunmayı amaç edinmişlerdir. İnsan bilgisayar etkileşiminin en önemli hususlarından biri şüphesiz ki giyilebilir teknolojilerdir. Bu teknoloji hayatımıza birçok kolaylık sağlamaktadır. Akıllı giysiler, akıllı saatler, implantlar, akıllı bileklikler bunlardan sadece bazılarıdır.

Bu çalışmada ele yerleştirilecek bir sistemle havaya yazılan karakterlerin tanınması amaçlanmıştır. Alışılmış yazım şekline farklı olarak birçok avantajı bulunan havaya yazma gelecek teknolojiler arasında yer almaktadır. Havaya yazarken kullanıcı parmağını kullanarak küçük ekranlara, mouse hareketlerine ve tuşlara gerek duymadan havaya bir yüzey varmış gibi yazı yazar. Sağladığı serbestlik sayesinde ellerin diğer işler için kullanımını kolaylaştırırken, özellikle giyilebilir sistemler için çok uygun bir teknolojidir. Yazarken parmak veya ele yerleştirilen mini sensörler sayesinde elin hareketleri sürekli izlenir ve alınan veriler kaydedilir. Parmağın hareketlerinin sürekli olarak izlenmesi, yazılan yazı dışındaki istenmeyen el hareketlerinin de algılanmasına neden olur. İstenmeyen bu verilerin, yazma verilerinden ayrıştırılması için bir takım işlemlerden geçirilmesi gerekmektedir. Bu işlemlerin karakter tanımayı güçleştirmesine rağmen havaya yazma, klasik yazmaya göre daha avantajlıdır. Özellikle küçük yaş gruplarının eğitime yönelik çalışmalarda psikomotor becerilerin geliştirilmesi, el serbestliği sağlama, eğitimin daha eğlenceli hale gelmesi, yazı alanı sınırlamasının kalkması gibi birçok avantajı içinde barındırmaktadır. Ayrıca engelli bireylere yönelik kullanımda ise yaşamlarını kolaylaştıracak bir teknoloji sunmaktadır.

Literatürdeki havaya yazma çalışmaları, veri kümesinin oluşturulduğu sensör tiplerine göre sınıflandırılabilir. Çalışmaların büyük çoğunluğu [1] hızın zamana göre değişme miktarını ölçen ve dengenin korunması prensibi ile çalışan 3 eksenli ivmeölçer-jiroskop modüllerini kullanmaktadır. Hatta tasarlanan özel kalemler kullanan çalışmalarda vardır [2], ancak bu kalemlerinde dahili yapısında ivmeölçer-jiroskop modülleri kullanılmaktadır. Ayrıca, birkaç çalışmada birtakım IR (kırmızı ötesi) kamera dizisiyle el hareketlerini algılamak için kullanılan Microsoft Kinect [3] gibi cihazlar IR derinlik sensörlerini kullanır. Son zamanlarda, özel olarak geliştirilen bir sistem olan Leap Motion [4], IR kameralar ve IR Led'lerinden oluşan özel kontrol cihazlarının üstünde el ve parmak hareketlerinin etkin bir şekilde takip edildiği görülmektedir. LED'ler IR ışık üretir ve kameraların üzerinde, yarım küre şeklindeki alanda hareketleri algılamak için yansımaları gözlemler. IR tabanlı sistemlerle ilgili temel dezavantaj, insanların cihazı özel olarak konumlandırılması gerekmektedir. Bu tür sistemler genellikle sanal gerçeklik gibi oyunlarda insan-bilgisayar etkileşimi sağlamak için tercih edilir. Bu nedenle, literatürde, hava-yazma veri kümesi genellikle çeşitli donanım platformlarına sahip 3 eksenli ivmeölçer-jiroskop sensörleri kullanılarak geliştirilmiştir. Ancak, çalışmalarda veri setlerini referans olarak sunan çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada ise ele yerleştirilen Arduino ve yazı yazılan parmak ucuna sabitlenen MPU 6050 sensörle oluşturulmuş bir sistem tasarlanmıştır. MPU6050 üzerinde 3 eksenli jiroskop ve 3 eksen ivmeölçer olan IMU sensör kartıdır. Yazma esnasında MPU6050 tarafından oluşturulan veriler Arduino tarafından seriport aracılığıyla bilgisayara aktarılmıştır. Bu sayede Türkçede yer alan 29 harf için veriseti oluşturulmuştur. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde oluşturulan verisetlerinin paylaşılmadığı görülmüştür. Her çalışma kendi verisetini ürettiği için yeni yöntem ve tekniklerin kıyaslaması yapılamamaktadır. Çalışmamızda bu alandaki eksikliğe çözüm sunarak, oluşturulan verisetini paylaşımına açarak (<https://github.com/osmanecer/AirWritingDataset>) bundan sonra yapılacak çalışmalara katkı sağlamayı amaçlıyoruz.

Yapılan çalışmalarda birçok özellik çıkartma ve sınıflama yöntemi kullanılmaktadır. Verisetlerine uyguladıkları yöntemin sonucuna göre özellik çıkartma ve sınıflama yöntemlerini belirlemektedir. Gürültüden temizlenen veriye uyguladığımız 2 boyutlu Fast Fourier Transform (FFT2) ile harflerin özellikleri çıkartılmış ve Rastal Orman algoritması ile harfler sınıflandırılmıştır.

## 2. Benzer Çalışmalar

Havaya yazma konusunda son dönemlerde çalışmaların yoğunlaştığı görülmektedir. Farklı kullanım amaçlarına yönelik olarak, içerisinde birtakım ivmeölçer, jiroskop ve derinlik sensörleri yer alan cihazların kullanılarak farklı özellik çıkartma ve sınıflama yöntemleriyle çalışmalar yapılmıştır.

Veriler oluşturulurken kullanılan cihazların temelinde ivmeölçer ve jiroskop olduğu görülmektedir. Özel olarak geliştirilen Biometrik Akıllı Kalem sayesinde (BİSP) [5] el yazısı tanımlayan, Microsoft tarafından geliştirilmiş [3] Kinect'in renk ve derinlik bilgilerini kullanarak havaya parmakla çizilmiş karakterleri algılayan çalışmalar bulunmaktadır. Yapılan başka bir çalışmada ise mobil telefonun [1] içerisinde yer alan sensörlerden faydalanılarak, telefonun köşesi kalem gibi tutularak havaya yazı

yazılmıştır. Yapısında iki IR kamera ve üç infrared LED ile yaklaşık bir metre yüksekliğe kadar olan hareketleri algılayabilen Leap Motion [4, 6] adlı cihazla el hareketlerini izleyerek havaya yazılan karakterleri algılayan sistemler tasarlanmıştır. Kişilerin hava yazısından kimlik doğrulama sistemleri [7] tasarlanmıştır. Başka bir çalışmada ise [8] ise “Parmak Hareket Takip Sistemi” oluşturulmuştur. Parmak hareketlerini yakalamak için web kamerası kullanılmıştır.

Hava hareketlerini algılayan cihazlardaki sensörlerden veriler alındıktan sonra özellik çıkartma işlemi yapılarak veriler sınıflandırılmaktadır. Yapılan çalışmalar incelendiğinde birçok özellik çıkartma ve sınıflama yöntemi kullanıldığı görülmektedir. Leap Motion ile yapılan çalışmalarda [9] el hareketlerine ait özellikleri Gaussian Mixture Model (GMM) ile sınıflama ise Headen Markov Model (HMM) ile yapılmıştır. Diğer çalışmada ise [10] Neural Network kullanarak özellik çıkartma işlemi yapılmış ve Fuzzy Logic kullanarak sınıflandırılmıştır. Microsoft Kinect’in derinlik sensörü yardımıyla yapılan çalışmada ise Kalman Filtresi ve Linear Discriminant Analysis (LDA) özellik çıkartma [11] işlemi yapılmıştır. Samsung telefondaki ivmeölçer sensörünü kullanarak yapılan çalışmada [12] ise Support Vector Machine (SVM) kullanılmıştır. BiSP adı verilen özel kalem ile yapılan çalışmada [13] ise Neural Network ile özellik çıkartma işlemi yapıldıktan sonra Reduced Dynamic Time Warping (RDTW) algoritması kullanılarak sınıflandırma işlemi yapıldığı görülmektedir. Diğer birçok çalışma [5,14] incelendiğinde genel olarak verilerin karakteristik özelliğini çıkartırken Bayesian Network, Hamming Distance, Viterbi Training, Gaussian Mixture Model, Waveform Feature Extraction, Maximum Likelihood methodlarıyla özellik çıkartma işlemi yapılırken, Support Vector Machine, Dinamic Time Warping, Headen Markov Model algoritmalarıyla da sınıflandırma yapılmıştır.

Bu çalışmada farklı olarak Arduino MPU6050 sensörü kullanılarak bir Türkçe veriseti oluşturulmuş ve Rassal Orman sınıflandırma yönteminin havaya yazılan karakteri tanımadaki başarısı gözlenmiştir.

### 3. Materyal ve Yöntem

Fig.1’te gösterilen sistem modeli, genel olarak 4 aşamadan oluşmaktadır: i) sensörden gelen sinyallerin seri port üzerinden Matlab yazılım geliştirme ortamına aktarılması ve ham verisetinin oluşturulması ii) Sinyallerin segmentlere ayrılması iii) harflere ait özellikleri çıkararak test ve eğitim setlerinin oluşturulması iv) sınıflandırma

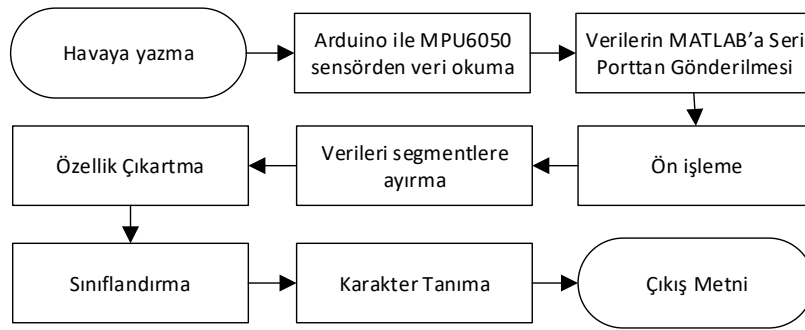


Figure 1. İşlem adımları

#### A. Verisetinin Üretilmesi

Veri seti oluşturulurken Arduino Uno ve MPU6050 sensör kullanılmıştır. Arduino Uno ve MPU6050 sensör bağlantısı Fig.2 de verilmiştir. Arduino Uno ATmega328 işlemci kullanır. Çalışmamızda kullandığımız MPU6050 kart ise 6 serbestlik düzeyine sahip olan sensördür. Bu sensör ivme ölçerden üç, jiroskoptan üç değer alır. Fig. 3. gösterilen eldiven yardımıyla havaya yazılan karakterler Arduino tarafından okunarak seriport aracılığıyla MATLAB programına iletilir.

Veriseti üretilirken A5 boyutundaki kâğıda 530 punto büyüklüğünde Arial yazı tipi ile Türkçe karakterler referans alınarak yazılmıştır. Bunun nedeni ise yazan kişinin yazım esnasındaki istenmeyen el hareketlerini kısıtlayarak standartlaşmayı sağlamaktır. Çünkü hava yazılan karakterleri algılamak birçok güçlük karşımıza çıkmaktadır. Yazım hızı, yazılan parmakta istenmeyen davranışlar, klasik kâğıt-kalem yazısındaki yatay ve dikey eksene ek olarak derinlik ekseninin ortaya çıkması, harfler arasındaki geçişteki bireysel farklılıklar, standart yazım sağlanması amaçlanmışsa da yazarken ortaya çıkan bireysel farklılıklar havaya yazma tanımayı diğer karakter tanımalara göre güçleştirmiştir.

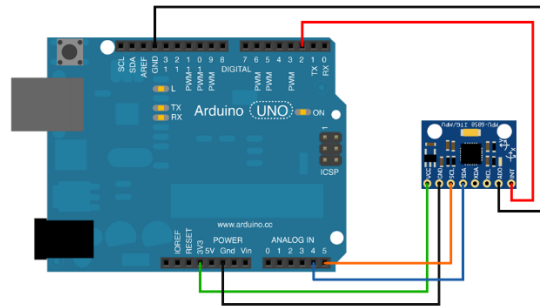


Figure 2. Arduino Uno ile MPU6050 Bağlantısı

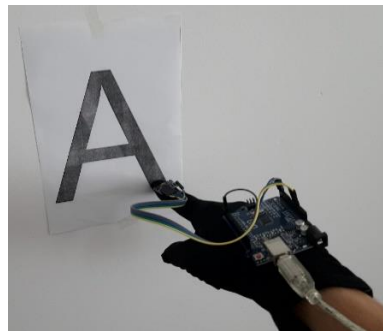


Figure 3. Tasarlanan eldiven arduino modülü

Çalışmada Türkçede yer alan büyük harfle yazılmış 29 karakter için veri seti üretilmiştir. Karakter tanıma işlemi için gerekli olan eğitim seti için her karakterden yaklaşık 15 olmak üzere toplam 427 karakter verisi, test seti içinde yine aynı sayıda veriseti üretilmiştir. Üretilen verisetindeki t anındaki zamanda 6 adet veri bulunmaktadır. Bu veriler a, b, c, d, e, f olarak isimlendirilmiştir.

- Accelometer X (a), Y (b), Z (c)
- Gyroscope X (d), Y (e), Z (f)

Fig. 4 aynı karakter için üretilmiş 2 örneği göstermektedir. Grafikteki her renk bir sensör kanalını (ekseni) ifade etmektedir. Grafikte görüldüğü gibi karakter yazılırken 6-kanal verisindeki değişim belirgin şekilde fark edilmektedir. Verisetinde her harfe ait 6-kanal verisi (a, b, c, d, e, f), her kanalı bir satırda tutan bir matrix formatında aynı harfle adlandırılmış bir dosyada tutulmaktadır. Örneğin, "A.mat" dosyası "A" harfine ait ham 6-kanal verisini tutmaktadır. 6-kanal verileri, zaman ekseninde hareket ve duraksama bölümlerinden oluşmaktadır. Hareket bölümleri, harf yazımının başlangıç ve bitişlerini gösterir.

Fig. 4 aynı karakter için üretilmiş 2 örneği göstermektedir. Grafikteki her renk bir sensör kanalını (ekseni) ifade etmektedir. Grafikte görüldüğü gibi karakter yazılırken 6-kanal verisindeki değişim belirgin şekilde fark edilmektedir. Verisetinde her harfe ait 6-kanal verisi (a, b, c, d, e, f), her kanalı bir satırda tutan bir matrix formatında aynı harfle adlandırılmış bir dosyada tutulmaktadır. Örneğin, "A.mat" dosyası "A" harfine ait ham 6-kanal verisini tutmaktadır. 6-kanal verileri, zaman ekseninde hareket ve duraksama bölümlerinden oluşmaktadır. Hareket bölümleri, harf yazımının başlangıç ve bitişlerini gösterir.

Table 1. Türk Alfabesi

A	B	C	Ç	D	E	F	G	Ğ	H
I	İ	J	K	L	M	N	O	Ö	P
R	S	Ş	T	U	Ü	V	Y	Z	

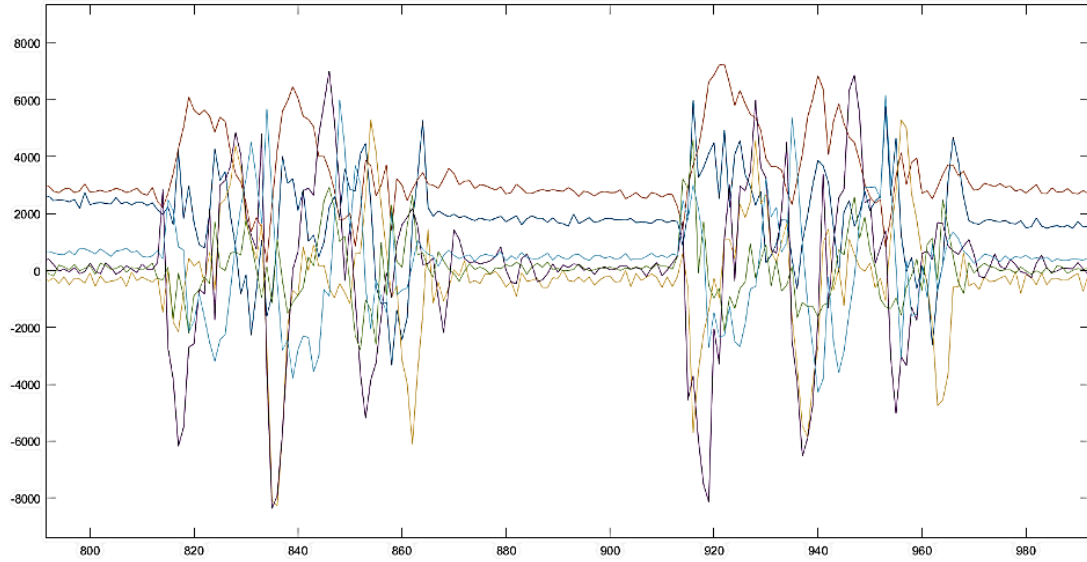


Figure 4. Aynı harfe ait iki örnek

### B. Verinin sekmenlere ayrılması

Havaya yazmada zaman eksenindeki bütün el hareketleri kaydedilir. Bu yüzden karakterlerin yazıldığı andaki verileri, istenmeyen verilerden ayıklamak gerekmektedir. Geliştirilen algoritma ile sinyalde harfin başlangıç ve bitiş noktasını otomatik olarak tespit edilmiştir. Sinyal verilerinin segmentlere ayrılma işleminde her kanal verisi (*a, b, c, d, e, f*) median filter ile gürültüden arındırılmıştır. Sonra blok tabanlı varyans eşikleme ile bir blok içindeki değişimin belli bir eşik değeri üzerinde olduğu bölümler yakalanarak segmentlere ayrılmıştır. Fig.5 bir harfe ait tüm örneklerin segmente edildiği bir örnek sunmaktadır. Her segment, 6-kanal verisinde bir örneğe karşılık gelir ve matris formatında tutulur (her kanal verisi ayrı bir satırda). Bu matris, segment matrisi olarak isimlendirilmiştir.

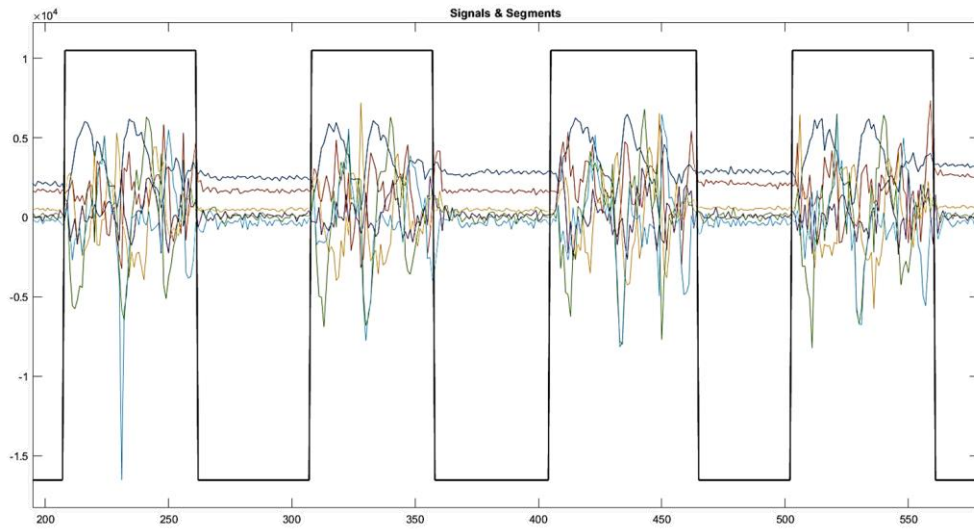


Figure 5. Verilerin segmentlere ayrılması

### C. Özellik Çıkartma

Özellik çıkarma yöntemi, segmentlere ayrılmış 6-kanal verisini girdi olarak alır ve her harfe ait özellikleri çıkararak özellik vektörünü bir satır olarak tutan bir matris oluşturur. Özellik vektörünün elde edilmesinde, her bir segment matrisine, 2 boyutlu Fourier Dönüşümü (fft2), uygulanarak, sonuç matris vektöre dönüştürülmüştür. Bu vektörün uzunluğu yüksek olduğundan, boyut azaltma yöntemlerinden PCA (Principle Components Analysis) kullanılarak özellik vektörünün uzunluğu işlenebilir seviyeye indirgenmiştir. Boyut azaltmada temel amaç eldeki verinin gereksiz olan niteliklerinin belirlenerek veriden atılmasıdır. Segment matrisleri üzerinde  $8 \times 32$ ,  $8 \times 64$ ,  $8 \times 128$  boyutlarda fft2 alınmış ve en iyi

sonuç  $8 \times 128$  ile elde edilmiştir. 29 harfe ait özellik vektörleri iki farklı zaman diliminde çıkarılarak eğitim ve test veri setleri oluşturulmuştur. Her iki set, her harfe ait en az 15 örnek içermektedir.

#### D.Sınıflama

Sınıflandırma yöntemi, eğitim verisindeki örnekler üzerinden bir öğrenci modelin eğitilmesi ve sonra bu öğrenciye danışılması yoluyla gerçekleşmektedir. Bu çalışmada, topluluk öğrenme yöntemi olan Rassal Orman algoritması kullanılmıştır. Rassal Orman sınıflandırma işlemi, orjinal eğitim verisinden gelişigüzel örnekler seçilmesi yoluyla rassal veri setleri üretir. Her rassal veri seti üzerinde eğitilen bir karar ağacıyla bir orman oluşturur. Ormanın nihai kararı, karar ağaçlarının oylamasıyla gerçekleşir. Algoritmanın temel aşamaları aşağıda verilmiştir. Karar Ağacının oluşturulması ve sınıflamasıyla ilgili detaylar çalışma [15] de incelenebilir.

---

**Function** *Rassal\_Orman\_Yarat* ( $S, N$ ) returns *Ağaçlar*  
**Input:**  $S, (X_i, Y_i)$  eğitim seti;  $i$ . örnek için özellik vektörü  $X_i$ , sınıf etiketi  $Y_i$   
 $N$ , ağaç sayısı  
**Output:** Ağaçlar eğitilmiş  $N$  adet ağaç

---

**Function** *Rassal\_Özellikler\_Sec*( $S$ ) returns özellikler kümesi  
 $F \leftarrow$  Özellikler\_kümesini\_getir( $S$ )  
For  $i=1$  to  $uzunluk(F)$   
özellik  $\leftarrow$  random\_özellik\_sec( $F$ )  
özellikler  $\leftarrow$  özellikler  $\cup$  {özellik}  
End for

**End Function**

**Function** *Rassal\_Veriseti\_Oluştur*( $S$ ) returns veriseti  
 $K \leftarrow$  örnek\_sayısı( $S$ )  
 $F \leftarrow$  Rassal\_Özellikler\_Sec( $S$ )  
For  $i=1$  to  $K$   
 $indis \leftarrow$  random\_sayı\_sec( $K$ ) //1-K arası random sayı seç  
 $örnek \leftarrow S[indis]$   
 $veriseti[i] \leftarrow$  örnek{ $F$ } //örneğin  $F$  özelliklerini al ve sete ekle  
End for

**End Function**

**BEGIN**

For  $i=1$  to  $N$   
 $S_i \leftarrow$  Rassal\_Veriseti\_Oluştur( $S$ )  
 $Ağaçlar_i \leftarrow$  Karar\_Ağacı\_Oluştur( $S_i$ )  
End for  
**END**

---

**Function** *Rassal\_Orman\_Sınıflama* ( $X, Ağaçlar$ ) returns  $Y$   
**Input:**  $X$ , bir örnek için özellik vektörü  
 $Ağaçlar$ , eğitilmiş  $N$  adet ağaç  
**Output:**  $Y$ , sınıflanacak etiket

---

**BEGIN**

For  $i=1$  to  $N$   
 $Y_i \leftarrow$  Karar\_Ağacı\_Sınıflama ( $X, Ağaçlari$ )  
 $Oy\_sayısı[Y_i] \leftarrow Oy\_sayısı[Y_i] + 1$   
End for  
 $Y \leftarrow$  En\_cok\_oy ( $Oy\_sayısı$ )

**END**

---

Rassal Orman ve Karar Ağacının havaya yazma tanımadaki performansını görmek için, knn ve mahalalanobis sınıflayıcısıyla bir kıyaslaması da sunulmuştur. KNN algoritmasının detayları çalışma [16] da ve mahalalanobis sınıflayıcının detayı çalışma [17] de incelenebilir.

#### 4. Bulgular

Çalışmamızda 3 eksenli ivme ölçer ve 3 eksenli jiroskop bulunan MPU6050 sensör ve Arduino bir eldivene entegre edilmiştir. Daha sonra Arduino yardımıyla sensörden veriler okunarak seriport aracılığıyla Matlab yazılımına aktarılmıştır. Veriler çeşitli işlemlerden geçirilmiş, son olarak Rassal

Orman algoritması kullanılarak sınıflandırılmış ve %91 başarı oranı elde edilmiştir. Havaya yazma konusunda yapılan çalışmalarda birçok sınıflandırma yönteminin kullanıldığı [18,19] görülmektedir.

Table 2. Sınıflandırma Methodlarına Göre Başarı Oranları

Sınıflandırma Methodları	Başarı Oranı
En Yakın K Komşu (K Nearest Neighborhood)	% 80,2
Mahalanobis	% 66,7
Karar Ağacı (Decision Tree)	% 68,9
<b>Rassal Orman (Random Forest)</b>	<b>% 91,1</b>

Rassal Orman algoritması kullanarak sınıflandırılmış Türkçe karakterlerin harf bazındaki başarı yüzdesine bakıldığında sonuçlar Table 3'teki gibi ortaya çıkmıştır. Bu sonuçlara bakıldığında Mahalanobis sınıflayıcının en düşük başarıya sahip olduğu görülmektedir. Rassal Orman algoritması, Karar Ağaçları algoritmasının genişletilmiş bir versiyonu olmasına rağmen başarı oranı Karar Ağacına göre oldukça yüksek çıkmıştır. Rassal Orman Algoritmasına göre farklı bir yöntem olan ve K tane yakınlığına bakarak sınıflama yapan En Yakın K-Komşu algoritmasının başarıları, Karar Ağacı Algoritmasına göre daha yüksek çıkmaktadır.

Harf bazında sınıflamadaki başarı oranlarına bakıldığında birçok harfin hatasız olarak sınıflandırıldığı görülmektedir. Ancak yazım şekli olarak birbirine yakın olan harflerde başarı oranı %100 altına inmiştir. Örneğin P ve R harflerinin havaya yazımında benzer özellik göstermesi başarının düşmesine neden olmuştur. Sonuçlara göre dikkat çeken diğer bir hususta Türk alfabesine özel harflerdeki (Ç, Ğ, İ, Ö, Ş, Ü) başarı oranlarının genel olarak yüksek çıkmasıdır. Örneğin, Ö, Ğ, İ, Ö, Ş, Ü harfleri için başarı oranı %100 çıkarken, sadece Ç harfi için %88 çıkmıştır. Bunun sebebi, C ve Ç harflerinin yazım şekillerinin birbirine çok benzer olması ve veriseti oluşturulurken parmak hareketlerindeki istenmeyen davranışların sınıflamaya etkisi başarı oranının azalmasına neden olabilmektedir. Özellikle Türk alfabesine özel harflerde başarı oranının yüksek çıkmasının sebebi, harfin şeklinin ek bileşenlere sahip olmasıdır.

Table 3. Harflere göre başarı oranı

Rassal Orman Algoritması					
Sıra	Harf	Başarı (%)	Sıra	Harf	Başarı (%)
1	A	93	16	M	100
2	B	79	17	N	100
3	C	83	18	O	86
4	Ç	88	19	Ö	100
5	D	75	20	P	62
6	E	100	21	R	56
7	F	93	22	S	92
8	G	100	23	Ş	100
9	Ğ	100	24	T	93
10	H	97	25	U	85
11	I	100	26	Ü	100
12	İ	100	27	V	100
13	J	100	28	Y	95
14	K	93	29	Z	72
15	L	100	<b>Genel Başarı</b>		<b>91</b>

Diğer sınıflandırma yöntemleriyle kıyaslandığında (KNN, Mahalanobis ve Karar Ağacı) Rassal Orman algoritmasının daha başarılı olduğu görülmüştür. Havaya yazma konusunda yapılan çalışmalarda Rassal Orman Algoritması ile yapılan bir çalışma bulunmamaktadır. 29 harften oluşan Türk Alfabesi kullanarak havaya yazma tanıma alanında ilk defa çalışılmıştır. Harf bazında yaptığımız çalışma havaya yazma konusunda bir temel oluşturmaktadır. Gelecek çalışmalarda hece ve kelime tabanlı algılama çalışmalarını yapılarak, Headen Markov Model (HMM) ve Dinamic Time Warping (DTW) gibi üst düzey sınıflandırıcılarla daha başarılı sonuçlar elde edilebilir. Bu çalışmaların geliştirilmesi ile gerçek zamanlı havaya yazma tanıyan bir ürün ortaya çıkması, havaya yazmanın klavyeli ekranlar ve klasik kağıt kalem yöntemini geride bırakarak hayatın birçok alanında vazgeçilmez bir teknoloji olarak yerini alacaktır.

## 5. Sonuç

Bu çalışmada, Arduino MPU6050 sensörü ile parmak hareketlerini kullanarak havaya yazılan Türkçe karakterleri tanıyan bir sistem sunduk. Çalışmamızın dikkat çeken yönü, farklı sınıflama yöntemleri ile yapılmış çalışmalar arasında bulunmayan Rassal Orman algoritmasının ilk kez havaya yazma tanıma problemine uygulanması ve Arduino tabanlı Türkçe bir veriseti üzerinde ilk kez çalışılmış olmasıdır. Çalışma sonuçları, Rassal Orman yaklaşımının birçok algoritma başarı oranını geride bıraktığını göstermektedir. Harfin algılanması aşamasında, bölümlene kalitesinin tanıma performansı üzerinde büyük etkisi vardır. Geliştirilecek yeni algoritmalarla bölümlenmedeki hatalar azaltılarak performansı artırmak mümkündür. Kullandığımız MPU6050 sensörü içerisinde bulunan 3 eksenli jiroskop ve 3 eksenli ivmeölçer sensörüne ek olarak kullanılacak derinlik sensörü gibi elin hareketini izleyen sensörlerin kullanılması ve kişisel farklılıklar minimuma indirecek yeni tekniklerle el yazısında sağlanacak standartlaşma başarıyı artıracaktır.

Kullanılan hareket algılayıcılarının, giyilebilir teknolojilerle birlikte yaygınlaşması, havaya yazma teknolojisinin ilerleyen zamanlarda klavyelere dayalı yazmanın yerine geçebilecek bir teknoloji olacağını göstermektedir. Fakat, havaya yazma tanıma ile bilgisayar sistemlerine metin tabanlı girdiler verilmesi için hataya karşı yüksek toleransı olan, daha hızlı ve daha başarılı yaklaşımlara ihtiyaç vardır.

## Kaynakça

- [1] Agrawal, S., Constandache, I., Gaonkar, S., Roy Choudhury, R., Caves, K., & DeRuyter, F. (2011, June). Using mobile phones to write in air. In Proceedings of the 9th international conference on Mobile systems, applications, and services (pp. 15-28). ACM.
- [2] Wang, J. S., Hsu, Y. L., & Chu, C. L. (2013). Online handwriting recognition using an accelerometer-based pen device. In 2nd International Conference on Advances in Computer Science and Engineering (pp. 229-232).
- [3] Jambusaria, U., Katw74la, N., Kadam, M., & Narula, H. Finger Writing in Air using Kinect.
- [4] Khan, N. A., Khan, S. M., Kanji, S. J., & Iltifat, U. (2017). Use Hand Gesture to Write in Air Recognize with Computer Vision. IJCSNS, 17(5), 51.
- [5] Hook, C., Kempf, J., & Scharfenberg, G. (2003, November). New pen device for biometrical 3D pressure analysis of handwritten characters, words and signatures. In Proceedings of the 2003 ACM SIGMM workshop on Biometrics methods and applications (pp. 38-44). ACM.
- [6] Vikram, S., Li, L., & Russell, S. (2013, April). Handwriting and Gestures in the Air, Recognizing on the Fly. In Proceedings of the CHI (Vol. 13, pp. 1179-1184).
- [7] Lu, D., Xu, K., & Huang, D. (2017, October). A data driven in-air-handwriting biometric authentication system. In Biometrics (IJCB), 2017 IEEE International Joint Conference on (pp. 531-537). IEEE.
- [8] Ramasamy, P., Prabhu, G., & Srinivasan, R. (2016, April). An economical air writing system converting finger.



- [9] Chen, M., AlRegib, G., & Juang, B. H. (2016). Air-writing recognition—Part II: Detection and Recognition of writing activity in continuous stream of motion data. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 46(3), 436-444.
- [10] Khan, N. A., Khan, S. M., Kanji, S. J., & Iltifat, U. (2017). Use Hand Gesture to Write in Air Recognize with Computer Vision. *IJCSNS*, 17(5), 51.
- [11] Wang, J. S., Hsu, Y. L., & Chu, C. L. (2013). Online handwriting recognition using an accelerometer-based pen device. In *2nd International Conference on Advances in Computer Science and Engineering* (pp. 229-232). Ramasamy, P., Prabhu, G., & Srinivasan, R. (2016, April). An economical air writing system converting finger.
- [12] Cho, S. J., Choi, E., Bang, W. C., Yang, J., Sohn, J., Kim, D. Y., ... & Kim, S. (2006, October). Two-stage recognition of raw acceleration signals for 3-D gesture-understanding cell phones. In *Tenth international workshop on frontiers in handwriting recognition*. Suvisoft.
- [13] Hook, C., Kempf, J., & Scharfenberg, G. (2003, November). New pen device for biometrical 3D pressure analysis of handwritten characters, words and signatures. In *Proceedings of the 2003 ACM SIGMM workshop on Biometrics methods and applications* (pp. 38-44). ACM.
- [14] Georgi, M., Amma, C., & Schultz, T. (2015, January). Recognizing Hand and Finger Gestures with IMU based Motion and EMG based Muscle Activity Sensing. In *Biosignals* (pp. 99-108).
- [15] Quinlan, J. R. (1986). Induction of decision trees. *Machine learning*, 1(1), 81-106.
- [16] Kataria, A., & Singh, M. D. (2013). A review of data classification using k-nearest neighbour algorithm. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 3(6), 354-360.
- [17] Durak, B. (2011). *A Classification Algorithm Using Mahalanobis Distances Clustering of Data with Applications on Biomedical Data Set* (Doctoral dissertation, Ph. D. thesis. The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University).
- [18] Gupta, P., Agarwal, R., Saraswat, S., Gupta, H. P., & Dutta, T. (2017, December). S-Pencil: A Smart Pencil Grip Monitoring System for Kids Using Sensors. In *GLOBECOM 2017-2017 IEEE Global Communications Conference* (pp. 1-6). IEEE.
- [19] Zhangjie, F., Xu, J., Zhu, Z., Liu, A. X., & Sun, X. (2018). Writing in the Air with WiFi Signals for Virtual Reality Devices. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, (1), 1-1.