

KONUŞAN PARMAKLAR

**2015
YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ**

Zekeriya KATILMIŞ

KONUŞAN PARMAKLAR

Zekeriya KATILMIŞ

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

KARABÜK

Mayıs 2015

Zekeriya KATILMIŞ tarafından hazırlanan “KONUŞAN PARMAKLAR” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. İlhami Muharrem ORAK

Tez Danışmanı, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Doç. Dr. Alpaslan DUYSAK

Tez Danışmanı, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 22/05/2015

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Salih GÖRGÜNOĞLU (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ahmet Ercan TOPÇU (YBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. İlhami Muharrem ORAK (KBÜ)

.../.../2015

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nevin AYTEMİZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Zekeriya KATILMIŞ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KONUŞAN PARMAKLAR

Zekeriya KATILMIŞ

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Yrd. Doç. Dr. İlhami Muharrem ORAK

Doç. Dr. Alpaslan DUYSAK

Mayıs 2015, 115 sayfa

Bugün toplumsal hayatın bir parçası haline gelen bilgisayarların, imgelerin, işaretlerin ve hareketlerin tanınmasında etkin bir şekilde kullanılması hayatı kolaylaştırmaktadır. Sunulan bu çalışmada işaret dilini bilmeyen bir kişinin bu dili anlayabilmesi ve özellikle işaret dilini kullanarak hayatını devam ettiren işitme engelliler ile insanların daha rahat iletişime geçmesi hedeflenmiştir.

Bu çalışmada Türkçe İşaret Dili'ne ait parmak heceleme alfabesi harflerinin tanınması yönelik bir çalışma sunulmuştur. İşaret dili harflerinin tanınmasına yönelik olarak da hareket temelli işlem teknolojisinde yeni bir platform olan dijital sensör sistemine dayalı Leap Motion cihazı kullanılmıştır. Cihazın hassas hareket sensörleri ve kameraları yardımıyla üç boyutlu uzayda gerçekleşen el ve parmak hareketlerinden uzam- uzamsal özellik bilgiler alınmaktadır. Bu kapsamda el, parmak, eklem ve eklem noktalarının her biri için yön, uzunluk, mesafe, konum, açı,

durum ve benzeri özelliklerinden en uygun ve ayırt ediciler belirlenmiştir. Türk İşaret Dili'ne ait 29 harf için belirlenen bu özellik çıkarımları kullanılarak hazırlanan veri setleri üzerinde tanınma gerçekleştirilmiştir. Sistem veri toplamaya ek olarak ön işlem, özellik çıkarma ve sınıflandırma olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır. Uygulamalarda, bir saniye içerisinde her 10 milisaniyede bir alınan veri dizisi ve görüntü karelerinin ortalamaları kullanılarak hareket ve durum bilgilerinin doğruluğunun artırılması hedeflenmiştir.

Türk İşaret Dili (TİD) alfabesinde bulunan harflerin yapılış durumları dikkate alınarak ve gereksinim görülen her nokta hesaplanarak belirlenen özellik çıkarımları, kademeli olarak azaltılarak uygulamalar geliştirilmiştir. Bu amaçla geliştirilen altı uygulama kapsamında en uygun ve gerekli görülen ayırt edici özellik çıkarımlarının tespit edilmesi ve bununla birlikte başarımlar ve performans değerlerinin istenen düzeyde olması hedeflenmiştir. Yaklaşımın başarımlarını sınamak amacıyla, makine öğrenme yöntemlerinden K-En Yakın Komşu sınıflandırıcı (KNN) ile Naive Bayes sınıflandırıcı algoritmaları kullanılarak yüksek oranlarda başarımlar sağlanmıştır.

Anahtar Sözcükler : Leap Motion, Türk İşaret Dili, Parmak heceleme, K-En Yakın Komşu algoritması, Naive Bayes sınıflandırıcı.

Bilim Kodu : 902.1.014

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

SPEAKING FINGERS

Zekeriya KATILMIŞ

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Computer Engineering

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. İlhami Muharrem ORAK

Assist. Prof. Dr. Alpaslan DUYSAK

May 2015, 115 pages

The efficient utilization of computers that have become a part of social life in the recognition of images, signs and movements facilitates the life. In this study, the aim is to permit the comprehension of this language by people who do not know sign language and to facilitate an easier communication with the hearing-impaired people using especially sign language.

In this paper, a study aiming the recognition of finger syllabication alphabet letters of the Turkish Sign Language has been proposed. For recognition of the letters of sign language, Leap Motion device based on a digital sensor, which is a new platform in the motion-based processing technology, was used. Temporal and spatial information from the hand and finger movements performed in space in three dimensions are collected using sensitive motion sensors and cameras of the device. In this context, the most appropriate and distinctive of direction, length, distance, position, angle,

situation and other similar features are determined for each of hand, fingers, articulations and articular points. Recognition has been performed on the data sets prepared using the results of features determined for the 29 letters of Turkish Sign Language. The system is composed of three steps additionally to data collection: pre-processing, features determination and classification. In the applications the accuracy of motion and situation information are expected to be increased using the mean value of data collection and image squares every 10 milliseconds in one second.

Applications have been developed by decreasing progressively feature deductions determined by calculating each point considered necessary and taken into account the production situation of the letters of the Turkish Sign Language (TSL) alphabet. Within the context of six applications been developed in this purpose, the most accurate and necessary differentiating feature deductions as well as the requested levels of success and performance have been aimed. To test the success of the approach, the K-Nearest Neighbor algorithm (KNN) and Naive Bayes Classifier among the machine learning methods have been used and high-level success have been obtained.

Key Words : Leap Motion, Turkish Sign Language, finger spelling, K-Nearest Neighbor algorithm, Naive Bayes classifier.

Science Code : 902.1.014

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütölmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Yrd. Doç. Dr. İlhami Muharrem ORAK ve Doç. Dr. Alpaslan DUYSAK'a sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Üzerimdeki emeklerini hiçbir zaman ödeyemeyeceğim aileme ve manevi desteğini eksik etmeyen sevgili eşim Sultan KATILMIŞ'a tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
KONU İLE İLGİLİ ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	4
2.1. ELEKTRONİK ELDİVEN SİSTEMLERİ İLE YAPILAN ÇALIŞMALAR ..	4
2.2. KAMERA SİSTEMLERİ İLE YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	5
2.3. KINECT ALGILAYICILAR İLE YAPILAN ÇALIŞMALAR	6
2.4. TÜRK İŞARET DİLİ ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR	7
2.5. LEAP MOTION İLE YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	9
BÖLÜM 3	14
İŞARET DİLLERİNİN ÖZELLİKLERİ VE TANINMASI	14
3.1. İŞARET DİLİ TANIMA SİSTEMLERİ.....	14
3.2. ELEKTRONİK ELDİVEN TABANLI SİSTEMLER.....	16
3.3. GÖRÜNTÜ TABANLI SİSTEMLER.....	16
3.4. HAREKET TABANLI SİSTEMLER.....	17
3.5. ŞEKİL TABANLI SİSTEMLER	17

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 4	18
LEAP MOTION.....	18
4.1. GİRİŞ	18
4.2. LEAP MOTION TEKNOLOJİSİ	20
4.3. LEAP MOTION KONTROLÖRÜNÜN DONANIM YAPISI	21
4.4. LEAP MOTION KONTROLÖRÜNÜN GÖRÜŞ ALANI.....	23
BÖLÜM 5	26
İŞARET DİLİ ALFABESİNİN SINIFLANDIRMASI	26
5.1. K-EN YAKIN KOMŞU ALGORİTMASI	26
5.2. NAIVE BAYES ALGORİTMASI.....	29
BÖLÜM 6	32
VERİ TOPLAMA VE ÖZELLİK ÇIKARIMI	32
6.1. ÇİFT ELLE GERÇEKLEŞTİRİLEN HARFLER İÇİN 70 ÖZELLİK ÇIKARIMI KULLANILAN UYGULAMA (1.UYGULAMA).....	39
6.2. TEK ELLE GERÇEKLEŞTİRİLEN HARFLER İÇİN 32 ÖZELLİK ÇIKARIMI KULLANILAN UYGULAMA (1.UYGULAMA).....	51
6.3. ÇİFT ELLE GERÇEKLEŞTİRİLEN HARFLER İÇİN 46 ÖZELLİK ÇIKARIMI KULLANILAN UYGULAMA (2.UYGULAMA).....	53
6.4. TEK ELLE GERÇEKLEŞTİRİLEN HARFLER İÇİN 23 ÖZELLİK ÇIKARIMI KULLANILAN UYGULAMA (2.UYGULAMA).....	55
6.5. ÇİFT ELLE GERÇEKLEŞTİRİLEN HARFLER İÇİN 30 ÖZELLİK ÇIKARIMI KULLANILAN UYGULAMA (3.UYGULAMA).....	57
6.6. TEK ELLE GERÇEKLEŞTİRİLEN HARFLER İÇİN 18 ÖZELLİK ÇIKARIMI KULLANAN UYGULAMA (3.UYGULAMA)	59
6.7. ÇİFT ELLE GERÇEKLEŞTİRİLEN HARFLER İÇİN 19 ÖZELLİK ÇIKARIMI KULLANAN UYGULAMA (4.UYGULAMA)	60
6.8. TEK ELLE GERÇEKLEŞTİRİLEN HARFLER İÇİN 11 ÖZELLİK ÇIKARIMI KULLANAN UYGULAMA (4.UYGULAMA)	61
6.9. ÇİFT ELLE GERÇEKLEŞTİRİLEN HARFLER İÇİN 16 ÖZELLİK ÇIKARIMI KULLANAN UYGULAMA (5.UYGULAMA)	63
6.10. TEK ELLE GERÇEKLEŞTİRİLEN HARFLER İÇİN 8 ÖZELLİK ÇIKARIMI KULLANILAN UYGULAMA (5.UYGULAMA).....	64
6.11. ÇİFT ELLE GERÇEKLEŞTİRİLEN HARFLER İÇİN 10 ÖZELLİK ÇIKARIMI KULLANILAN UYGULAMA (6.UYGULAMA).....	65

	<u>Sayfa</u>
6.12. TEK ELLE GERÇEKLEŞTİRİLEN HARFLER İÇİN 5 ÖZELLİK ÇIKARIMI KULLANILAN UYGULAMA (6.UYGULAMA)	66
BÖLÜM 7	70
UYGULAMA SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ	70
BÖLÜM 8	109
SONUÇ VE ÖNERİLER	109
KAYNAKLAR	112
ÖZGEÇMİŞ	115

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1. İşaret dili tanıma sistemlerinin genel hiyerarşik yapısı.....	16
Şekil 4.1. Leap Motion fiziksel görünümü.....	18
Şekil 4.2. Leap Motion şematik görünümü.....	18
Şekil 4.3. Leap Motion cihazının el ile kontrolü.....	19
Şekil 4.4. Leap Motion cihazının kalem vb. nesnelere ile kullanımı.....	19
Şekil 4.5. Leap Motion tarafından algılanan örnek hareketler.....	21
Şekil 4.6. Leap Motion cihazının donanımsal bileşenleri.....	22
Şekil 4.7. Leap Motion cihazının donanımsal bileşenleri.....	22
Şekil 4.8. Leap Motion cihazının görüş alanı.....	23
Şekil 4.9. Leap Motion sağ el koordinat sistemi.....	24
Şekil 4.10. El, parmak ya da nesnelere tanınma süreci.....	25
Şekil 5.1. K-En Yakın Komşu sınıflandırma örneği.....	29
Şekil 6.1. Leap Motion koordinat sistemi ve parmak eklem noktaları gösterimi. ...	32
Şekil 6.2. Leap Motion cihazının desteklediği parmakların eklem noktaları ve kemikleri gösterimi.....	34
Şekil 6.3. 29 harften oluşan Türk İşaret Dili alfabesi.....	38
Şekil 6.4. I harfinin işaret parmağının açık durum gösterimi.....	41
Şekil 6.5. M harfinin yapımında iki parmağının TIP uzaklık mesafe gösterimi.....	42
Şekil 6.6. B harfinin yapımında başparmağın TIP noktasının avuç içi uzaklık mesafe gösterimi.....	42
Şekil 6.7. Z harfinin yapımında iki parmağının PIP uzaklık mesafe gösterimi.....	43
Şekil 6.8. M harfinin yapımında iki parmağının TIP -MCP uzaklık mesafe gösterimi.....	43
Şekil 6.9. M harfinin yapımında iki parmağının ara kemik uzaklık mesafe gösterimi.....	44
Şekil 6.10. Ç harfinin yapımında bir parmağının iki ara kemik arası açı mesafe gösterimi.....	45
Şekil 6.11. Türk İşaret Dili'nde dinamik gerçekleştirilen J harfinin yapılış aşamaları.....	45

Şekil 6.12. Türk İşaret Dili'nde dinamik gerçekleştirilen Ğ harfinin yapılış aşamaları.....	46
Şekil 6.13. Türk İşaret Dili'nde dinamik gerçekleştirilen Ö harfinin yapılış aşamaları.....	48
Şekil 6.14. Türk İşaret Dili'nde dinamik gerçekleştirilen Ü harfinin yapılış aşamaları.....	49
Şekil 6.15. Türk İşaret Dili'nde dinamik gerçekleştirilen Ş ve İ harflerinin yapılış aşamaları.....	50
Şekil 7.1. Çift elle gerçekleştirilen harfler için 70 özellik çıkarımı kullanan uygulama (1.Uygulama).....	74
Şekil 7.2. Tek elle gerçekleştirilen harfler için 32 özellik çıkarımı kullanan uygulama (1.Uygulama).....	75
Şekil 7.3. Çift elle gerçekleştirilen harfler için 46 özellik çıkarımı kullanan uygulama (2.Uygulama).....	78
Şekil 7.4. Tek elle gerçekleştirilen harfler için 23 özellik çıkarımı kullanan uygulama (2.Uygulama).....	79
Şekil 7.5. Çift elle gerçekleştirilen harfler için 30 özellik çıkarımı kullanan uygulama (3.Uygulama).....	82
Şekil 7.6. Tek elle gerçekleştirilen harfler için 18 özellik çıkarımı kullanan uygulama (3.Uygulama).....	83
Şekil 7.7. Çift elle gerçekleştirilen harfler için 19 özellik çıkarımı kullanan uygulama (4.Uygulama).....	86
Şekil 7.8. Tek elle gerçekleştirilen harfler için 11 özellik çıkarımı kullanan uygulama (4.Uygulama).....	87
Şekil 7.9. Çift elle gerçekleştirilen harfler için 16 özellik çıkarımı kullanan uygulama (5.Uygulama).....	90
Şekil 7.10. Tek elle gerçekleştirilen harfler için 8 özellik çıkarımı kullanan uygulama (5.Uygulama).....	91
Şekil 7.11. Çift elle gerçekleştirilen harfler için 10 özellik çıkarımı kullanan uygulama (6.Uygulama).....	94
Şekil 7.12. Tek elle gerçekleştirilen harfler için 5 özellik çıkarımı kullanan uygulama (6.Uygulama).....	95
Şekil 7.13. KNN kullanılarak çift elle gerçekleştirilen ilk 11 harfin uygulamalardaki ortalama başarımları.....	97
Şekil 7.14. KNN kullanılarak çift elle gerçekleştirilen son 11 harfin uygulamalardaki ortalama başarımları.....	97
Şekil 7.15. NBC kullanılarak çift elle gerçekleştirilen ilk 11 harfin uygulamalardaki ortalama başarımları.....	99
Şekil 7.16. NBC kullanılarak çift elle gerçekleştirilen son 11 harfin uygulamalardaki ortalama başarımları.....	99

Sayfa

Şekil 7.17. KNN kullanılarak tek elle gerçekleştirilen her bir harfin uygulamalardaki ortalama başarımları oranı.	100
Şekil 7.18. NBC kullanılarak çift elle gerçekleştirilen her bir harfin uygulamalardaki ortalama başarımları oranı.	101
Şekil 7.19. Uygulamalarda kullanılan çift ve tek elle gerçekleştirilen harflerin özellik çıkarım sayısı.....	103
Şekil 7.20. Farklı özellik çıkarımları kullanılarak çift elle gerçekleştirilen uygulamaların başarımları oranı.	104
Şekil 7.21. Farklı özellik çıkarımları kullanılarak çift elle gerçekleştirilen uygulamaların başarımları oranı.	105
Şekil 7.22. Farklı özellik çıkarımları kullanılarak tek elle gerçekleştirilen uygulamaların başarımları oranı.	105
Şekil 7.23. Farklı özellik çıkarımları kullanılarak tek elle gerçekleştirilen uygulamaların başarımları oranı.	106
Şekil 7.24. Tüm harfler için gerçekleştirilen uygulamaların başarımları oranı.....	106
Şekil 7.25. Tüm harfler için gerçekleştirilen uygulamaların başarımları oranı.....	107
Şekil 7.26. Çift elle gerçekleştirilen uygulamaların ortalama çalışma süresi	108
Şekil 7.27. Tek elle gerçekleştirilen uygulamaların ortalama çalışma süresi	108

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Literatürde yer alan çalışmalarda kullanılan işaret dillerinin karakteristikleri.	12
Çizelge 2.2. Literatürde yer alan çalışmalarda kullanılan işaret dillerinin karakteristikleri.	13
Çizelge 3.1 Elektronik eldiven ve görüntü tabanlı sistemlerin temel karakteristikleri.	15
Çizelge 6.1. Leap Motion API temel özellik ve metotları.	35
Çizelge 6.2. Çift elle gerçekleştirilen harflerin uygulamalarda kullanılan özellik çıkarım sayıları.	36
Çizelge 6.3. Tek elle gerçekleştirilen harflerin uygulamalarda kullanılan özellik çıkarım sayıları.	37
Çizelge 6.3. Türk İşaret Dili alfabesinde kullanılan parmakların gösterimi.	40
Çizelge 6.4. Çift ve tek elle gerçekleştirilen harflerin uygulamalarda ortak kullanılan özellik çıkarım sayıları.	69
Çizelge 7.1. Çift elle gerçekleştirilen harfler için 70 özellik çıkarımı kullanan uygulama (1.Uygulama).	73
Çizelge 7.2. Tek elle gerçekleştirilen harfler için 32 özellik çıkarımı kullanan uygulama (1.Uygulama).	75
Çizelge 7.3. Çift elle gerçekleştirilen harfler için 46 özellik çıkarımı kullanan uygulama (2.Uygulama).	77
Çizelge 7.4. Tek elle gerçekleştirilen harfler için 23 özellik çıkarımı kullanan uygulama (2.Uygulama).	79
Çizelge 7.5. Çift elle gerçekleştirilen harfler için 30 özellik çıkarımı kullanan uygulama (3.Uygulama).	81
Çizelge 7.6. Tek elle gerçekleştirilen harfler için 18 özellik çıkarımı kullanan uygulama (3.Uygulama).	83
Çizelge 7.7. Çift elle gerçekleştirilen harfler için 19 özellik çıkarımı kullanan uygulama (4.Uygulama).	85
Çizelge 7.8. Tek elle gerçekleştirilen harfler için 11 özellik çıkarımı kullanan uygulama (4.Uygulama).	87
Çizelge 7.9. Çift elle gerçekleştirilen harfler için 16 özellik çıkarımı kullanan uygulama (5.Uygulama).	89
Çizelge 7.10. Tek elle gerçekleştirilen harfler için 8 özellik çıkarımı kullanan uygulama (5.Uygulama).	91

Sayfa

Çizelge 7.11. Çift elle gerçekleştirilen harfler için 10 özellik çıkarımı kullanan uygulama (6.Uygulama).....	93
Çizelge 7.12. Tek elle gerçekleştirilen harfler için 5 özellik çıkarımı kullanan uygulama (6.Uygulama).....	95
Çizelge 7.13. KNN kullanılarak çift elle gerçekleştirilen her bir harfin uygulamalardaki ortalama başarımları oranı.	96
Çizelge 7.14. NBC kullanılarak çift elle gerçekleştirilen her bir harfin uygulamalardaki ortalama başarımları oranı.	98
Çizelge 7.15. KNN kullanılarak tek elle gerçekleştirilen her bir harfin uygulamalardaki ortalama başarımları oranı.	100
Çizelge 7.16. NBC kullanılarak tek elle gerçekleştirilen her bir harfin uygulamalardaki ortalama başarımları oranı.	101
Çizelge 7.17. Uygulamalarda kullanılan çift ve tek elle gerçekleştirilen harflerin özellik çıkarım sayısı.....	102
Çizelge 7.18. Çift ve tek elle gerçekleştirilen uygulamaların başarımları oranı.	104
Çizelge 7.19. Çift ve tek elle gerçekleştirilen uygulamaların ortalama çalışma süresi.	107

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

- μ : Özellik vektörünün ortalaması
 σ : Özellik vektörünün standart sapması

KISALTMALAR

- LMC : Leap Motion Controller (Leap Motion Kontrolör)
- KDD : Knowledge Discovery in Databases (Veritabanlarında Bilgi Keşfi)
- K-NN : K-Nearest Neighbor (K-En Yakın Komşu)
- ANN : Artificial Neural Networks (Yapay Sinir Ağı)
- NBC : Naive Bayes Classifier (Naif Bayes Sınıflandırıcı)
- HMM : Hidden Markov Model (Saklı Markov Modelleri)
- FCM : Fuzzy-C-Means (Fuzzy-C-Means Algoritması)
- CGP : Cartesian Genetic Programming (Kartezyen Genetik Programlama)
- SVM : Support Vector Machine (Destek Vektör Makinesi)
- MLP : Multilayer Perceptron (Çok Katmanlı Algılayıcı)
- TİD : Turkish Sign Language (Türk İşaret Dili)
- ASL : American Sign Language (Amarikan İşaret Dili)
- BSL : British Sign Language (İngiliz İşaret Dili)
- JSL : Japanese Sign Language (Japon İşaret Dili)
- TSL : Thai Sign Language (Tayland İşaret Dili)
- BSL : Brazilian Sign Language (Brezilya İşaret Dili)
- ArSL : Arabic Sign Language (Arap İşaret Dili)
- API : Application Programming Interface (Uygulama Programlama Arayüzü)
- CHT : Circle Hough Transform (Dairesel Hough Dönüşüm)
- DLT : Direct Linear Transformation (Doğrudan Lineer Dönüşüm)
- PCA : Principal Component Analysis (Temel Bileşen Analizi)
- SHM : Spherical Harmonics Metod (Küresel Harmonik Metod)
- SIFT : Scale Invariant Feature Transform (Değişmeyen Ölçek Özellik Dönüşüm)
- LBP : Local Binary Patterns (Yerel İkili Desenler)
- GKD : Gradient Kernel descriptor (Gradyan Çekirdek Tanımlayıcısı)
- HOG : Histograms of Oriented Gradients (Gradyan Odaklı Histogram)
- DCT : Discrete Cosine Transform (Ayrık Kosinüs Dönüşüm)
- DOG : Difference Of Gaussians (Ayrık Kosinüs Dönüşüm)
- GHT : Generalised Hough transform (Genelleştirilmiş Hough Dönüşüm)
- RBF : Radial Basis Function Network (Radyal Temelli Fonksiyon ağı)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Son yıllarda insan ve bilgisayar etkileşimini daha kolay ve kullanışlı duruma getirebilmek için akıllı arabirimler tasarlanmaya çalışılmaktadır. İnsan bilgisayar etkileşimi dâhilinde temel olarak bilgisayar işletim sistemlerinin, yazılımların, robotların, uzaktan kumanda edilmesi planlanan araçların kontrollerine yönelik araştırma ve uygulamalar yapılmaktadır. Bu sistemlerin komuta edilebilmesi ve etkileşimlerinin sağlanmasında ses ve görüntü işaretleri kullanılmakta olup ihtiyaca bağlı olarak tercih edilmektedir. Sistemlerle etkileşimi sağlamak için sesin yanı sıra el, yüz, kafa ve vücut ile yapılan görsel işaretlerde kullanılmaktadır. Son yıllarda özellikle el ve parmak hareketleri kullanılarak kontrol edilen sistemlerin sayısında önemli artışlar görülmektedir. Bu sistemler arasında, işitme ve konuşma engellilerin kullandıkları işaret dillerinin bilgisayar sistemleri tarafından tanınmasına yönelik çalışmalarda mevcuttur. Etkileşim kurmak için özellikle kullanım kolaylıkları ve sistem basitliği sayesinde görüntü tabanlı sistemler tercih edilmektedir. Etkileşimde kullanılan öğelerin bilgisayar sistemleri tarafından yüksek başarımları ile tanınması da gerekmektedir. Bu tarz çalışma alanlarında sistemlerin eğitilmesi ve tanınması işlemlerinde kullanılan makine öğrenmesi de önem arz etmektedir. Bu sistemleri tasarlamak insan bilgisayar etkileşimi açısından çok önemli bir gelişmedir.

İşaret dili işitme engelli ve toplumun geri kalanı arasındaki iletişimi kolaylaştırmak için kullanılan önemli bir araçtır. İşaret dili, işitme engellilerin ana dili olarak tanımlanır ve iletişimlerinin çok büyük bir bölümünü oluşturur. Bu sebepten dolayı bilgisayar sistemleri tarafından işaret dillerinin tanınması, yorumlanması her ne kadar teknolojik açıdan önemli ise sosyal açıdan da önem arz etmektedir. İşaret dillerinin başarılı ve etkin bir şekilde tanınması ile bilgisayar çeviri sistemleri, akıllı kumanda sistemleri, robotik sistemlerinin geliştirilmesi başta olmak üzere diğer

bilimsel ve teknolojik alanlarda oluşturulacak yenilik ve kolaylıklar ile birlikte sosyal ve toplumsal olarak da önemi bulunmaktadır.

İşaret dilinde iki tür iletişim türü bulunmaktadır. Birinci iletişim türü kelime ya da cümle tabanlı işaret dili kullanımınıdır. Bu tipte kullanıcılar her bir kelime ya da cümle için bir işaret yaparlar. İkinci iletişim türünde harf tabanlı işaret dili kullanımınıdır. Parmak hecelemesi olarak da adlandırılan bu tipte, kullanıcılar her bir harf için bir işaret yaparlar.

İşaret dili tanımaya yönelik çalışmalarda el işaretlerini yakalamak için farklı yaklaşımlar kullanılmışlardır. Bunlar temel olarak görüntü ve eldiven tabanlı sistemler olarak ifade edilebilir. Bu iki yaklaşım geleneksel olarak literatürde kullanılmıştır. Elektronik eldivenler, kameralar, Kinect ve benzeri cihazlar bu sistemlerde tercih edilmiştir. Bu iki yaklaşımın kendine göre avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Bu sistemler yüksek tanınma doğruluk başarısı olmasına rağmen dezavantajları nedeniyle doğal ortamlarda güvenilirliği düşüktür.

Bu çalışmada Leap Motion adlı yeni bir dijital sensöre dayalı algılayıcı kullanılarak, Türk İşaret Dili (TİD) harflerinin tanınması üzerine çalışılmıştır. Bu cihaz derinlik bilgisine sahip el görüntüsünün elde edilmesinde bir çift kamera ve kızılötesi ledler kullanılmaktadır. Leap Motion hareket sensörleri ve kameralar yardımıyla üç boyutlu uzayda gerçekleşen el ve parmak hareketlerini sıfır gecikmeyle milimetrenin yüzde birine varan hassaslıkta algılayabilir ve kaydedebilir. Leap Motion Kontrolör saniyede 200 kareye kadar hareketleri izleyebilir. Leap Motion, hareket izleme verilerine ait görüntü karesi (frame) adı verilen bir dizi anlık fotoğraf sunmaktadır. Bu cihaz görüş alanındaki el, parmak hareketlerini tarayarak sürekli olarak bir veri dizisi ve görüntü kareleri sağlamaktadır. Her bir görüntü karesi, izlenen ve görüş alanı içindeki el ve parmak hareketlerine ait temel tarama bilgileri, hareket ve durum bilgisi içerir.

İşaret dillerine ait el ve parmak hareketleri statik/durağan (posture) ve dinamik/durağan olmayan (gesture) hareketlerden oluşmaktadır. Türk İşaret Dili'ne ait tek ve çift elle gerçekleştirilen parmak heceleme alfabesi işaretleri kullanarak

durağan ve durağan olmayan bir tanıma sistemi tasarlanmıştır. Sistem veri toplamaya ek olarak ön işlem aşaması, özellik çıkarım ve sınıflandırma aşaması olmak üzere üç aşamadan oluşur. Öncelikle Leap Motion Kontrolör sensörleri tarafından sağlanan duyuşsal veri tipleri incelendi. Cihaz tarafından gönderilen saniyede ortalama 10 görüntü karesi seçilerek ortalamaları alınması suretiyle verilerin doğruluğu arttırılmıştır. Sonrasında, Türk İşaret Dili'ne ait tek ve çift elle gerçekleştirilen işaretler için önemli ve ayırt edici özellikler tanımlandı. Parmakların her biri için yön, uzunluk, açık kapalı durumları, eklem bağlantı noktalarının uzunluk, açı ve konum bilgi özellikleri çıkarılmıştır. Türk İşaret Dili (TİD) harflerinin tanınması için bu el ve parmak, eklem noktası özellikleri kullanılmıştır. Bununla birlikte gerek görölerek belirlenen özellik çıkarımları kademeli olarak azaltılarak altı uygulama tasarlanmıştır.

Yaklaşımın başarımını sınamak amacıyla görüntü karelerinden çıkarılan zamansal ve uzaysal özellikler K-En Yakın Komşu sınıflandırıcı (KNN) ile Naive Bayes sınıflandırıcı algoritmaları kullanılarak gerçek zamanlı bir tanıma sistemi tasarlanmıştır. Sistemin eğitim ve test aşamalarında Türk İşaret Dili'ne ait çift ve tek elle gerçekleştirilen 29 harf için, her iki uygulamada kullanılmak üzere 5800 işaretten oluşan iki adet veri seti oluşturulmuştur. Sistemin verimliliğini sınamak amacıyla eğitim ve test verileri ayrı hazırlanmıştır. Bu sayede eğitim ve test verilerinde her örneğin kullanımı sağlanarak daha genel geçer bir sonuç alınması hedeflenmiştir. K-En Yakın Komşu sınıflandırıcı ile Naive Bayes sınıflandırıcı algoritmalarının performansı karşılaştırılmıştır. Türk İşaret Dili alfabesinde bulunan harflerin yapış durumları dikkate alınarak ve gereksinim görülen her nokta için belirlenen özellik çıkarımları kullanılarak oluşturulan uygulama, belirli özellik türleri, parmak noktaları düzeyinde kademeli olarak azaltılarak altı farklı uygulamaya dönüştürülmüştür. Bu amaçla geliştirilen uygulamalar kapsamında en uygun ve gerekli görülen ayırt edici özellik çıkarımlarının bulunması ve bununla birlikte başarım ve performans değerlerinin en iyi düzeyde tutulması hedeflenmiştir. Türk İşaret Dili alfabesi üzerinde, gerek görölerek belirlenen özellik çıkarımlarının kullanıldığı uygulamalarda yüksek tanıma doğruluk başarısı yakalanmıştır.

BÖLÜM 2

KONU İLE İLGİLİ ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. ELEKTRONİK ELDİVEN SİSTEMLERİ İLE YAPILAN ÇALIŞMALAR

İşaret dillerini tanınmasına yönelik yapılan ilk çalışmalarda elektronik eldiven tabanlı sistemler kullanılmıştır. Sistemi kullanan kişinin işaret diline ait hareketleri yapması suretiyle alınan verilerden dinamik durağan olmayan tanıma sistemi geliştirmiş. Japon İşaret Dili'ne ait 42 adet parmak alfabetini yapay sinir ağları yöntemi kullanarak %98 oranlarında başarımlar sağlanmıştır [1].

Saengsri vd. ise, elektronik eldiven ve hareket izci cihazı kullanılarak Tayland İşaret Dili tanıma sistemi önermektedir. Tayland İşaret Dili'ne ait tek elle gerçekleştirilen parmak heceleme alfabeti hareketleri kullanarak dinamik durağan olmayan tanıma sistemine yönelmiştir. Elektronik eldivenin 14 farklı noktasında bulunan sensör ve diğer 4 tane hareket izci cihazından alınan 20 değer için toplam 1000 örnek değerlendirilmiştir. Sistemin doğruluğunu artırmak için Yapay Sinir Ağı ve veri bölütleme teknikleri kullanılarak %94 oranında bir başarımlar ifade edilmiştir [2].

Tangsuksant vd. önerilen sistemde, altı farklı renkli belirteçlere sahip elektronik eldiven tasarımı ve kamera kullanılarak Amerikan İşaret Dili'ne ait hareketlerin tanınmasına yönelik bir statik durağan tanıma sistemi sunulmuştur. Renkli belirteçlerin tespit edilmesi için Dairesel Hough Dönüşüm (CHT) tekniği kullanılarak sağlanmıştır. Belirteçlerin 3D koordinat noktalarını 2 kamera yardımıyla tespit etmede Doğrudan Lineer Dönüşüm (DLT) algoritması kullanılmıştır. Amerikan İşaret Dili (ASL)'ne ait 24 adet karakter üzerinde yapılan çalışmada yapay sinir ağları sınıflandırıcı ile %95 doğruluk oranı yakalanmıştır. En doğru sonucun donanımsal ve kamera tabanlı sistemlerin birleşiminden elde edildiğini göstermeye çalışmışlardır [3].

Benzer çalışma Munib tarafından Amerikan İşaret Dil'ine ait hareketlerin tanınmasına yönelik çalışmıştır [4].

2.2. KAMERA SİSTEMLERİ İLE YAPILAN ÇALIŞMALAR

İşaret dillerinin kamera tabanlı olarak tanınmasına yönelik ilk çalışmalar Starner ve Pentland, kamera kullanarak Amerikan İşaret Dili (ASL)'ne ait kelimeleri gerçek zamanlı tanımaya çalışmıştır. Alınan görüntülerde eller bölütlenmiş ve ellere ait öznitelik vektörleri Saklı Markov Modelleri (HMM) yöntemi ile dinamik durağan olmayan işaret tanıma işlemi gerçekleştirilmiştir. Amerikan İşaret Dili (ASL)'ne ait 40 adet kelime üzerinde yapılan çalışmada %99'ın üzerinde başarımlar sağlanmıştır [5]. Starner vd. , aynı zamanda işaret dili tanınması yapabilen bir giyilebilir bilgisayar tabanlı sistem sunmuştur. Bu çalışmada bir şapkaya yerleştirilen kameradan alınan görüntülerin ellere ait özellikler bölütlenerek tanıma yapılmıştır. 40 kelimedenden oluşan bir işaret veri seti üzerinde performans ölçümü yapılmış ve %97 oranında başarımlar elde edilmiştir [6].

Parmak hecelemelerinin tanınması amacıyla yapılmış çalışmalar da mevcuttur. Silanon ve Suvonvorn tarafından yürütülen çalışmada, bulanık parmak şekil ve el görünüm analizine dayalı alternatif bir esnek statik durağan işaret tanınması sağlanmıştır. Kamera yardımıyla alınan görüntülerde, eller bölütlenerek ellere ait derinlik, uzaklık, şekil, konum ve alan bilgilerinin görünüm özelliklerinden tanıma gerçekleştirilmiştir. Sistemin performansı 26 Amerikan İşaret Dili parmak hecelemeleri için %70 tanıma oranı ile sonuçlanan gerçek zamanlı bir ortamda test edilmiştir [7].

Amerikan İşaret Dili (ASL)'ne ait parmak heceleme hareket imgelerinin tanınmasına yönelik Amin ve Yan yaptıkları çalışmada ise, harfin olduğu bölge normalleştirilerek, Radon dönüşümü ile hizalanarak Gabor süzgeçlerinden geçirilmiştir. Temel Bileşen Analizi (PCA) ile boyut olarak indirgenen imgeler üzerinde %93 oranında tanıma gözlemlenmiştir. Çalışmasında sınıflandırma amacıyla Fuzzy-C-Means (FCM) algoritması kullanmıştır [8].

Amerikan İşaret Dili'ndeki el hareketlerine ait alfabe imgelerinin değerlendirildiği bir başka çalışma olan Ullah tarafından, Kartezyen Genetik Programlama (CGP) tekniği kullanılarak tanıma işlemi gerçekleştirilmiştir. Görüntüler ikili (binary) formata dönüştürüldükten sonra Kartezyen Genetik Programlama Ağ tekniği yardımıyla işareti tanıma sistemi sağlanmıştır. 26 İngiliz alfabesini temsil eden el hareket imgelerinin farklı test ve eğitim veri seti kullanılarak %90 oranında tanınmıştır [9].

2.3. KİNECT ALGILAYICILAR İLE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Modern teknolojinin gelişi ile farklı akıllı bilgisayar destekli uygulamalar ile el hareketlerini tanınmasına yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Bu yönde Porfirio vd. Kinect sensörleri ile elde edilen elin 3D kafes ve 2D gösterimi kullanılarak Brezilya İşaret Dili harflerinin tanınması hedeflenmiştir. İşaret diline ait 61 farklı RGBD video görüntüsünde, eller bir ön bir yan çerçeveye bölütlenmiştir. Her çerçeve çifti elin 3D kafes karaltı şekil yöntemi kullanılarak inşa edilmiştir. Özelliklerin çıkarılmasında Küresel Harmonik Metoda (SHM) başvurulmuştur. 5 farklı işaretçi tarafından Brezilya İşaret Dili'ne ait harfler için 610 video görüntüsü üzerinde test edilmiştir. Deneysel sonuçları en yüksek sınıflandırma oranı %96 ile Destek Vektör Makinesi (SVM) ile elde edilmiştir [10].

Zhu ve Wong tarafından sunulan yaklaşımda, Kinect cihazı kullanılarak, renk ve derinlik görüntülerinden bilgi birleştirilmesiyle tek çerçeveli el hareketlerinin tanınmasına yönelik bir çalışma sunulmuştur. Görüntü bilgilerinin çıkarımında Değişmeyen Ölçek Özellik Dönüşüm (SIFT) tanımlayıcısı ve Yerel İkili Desen (LBP) yapısı kullanılmıştır. Çıkarılan özelliklerin birleştirilmesi renk ve derinlik çekirdek tanımlayıcı yardımı ile gerçekleştirilmiştir. 5 farklı işaretçi ve Amerikan İşaret Dili (ASL)'ne ait toplamda 2460 parmak heceleme imge veri seti üzerinde performans ölçümü yapılmıştır. Sonuçlar, %88 başarı oranı ile Destek vektör makinesi (SVM) sınıflandırıcı kullanılarak elde edilmiştir [11].

Rodriguez ve Chavez ise, Kinect sensörlerinden alınan RGB-D bilgileri kullanılarak parmak heceleme tanıma için hibrid sistem yaklaşımı hedeflenmiştir. Hibrid sistemler görüntü tabanlı kamera ve kızılötesi derinlik sensörleri birleşimidir.

Görüntülerde, eller bölütlenerek ellere ait derinlik, şekil gibi görünüm özelliklerinden tanıma gerçekleştirilmiştir. RGB görüntü özellik çıkarımı için Değişmeyen Ölçek Özellik Dönüşüm (SIFT) tanımlayıcısı, derinlik görüntü özellik haritası çıkarımı için Gradyan Çekirdek Tanımlayıcısı (GKD) kullanılmıştır. Üç farklı işaretçi tarafından toplamda Kinect sensörleri ile elde edilen 120.000 Amerikan İşaret Dili imgesi üzerinde test edilmiştir. Deney sonuçları %91 başarımla orani ile Destek vektör makinesi (SVM) sınıflandırıcı kullanılarak elde edilmiştir [12].

Yine benzer bir ASL işaret tanıma yaklaşımında Chao vd. ise, Kinect sensörleri tarafından alınan renk, derinlik ve iskelet bilgilerini kullanılarak Amerikan İşaret Dili'ne ait görüntülerin otomatik tanınması sağlanmıştır. Bu sistemin yaklaşımı Gradyan Odaklı Histogram (HOG) tanımlayıcı tarafından özellik çıkartmaya dayanmaktadır. Deney sonuçları %86 oranı ile Destek vektör makinesi (SVM) ile elde edilmiştir [13].

Benzer çalışma Weerasekera vd. ile Maldague ve Giguere tarafından Amerikan İşaret Dili'ne ait hareketlerin tanınmasına yönelik çalışmıştır [14], [15].

2.4. TÜRK İŞARET DİLİ ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Literatürde Türk İşaret Dili'ne yönelik yapılan araştırmalar, parmak alfabesi ve kelime tanıma yönelik çalışmaları içermektedir. Haberdar yapmış olduğu çalışmada kameradan alınan görüntüden gerçek zamanlı Türk İşaret Dili'ne ait kelimeleri tanıma yönelik bir sistem geliştirmiştir. Görüntüyü oluşturan çerçevelerden çıkarılan özellikler, Saklı Markov modelleri ve K-En Yakın Komşu algoritması kullanarak bir tanıma sistemi hedeflemiştir. TİD konusunda ilk olan bu çalışmada elde edilen sonuçlarının %93 oranında bir tanıma yaptığı görülmüştür. TİD hareketlerine ait bir görüntü arşivi olmadığı için, oluşturulan tanıma sisteminin kullanıcıya bağımlı olması belirtilmiştir [16].

Bayrak tarafından yürütülen çalışmada, Türk İşaret Dili kelimelerini içeren video görüntüsündeki hareketlerin tanınmasını yönelik çalışmıştır. Görüntüden seçilmiş el hareketinin takibi ve kullanılacak özelliklerin çıkarımı için Zernike moment yöntemi

kullanılmıştır. İşaretlerin yorumlanması aşamasında Saklı Markov Modelleri yöntemi kullanılmıştır [17].

Memiş çalışmasında, video görüntülerinin alınan Türk İşaret Dili'ne ait durağan olmayan hareketlerin tanınmasına yönelik çalışmıştır. Kinect algılayıcının derinlik algılayabilme özelliği de kullanılarak Türk İşaret Dili'ne ait veri setinde RGB-D video görüntüleri tanıma başarısını arttırmada etkin olarak kullanılmıştır. Ardışıl görüntü hareket farklarına dayalı toplamsal imge yaklaşımı ve Ayrık Kosinüs Dönüşüm (DCT) yöntemi kullanılarak uzam-zamansal öznitelikleri çıkaran bu sistemle işaret diline ait görüntüler tanınabilmektedir. Türk İşaret Dili'ne ait toplam 111 kelimededen oluşan 1002 işaretlik bir veri seti hazırlanmıştır. Yaklaşımın başarısını sınamak için Manhattan uzaklığını kullanan K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda yaklaşık %90 oranında başarımlar elde edilmiştir [18].

Türk İşaret Dili alfabesi harflerinin parmak hecelemelerinin tanınması üzerine çalışmalar da mevcuttur. Altun ve Albayrak tarafından sunulan yaklaşım bu hedefe yöneliktir. DOG ilgi bölgeleri ve SIFT yerel tanımlayıcılar ile Genelleştirilmiş Hough Dönüşüm (GHT) yaklaşımı kullanılarak Türk İşaret Dili'ne ait durağan hareketleri tanıyan bir bilgisayar sistemi geliştirilmiştir. Genelleştirilmiş Hough Dönüşüm tekniği yaygın olarak resimde parametrik çizgi ve daire şekilleri çıkarmak için kullanılır. Türk İşaret Dili'ne ait 29 alfabenin her biri için 16 video örnek seti kullanılmıştır. 3 farklı arka plan kullanılarak bir veri seti üzerinde test edilerek %93 başarımlar elde edilmiştir [19].

Benzer bir çalışma yapan Altun ise, Türk İşaret Dili alfabesi harflerinin tanınması için her bir videodan çıkartılan anahtar çerçeveler üzerinden SIFT noktalarının oluşturduğu yıldız – meteor – yay sistemleri yardımı ile sınıflandırılmıştır. En başarılı sınıflayıcılar K-En Yakın Komşu algoritması (KNN) ve destek vektör makinesi (SVM) olmuştur. İlgi bölgeleri ve yerel tanımlayıcılar ile Genelleştirilmiş Hough Dönüşüm yaklaşımı kullanarak bir tanıma sistemi hedeflenmiştir. Dört farklı işaretçi tarafından icra edilmiş toplamda 116 Türk İşaret Dili harf görüntüleri üzerinde %94 başarımlar gözlemlenmiştir [20].

Göknar, çalışmalarında kamera sistemi ile el işaretlerinin algılanması için çıkarılan şekil geometri özellikler ile Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP) ve Radyal Temelli Fonksiyon ağları (RBF) sınıflandırıcı olarak kullanmıştır. Eğitim ve test için toplamda 600 adet resim üzerinde performans ölçümü yapılmış ve %80 oranlarında doğruluk gözlenmiştir. Bu sistem başarımları seviyesi genelde kullanılan Saklı Markov Modeli sınıflandırıcılara göre daha düşük olduğu görülmektedir. Ek geometrik bilgilerin daha iyi oluşturulması durumunda başarımları oranı artabilir [21].

Ayrıca Işıkoğan ve Albayrak tarafından yapılan bir çalışmada ise parmak heceleme görüntülerinin otomatik tanınması sağlanmıştır. Bu çalışmada işaretlerin anlam ayırımına yardımcı en etkili özelliklerin çıkarılmasına dayalı bir Türk İşaret Dili'ne ait parmak heceleme tanıma sistemi hedeflenmiştir. Bu sistemin temel yaklaşımı Temel Bileşen Analizi (PCA) tekniği tarafından boyut azaltma ve Gradyan Odaklı Histogram (HOG) tanımlayıcılar tarafından özellik çıkartmaya dayanmaktadır. Test veri seti 4 farklı işaretçi ve 493 parmak heceleme görüntüsü üzerinde performans ölçümü yapılmış ve %99 oranında başarımları elde edilmiştir [22].

Yakut çalışmasında, işaret dili harflerinin tanınması için iki görüntü işleme yöntemi kullanmıştır. Sistemleri, açısız tarama ve ağırlıklandırılmış matris tabanlı yöntemleri kullanarak şekillerin kenar takibine dayanmaktadır. Daha net görüntü ve üzerinde kolay işlem yapılabilmesi amaçlanmıştır. Çalışma genel kabul görmüş 10 harf için toplamda 240 test veri imgesi setinde %80 oranında başarımları sağlanmıştır [23].

Bununla beraber Aran'a ait çalışmada ise işaret dili örneklerinin video tabanlı olarak tanınması problemi ele alınmıştır. İşaret tanıma probleminde yoğunlukla kullanılan üretici ve ayırıcı modellerin sınıflandırma yaklaşımları Saklı Markov Modelinden türetilen Fisher çekirdekleri kullanılarak birleştirilmiştir. İşaretlerin bu çok kipli yapısı ardışık tümleştirme yöntemi kullanılarak inanç tabanlı bir tanıma sistemi geliştirilmiştir [24] .

2.5. LEAP MOTION İLE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Leap Motion adlı yeni bir dijital sensöre dayalı algılayıcı kullanılarak, işaret dillerinin tanınmasına yönelik çalışmalar da mevcuttur. Bu kapsamda Nowicki

tarafından, Leap Motion kullanarak statik, dinamik ve parmak hareketlerinin tanınmasına yönelik modüller içeren Leap Hareket kütüphanesi geliştirilmiştir. Statik parmak hareketler, birbirini izleyen ardışık hareketler arasındaki benzerlikler kullanılarak ve veri girişleri gürültü filtreleme önışleminden geçirilerek Destek vektör makinesi (SVM) sınıflandırıcı yöntemiyle tanınması hedeflenmiştir. Dinamik tanımda, eller için alınan verilerin düzensizlikler, kayıp ve geçici parmak tıkanıklıkları ortaya çıkarması sebebiyle doğruluk oranı düşmektedir. Elde edilen özellikler K-En Yakın Komşu algoritması (KNN) ve Saklı Markov Modelleri (HMM) kullanılarak tanıma işlemi gerçekleştirilmiştir [25].

Benzer bir çalışmada ise Chuan, Leap Motion kullanarak Amerikan İşaret Dili'ne (ASL) ait hareketleri tanıma sistemi geliştirmiştir. Amerikan İşaret Dilindeki 26 İngiliz harfini sensörlerden elde edilen verilere ait özellikler ile makine öğrenme yöntemlerinden K-En Yakın Komşu algoritması (KNN) ve Destek Vektör Makinesi (SVM) sınıflandırıcı yöntemi kullanarak bir tanıma sistemi hedeflenmiştir. Parmakların her biri için yön, uzunluk, eklem bağlantı konumları, avuç içi yönlendirme vektör konumları, parmakların açık kapalı durumu ve sıkıştırma gücü gibi özellikler çıkarılmıştır. İşaret dil harflerinin tanınması için bu el ve parmak özellikleri kullanılmıştır. Deney sonuçları en yüksek sınıflandırma oranı %72 oranı ile K-En Yakın Komşu algoritması ve %79 oranı ile Destek Vektör Makinesi ile elde edilmiştir [26].

Mohandes çalışmasında, Leap Motion kullanarak Arap İşaret Dili (ArSLR) tanıma sistemi üzerine yeni bir yaklaşım hedeflemiştir. Leap Motion el ve parmakların konum ve hareket bilgilerini izler, algılar ve bu bilgileri anlık bilgisayara gönderir. Tüm Arap alfabesi işaretlerini tek bir el kullanılarak statik hareket tanıma sistemi geliştirilmiştir. Eğitim ve test veri seti için toplamda her bir harf için 100 toplamda 2.800 çerçeve bilgi toplanmıştır. Analiz ve işlem aşamalarında MATLAB kullanılmıştır. Bu çalışmada en uygun 12 özellik seçilmiştir. Sistem veri toplamaya ek olarak ön işlem aşaması, özellik çıkarma ve sınıflandırma aşaması olmak üzere üç aşamadan oluşur. Arap İşaret Dili (ArSL)'ne ait 28 adet işaret üzerinde yapılan çalışmada Naive Bayes sınıflandırıcı ile %98, Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP) sınıflandırıcı ile %99 doğruluk oranı yakalanmıştır [27].

Yine benzer yaklaşımda ise Elons vd. , Leap Motion cihazı kullanılarak Arap İşaret Dili (ArSL) hareketleri için bir tanıma sistemi geliştirmiştir. Leap Motion cihazı 3D dijital formatta el ve parmak hareketlerini algılar ve yakalar. Leap Motion elde edilen her hareketin çerçeve bilgisini gönderir. Bu elde edilen uzam-zamansal özellikler Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP) ile yorumlanmıştır. Arap İşaret Dili (ArSL)'ne ait 50 farklı dinamik işaretler üzerinde test edilmiştir. Tanıma doğruluk oranı % 88 ile sağlanmıştır [28].

Leap Motion ve Kinect cihazlarının güçlü yanları kullanılarak hareket tanıma sistemi önerilmiştir. Parmakların pozisyon, konum, uzaklık, açı ve yönlendirme yönelimlerine dayalı veri seti için Leap Motion, parmakların eğrilik, korelasyon, renk ve derinlik veri seti için Kinect kullanılmıştır. Tanıma performansını artırmak amacıyla iki cihazın özellik veri seti birleştirilmiştir. Deneysel sonuçlar iki cihazdan elde edilen özellik setleri birleştirilerek gerçek zamanlı çok yüksek bir doğruluk elde etmenin mümkün olduğunu göstermektedir. 14 farklı işaretçi tarafından 10 adet Amerikan İşaret Diline ait toplamda 1.400 veri üzerinde test edilmiştir. Deney sonuçları %91 oranı ile Destek Vektör Makinesi (SVM) sınıflandırıcı kullanılarak elde edilmiştir [29].

İşaret dili tanıma konusundaki çalışmalarda, makine öğrenme yöntemleri kullanılarak birçok sistem tasarlanmıştır. Bu sistemler veri tiplerine göre elektronik eldiven tabanlı ve görüntü tabanlı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Görüntü tabanlı sistemlerde ise kamera, Kinect ve yeni teknoloji ürünü olan Leap Motion algılayıcısı aracılığı ile alınan görüntülerin özneliklerinin çıkarılması ve işaretlerin tanınmasında kullanılmaktadır. Tez kapsamında literatürde yer alan çalışmalarda kullanılan işaret dilleri, yöntemler, sınıflandırıcılar, özellik çıkarım türleri ve benzeri özellikleri içeren elektronik eldiven ve görüntü tabanlı sistemlere ait genel bilgilerin karşılaştırma tablosu Çizelge 2.1' de ve Çizelge 2.2'de gösterilmektedir.

Çizelge 2.1. Literatürde yer alan çalışmalarda kullanılan işaret dillerinin karakteristikleri.

Yazar	İşaret Veri tabanı	İletişim Yöntemi	İşaret Sistemi	Zaman	Cihaz	Özellik Çıkarım	Alt birim Belirleme yöntemi	Sınıflandırma Metodu	Doğruluk
[1]	42 JSL		Gesture / Posture		Glove			ANN	98
[2]	16 TSL	Parmak heceleme	Gesture		Glove	F-Measure / Bölütleme		ANN	94
[3]	24 ASL		Statik Posture		Glove / Kamera	CHT / DLT	3D Geometrik Değişmeyen Özellikler	ANN	95
[4]	26 ASL		Statik Gesture		Glove	CHT		ANN	92
[5]	26 ASL		Gesture	Gerçek zamanlı	Kamera	Bölütleme		HMM	99
[6]	26 ASL		Gesture	Gerçek zamanlı	Kamera	Bölütleme		HMM	97
[7]	26 ASL	Parmak heceleme	Posture	Gerçek zamanlı	Kamera	Bölütleme	Fuzzy Parmak Şekil Özellikler		70
[8]	26 ASL		Gesture		Kamera	Gabor-PCA		FCM	93
[9]	26 ASL		Gesture		Kamera			CGP	90
[21]	8 ASL		Gesture		Kamera			ANN	80
[23]	10 ASL	Parmak heceleme			Kamera	Bölütleme	Açısal Tarama / Ağırlıklandırılmış Matris		80
[16]	172 TİD		Gesture	Gerçek zamanlı	Kamera			HMM / KNN	93
[17]	5 TİD			Gerçek zamanlı	Kamera	Zernike Momentler		HMM	
[19]	29 TİD	Parmak heceleme	Posture		Kamera	GHT	DOG / SIFT	KNN / SVM	93
[20]	29 TİD	Parmak heceleme	Posture		Kamera	GHT	DOG / SIFT		94
[22]	29 TİD	Parmak heceleme	Posture		Kamera	Bölütleme	HOG / PCA	KNN	99
[24]	15 TİD	Kelime			Kamera			HMM	91
[18]	111 TİD		Gesture		Kinect	DCT	Uzam-zamansal Özellikler	KNN	90
[10]	61 BSL				Kinect	SHM / 3D Meshes / Bölütleme		SVM	96
[11]	24 ASL	Parmak heceleme	Gesture		Kinect	Renk Ve Derinlik Çekirdek Tanımlayıcı	SIFT / LBP	SVM	88
[12]	24 ASL	Parmak heceleme	Gesture		Kinect	RGB-D Gradyan Çekirdek Tanımlayıcı / Bölütleme	SIFT	SVM	90
[13]	73 ASL				Kinect	HOG		SVM	86

Çizelge 2.2. Literatürde yer alan çalışmalarda kullanılan işaret dillerinin karakteristikleri.

Yazar	İşaret Veri tabanı	İletişim Yöntemi	İşaret Sistemi	Zaman	Cihaz	Özellik Çıkarım	Alt birim Belirleme yöntemi	Sınıflandırma Metodu	Doğruluk
[14]	24 ASL	Parmak heceleme	Posture	Gerçek zamanlı	Kinect	Bölütleme	LBP/ Geometrik Özellik	SVM	90
[15]	24 ASL	Parmak heceleme	Posture	Gerçek zamanlı	Kinect	Bölütleme		DNB	79
[25]	6 ASL	Kelime	Dinamik Gesture		Leap Motion			KNN / HMM	80
[25]	10 ASL	Kelime	Statik Gesture		Leap Motion			SVM	85
[26]	26 ASL		Gesture		Leap Motion			KNN	72
[26]	26 ASL		Gesture		Leap Motion			SVM	79
[27]	28 ArSL		Gesture		Leap Motion			NBC	98
[27]	28 ArSL		Gesture		Leap Motion			ANN	99
[28]	50 ArSL		Gesture		Leap Motion			ANN	88
[29]	10 ASL		Gesture	Gerçek zamanlı	Leap Motion/ Kinect			SVM	91

BÖLÜM 3

İŞARET DİLLERİNİN ÖZELLİKLERİ VE TANINMASI

İşaret dili işitme ve konuşma engellilerin birbirleriyle iletişim kurmalarını sağlayan, el hareketlerini ve yüz mimiklerini kullanarak oluşturdukları görsel öğelerden oluşan bir dildir. Bu görsel öğelerin kullanımı; işaretlerin anlam ve cümle içerisindeki kullanımlarına göre farklılıklar gösterebilmektedir. İşaret dilinde iki tür yaklaşım mevcuttur. Birinci yaklaşım türü kullanıcılar her bir kelime ya da cümle için bir işaret yaparken ikinci yaklaşım türünde her bir harf için bir işaret yaparlar. Parmak heceleme (finger spelling) olarak adlandırılan ikinci yaklaşım türü, genelde kelime işareti bulunmayan ya da anlaşılamayan kelimelerin anlatımı için kullanılır. İşaret dilleri konuşma dilleri gibi kendine ait bir biçimsel yapıya sahiptir. İşaret dilleri de sözlü diller gibi bir gramer yapısı ve kendine özgü gramer kuralları vardır. Her ülkenin işaret dili kendine özgüdür. Dünya üzerinde çeşitli parmak alfabesinin kullanıldığı 40'ın üzerinde işaret dili bulunmaktadır. Ülkelerin işaret dilleri genelde birbirine benzemezler. Bunlara örnek olarak Amerikan işaret dili için ASL, İngiliz işaret dili için BSL ve Türk İşaret Dili için TİD gösterilebilir. Türkçedeki 29 harfin parmak karşılığı işaretler bulunmaktadır. Fakat Çin ya da Japon benzeri fonetik alfabelerde kısıtlı sayıda harflerin parmak işaretleri mevcuttur. 1963 yılında uluslararası işaret dili çıkarılmıştır.

3.1. İŞARET DİLİ TANIMA SİSTEMLERİ

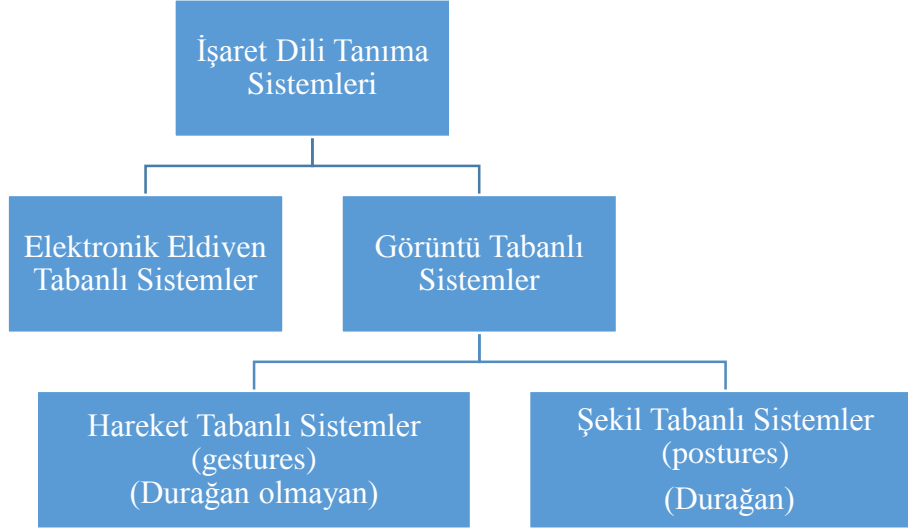
İşaret dili tanıma konusunda günümüze gelinceye kadar, makine öğrenme yöntemleri kullanılarak birçok sistem tasarlanmıştır. Yapılan bu çalışmalarda kullanılan sistemler veri tiplerine göre elektronik eldiven tabanlı ve görüntü tabanlı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. İşaret dilleri üzerine yapılan ilk çalışmalar elektronik eldiven tabanlı sistemlerdir. Bu sistemlerin el ve parmaklara ait çeşitli konum ve açı benzeri alınan bilgileri kullanılmaktadır. İşareti gerçekleştiren kişinin eldiveni giymesi gerektiği için kullanım kolaylığı olmayan ve kişinin hareketlerini kısıtlayan

özelliklere sahiptir. Görüntü tabanlı sistemlerde ise bir veya daha fazla kamera aracılığı ile alınan görüntülerin özneliklerinin çıkarılması ve işaretlerin tanınmasında kullanılmaktadır. Bu sistemlerin üzerine, özellikle kullanım kolaylığı, düşük maliyet ve benzeri önemli faktörlerden dolayı son yıllarda çok fazla çalışma ve araştırma yapılmaktadır. Elektronik eldiven tabanlı ve görüntü tabanlı sistemlere ilişkin genel özellik bilgilerinin karşılaştırma tablosu Çizelge 3.1’de sunulmuştur.

Çizelge 3.1. Elektronik eldiven ve görüntü tabanlı sistemlerin temel karakteristikleri [21].

	Elektronik Eldiven Tabanlı Sistemler	Görüntü Tabanlı Sistemler
Veri aygıtları	Sensörlü eldivenler, elektronik eldivenler	Kameralar
Veri tipi	Elektriksel sinyaller	Durağan ve ardışıl görüntüler
Veri saflığı	Gürültüden etkilenme oranı düşüktür	Ortama bağlı olarak düşük ve yüksek olabilmektedir
Kullanılabilirlik	Hareketleri kısıtlayabilir, her ortamda kullanılamayabilir	Hareketleri kısıtlamaz, görüntü alınan ortamlarda uygulanabilir
Kullanılan özellikler	Parmaklar ve ele ait dönme, hız, konum, hareket bilgileri	El ve parmakların şekli, hareketi, konumu
Veri ön işleme	Gürültü filtreleme	Nesne bölütleme, gürültü filtreleme, boyut indirgeme
Maliyet	Elektronik eldiven maliyeti (yüksek)	Görüntü alma aygıtı maliyeti (eldivene nazaran düşük)

İşaret dillerinde yer alan hareketler durağan (postures) ve durağan olmayan (gestures) hareketlerden oluşmaktadır. Durağan işaretler elin herhangi bir anındaki duruşu ya da tek bir imgeyle temsil edilmektedir. Durağan olmayan işaretler ise elin işaret sırasındaki hareket konum ve şekillerindeki değişimlerden meydana gelmektedir. Çok sayıda hareketi tanıyabilen güvenilir ve kullanılabilir sistemlerin tasarlanabilmesi için her iki yaklaşımında beraber kullanılması gerekir. Bu bilgiler doğrultusunda işaret dili tanıma sistemleri genel olarak Şekil 3.1’deki gibi gruplandırılabilir.



Şekil 3.1 İşaret dili tanıma sistemlerinin genel hiyerarşik yapısı

3.2. ELEKTRONİK ELDİVEN TABANLI SİSTEMLER

İşaret dillerinin tanınmasına yönelik yapılan ilk çalışmalar elektronik eldiven tabanlı sistemlerdir. Veri aygıtları sensörlü ve elektronik eldivenlerdir. İşaretçi, elektronik eldivenleri giyerek hareketleri gerçekleştirmektedir. İşaretlerin yapılması esnasında eldivenlerden alınan dönme, hız, açı, konum ve benzeri alınan elektriksel sinyaller tanıma işlemi için kullanılmaktadır. Bu sistemlerde verinin güvenilirliği yüksek olması ve veri saflığı yani gürültüden etkilenme oranı düşüktür. Ancak eldivenlerin getirdiği zorluklar da mevcuttur. İşaretleri gerçekleştiren işaretçilerin eldivenleri giymesi ve kullanımına aşina olması gerekmektedir. Ayrıca eldivenlerin maliyetlerinin yüksek, hareketleri kısıtlayabilir ve her ortamda kullanılamayabilir olması gibi sebeplerden dolayı bu sistemler çok kullanışlı değildir.

3.3. GÖRÜNTÜ TABANLI SİSTEMLER

Bu sistemler durağan ve ardışıl görüntülerden oluşur. Görüntü tabanlı sistemler kullanım kolaylığı, maliyet ve sistem basitliği bakımından avantajlı olmasına rağmen veri alınma ve işlenmesi aşamalarında sorunlar çıkarabilmektedir. Ortamın aydınlatma koşulları, görüntü kalitesi ve benzeri problemlerinin yanı sıra görüntülerde hareketi oluşturan öğelerin bölütlenmesi ve modellenmesi esnasında da olabilmektedir. Ancak görüntü tabanlı sistemlerin nesne bölütleme, gürültü filtreleme

ve boyut indirgeme gibi ön işlemlerinden geçirilerek kullanılabilirlik ve uygulanabilirliğinin yüksek olması tercih sebebidir. Görüntü tabanlı sistemler kendi içinde hareket tabanlı ve şekil tabanlı sistemler olarak iki kategoriye ayırabiliriz.

3.4. HAREKET TABANLI SİSTEMLER

İşaret dillerinde bir kelimeyi veya bir cümleyi ifade etmek için durağan olmayan işaretler (gestures) kullanılır. İşaretler elin işareti yaptığı esnadaki hareketin konum ve şekillerindeki değişimlerden oluşur. İşaretlerin gerçekleştirilmesinde tek ve iki elin birlikte kullanıldığı işaretler bulunmaktadır.

3.5. ŞEKİL TABANLI SİSTEMLER

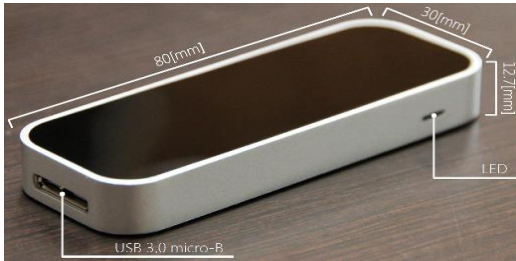
Durağan işaretler (postures) elin herhangi bir anındaki duruşu ya da tek bir imgeyle ifade edilmektedir. Özellikle işaret dillerinde harf ve sayılar durağan işaretler ile ifade edilir. Parmak heceleme (finger spelling) olarak tanımlanan bu sistemde, ifade edilecek kelimeye ait harfler sırasıyla durağan işaretler tarafından harf harf hecelenerek ifade edilir. Farklı ülkelere ait işaret dillerinde, durağan olmayan işaretlerin farklılıklar içerdiği gibi durağan işaretlerde de farklılıklar bulunmaktadır.

BÖLÜM 4

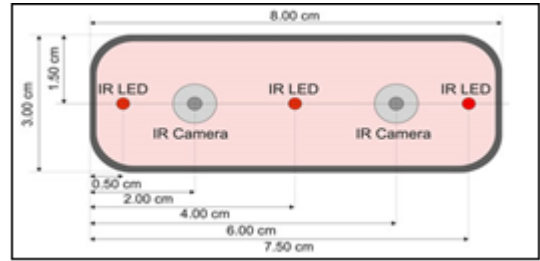
LEAP MOTION

4.1. GİRİŞ

Bugün toplumsal hayatın bir parçası haline gelen bilgisayarların, imgelerin, işaretlerin ve hareketlerin tanınmasında etkin bir şekilde kullanılmasının hayatı ne denli kolaylaştırdığı aşikârdır. Leap Motion kullanıcının el hareketlerini kullanarak yazılımla etkileşime girmesine izin veren çevresel bir giriş cihazıdır. Microsoft Kinect cihazına benzer bir yapıdadır. Fakat Kinect, tüm vücut hareketlerini tanıyabilmek için daha büyük ölçekte çalışmak üzere tasarlanmışken, Leap Motion üç boyutlu uzayda gerçekleşen el ve parmak hareketlerini milimetrenin yüzde birine varan hassaslıkta algılayabilmektedir. 290 fps gibi yüksek bir hız ile 10 parmak tarama yapabilen bu cihaz, oldukça yüksek bir hassasiyet oranı sunmaktadır. 7,6 cm uzunluğundaki bu cihaz bilgisayara USB kanalı ile bağlanarak, kullanıcının bilgisayar ve çevresindeki hiçbir şeye dokunmadan sadece parmaklarını hareket ettirerek bilgisayarda kolaylıkla işlem yapılabilen 3 boyutlu bir kontrol cihazıdır. Leap Motion cihazının fiziksel görünümü Şekil 4.1’de ve şematik görünümü Şekil 4.2’de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Leap Motion fiziksel görünümü.

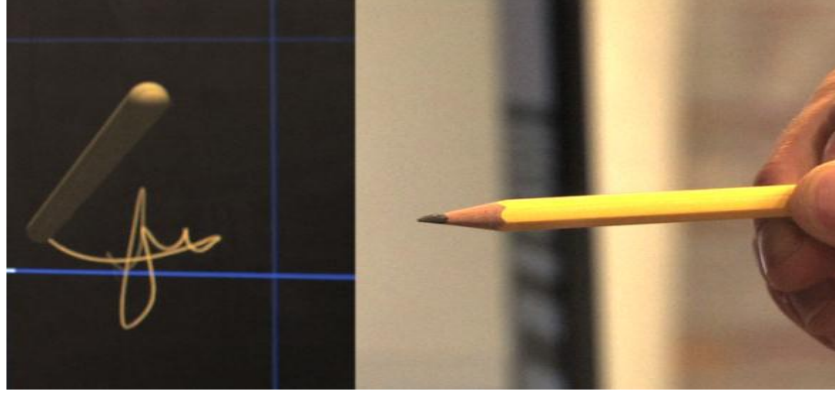


Şekil 4.2. Leap Motion şematik görünümü.

Bu cihaz el, parmak ve parmağa benzer nesneleri tespit ve takip edebilmektedir. Cihazın el hareketlerini algılayarak kullanımı Şekil 4.3’de, kalem ve parmak benzeri nesneleri algılayarak kullanımı ise Şekil 4.4’de gösterilmektedir.



Şekil 4.3. Leap Motion cihazının el ile kontrolü.



Şekil 4.4. Leap Motion cihazının kalem vb. nesnelere kullanımı.

Leap Motion, ellerin ve 10 parmağın hareketini oldukça hassas algılayıcıları ile algılaması sayesinde bilgisayarda bu veriye dayalı işlem yapılmasına imkan sağlar. Bilgisayara bağlanan bu küçük cihaz, üzerinde bulunan üç LED lamba ile eli aydınlatırken hareket sensörleri ve kameraları ile de sıfır gecikmeyle 10 parmağın milimetrenin yüzde birine kadar olan her hareketini algılayabilmekte ve kaydedebilmektedir.

4.2. LEAP MOTION TEKNOLOJİSİ

Hareket temelli işlemlerin algılanmasında birçok teknoloji kullanılmaktadır. Gerek kamera gerekse sensörlerden oluşan bu sistemler insan bedeninin ve eklemlerin algılanarak insan hareketlerinin tespitini yapmaya çalışmaktadır. Ancak yapılan çalışmalar incelendiğinde başarımın istenen düzeylerde olmadığı görülmektedir.

Son yıllarda insan hareketlerinin algılanmasında Microsoft Kinect cihazı da kullanılmaktadır. Bu cihaz üzerinde bulunan kızılötesi kamera sayesinde insan hareketleri ve eklemleri algılanabilmekte ve izlenebilmektedir. Kinect, insanda bulunan 20 farklı noktayı algılayabilme özelliğine sahiptir. Ancak parmak hareketlerinin algılanmasında yeterli hassasiyeti sağlayamamaktadır.

Günümüzde dokunmatik ekran kullanımı giderek yaygınlaşmakta ve bu teknolojinin getirdiği kullanım kolaylığından her alanda faydalanılmaktadır. Ancak dokunmatik ekranların gerek fiyatlarının yüksek olması gerekse istenilen her boyutta bulunmamasından dolayı hala kullanımı sınırlıdır.

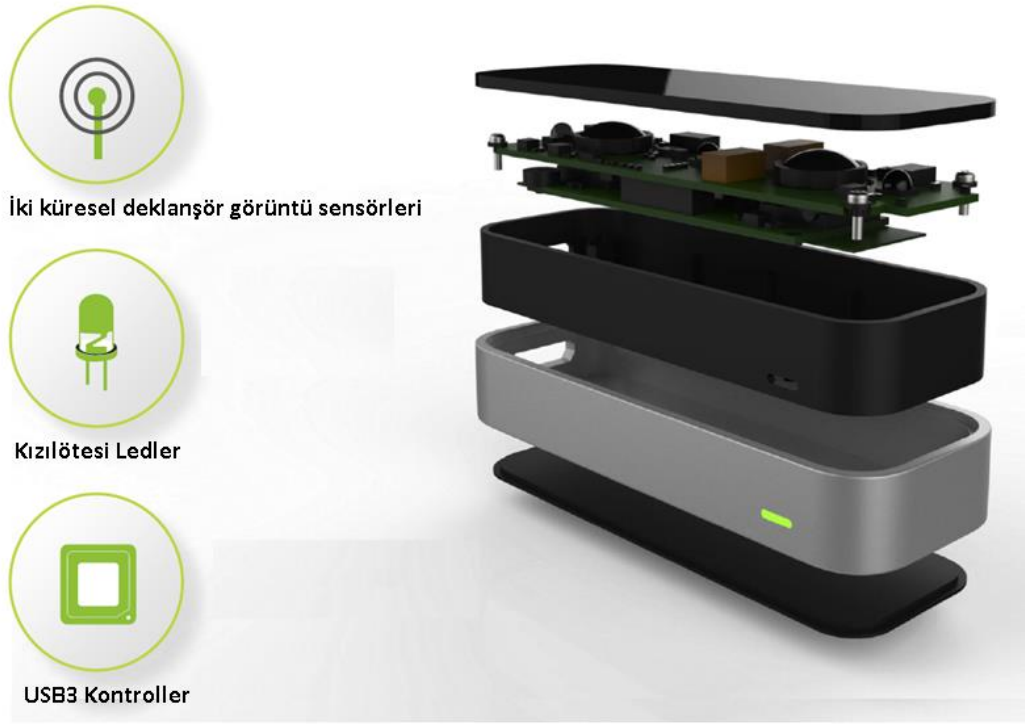
Leap Motion ise el ve parmak hareketlerinin 3 boyutlu olarak algılanması ve izlenmesi konusunda gayet hassas ve başarılıdır. Bu sayede diğer sistem ve cihazlardan kolaylıkla ayrılmakta, herhangi bir ekranın dokunmatik bir ekran gibi kullanılmasına hatta daha esnek bir kullanıma izin vermektedir. Çok yeni bir teknoloji olmasına rağmen, ürün maliyeti açısından diğer sistemlerle karşılaştırıldığında gayet cazip konumdadır. Cihaz tarafından algılanan örnek hareketler Şekil 4.5’de gösterilmektedir.



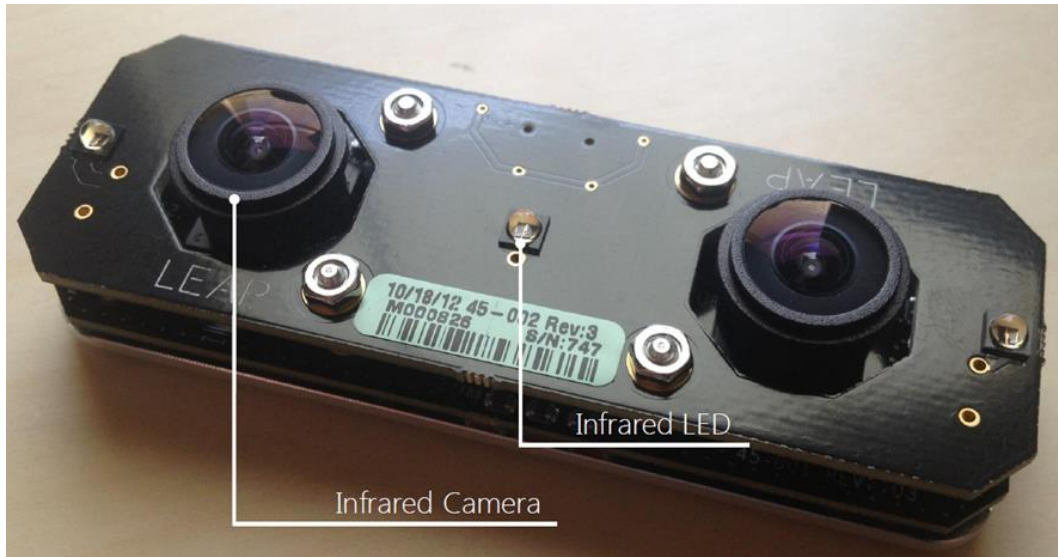
Şekil 4.5. Leap Motion tarafından algılanan örnek hareketler.

4.3. LEAP MOTION KONTROLÖRÜNÜN DONANIM YAPISI

Bu cihaz derinlik bilgisine sahip el görüntüsünün elde edilmesinde bir çift kamera ve üç kızılötesi LED kullanmaktadır. Bu işlemlerin az bir kısmı cihaz üzerinde gerçekleşmektedir. Görüntünün oluşturulması el, parmak ve sivri uçlu nesnelere üzerindeki gürültünün giderilmesi ve netleştirilmesi gibi birçok işlem, kullanılan işlemci tarafından yapılmaktadır. Cihazda hızlı bir veri aktarımı için USB 3.0 arabirimi kullanmaktadır. Kompakt bir yapının sağlanması amacıyla iki ayrı boarddan oluşmakta, kamera ve ledlerin korunması amacıyla da üst tarafı yarı şeffaf bir malzeme ile kapatılmıştır. Leap Motion cihazının donanımsal bileşenleri Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'da gösterilmektedir.



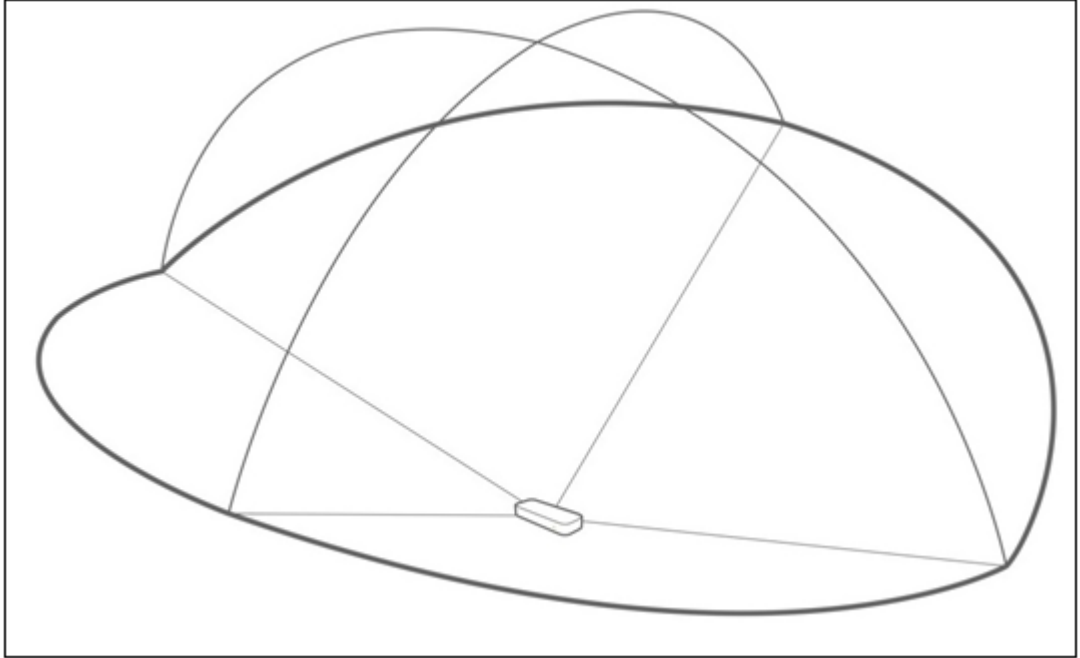
Şekil 4.6. Leap Motion cihazının donanımsal bileşenleri.



Şekil 4.7. Leap Motion cihazının donanımsal bileşenleri.

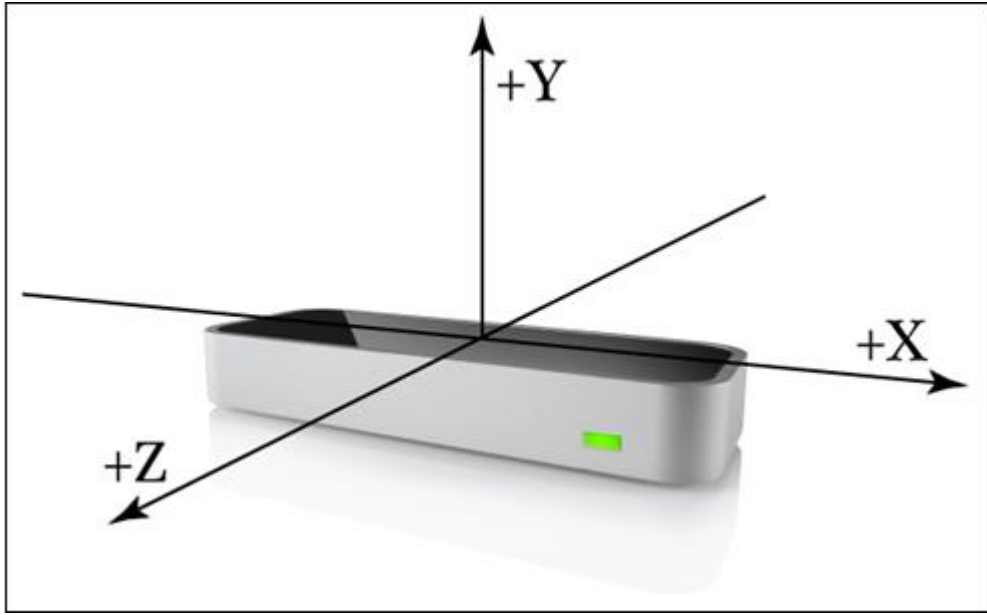
4.4. LEAP MOTION KONTROLÖRÜNÜN GÖRÜŞ ALANI

Leap Motion API cihaz yazılımı görüş alanındaki nesnelere analiz eder. Bu cihaz el, parmak ve benzer nesnelere pozisyonlarını hareket ve eylemlerini tanıyabilir. Cihazın merkezindeki iki kamera kızılötesi ışığı, görünür spektrum dışındaki 850 nm dalga boyu ile takip eder. Geniş açılı lensleri sayesinde, cihaz, 8 kübik fitlik geniş bir etkileşim alanına sahiptir ve bu alanı cihazın tam orta noktasında ters bir piramit şeklindedir. Binoküler kameranın görüş alanlarının kesişme noktasıdır. Leap Motion kontrolörünün görüş aralığı cihazın üstünde her iki tarafta 2 fit (150° görüş açısı) ve derinlik olarak her iki tarafta 2 fit (120° görüş açısı) etkileşim alanına sahiptir. Bu görüş aralığı alanındaki LED ışığı yayılımı sınırlı olması dolayısıyla, belli bir mesafeden öteye, elin 3D konumunu belirlemek zorlaşmaktadır. LED ışığının yoğunluğu, USB bağlantısı ile aktarılabilecek maksimum akım ile sınırlıdır. Etkin görüş alanı yaklaşık 25 ile 600 mm arasındadır. Leap Motion cihazının görüş alanı Şekil 4.8 'de gösterilmektedir.



Şekil 4.8. Leap Motion cihazının görüş alanı.

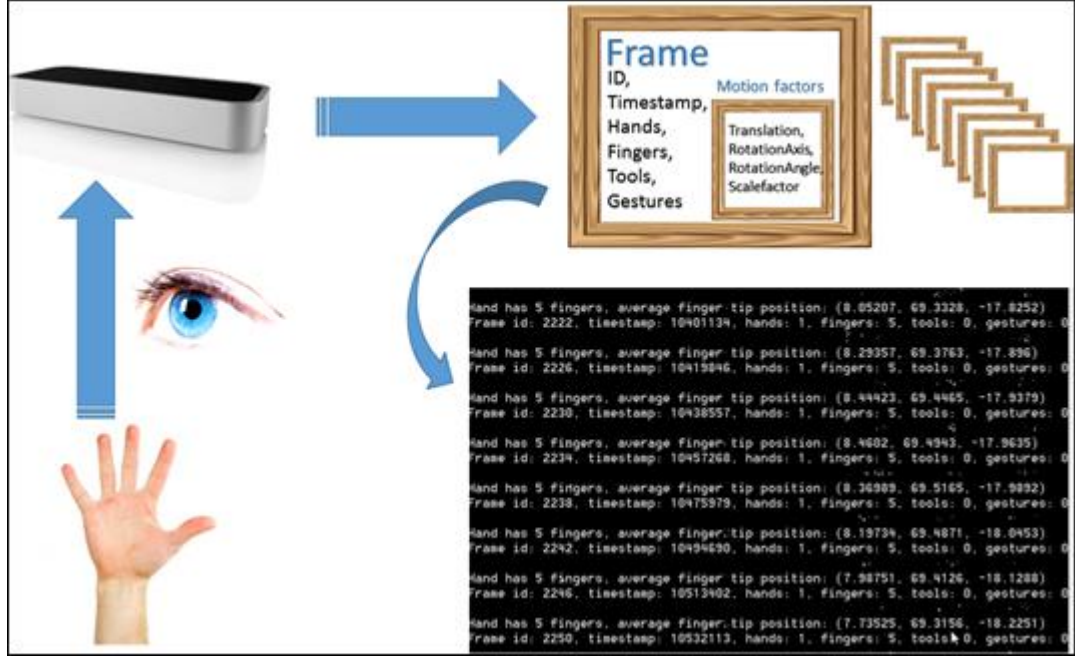
Bu cihaz sağ el Kartezyen koordinat sistemini kullanır. Leap Motion tarafından kullanılan koordinat sistemi Şekil 4.9’da gösterilmektedir. Tespit edilen değerler milimetre cinsinden ve gerçek değerleridir. Koordinat sisteminin orijini cihazın tam orta noktasına konumlandırılmıştır. Koordinat sisteminde bulunan X ve Z eksenleri ise birbirine yatay bir konumda ve X eksenini cihazın boyunca uzandığı kabul edilmektedir. Y eksenini ise yukarı doğru artan değerler alacak şekilde diğer eksenlere diktir. Z eksenini bilgisayar ekranından uzaklaştıkça pozitif değerler almaktadır.



Şekil 4.9. Leap Motion sağ el koordinat sistemi.

Bu cihaz görüş alanındaki el, parmak ve benzer nesnelere sürekli olarak bir veri dizisi ve hareket izleme verilerine ait görüntü karesi (frame) adı verilen bir dizi anlık fotoğraf sunar. Her bir görüntü karesi el, parmak ve nesnelere ait pozisyon ve diğer bilgileri içerir. Leap Motion Kontrolör, saniyede 200 kareye kadar hareketleri izleyebilmektedir ve ekranda her hareketi yakalayabilmektedir. 150 derecelik süper geniş görüş alanı ve Z eksen derinliği vardır. Eğer bir el, parmak, nesne ya da hareket tespit edilirse cihaz eşsiz bir ID değerini atar. Bu ID değerini görüntülenen nesne cihazın görüş alanında kaldıkça korunur. Eğer kaybolursa ve tekrar gözükürse yeni bir ID değerini atar. Çünkü yazılım daha önce görünen ile sonra görünen nesnenin aynı olup olmadığını bilememektedir. Her bir görüntü karesi izlenilen ve görüş alanı

içindeki nesneye ait veri, hareket ve durum bilgisi verir. Leap Motion tarafından el, parmak ya da nesnelerin tanınma süreci aşamaları Şekil 4.10 'da gösterilmektedir.



Şekil 4.10. El, parmak ya da nesnelerin tanınma süreci.

Leap Motion görüş alanında bulunan parmak ve el hareketlerini algılar ve izler. Hassas bir şekilde tanımlanan hareket görüntüleri bilgisayar ortamına aktarılır. Her bir görüntü karesi içerisinde görüntünün id numarası, zaman bilgisi, el ve parmak özellik bilgileri ve nesnelere tutma, bükme, döndürme, yakınlştırma-uzaklaştırma gibi hareketler bilgilerini içermektedir. Bu kapsamda Leap Motion, doğal insan hareketlerinin, bilgisayar ortamında veri girişi olarak kullanılmasını sağlıyor. Bu süreçte Leap Motion API yazılım kullanarak bu özellik bilgilerini ayrıştırma ve kullanma imkânı sağlamaktadır.

BÖLÜM 5

İŞARET DİLİ ALFABESİNİN SINIFLANDIRMASI

Sınıflandırma, bir veri kümesi (Data Set) üzerinde tanımlı olan çeşitli sınıflar arasında veriyi dağıtmaktır. Eğitim seti (training set) sınıflandırma modelinin elde edileceği kayıtların oluşturduğu bir veri setini içerir. Veri setinde bulunan her örneğin (kayıt) bir dizi niteliği (attribute set) içermesi ve bu niteliklerden biri de sınıf (class) özneliği bilgisidir. Hangi sınıfa ait olduğu bilinen nesnelere (öğrenme kümesi- training set) ile bir model oluşturulur. Sınıflandırma modeli, diğer özneliklerin değerleri ile sınıf özneliğinin bulunduğu fonksiyondur. Bir test kümesi modelinin doğruluğunu belirlemek için kullanılır. Oluşturulan model, öğrenme kümesinde yer almayan nesnelere (deneme kümesi- test set) ile deneyerek başarıları ölçülür. Sınıflandırmada amaç ise yeni kayıtların doğru şekilde daha önceden belirlenmiş sınıflara atanmasıdır. Genellikle, veri seti eğitim ve test setlerine bölünür, eğitim seti ile model inşa edilirken test seti model doğrulama için kullanılır.

Karar Ağaçları, K-En Yakın Komşu, Naive Bayes ve benzeri sınıflandırma yöntemleri kullanılarak, örnek verilerin normal ve aritmetik sınıflarına göre sınıflandırılma başarımlarının ölçülmesidir. Bu kısımda çalışmada kullanılacak olan K-En Yakın Komşu ve Naive Bayes olarak bilinen algoritmaların, sınıflandırma için kullanılma şeklini açıklanmaktadır. Herhangi bir sınıflandırma probleminde olduğu gibi, amaçlanan birden fazla özelliği taşıyan bir yöney (vektör) kullanarak verilen bilgilerden bir eğitim oluşturmak ve bu eğitim neticesinde gelen yeni verileri doğru bir şekilde sınıflandırmaktır.

5.1. K-EN YAKIN KOMŞU ALGORİTMASI

Sınıflandırılmak istenen örneğe en yakın örnekleri bulan denetlemeli öğrenme algoritmasıdır. Bu sınıflandırma yöntemi, sınıflandırılmak istenen test kümesi örneği ile sınıflarda bulunan eğitim kümesi örneği arasındaki benzerliğe dayalıdır.

K-En Yakın Komşu algoritmasında, sınıflandırılacak niteliğin, veri tabanında eğitim kümesindeki her bir niteliğe olan uzaklığı ölçülür. En çok kullanılan mesafe ölçüsü öklid uzaklığı olsa da, başka herhangi bir ölçü de kullanılabilir. Tanımlanacak olan niteliğin, veri tabanında eğitim kümesindeki kendisine en çok benzeyen, niteliğin sınıfından sayılır ve bu şekilde tanımlanır [30].

K-En Yakın Komşu algoritması kolay anlaşılabilir bir algoritma olduğu için uygulaması basittir. Sayısal veriler üzerinde uygulanması kategorik verilere oranla daha kolaydır. Ayrıca gürültüye sahip veriler için de olumlu sonuçlar ortaya koyar. Fakat algoritmada kullanılacak verilerin saklanması hafızada fazla yer kaplar. K-En Yakın Komşu algoritmasının bir diğer dezavantajı da yeni bir nesneyi sınıflandırırken diğer nesnelere olan uzaklığının hesaplanması ve karşılaştırılmasının zaman almasıdır [31] .

K-En Yakın Komşu algoritmasını kullanmanın avantajları ve dezavantajları şu şekilde özetlenebilir. Avantajları;

1. Gürültüye sahip öğrenme verilerinde de güçlü sonuçlar ortaya koyması,
2. Öğrenme verilerinin çok olması durumunda etkili sonuç vermesidir.

Dezavantajları;

k sayısının belirlenmesinin gerekliliği,

1. Uzaklığa bağlı bir sınıflandırma yöntemi olduğu için hangi uzaklık ölçütünün kullanılacağına dair bir kesinlik olmaması,
2. Test örneğinin öğrenme örneklerine olan uzaklıkları tek tek hesaplanacağı için hesaplama zamanının ve masrafının fazla olmasıdır [32].

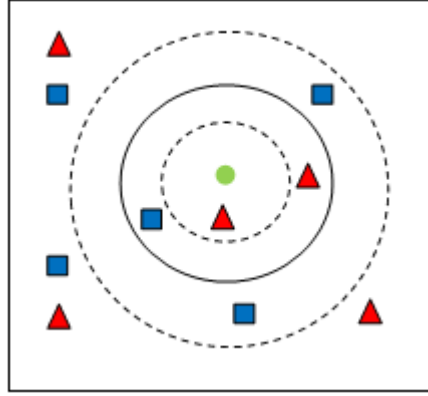
K-En Yakın Komşu algoritması, matematiksel olarak şöyle ifade edilebilir. Mevcut eğitim kümesinde N adet sınıf bulunuyor olsun, $Y=(Y_1, Y_2, \dots, Y_N)$. Eğitim kümesi örnekleri N -boyutlu sayısal niteliklerle tanımlanır. Her örnek N -boyutlu uzayda bir noktayı gösterir. Bu yolla, bütün eğitim örnekleri N -boyutlu örnek uzayda depolanır. Test kümesinde bulunan ve sınıf üyeliği bilinmeyen her veri örneği, $X=($

X_1, X_2, \dots, X_N) nitelik değerlerinden oluşsun. Bu eğitim örnekleri, bilinmeyen test örnek X 'e k en yakın komşudur. $X=(X_1, X_2, \dots, X_N)$ ve $Y=(Y_1, Y_2, \dots, Y_N)$ arasındaki yakınlık, Öklid (Euclidean Distance) uzaklığı (5.1) ile hesaplanarak bulunur.

$$d(X, Y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N (X_i - Y_i)^2} \quad (5.1)$$

Sınıflandırma işlemine başlamadan önce, bütün verilerin sayısal değerlere dönüştürülmesi ve en yakın kaç tane komşuya bakılacağına yani k sayısının belirlenmesi gerekir. Bir örneğin sınıflandırılması için sınıfı bilinen örnekler seçilir. Bir test örneğinin sınıfını belirlerken öğrenme kümesindeki örneklerle olan uzaklıkları hesaplanır ve en yakın k tane örnek seçilir. Uzaklık hesaplanırken Öklid, Manhattan, Minkowski gibi farklı uzaklık ölçütlerinden yararlanmak mümkündür. Fakat çoğunlukla Öklid uzaklık ölçütü kullanılır. Daha sonra, seçilen k tane örnek arasında hangi sınıfa ait örnek sayısı en fazlaysa test örneği de bu sınıfa ait olduğu öngörülür [31].

Bütün eğitim kümesi ile test kümesi uzaklıkları tek tek hesaplanır ve belirlenecek k değerine göre sınıflandırma işlemi yapılır. Şekil 5.1'de görüldüğü gibi $k=1$ ya da $k=3$ alındığında test örneğinin sınıfı üçgen, $k=5$ alındığında ise kare olacaktır. k değerinin yüksek seçilmesi benzemeyen test örneklerinin işleme dahil edilmesine, düşük seçilmesi benzeyenlerin dahil edilmemesine neden olur.



Şekil 5.1. K-En Yakın Komşu sınıflandırma örneği.

K-En Yakın Komşu sınıflandırma algoritmasının işlem basamakları aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

1. Adım: Test örneğinin öğrenme örneklerine olan uzaklıkları hesaplanır.
2. Adım: En yakın olan k tane örnek seçilir.
3. Adım: Hangi sınıfa ait örnek sayısı en fazlaysa sınıfa örneği de bu sınıfa atanır [31].

K-En Yakın Komşu algoritması veri madenciliği, görüntü işleme, istatistiksel analiz, hastalık teşhisi, karakter ve el yazısı tanıma, bankacılık işlemleri ve pek çok farklı alanda kullanılan bir yöntemdir.

5.2. NAİVE BAYES ALGORİTMASI

Naive Bayes sınıflandırıcı oldukça başarılı, pratik, olasılığa dayanan bir sınıflayıcıdır. Sınıflandırma işlemlerinde istatistiksel teknikler kullanılmaktadır. Naive Bayes yöntemi metin sınıflandırma, medikal teşhis, sistem performans yönetimi gibi birçok alanda uygulanmaktadır. Diğer bütün sınıflandırıcılarla karşılaştırıldıklarında en düşük hata oranına sahiptirler. Naive Bayes Sınıflandırması makine öğreniminde öğreticili öğrenme alt sınıfındadır.

Mevcut veri kümesinde n adet sınıf bulunuyor olsun, C_1, C_2, \dots, C_n . Öğrenme kümesinde bulunan ve sınıf üyeliği bilinmeyen her veri örneği, m boyutlu uzayda tanımlı özellik vektörleri ile gösterilir. Örnek $X = \{X_1, X_2, \dots, X_m\}$ nitelik değerlerinden oluşsun. Bu örnek sınıfta m sınıf olduğunu varsayalım. Özelliklerin hepsi aynı derecede önemlidir ve birbirinden bağımsızdır. Bir özelliğin değeri başka bir özellik değeri hakkında bilgi içermez. Herhangi bir sınıfa ait olmayan bir veri örneği X 'in, hangi sınıfa ait olduğu Naive Bayes sınıflandırıcı tarafından belirlenir. Veri örneği X , verilen sınıflara ait olma olasılığı en yüksek değere sahip sınıfa atanır. Sonuç olarak, bu yöntem bilinmeyen örnek X 'i, C_i sınıfına atar.

$$P(C_i | X) = \frac{P(X | C_i)P(C_i)}{P(X)} \quad (5.2)$$

- $P(X/C_i)$: Sınıf i 'den bir örneğin X olma olasılığı
- $P(C_i)$: Sınıf i 'nin ilk olasılığı
- $P(X)$: Herhangi bir örneğin X olma olasılığı
- $P(C_i/X)$: X olan bir örneğin sınıf i 'den olma olasılığı (son olasılık)

$P(X)$ bütün sınıflar için sabit ise, X örneğinin C_i sınıfında olma olasılığına, aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$P(C_i | X) = P(X | C_i)P(C_i) \quad (5.3)$$

Hesaplamalarda işlem yükünü azaltmak için basitleştirme yoluna gidilebilir. Eğer bu basitleştirilmiş ifadeye bütün özellikler bağımsız olduğu kabul edilirse $P(X/C_i)$ aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$P(X | C_i) = \prod_{k=1}^n P(x_k | C_i) = P(x_1 | C_i) \times P(x_2 | C_i) \times \dots \times P(x_n | C_i) \quad (5.4)$$

Bu yöntemde, her öznitelik vektörünün her bir sınıfta bulunma olasılığını hesaplayarak bu olasılıkların çarpımından tüm öznitelikleri taşıyan örneğin hangi sınıfta olduğunu sayısal bir değerle ifade edilmektedir.

İkili değerlerden oluşan öznitelikler için olasılık doğrudan hesaplanmaktadır. Öznitelikler gerçek değer alıyorlarsa, bir olasılık fonksiyonu seçerek her bir özniteliğin olasılığı hesaplanmalıdır. Bu çalışmada, Gaussian dağılım olasılık fonksiyonu kullanılmıştır. Aranılan olasılık değeri, özellik vektörünün ortalaması μ ve standart sapması σ değerine bağlı aşağıdaki dağılım formülü ile hesaplanır. Veri kümesinde her bir sınıfın olma olasılığı hesaplanmaktadır.

$$g(X, \mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (5.5)$$

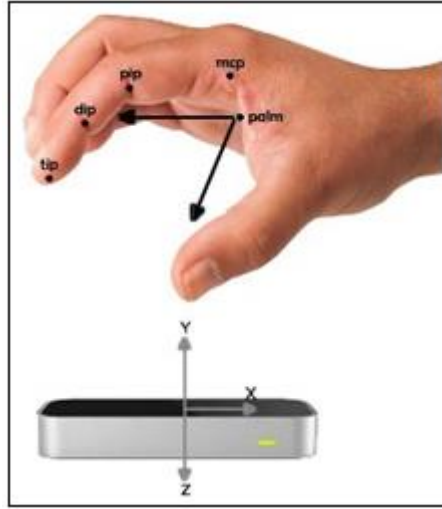
Sürekli veri kümeleri için $P(X_k/C_i)$ olasılık değeri Gaussian dağılımı kullanılarak hesaplanır.

$$P(X | C_i) = g(x_k, \mu_{C_i}, \sigma_{C_i}) \quad (5.6)$$

BÖLÜM 6

VERİ TOPLAMA VE ÖZELLİK ÇIKARIMI

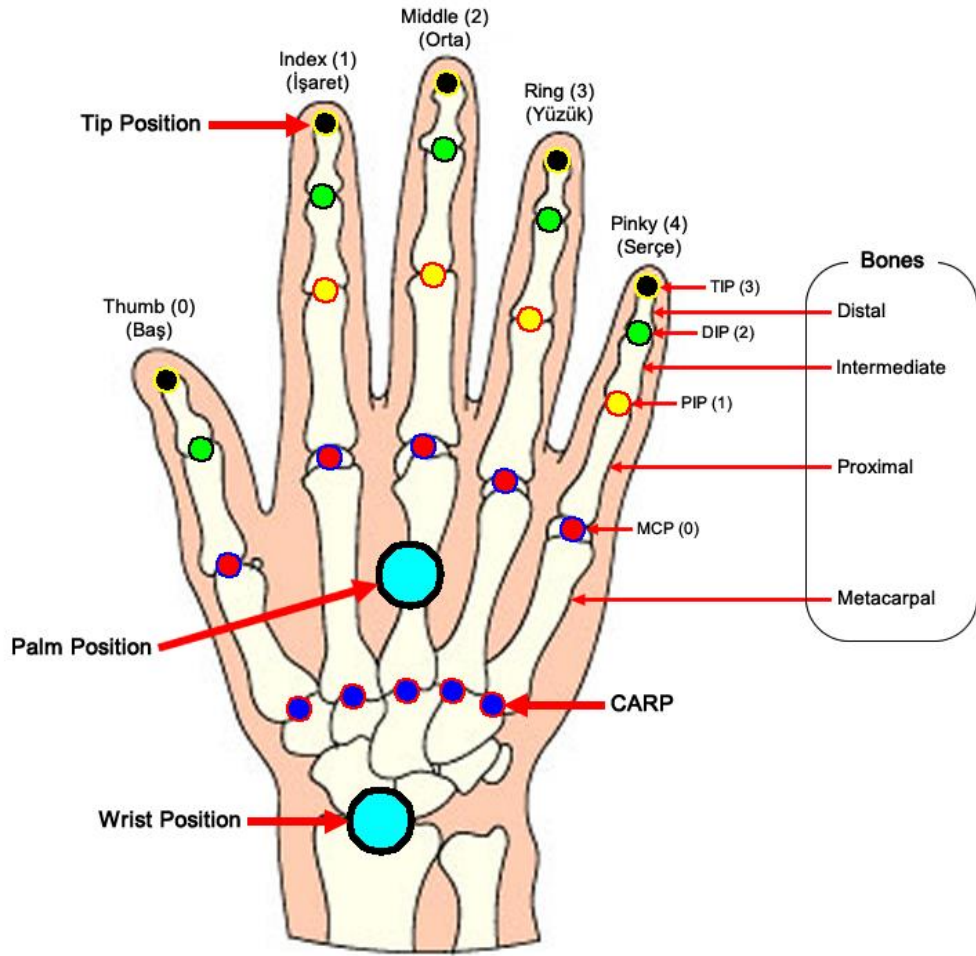
Türk İşaret Dili'ne ait tek ve çift elle gerçekleştirilen statik durağan (posture) ve dinamik durağan olmayan (gesture) hareketlerden oluşmaktadır. Leap Motion cihazından alınan veriler, USB bağlantısı ile bilgisayara aktarılmaktadır. Veri aktarımının çerçeve hızı bu çalışmada saniyede ortalama 10 görüntü karesi olarak belirlenmiştir. Alınan bu görüntü kare bilgilerinin ortalaması alınarak kullanıma sunulmaktadır. Bu işlem Leap Motion tarafından iletilen el ve parmakların hareket ve durum bilgilerinin doğruluğunu arttırmaya yönelik yapılmıştır.



Şekil 6.1. Leap Motion koordinat sistemi ve parmak eklem noktaları gösterimi.

Leap Motion Kontrolör sensörleri, el ve parmak hareketlerini bir veri dizisi olarak sunmaktadır. El ve parmak hareketleri ile ilgili çıkarılan başlıca duyuşsal veri tipi özellikleri yön, konum, hız, genişlik, güvenilirlik, yakalama gücü, sıkıştırma gücü, daire merkezi ve yarıçaptır. Leap Motion algılayıcısının koordinat sistemi üzerinde ellerin şematik gösterimi Şekil 6.1'de sunulmuştur.

El hareketleri ile ilgili çıkarılan başlıca duyuşal veri tipi özellikleri elin avuç içi yön, konum ve hız özellikleri vektör tipinde koordinat değerleri gösterir. Güvenirlik (Confidence) özelliği verilerin doğruluğunu gösteren bir rakam sunmaktadır. Yakalama gücü (PinchStrength) özelliği ise elin açık kapalı durumunu işaret eder. Yakalama gücüne benzer olarak, sıkıştırma gücü (GrabStrength) özelliği ise başparmak ile aynı elin diğer parmakları arasındaki açık kapalılığını gösterir. Güvenilirlik, yakalama gücü ve sıkıştırma gücü elin durumuna göre sıfır ile bir arasında değişen bir ondalık değer üretir, sıfır açık durumu bir kapalı durumu işaret eder. Daire merkezi ve yarıçap özellikleri ise, elde top tuttuğumuzu hayal ederek oluşan tahmini daire üzerinden hesap edilen değerleri sunar. Bu özelliklere ek olarak el ve parmak hareket bilgilerini alınabilmektedir. Leap Motion API tarafından desteklenen parmakların eklem noktaları ve eklem kemikleri gösterimi Şekil 6.2’de sunulmuştur.



Şekil 6.2. Leap Motion cihazının desteklediği parmakların eklem noktaları ve kemikleri gösterimi.

Parmak hareketleri ile ilgili çıkarılana başlıca duyuşal veri tipi özellikleri beş parmağın her biri için yön, konum, uzunluk, uzaklık, açık kapalı durumları, parmak sırası ve parmak ucu hızı (TipVelocity), parmak kemikleri (Bone) ve eklem noktalarının (JointPosition) konum, açı ve uzaklık duyuşal veri tip özellikleri çıkarılmıştır.

Beş parmağın yön (Direction) ve konum (TipPosition) özellikleri vektör tipinde koordinat değerleri üretirken, uzunluk, genişlik ve uzaklık için milimetrik değerler üretir. Distal, ara, proksimal ve metakarpal parmak kemikleri, DIP, PIP ve MCP parmak eklem noktaları ve TIP parmak ucu noktası konum özellikleri vektör tipinde koordinat değerleri sağlar. Açı özelliği, parmakların yön vektörü ile X-Z düzlemi arasındaki açı değerlerini gösterir. Parmak sırası (OrderX) özelliği, parmakların X-Z düzleminde diğer parmaklara göre sırasını vektör tipinde koordinat değerleri gösterir.

Parmak hızı niteliği her parmak ucunun saniyede milimetre türünde değer üretecektir. Leap Motion API tarafından kullanılan temel özellik ve metotların gösterimi Çizelge 6.1’da sunulmuştur.

Çizelge 6.1. Leap Motion API temel özellik ve metotları.

Eller (Hands)		Parmaklar (Fingers)	
İsim	Tür	İsim	Tür
Direction	Vektör	Direction	Vektör
PalmNormal	Vektör	TipPosition	Vektör
PalmPosition	Vektör	TipVelocity	Vektör (mm/ sn.)
PalmVelocity	Vektör (mm/ sn.)	Extended Distance	mm
PalmWidth	mm	Length	mm
Confidence	mm [0,1]	Width	mm
PinchStrength	mm [0,1]	OrderX	Vektör
GrabStrength	mm [0,1]	Angle	Derece
SphereCenter	Vektör	IsExtended	(0 / 1)
SphereRadius	Mm	Bone(Bone.BoneType.TYPE_DISTAL)	Bone
Leftmost	Hand	Bone(Bone.BoneType.TYPE_INTERMEDIATE)	Bone
Rightmost	Hand	Bone(Bone.BoneType.TYPE_PROXIMAL)	Bone
Count	Tamsayı	Bone(Bone.BoneType.TYPE_METACARPAL)	Bone
Fingers	Fingerlist	JointPosition(Finger.FingerJoint.JOINT_TIP)	Vektör
		JointPosition(Finger.FingerJoint.JOINT_DIP)	Vektör
		JointPosition(Finger.FingerJoint.JOINT_PIP)	Vektör
		JointPosition(Finger.FingerJoint.JOINT_MCP)	Vektör

Leap Motion, el ve parmak hareketlerinden elde edilen bütün bu veri kümesini bilgisayara gönderir. Leap Motion ile elde edilen bazı özelliklerin işaret dilleri için kullanımı uygun değildir. Elin avuç içi konum bilgisi ve benzeri özellikler işaret dili tanıma sistemlerinde önemli değildir. Çünkü işaret tespit edilebildiği sürece her yerde gerçekleştirilebilir. Dolayısıyla doğrudan elde edilebilecek daha anlamlı ve önemli özellikleri kullanmak gerekmektedir. Bu amaçla çalışmamızda sunduğumuz Türk İşaret Dili alfabesinde bulunan harfler için uygun özellik çıkarımları yapılmıştır. Leap Motion API özellik türlerinin, çift elle gerçekleştirilen harflerin uygulamalarda kullanılan özellik çıkarım sayıları Çizelge 6.2’ de gösterilmektedir.

Benzer şekilde tek elle gerçekleştirilen harflerin uygulamalarda kullanılan özellik çıkarım sayıları Çizelge 6.3’ de gösterilmektedir.






























Çizelge 6.2. Çift elle gerçekleştirilen harflerin uygulamalarda kullanılan özellik çıkarım sayıları.

No	Leap Motion API özellik türleri	Çift elle gerçekleştirilen harflerin özellik sayıları (22 harf)					
		1.Uygulama	2.Uygulama	3.Uygulama	4.Uygulama	5.Uygulama	6.Uygulama
1	Fingers[X].IsExtended	10	10	10	10	10	10
2	(Fingers[X].TipPosition).DistanceTo(Fingers[X].TipPosition)	20	20	20	9	6	0
3	(Fingers[X].TipPosition).DistanceTo(PalmPosition)	8	0	0	0	0	0
4	(Fingers[X].TipPosition).DistanceTo(Fingers[X].JointPosition(Finger.FingerJoint.JOINT_Y))	14	14	0	0	0	0
5	Fingers[X].JointPosition(Finger.FingerJoint.JOINT_Y).DistanceTo(Fingers[X].JointPosition(Finger.FingerJoint.JOINT_Y))	7	0	0	0	0	0
6	Fingers[X].Bone(Bone.BoneType.Z).NextJoint.DistanceTo(Fingers[X].Bone(Bone.BoneType.Z).NextJoint)	6	0	0	0	0	0
7	Fingers[X].Bone(Bone.BoneType.Z).Direction.AngleTo(Fingers[X].Bone(Bone.BoneType.Z).NextJoint)	5	2	0	0	0	0
Toplam özellik çıkarım sayısı		70	46	30	19	16	10

Çizelge 6.3. Tek elle gerçekleştirilen harflerin uygulamalarda kullanılan özellik çıkarım sayıları.

No	Leap Motion API özellik türleri	Tek elle gerçekleştirilen harflerin özellik sayıları (7 harf)					
		1.Uygulama	2.Uygulama	3.Uygulama	4.Uygulama	5.Uygulama	6.Uygulama
1	Fingers[X].IsExtended	5	5	5	5	5	5
2	(Fingers[X].TipPosition).DistanceTo(Fingers[X].TipPosition)	10	10	10	3	3	0
3	(Fingers[X].TipPosition).DistanceTo(PalmPosition)	5	0	0	0	0	0
4	(Fingers[X].TipPosition).DistanceTo(Fingers[X].JointPosition(Finger.FingerJoint.JOINT_Y))	6	2	0	0	0	0
5	Fingers[X].JointPosition(Finger.FingerJoint.JOINT_Y).DistanceTo(Fingers[X].JointPosition(Finger.FingerJoint.JOINT_Y))	2	2	0	0	0	0
6	Fingers[X].Bone(Bone.BoneType.Z).NextJoint.DistanceTo(Fingers[X].Bone(Bone.BoneType.Z).NextJoint)	0	0	0	0	0	0
7	Fingers[X].Bone(Bone.BoneType.Z).Direction.AngleTo(Fingers[X].Bone(Bone.BoneType.Z).NextJoint)	4	4	3	3	0	0
Toplam özellik çıkarım sayısı		32	23	18	11	8	5

Türk İşaret Dili alfabesinde çift elle gerçekleştirilen 22 harften 16'sı statik durağan hareketlerden oluşmaktadır. Diğer 6 harf ise yine çift elle gerçekleştirilen dinamik durağan olmayan hareketlerden oluşmaktadır. Tek elle gerçekleştirilen 7 harf ise statik durağan hareketlerden oluşmaktadır. 29 harften oluşan Türk İşaret Dili alfabesi Şekil 6.3 'de gösterilmektedir.

				
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	

Şekil 6.3. 29 harften oluşan Türk İşaret Dili alfabesi.

Öncelikle Türk İşaret Dili alfabesinde bulunan harfler özellik çıkarımları tek ve çift kullanıma bağlı değişmesinden dolayı ayrılmıştır. Farklı özellik çıkarım sayıları belirlenerek altı uygulama tasarlanmıştır.

6.1. ÇİFT ELLE GERÇEKLEŞTİRİLEN HARFLER İÇİN 70 ÖZELLİK ÇIKARIMI KULLANILAN UYGULAMA (1.UYGULAMA)

Çift ve tek elle gerçekleştirilen her bir harfin yapılış durumu dikkate alınarak ve gereksinim görülen her nokta hesaplanarak özellik çıkarımları yapılmıştır. Bu kapsamda Türk İşaret Dili'nde çift elle gerçekleştirilen harfler için belirlenen özellik çıkarımlarını 7 başlık altında gruplandırabiliriz.

1. Parmakların açık kapalı durum bilgileri (10 özellik)
2. Parmakların TIP parmak ucu noktaları arası uzaklık mesafe bilgileri (20 özellik)
3. Parmakların TIP parmak ucu noktalarının, avuç içi noktasına uzaklık mesafe bilgileri (8 özellik)
4. Parmakların TIP parmak ucu noktalarının, parmakların DIP, PIP ve MCP parmak eklem nokta konumlarına uzaklık mesafe bilgileri (14 özellik)
5. Parmakların DIP ve PIP parmak eklem noktalarının, parmakların MCP, DIP ve PIP parmak eklem noktalarına uzaklık mesafe bilgileri (7 özellik)
6. Parmakların distal, proksimal ve ara parmak kemiği konumlarının, parmaklarının proksimal ve ara parmak kemiği konumlarına olan uzaklık mesafe bilgileri (6 özellik)
7. Parmakların distal, ara ve proksimal kemik konumları arası açı bilgileri (5 özellik)

Çift elle yapılan harflerde işaret parmağı çoğunlukla kullanılmakla beraber farklı parmaklar da yer almaktadır. Harflerin yapılışlarında kullanılan parmakların gösterimi Çizelge 6.3'de sunulmuştur.

Çizelge 6.3. Türk İşaret Dili alfabesinde kullanılan parmakların gösterimi.

	SOL EL					SAĞ EL				
	SERÇE	YÜZÜK	ORTA	İŞARET	BAŞ	BAŞ	İŞARET	ORTA	YÜZÜK	SERÇE
	4	3	2	1	0	0	1	2	3	4
A			X	X			X			
B				X	X	X	X			
Ç				X		X	X			
D				X		X	X			
E				X			X	X	X	
F				X		X	X			
G				X	X	X	X			
Ğ				X	X	X	X			
H				X			X			X
İ			X		X		X			
J				X		X	X			
K			X	X			X	X		
M			X	X			X	X		
N				X			X	X		
Ö			X		X	X	X			
R				X			X	X		
S				X	X	X	X			
Ş				X	X	X	X	X		
T				X			X			
Ü			X		X	X	X			
Y				X			X	X		
Z			X	X			X			
C						X	X			
I							X			
L						X	X			
O						X	X			
P							X	X		
U						X	X			
V							X	X		

Öncelikle on parmağın açık kapalı durum özellik bilgileri çıkarılmıştır. Bu bilgiler parmak açık ise bir, kapalı ise sıfır değeri üretmektedir. Sağ elin işaret parmağının açık kapalı durum bilgisi içeren kod, örnek olarak aşağıda verilmiştir. Bu örnek kodun Türk İşaret Dili alfabesinde I harfinin yapımı esnasında açık durum gösterimi Şekil 6.4' de sunulmuştur.

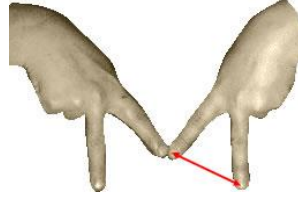
```
frame.Hands.Rightmost.Fingers[1].IsExtended
```



Şekil 6.4. I harfinin işaret parmağının açık durum gösterimi.

Bununla birlikte Türk İşaret Dili'ne ait çift el kullanılarak harflerin yapılmasında sık kullanılan sağ ve sol ellerin baş, işaret ve orta parmakları ile sadece E ve H harflerinin yapımında kullanılan sağ yüzük ve serçe parmaklarının TIP parmak ucu noktaları arası uzaklık mesafesi özellik bilgisi alınmıştır. Uzaklık mesafesi bilgisi milimetrik değerler sunar. Kullanılan bu parmakların TIP parmak ucu noktaları arası konumun uzaklık mesafeleri için 20 özellik seçilmiştir. Bu özelliklerden üçü sadece sol elin baş, işaret ve orta parmakları arası uzaklık mesafesi, altı tanesi sadece sağ elin bütün parmakları arası uzaklık mesafesi ve diğer on bir özellik ise iki elin parmakları arası uzaklık mesafesi bilgisi içermektedir. Bunun yanı sıra harflerin gösteriminde sol elin yüzük ve serçe parmakları hiç kullanılmamaktadır. Belirlenen bu özellik çıkarımlarında bu parmakların TIP parmak ucu noktaları arası uzaklık mesafesi özellik bilgisine ihtiyaç duyulmamıştır. Türk İşaret Dili alfabesinde harflerin gösteriminde I harfi dışında bütün harflerde en az iki ve en fazla dört parmak işareti ile yapılmaktadır. Bu açıdan parmakların TIP parmak ucu noktaları arası uzaklık mesafesi özellik bilgisi önem arz etmektedir. Sol elin işaret ve orta parmakların TIP parmak ucu noktaları arası uzaklık mesafesi özellik bilgisi içeren kod, örnek olarak aşağıda gösterilmiştir. Bu örnek kodun Türk İşaret Dili alfabesinde M harfinin yapımı esnasında gösterimi Şekil 6.5' de sunulmuştur.

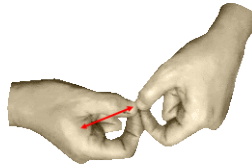
```
(frame.Hands.Leftmost.Fingers[1].TipPosition.DistanceTo(frame.Hands.Leftmost.Fingers[2].TipPosition))
```



Şekil 6.5. M harfinin yapımında iki parmağının TIP uzaklık mesafe gösterimi.

Bunun yanı sıra Türk İşaret Dili'ne ait çift el kullanılarak harflerin yapılmasında sık kullanılan sağ ve sol ellerin baş, işaret ve orta parmakları ile sadece iki harfin yapımında kullanılan sağ yüzük ve serçe parmaklarının TIP parmak ucu noktalarının avuç içi noktasına uzaklık mesafesi özellik bilgisi alınmıştır. Kullanılan bu parmakların iki nokta arası uzaklık mesafeleri için sekiz özellik seçilmiştir. Sol elin başparmağın TIP parmak ucu noktasının avuç içi noktasına uzaklık mesafesi özellik bilgisi içeren kod, örnek olarak aşağıda gösterilmiştir. Bu örnek kodun Türk İşaret Dili alfabesinde B harfinin yapımı esnasında gösterimi Şekil 6.6' da sunulmuştur.

```
frame.Hands.Rightmost.Fingers[0].TipPosition.DistanceTo(frame.Hands.Rightmost.PalmPosition)
```



Şekil 6.6. B harfinin yapımında başparmağın TIP noktasının avuç içi uzaklık mesafe gösterimi.

Türk İşaret Dili'nde bulunan on üç adet harfin yapıları esnasında TIP parmak ucu noktalarının, bazı parmak eklem noktalarına temas etmesi gerekmektedir. Bu gerekçeyle özellikle bu harflerin yapılarında sağ elin baş ve işaret parmağı ile sol elin baş, işaret ve orta parmaklarının TIP parmak ucu noktalarının, bazı parmakların DIP, PIP ve MCP parmak eklem noktaları konumuna uzaklık mesafesi bilgisi alınmaktadır. Kullanılan bu parmakların iki nokta arası uzaklık mesafeleri için on dört özellik seçilmiştir. Bu harflerden birisi olan Z harfinin yapıları esnasında sol işaret parmağın TIP parmak ucu noktasının, sağ işaret parmağın MCP parmak eklem noktasına uzaklık mesafesinin özellik bilgisi içeren kod, örnek olarak aşağıda

verilmiştir. Bu örnek kodun Türk İşaret Dili alfabesinde Z harfinin yapımı esnasında gösterimi Şekil 6.8' de sunulmuştur.

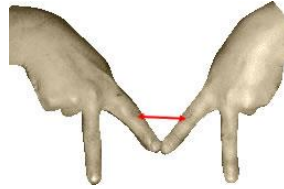
```
(frame.Hands.Leftmost.Fingers[2].TipPosition.DistanceTo(frame.Hands.Rightmost.Fingers[1].JointPosition(Finger.FingerJoint.JOINT_MCP)))
```



Şekil 6.7. Z harfinin yapımında iki parmağın PIP uzaklık mesafe gösterimi.

Bununla birlikte K, B, M ve Z harflerinin yapıları sol elin işaret ve orta parmağın DIP ve PIP parmak eklem noktalarının, sağ elin yine aynı işaret ve orta parmakların MCP, DIP ve PIP parmak eklem noktalarına uzaklık mesafesinin özellik bilgisi çıkarımı alınmaktadır. Bu harfler için iki nokta arası uzaklık mesafeleri için yedi özellik seçilmiştir. Bu harflerden B ve M harflerinin yapıları ile ilgili sol işaret parmağın PIP parmak eklem noktasının, sağ işaret parmağın PIP parmak eklem noktasına uzaklık mesafesinin özellik bilgisi içeren kod, örnek olarak aşağıda verilmiştir. Bu örnek kodun Türk İşaret Dili alfabesinde M harfinin yapımı esnasında gösterimi Şekil 6.7' de sunulmuştur.

```
(frame.Hands.Leftmost.Fingers[1].JointPosition(Finger.FingerJoint.JOINT_PIP).DistanceTo(frame.Hands.Rightmost.Fingers[1].JointPosition(Finger.FingerJoint.JOINT_PIP)))
```

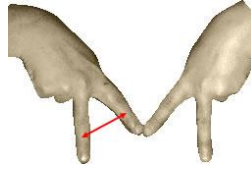


Şekil 6.8. M harfinin yapımında iki parmağın TIP -MCP uzaklık mesafe gösterimi.

Bunlara ek olarak A,Ç,E,K ve M harflerinin yapıları ile ilgili olarak bazı ayırt edici uzaklık mesafesi özellik bilgileri kullanımına yer verilmiştir. Bu harflerin yapılarında sol işaret parmağı ile sağ işaret ve orta parmaklarının proksimal ve ara parmak

kemiği konumlarının, sol işaret ve sağ baş, işaret, orta ve yüzük parmaklarının proksimal ve ara parmak kemiği konumlarına olan uzaklık mesafesi bilgisi kullanılmıştır. Bahsedilen bu harflerin belirlenen iki nokta arası uzaklık mesafeleri için altı özellik seçilmiştir. Bu harflerden K ve M harflerinin ayırt edilmesi ile ilgili sağ işaret ve orta parmakların ara parmak kemiği konumlarının uzaklık mesafesinin özellik bilgisi içeren kod, örnek olarak aşağıda verilmiştir. Bu örnek kodun Türk İşaret Dili alfabesinde M harfinin yapımı esnasında gösterimi Şekil 6.9' da sunulmuştur.

```
(frame.Hands.Rightmost.Fingers[1].Bone(Bone.BoneType.TYPE_INTERMEDIATE).NextJoint.DistanceTo(frame.Hands.Rightmost.Fingers[2].Bone(Bone.BoneType.TYPE_INTERMEDIATE).NextJoint))
```



Şekil 6.9. M harfinin yapımında iki parmağının ara kemik uzaklık mesafe gösterimi.

Yukarıda belirlenen özelliklere ek olarak özellikle dairesel şekil benzerliği gösteren harfler için sağ elin baş, işaret ve orta parmakları ile sol elin baş ve işaret parmaklarının distal, ara ve proksimal kemik konumları arası açı bilgisi kullanılmıştır. Bu harfler için belirlenen iki parmak kemik arası açı bilgisi kullanılarak beş özellik seçilmiştir. Bu bağlamda sağ elin işaret parmağının dairesel şekil gösterimi için ara ve proksimal kemik konumları arası açı özellik bilgisi içeren kod, örnek olarak aşağıda verilmiştir. Bu örnek kodun Türk İşaret Dili alfabesinde Ç harfinin yapımı esnasında gösterimi Şekil 6.10' da sunulmuştur.

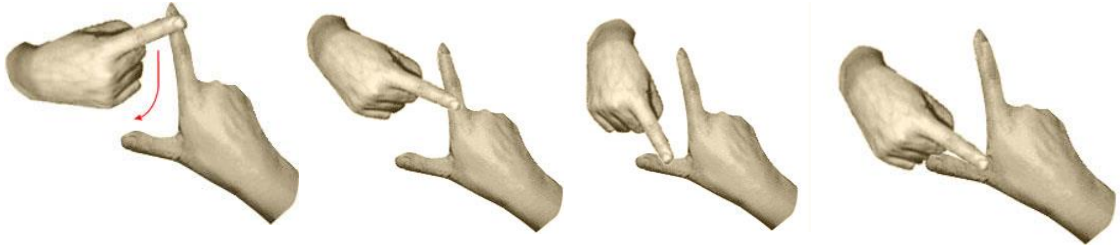
```
(frame.Hands.Rightmost.Fingers[1].Bone(Bone.BoneType.TYPE_INTERMEDIATE).Direction.AngleTo(frame.Hands.Rightmost.Fingers[1].Bone(Bone.BoneType.TYPE_PROXIMAL).NextJoint))
```



Şekil 6.10. Ç harfinin yapımında bir parmağın iki ara kemik arası açı mesafe gösterimi.

Bu kapsamda Türk İşaret Dili alfabesinde çift elle gerçekleştirilen 22 harf için belirlenen özellikler 7 başlık altında gruplandırılmış ve toplam belirlenen bu 70 özellik sınıflandırma aşamasında kullanılmıştır.

Türk İşaret Dili alfabesinde çift elle gerçekleştirilen 22 harf içerisinde dinamik durağan olmayan hareketlerden oluşan 6 harf ile ilgili gerçek zamanlı ve belirli süre içerisinde gerçekleştirilmesine yönelik kontrol ve işlem aşamalarından geçirilmektedir.



Şekil 6.11. Türk İşaret Dili'nde dinamik gerçekleştirilen J harfinin yapılış aşamaları.

Dinamik durağan olmayan hareketlerden ilki olan J harfi için beş adımdan oluşan bir süreç izlenmektedir. J harfinin yapılış aşamaları Şekil 6.11' de gösterilmektedir. İlk adım J harfinin başlama noktası olarak belirlenen sol ve sağ elin işaret parmakların TIP parmak ucu noktaları arası uzaklık mesafesi özellik bilgisine bakılmaktadır. Bu özelliğe ek olarak yukarıda belirlenen diğer 69 özellik çıkarımı ile beraber kullanılmaktadır. Belirlenen iki nokta arası uzaklık mesafesi gerçekleştirildiğinde J harfi için süreç başlamaktadır. Bu J harfi başlama noktası olarak belirlenen iki parmağın TIP noktasının temas etmesi ya da belirlenen yakınlık mesafesi değerine gelmesi ile başlayarak, sol işaret parmağın hareketinin açık olan sağ elin işaret

parmağının TIP noktasından PIP ve sonrasında MCP parmak eklem noktalarına doğru hareket ettirilmesi ile süreç devam eder. Hareketin devamında, sağ başparmağın PIP parmak eklem noktası ve TIP parmak ucu noktasına doğru devam ettirilmesi ile süreç biter. Bu tespit edilen beş adet iki nokta arası uzaklık mesafesinin temas etme ya da belirlenen yakınlık mesafesi değerlerinin yine belirlenen bir süre içerisinde alınarak hareketin gerçek zamanlı olarak yapılması sağlanmıştır. Bu süreç içerisinde kullanılan bu özellikler aynı zamanda diğer harfler için tanımlanan özelliklerdir. J harfinin başlangıç noktası dikkate alınarak eğitim veri kümesi oluşturulmuştur. Dinamik durağan olmayan bu J harfinin sol işaret parmağın ilk başlama noktası ve diğer belirlenen 4 noktadan sırası ile temas düzeyinde geçerek tamamlaması sürecinde kullanılan özellik bilgisi içeren kodlar, örnek olarak aşağıda verilmiştir.

```
(frame.Hands.Leftmost.Fingers[1].TipPosition.DistanceTo(frame.Hands.Rightmost.Fingers[1].TipPosition))
```

```
(frame.Hands.Leftmost.Fingers[1].TipPosition.DistanceTo(frame.Hands.Rightmost.Fingers[1].JointPosition(Finger.FingerJoint.JOINT_PIP)))
```

```
(frame.Hands.Leftmost.Fingers[1].TipPosition.DistanceTo(frame.Hands.Rightmost.Fingers[1].JointPosition(Finger.FingerJoint.JOINT_MCP)))
```

```
(frame.Hands.Leftmost.Fingers[1].TipPosition.DistanceTo(frame.Hands.Rightmost.Fingers[0].JointPosition(Finger.FingerJoint.JOINT_PIP)))
```

```
(frame.Hands.Leftmost.Fingers[1].TipPosition.DistanceTo(frame.Hands.Rightmost.Fingers[0].TipPosition))
```



Şekil 6.12. Türk İşaret Dili'nde dinamik gerçekleştirilen Ğ harfinin yapılış aşamaları.

Dinamik durağan olmayan hareketlerden ikincisi olan Ğ harfi için iki adımdan oluşan bir süreç izlenmektedir. Ğ harfinin yapılış aşamaları Şekil 6.12’ de gösterilmektedir. İlk adım Ğ harfinin başlama noktası olarak belirlenen sol işaret parmağın açık durum bilgisi ve yine sol işaret parmağın TIP parmak ucu noktasının, sağ işaret parmağın PIP parmak eklem noktası konumuna uzaklık mesafesi bilgisi bakılmaktadır. Bu özelliğe ek olarak çift elle gerçekleştirilen harfler için belirlenen diğer 68 özellik çıkarımı ile beraber kullanılmaktadır. Belirlenen bu iki nokta arası uzaklık mesafesi değerinin gerçekleşmesi ile Ğ harfi için süreç başlamaktadır. Sürecin başlamasında sol işaret parmağının açık durumda olması gerekmektedir. Sürecin ikinci aşamasında sol işaret parmağın TIP parmak ucu noktasının, sağ işaret parmağın PIP parmak eklem noktası konumuna yaklaştırılması, uzaklaştırılması ile süreç tamamlanır. Bu süreçte çift elle gerçekleştirilen dinamik durağan olmayan hareketten oluşan Ğ harfi ile statik durağan hareketten oluşan G harfi işaretleri çok benzemektedir. Bu aşamada sol işaret parmağın TIP parmak ucu noktasına yaklaştırılması hareketi esasında G harfi gösterimidir. Bu tespit edilen iki nokta arası uzaklık mesafesi aynı zamanda benzer bu iki harfi ayırmaktadır. Aynı zamanda sol işaret parmağının aşağı yukarı doğru hareket ettirilerek iki nokta arası uzaklık mesafesini değerlerinin yine belirlenen bir süre içerisinde alınarak hareketin gerçek zamanlı olarak yapılması sağlanmıştır. Bu harfin tanımlanmasında bahsi geçen bu iki nokta arası uzaklık mesafesi özellik bilgisi aynı zamanda diğer harfler için tanımlanan bir özelliktir. Bu kapsamda Ğ harfinin gösterimi esnasında başlangıç noktası olarak kabul edilen sol işaret parmağı açık konumu dikkate alınarak eğitim veri kümesi oluşturulmuştur. Dinamik durağan olmayan bu Ğ harfi için sol işaret parmağın TIP parmak ucu noktasının, sağ işaret parmağın PIP parmak eklem noktası konumuna yaklaştırılması, uzaklaştırılması sürecinde kullanılan özellik bilgisi içeren kod,1 örnek olarak aşağıda verilmiştir.

```
(frame.Hands.Leftmost.Fingers[1].TipPosition.DistanceTo(frame.Hands.Rightmost.Fingers[1].JointPosition(Finger.FingerJoint.JOINT_PIP)))
```

Dinamik durağan olmayan hareketlerden üçüncüsü olan Ö harfi için iki adımdan oluşan bir süreç izlenmektedir. Ö harfinin yapılış aşamaları Şekil 6.13’ de gösterilmektedir.



Şekil 6.13. Türk İşaret Dili'nde dinamik gerçekleştirilen Ö harfinin yapılış aşamaları.

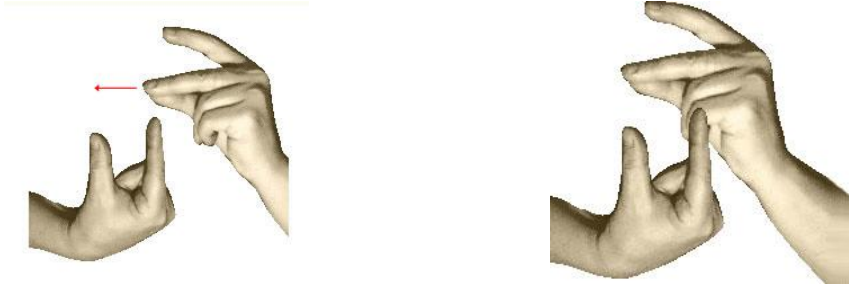
İlk adım Ö harfinin başlama noktası olarak belirlenen sol baş ve orta parmakların TIP parmak ucu noktasının, sağ baş ve işaret parmağının TIP parmak ucu noktası konumuna olan uzaklık mesafesi bilgisine bakılmaktadır. Bu özelliğe ek olarak çift elle gerçekleştirilen harfler için belirlenen diğer 68 özellik çıkarımı ile beraber kullanılmaktadır. Belirlenen bu dört nokta arası iki adet uzaklık mesafesi değerinin gerçekleşmesi ile Ö harfi için süreç başlamaktadır. Sol baş ve orta parmakların TIP parmak ucu noktalarının birleşimi Ö harfinin üstünde bulunan noktaları temsil etmektedir. Sürecin başlaması ve devamında sol işaret parmağının açık ve ayrık durumda olması gerekmektedir. Sürecin ikinci aşamasında sağ el sabit tutularak, sol el sağ elin üstünde pozisyonu bozmadan ileri doğru MCP parmak eklem noktası konumuna doğru hareket ettirilerek süreç tamamlanır. Hareketin belirlenen bu noktaya getirilmesi, Ö harfinin üstünde bulunan ikinci noktayı gerçekleştirmektir. Hareketin ikinci aşamasında sol baş ve orta parmakların TIP parmak ucu noktasının, sağ işaret parmağının MCP parmak ucu noktası konumuna olan uzaklık mesafesi bilgisine bakılmaktadır. Sol baş ve orta parmakların birleşim gösterimleri sağ elin üstünde hareket ettirilerek belirlenen noktalar arası uzaklık mesafesi değerlerinin yine belirlenen bir süre içerisinde alınarak hareketin gerçek zamanlı olarak yapılması sağlanmıştır. Bu harfin tanımlanmasında özellikle bahsi geçen harfin üstünde bulunana iki adet noktanın oluşturulmasında belirlenen noktalar arası uzaklık mesafesi özellik bilgisi aynı zamanda diğer harfler için tanımlanan bir özelliktir. Bu kapsamda Ö harfinin gösterimi esnasında başlangıç noktası olarak kabul edilen sol baş ve orta parmak birleşimini sağ baş ve işaret parmağı üstündeki konum bilgisi dikkate alınarak eğitim veri kümesi oluşturulmuştur. Dinamik durağan olmayan bu Ö harfi için sol baş ve orta parmakların TIP parmak ucu noktasının, sağ başparmağın

TIP parmak ucu noktası ve işaret parmağın MCP parmak eklem noktası uzaklık mesafesinin özellik bilgisi içeren kod, örnek olarak aşağıda verilmiştir.

```
(frame.Hands.Leftmost.Fingers[0].TipPosition.DistanceTo(frame.Hands.Rightmost.Fingers[0].TipPosition))
```

```
(frame.Hands.Leftmost.Fingers[2].TipPosition.DistanceTo(frame.Hands.Rightmost.Fingers[1].JointPosition(Finger.FingerJoint.JOINT_MCP)))
```

Dinamik durağan olmayan hareketlerden dördüncüsü olan Ü harfi için iki adımdan oluşan bir süreç izlenmektedir. Ü harfinin yapılış aşamaları Şekil 6.14’ de gösterilmektedir.



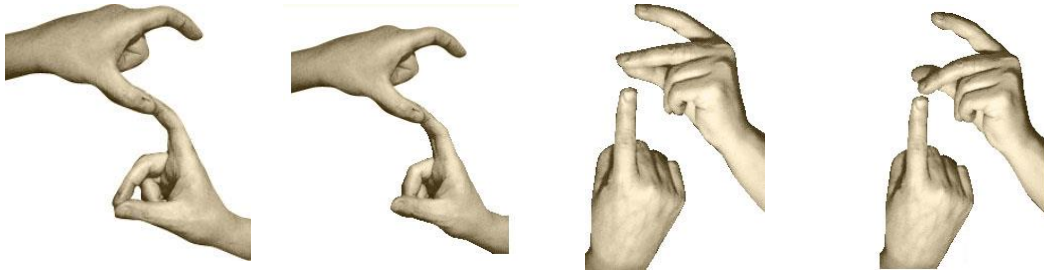
Şekil 6.14. Türk İşaret Dili’nde dinamik gerçekleştirilen Ü harfinin yapılış aşamaları.

İlk adım Ü harfinin başlama noktası olarak belirlenen sol baş ve orta parmakların TIP parmak ucu noktasının, sağ başparmağının TIP parmak ucu noktası konumuna olan uzaklık mesafesi bilgisine bakılmaktadır. Bu özelliğe ek olarak çift elle gerçekleştirilen harfler için belirlenen diğer 69 özellik çıkarımı ile beraber kullanılmaktadır. Belirlenen bu iki uzaklık mesafesi değerinin gerçekleşmesi ile Ü harfi için süreç başlamaktadır. Sol baş ve orta parmakların TIP parmak ucu noktalarının birleşimi Ü harfinin üstünde bulunan noktaları temsil etmektedir. Sürecin başlaması ve devamında sol işaret parmağının açık ve ayırık durumda olması gerekmektedir. Sürecin ikinci aşamasında sağ el sabit tutularak, sol el sağ elin üstünde pozisyonu bozmadan ileri doğru TIP parmak ucu noktası konumuna doğru hareket ettirilerek süreç tamamlanır. Hareketin belirlenen bu noktaya getirilmesi, Ü harfinin üstünde bulunan ikinci noktayı gerçekleştirmektedir. Hareketin ikinci aşamasında sol baş ve orta parmakların TIP parmak ucu noktasının, sağ işaret parmağının TIP parmak ucu noktası konumuna olan uzaklık mesafesi bilgisine

bakılmaktadır. Sol baş ve orta parmakların birleşim gösterimleri sağ elin üstünde hareket ettirilerek belirlenen noktalar arası uzaklık mesafesi değerlerinin yine belirlenen bir süre içerisinde alınarak hareketin gerçek zamanlı olarak yapılması sağlanmıştır. Bu harfin tanımlanmasında özellikle bahsi geçen harfin üstünde bulunana iki adet noktanın oluşturulmasında belirlenen noktalar arası uzaklık mesafesi özellik bilgisi aynı zamanda diğer harfler için tanımlanan bir özelliktir. Bu kapsamda Ü harfinin gösterimi esnasında başlangıç noktası olarak kabul edilen sol baş ve orta parmak birleşiminin sağ başparmak üstündeki konum bilgisi dikkate alınarak eğitim veri kümesi oluşturulmuştur. Dinamik durağan olmayan bu Ü harfi için sol baş ve orta parmakların TIP parmak ucu noktasının, sağ baş ve işaret parmakların TIP parmak ucu noktalarına olan uzaklık mesafesinin özellik bilgisi içeren kod, örnek olarak aşağıda verilmiştir.

```
(frame.Hands.Leftmost.Fingers[0].TipPosition.DistanceTo(frame.Hands.Rightmost.Fingers[1].TipPosition))
```

Dinamik durağan olmayan hareketlerden olan Ş ve İ harfleri için yukarıda bahsedilen diğer dinamik durağan olmayan harfler için izlenen süreç adımları yapılmamıştır. Ş ve İ harflerinin yapılış aşamaları Şekil 6.15’ de gösterilmektedir.



Şekil 6.15. Türk İşaret Dili’nde dinamik gerçekleştirilen Ş ve İ harflerinin yapılış aşamaları.

Bu harflerin yapılışı esnasında el şaklatma olayının hareket boyutunun belirgin olmaması dolayısıyla dinamik durağan hareket süreçlerine gerek duyulmamıştır. Bu harfler için el şaklatma olayı dışında dinamik gerçekleştirilen bir hareket süreci olmamaktadır. Bundan dolayı bu harfler statik durağan hareketlerden oluşan harfler gibi değerlendirilmiş ve çıkarılan ortak özellik değerleri kullanılmıştır.

6.2. TEK ELLE GERÇEKLEŞTİRİLEN HARFLER İÇİN 32 ÖZELLİK ÇIKARIMI KULLANILAN UYGULAMA (1.UYGULAMA)

Türk İşaret Dili alfabesinde çift elle gerçekleştirilen statik ve dinamik hareketlerden oluşan harfler dışında tek elle gerçekleştirilen statik durağan hareketlerden oluşan 7 harf bulunmaktadır. Tek elle gerçekleştirilen harfler için sağ el kullanılarak özellik çıkarımı yapılmıştır. Parmakların distal, proksimal ve ara parmak kemiği konumlarının, yine parmaklarının proksimal ve ara parmak kemiği konumlarına olan uzaklık mesafe bilgileri içeren özellik türü tek elle gerçekleştirilen harf uygulamalarında kullanılmamıştır.

Türk İşaret Dili'nde tek elle gerçekleştirilen harfler için belirlenen özellik çıkarımlarını 6 başlık altında gruplandırabiliriz.

1. Parmakların açık kapalı durum bilgileri (5 özellik)
2. Parmakların TIP parmak ucu noktaları arası uzaklık mesafe bilgileri (10 özellik)
3. Parmakların TIP parmak ucu noktalarının, avuç içi noktasına uzaklık mesafe bilgileri (5 özellik)
4. Parmakların TIP parmak ucu noktalarının, parmakların PIP parmak eklem nokta konumuna uzaklık mesafe bilgileri (6 özellik)
5. Parmakların DIP ve PIP parmak eklem noktalarının, parmakların DIP ve PIP parmak eklem noktalarına uzaklık mesafe bilgileri (2 özellik)
6. Parmakların distal, ara ve proksimal kemik konumları arası açı bilgileri (4 özellik)

Öncelikle beş parmağın açık kapalı durum özellik bilgileri çıkarılmıştır. Bu bilgiler parmak açık ise bir, kapalı ise sıfır değeri üretmektedir.

Bununla birlikte Türk İşaret Dili'ne ait tek elle gerçekleştirilen harflerin yapılmasında sadece sağ elin baş, işaret ve orta parmakları kullanıldığı için bu parmakların her birinin diğer parmakların TIP parmak ucu noktaları arası uzaklık mesafesi özellik bilgisi alınmıştır. Kullanılan bu parmakların TIP parmak ucu noktaları arası konumun uzaklık mesafeleri için on özellik seçilmiştir. Bu harflerin gösteriminde I

harfi dışında diğer altı harf iki parmak işareti ile yapılmaktadır. Sağ elin baş ve işaret parmakların TIP parmak ucu noktaları arası uzaklık mesafesi özellik bilgisi içeren kod, örnek olarak aşağıda gösterilmiştir.

```
(frame.Hands.Rightmost.Fingers[0].TipPosition.DistanceTo(frame.Hands.Rightmost.Fingers[1].TipPosition))
```

Bu özelliklere ek olarak sağ elin parmaklarının TIP parmak ucu noktalarının avuç içi noktasına uzaklık mesafesi özellik bilgisi alınmıştır. Kullanılan bu parmakların iki nokta arası uzaklık mesafeleri için beş özellik seçilmiştir. Örnek kod aşağıda gösterilmiştir.

```
(frame.Hands.Rightmost.Fingers[0].TipPosition.DistanceTo(frame.Hands.Rightmost.PalmPosition))
```

Türk İşaret Dili'nde bulunan tek elle gerçekleştirilen harflerden sadece P harfinin yapılışı esnasında sağ orta parmağın TIP parmak ucu noktasının, işaret parmağın PIP eklem noktasına temas etmesi gerekmektedir. Bunun dışında baş ve işaret parmağı kullanılarak yapılan dört harf ve işaret ve orta parmak kullanılarak yapılan iki harf için de baş ve işaret parmaklarının TIP parmak ucu noktalarının, bazı parmakların PIP parmak eklem noktaları konumuna uzaklık mesafesi bilgisi alınmaktadır. Kullanılan bu parmakların iki nokta arası uzaklık mesafeleri için altı özellik seçilmiştir. Bu harflerden birisi olan P harfinin yapılışı esnasında sağ orta parmağın TIP parmak ucu noktasının, sağ işaret parmağın PIP parmak eklem noktasına uzaklık mesafesinin özellik bilgisi içeren kod, örnek olarak aşağıda verilmiştir.

```
(frame.Hands.Rightmost.Fingers[2].TipPosition.DistanceTo(frame.Hands.Rightmost.Fingers[1].JointPosition(Finger.FingerJoint.JOINT_PIP)))
```

Bununla birlikte harflerinin yapılarında sadece baş, işaret ve orta parmak kullanılması dolayısı ile sağ elin baş ve işaret parmağın DIP ve PIP parmak eklem noktalarının, sağ elin yine işaret ve orta parmakların DIP ve PIP parmak eklem noktalarına uzaklık mesafesinin özellik bilgisi çıkarımı alınmaktadır. Bu harfler için iki nokta arası uzaklık mesafeleri için iki özellik seçilmiştir. Bu harflerden V harfinin yapılışı ile ilgili sağ işaret parmağın PIP parmak eklem noktasının, sağ orta parmağın

PIP parmak eklem noktasına uzaklık mesafesinin özellik bilgisi içeren kod, örnek olarak aşağıda verilmiştir.

```
(frame.Hands.Rightmost.Fingers[1].JointPosition(Finger.FingerJoint.JOINT_PIP).DistanceTo(frame.Hands.Rightmost.Fingers[2].JointPosition(Finger.FingerJoint.JOINT_PIP)))
```

Yukarıda belirlenen özelliklere ek olarak özellikle dairesel şekil benzerliği gösteren harfler için sağ elin baş, işaret ve orta parmaklarının distal, ara ve proksimal kemik konumları arası açı bilgisi kullanılmıştır. Bu harfler için belirlenen iki parmak kemik arası açı bilgisi için dört özellik seçilmiştir. Tek elle gerçekleştirilen harflerden özellikle C ve U harflerinin ayırt edilmesinde açı özellik çıkarımı önem arz etmektedir. Bu bağlamda sağ başparmağın dairesel şekil gösterimi için distal ve ara kemik konumları arası açı özellik bilgisi içeren kod, örnek olarak aşağıda verilmiştir.

```
(frame.Hands.Rightmost.Fingers[0].Bone(Bone.BoneType.TYPE_DISTAL).Direction.AngleTo(frame.Hands.Rightmost.Fingers[0].Bone(Bone.BoneType.TYPE_INTERMEDIATE).NextJoint))
```

Bu kapsamda Türk İşaret Dili alfabesinde tek elle gerçekleştirilen 7 harf için belirlenen özellik çıkarımları 6 başlık altında gruplandırılmış ve belirlenen bu 32 özellik sınıflandırma aşamasında kullanılmıştır. Tek elle gerçekleştirilen statik durağan olmayan hareketlerden oluşan harfler diğer çift elle gerçekleştirilen hareketlerden oluşan harflere göre harf sayısının az olması, yapılış şekillerinin basit ve kolay olması ve parmakların üst üste gelme durumu, parmak uçlarının temasları ve parmak uçlarının eklem noktalarına temaslarının olmaması özellik çıkarımlarının az olmasına sebep olmuştur.

6.3. ÇİFT ELLE GERÇEKLEŞTİRİLEN HARFLER İÇİN 46 ÖZELLİK ÇIKARIMI KULLANILAN UYGULAMA (2.UYGULAMA)

Bu kapsamda Türk İşaret Dili alfabesinde çift elle gerçekleştirilen 22 harf için gereksinim görülen belirlenmiş özellik çıkarımları azaltılarak 4 başlık altında gruplandırılmış ve toplam 46 özellik sınıflandırma aşamasında kullanılmıştır. Önceki uygulamada kullanılmış fakat bu uygulama kapsamında çıkarılmış 24 özellik

çıkarmı bulunmaktadır. Özellik çıkarımları azaltılması çift elle gerçekleştirilen her bir harfin yapılaş ve gereksinim durumları dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Gereksinim görölerek belirlenen 3 özellik çıkarım türü bu uygulamada çıkarılmıştır. Bu kapsamda Türk İşaret Dili'nde çift elle gerçekleştirilen harfler için belirlenen gruplar şu şekildedir.

1. Parmakların açık kapalı durum bilgileri (10 özellik)
2. Parmakların TIP parmak ucu noktaları arası uzaklık mesafe bilgileri (20 özellik)
3. Parmakların TIP parmak ucu noktalarının, yine parmakların DIP, PIP ve MCP parmak eklem nokta konumlarına uzaklık mesafe bilgileri (14 özellik)
4. Parmakların distal, ara ve proksimal kemik konumları arası aç bilgileri (2 özellik)

İkinci uygulamada on parmağın açık kapalı durum özellik bilgileri kullanılmıştır. Parmakların açık kapalı durum bilgileri Türk İşaret Dili alfabesinde bulunan harflerin yapılaşlarında farklı parmak kombinasyonları kullanılması dolayısıyla ayırt edici bir özellik türü olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bununla birlikte Türk İşaret Dili'ne ait çift el kullanılarak harflerin yapılmasında sık kullanılan sağ ve sol ellerin baş, işaret ve orta parmakları ile sağ yüzük ve serçe parmaklarının TIP parmak ucu noktaları arası uzaklık mesafesi içeren özellik bilgisi kullanılmıştır. Türk İşaret Dili'ne ait çift el kullanılarak harflerin yapılaşlarına bakıldığında parmakların TIP parmak ucu noktaları arası uzaklık mesafesi önemli bir özellik çıkarım türüdür. Bu parmakların belirlenen TIP parmak ucu noktaları arası konumun uzaklık mesafe bilgisi için yirmi özellik çıkarımı kullanılmıştır. Bu özelliklere ek olarak kullanılan parmakların TIP parmak ucu noktalarının, avuç içi noktasına uzaklık mesafe özellik bilgisi ise kullanılmamıştır. Parmakların açık kapalı durum bilgisi ile TIP parmak ucu noktaları arası konum bilgisi içeren özellik türleri benzerlik gösterdiği için tercih edilmemiştir.

Türk İşaret Dili'nde bulunan bazı harflerin yapılaşları esnasında TIP parmak ucu noktalarının, bazı parmak eklem noktalarına temas etmesi gerekmektedir. Bu sebeple

özellikle bu harflerin yapılarındaki parmakların TIP parmak ucu noktalarının, bazı parmakların DIP, PIP ve MCP parmak eklem noktaları konumuna uzaklık mesafe bilgisi için on dört özellik seçilmiştir. Kullanılan bu özellik çıkarım türüne benzerlik göstermesi dolayısıyla bazı özellik türleri bu uygulamada tercih edilmemiştir. Bu nedenle kullanılan parmakların DIP ve PIP parmak eklem noktalarının, yine parmakların MCP, DIP ve PIP parmak eklem noktalarına uzaklık mesafe özellik bilgileri ile parmakların distal, proksimal ve ara parmak kemiği konumlarının, yine parmaklarının proksimal ve ara parmak kemiği konumlarına olan uzaklık mesafe bilgileri içeren özellik çıkarımları kullanılmamıştır.

Bunlara ek olarak özellikle dairesel şekil benzerliği gösteren harfler için ayırt edici özellik olması gereksinimi dolayısıyla parmaklarının distal, ara ve proksimal kemik konumları arası açı bilgisi kullanılmıştır. Bu harfler için belirlenen iki parmak kemik konum arası açı bilgisi için iki özellik çıkarımı tercih edilmiştir.

6.4. TEK ELLE GERÇEKLEŞTİRİLEN HARFLER İÇİN 23 ÖZELLİK ÇIKARIMI KULLANILAN UYGULAMA (2.UYGULAMA)

Bu kapsamda Türk İşaret Dili alfabesinde tek elle gerçekleştirilen 7 harf için bir gereksinim görülerek belirlenmiş özellik çıkarım türleri 5 başlık altında gruplandırılmış ve toplam 23 özellik sınıflandırma aşamasında kullanılmıştır. Önceki uygulamada kullanılmış fakat bu uygulama kapsamında çıkarılmış 9 özellik çıkarımı bulunmaktadır. Tek elle gerçekleştirilen her bir harfin yapıları ve gereksinim durumları dikkate alınarak özellik çıkarımları azaltılmıştır. Türk İşaret Dili'nde tek elle gerçekleştirilen harfler için belirlenen özellik çıkarımları şu şekilde gruplandırılmıştır:

1. Parmakların açık kapalı durum bilgileri (5 özellik)
2. Parmakların TIP parmak ucu noktaları arası uzaklık mesafe bilgileri (10 özellik)
3. Parmakların TIP parmak ucu noktalarının, parmakların PIP parmak eklem nokta konumuna uzaklık mesafe bilgileri (2 özellik)

4. Parmakların DIP ve PIP parmak eklem noktalarının, yine parmakların DIP ve PIP parmak eklem noktalarına uzaklık mesafe bilgileri (2 özellik)
5. Parmakların distal, ara ve proksimal kemik konumları arası açı bilgileri (4 özellik)

Öncelikle beş parmağın açık kapalı durum özellik bilgileri kullanılmıştır. Parmakların açık kapalı durum bilgileri içerisinde sağ baş, işaret ve orta parmak, tek elle gerçekleştirilen harflerin yapılarındaki kullanılması gereken ayırt edici bir özellik çıkarımı olarak tercih edilmiştir.

Bununla birlikte Türk İşaret Dili'ne ait sağ el kullanılarak gerçekleştirilen harflerin yapılmasında kullanılan ve kullanılmayan parmakların TIP parmak ucu noktaları arası uzaklık mesafesi özellik bilgisi tercih edilmiştir. Çift elle gerçekleştirilen harflerin yapılarındaki olduğu gibi tek elle gerçekleştirilen harflerin yapılarındaki parmakların açık kapalı durum bilgisi kadar parmakların TIP parmak ucu noktaları arası uzaklık mesafe özellik bilgisi de önem arz etmektedir. Türk İşaret Dili'ne ait çift ve tek el kullanılarak harflerin yapılarına bakıldığında parmakların TIP parmak ucu noktaları arası uzaklık mesafesi kullanılması gereken ayırt edici bir özellik türü olarak tercih edilmiştir. Bu sebeple parmakların TIP parmak ucu noktaları arası uzaklık mesafeleri için on özellik çıkarımı kullanılmıştır. Parmakların açık kapalı durum bilgisi ile TIP parmak ucu noktaları arası uzaklık mesafe bilgisi içeren özellik türleri benzerlik gösterdiği için parmakların TIP parmak ucu noktalarının, avuç içi noktasına olan uzaklık mesafe özellik bilgisi bu uygulamada kullanılmamıştır.

Tek el kullanılarak harflerin yapıları esnasında TIP parmak ucu noktalarının, bazı parmak eklem noktalarına temas eden harf sayısı çok azdır. Bu sebeple bu harflerin yapılarında parmakların TIP parmak ucu noktalarının, işaret parmağının PIP parmak eklem noktası konumuna uzaklık mesafesi bilgisi kullanılmıştır. Tek elle gerçekleştirilen harflerin çoğunluğunun yapılarında aynı parmakların kullanılması ve benzerlikleri dolayısı ile ayırt etmede bu tür özellik bilgisine de ihtiyaç duyulmaktadır. Bu doğrultuda kullanılan parmakların TIP parmak ucu noktalarının, yine parmağının PIP parmak eklem noktası konumuna olan uzaklık mesafe bilgileri için iki özellik tercih edilmiştir. Bu özellik çıkarımlarına ek olarak parmakların DIP

ve PIP parmak eklem noktalarının, yine parmakların DIP ve PIP parmak eklem noktalarına uzaklık mesafe bilgileri için iki özellik seçilmiştir. Kullanılan bu özellik türlerine benzerlik göstermesi, harf sayısının az olması, aynı parmakları kullanım oranının yüksekliği ve hareketlerin yapılaşlarının kolay ve basitliği dolayısıyla parmakların distal, proksimal ve ara parmak kemiği konumlarının, yine parmaklarının proksimal ve ara parmak kemiği konumlarına olan uzaklık mesafe özellik bilgileri kullanılmamıştır. Bunlara ek olarak özellikle dairesel şekil benzerliği gösteren C ve U ve benzeri harfler için ayırt edici özellik olması gereksinimi dolayısıyla parmaklarının distal, ara ve proksimal kemik konumları arası açı bilgisi kullanılmıştır. Bu harfler için belirlenen iki parmak kemik konum arası açı bilgileri için dört özellik çıkarımı seçilmiştir.

6.5. ÇİFT ELLE GERÇEKLEŞTİRİLEN HARFLER İÇİN 30 ÖZELLİK ÇIKARIMI KULLANILAN UYGULAMA (3.UYGULAMA)

Gereksinim görülerek çift elle gerçekleştirilen harfler için belirlenen özellik çıkarımları bir düzey daha indirilerek üçüncü uygulamada kullanılmıştır. Gereksinim görülerek belirlenen 5 özellik çıkarım türü bu uygulamada çıkarılmıştır. Bu doğrultuda Türk İşaret Dili alfabesinde çift elle gerçekleştirilen 22 harf için gereksinim görülerek belirlenmiş özellik çıkarım türleri 2 başlık altında gruplandırılmış ve toplam 30 özellik sınıflandırma aşamasında kullanılmıştır. Önceki uygulamalarda kullanılmış fakat bu uygulama kapsamında çıkarılmış 40 özellik çıkarımı bulunmaktadır.

1. Parmakların açık kapalı durum bilgileri (10 özellik)
2. Parmakların TIP parmak ucu noktaları arası uzaklık mesafe bilgileri (20 özellik)

Öncelikle on parmağın açık kapalı durum özellik bilgileri bu uygulamada kullanılmıştır. Parmakların açık kapalı durum bilgileri harflerin yapılaşları ile ilgili farklı parmak kombinasyonları kullanılması dolayısıyla tercih edilen önemli bir özellik türüdür.

Bununla birlikte Türk İşaret Dili'ne ait çift el kullanılarak harflerin yapılmasında sık kullanılan sağ ve sol parmaklarının TIP parmak ucu noktaları arası uzaklık mesafesi içeren özellik bilgisi için yirmi özellik kullanılmıştır. Türk İşaret Dili'ne ait çift el kullanılarak harflerin yapılarına bakıldığında parmakların TIP parmak ucu noktaları arası uzaklık mesafesi bilgisi için kullanılması gerekliliği doğmaktadır. Bu özelliklere ek olarak, parmakların açık kapalı durum bilgisi ile TIP parmak ucu noktaları arası uzaklık mesafe bilgisi içeren özellik türleri benzerlik gösterdiği için parmakların TIP parmak ucu noktalarının, avuç içi noktasına uzaklık mesafe özellik bilgisi bu uygulamada gerek görülmemiştir.

Türk İşaret Dili'nde bulunan özellikle A,D,E,F,H,K,J,K,R,T ve Z harflerinin yapıları esnasında TIP parmak ucu noktalarının, bazı parmak eklem noktalarına temas etmesi gerekmektedir. Fakat Türk İşaret Dili'nde çift elle gerçekleştirilen her bir harfin yapı ve gösterimlerine bakıldığında benzer ya da yakın harf bulunmamaktadır. Her bir harfin yapı durumu kendine özel bir gösterimi bulunmaktadır. Bu sebeple özellikle bu harflerin yapılarında kullanılan parmakların TIP parmak ucu noktalarının, bazı parmakların DIP, PIP ve MCP parmak eklem nokta konumlarına olan uzaklık mesafe bilgileri içeren özellik çıkarımları bu uygulamada tercih edilmemiştir. Kullanılmayan bu özellik türüne benzerlik göstermesi dolayısıyla diğer iki özellik çıkarım türü bu uygulama kapsamında kullanılmamıştır.

Türk İşaret Dili'nde çift elle gerçekleştirilen dairesel şekil benzerliği gösteren B,Ç,D,G,Ğ,S ve Ş harflerinin yapı ve gösterimleri esnasında G ile Ğ ve S ile Ş harfleri dışında benzeşir bir durumları bulunmamaktadır. Bu harflerin de kendi aralarında dairesel şekil benzerliği dışında ayırt edici özellik bilgisi olarak farklı özellik çıkarımları bulunmaktadır. Bu sebeple kapsamında parmaklarının distal, ara ve proksimal kemik konumları arası açı bilgisi içeren özellik çıkarımları kullanılmamıştır.

6.6. TEK ELLE GERÇEKLEŞTİRİLEN HARFLER İÇİN 18 ÖZELLİK ÇIKARIMI KULLANAN UYGULAMA (3.UYGULAMA)

Gereksinim görülerek tek elle gerçekleştirilen harfler için belirlenen özellik çıkarımları bir düzey daha indirilerek üçüncü uygulamada kullanılmıştır. Bu kapsamda Türk İşaret Dili alfabesinde tek elle gerçekleştirilen 7 harf için bir gereksinim görülerek belirlenmiş özellik çıkarım türleri 3 başlık altında gruplandırılmış ve toplam 18 özellik sınıflandırma aşamasında kullanılmıştır. Önceki uygulamalarda kullanılmış fakat bu uygulama kapsamında çıkarılmış 14 özellik çıkarımı bulunmaktadır.

1. Parmakların açık kapalı durum bilgileri (5 özellik)
2. Parmakların TIP parmak ucu noktaları arası uzaklık mesafe bilgileri (10 özellik)
3. Parmakların distal, ara ve proksimal kemik konumları arası açı bilgileri (3 özellik)

Öncelikle beş parmağın açık kapalı durum özellik bilgileri tercih edilmiştir. Türk İşaret Dili'nde tek elle gerçekleştirilen harflerin yapılarındaki sadece sağ baş, işaret ve orta parmak kullanılması dolayısıyla parmakların açık kapalı durum bilgileri olması gereken ilk özellik çıkarım türüdür.

Bu özellik türü ile birlikte Türk İşaret Dili'ne ait özellikle tek el kullanılarak harflerin yapılarına bakıldığında parmakların TIP parmak ucu noktaları arası uzaklık mesafesi içeren özellik bilgisi kullanılması gereken ayırt edici bir özellik türü olarak görülmektedir. Bu sebeple TIP parmak ucu noktaları arası konumun uzaklık mesafeleri için on özellik çıkarımı seçilmiştir. Bu iki özellik türüne ek olarak, parmakların TIP parmak ucu noktalarının, avuç içi noktasına uzaklık mesafe özellik bilgisi bu uygulama kapsamında da kullanılmamıştır. Parmakların açık kapalı durum bilgisi ile TIP parmak ucu noktaları arası konum bilgisi içeren özellik çıkarım türleri harflerin ayırt edici olarak yeterli görüldüğü için çift elle gerçekleştirilen harflerde olduğu gibi kullanılmamıştır.

Türk İşaret Dili'nde tek elle gerçekleştirilen harflerin gösterimleri sırasında TIP parmak ucu noktalarının, tek bir harfi dışında diğer harfler için parmak eklem noktalarına temas durumları yoktur. Bu sebeple gereksinim görülerek tek elle gerçekleştirilen bir harf için belirlenmiş parmakların TIP parmak ucu noktalarının, yine parmakların DIP, PIP ve MCP parmak eklem nokta konumlarına olan uzaklık mesafe bilgileri içeren özellik çıkarımları bu uygulama kapsamında kullanılmamıştır. Kullanılmayan bu özellik türüne ek olarak parmakların distal, proksimal ve ara parmak kemiği konumları arası uzaklık mesafe özellik bilgileri içeren özellik çıkarımları bu uygulama kapsamında da tercih edilmemiştir.

Bunlarla birlikte özellikle dairesel şekil benzerliği gösteren C ile U harfi ve bunların dışında ayırt edici özellik olması gereksinimi dolayısıyla R harfi için parmaklarının distal, ara ve proksimal kemik konumları arası açı bilgisi içeren özellik çıkarımlarından üç tanesi seçilmiştir.

6.7. ÇİFT ELLE GERÇEKLEŞTİRİLEN HARFLER İÇİN 19 ÖZELLİK ÇIKARIMI KULLANAN UYGULAMA (4.UYGULAMA)

Gereksinim görülerek çift elle gerçekleştirilen harfler için belirlenen özellik çıkarımları bir düzey daha indirilerek dördüncü uygulamada kullanılmıştır. Gereksinim görülerek belirlenen 5 özellik çıkarım türü bu uygulamada çıkarılmıştır. Bu doğrultuda Türk İşaret Dili alfabesinde çift elle gerçekleştirilen 22 harf için belirlenmiş özellik çıkarım türleri 2 başlık altında gruplandırılmış ve toplam 19 özellik sınıflandırma aşamasında kullanılmıştır. Önceki uygulamalarda kullanılmış fakat bu uygulama kapsamında çıkarılmış toplam 51 özellik çıkarımı bulunmaktadır.

1. Parmakların açık kapalı durum bilgileri (10 özellik)
2. Parmakların TIP parmak ucu noktaları arası uzaklık mesafe bilgileri (9 özellik)

Parmakların açık kapalı durum bilgileri içeren özellik çıkarımları harflerin yapıları ile ilgili farklı parmak kombinasyonları kullanılması dolayısıyla bu uygulama kapsamında tercih edilmiştir. Bu özellik çıkarım tür bilgisi bütün uygulamalarda kullanılmaktadır.

Kullanılan bu özellik çıkarım türü ile birlikte Türk İşaret Dili'ne ait çift el kullanılarak harflerin yapılmasında sık kullanılan sağ ve sol parmaklarının TIP parmak ucu noktaları arası uzaklık mesafesi özellik bilgisi bu uygulamada azaltılmıştır. Parmakların açık kapalı durum bilgisi kadar parmakların TIP parmak ucu noktaları arası uzaklık mesafe özellik bilgisi harflerin belirleyici bir etken özellik türüdür. Belirleyici etken olan bu özellik türü iki aşamalı olarak belirlenmiştir. Harflerin yapıları gereği sadece sağ ya da sol elin kendi parmakları arası ve sağ ve sol elin birlikte farklı parmakları arası TIP parmak ucu uzaklık mesafe bilgisi içeren özellik çıkarımları bulunmaktadır. Türk İşaret Dili'ne ait çift elle gerçekleştirilen harflerin yapılmasında sadece sağ ya da sol elin kendi parmakları arasında TIP parmak ucu uzaklık mesafesi bilgisi içeren özellik çıkarımları bu uygulama kapsamında tercih edilen dokuz özellik bulunmaktadır. Uygulamalar kapsamında en uygun özellik çıkarımları belirlenmesi hedeflendiği için sağ ve sol elin birlikte farklı parmakları arası TIP parmak ucu uzaklık mesafesi bilgisi içeren özellik çıkarımları bu uygulamada kullanılmamıştır. Bu özelliklere ek olarak, parmakların TIP parmak ucu noktalarının, avuç içi noktasına olan uzaklık mesafe özellik bilgisi bu uygulamada gerek görülmemiştir.

Türk İşaret Dili'nde çift elle gerçekleştirilen her bir harfin yapılarında benzerlikler bulunmamaktadır. Her bir harfin yapısı durumu kendine özel bir gösterimi bulunmaktadır. Bu uygulama kapsamında da parmakların TIP parmak ucu noktalarının, parmakların DIP, PIP ve MCP parmak eklem nokta konumlarına uzaklık mesafe bilgileri içeren özellik çıkarımları tercih edilmemiştir. Bununla birlikte kullanılmayan bu özellik türüne ek olarak diğer üç özellik çıkarım türü yine bu uygulama için kullanılmamıştır.

6.8. TEK ELLE GERÇEKLEŞTİRİLEN HARFLER İÇİN 11 ÖZELLİK ÇIKARIMI KULLANAN UYGULAMA (4.UYGULAMA)

Gereksinim görülerek tek elle gerçekleştirilen harfler için belirlenen özellik çıkarımları bir düzey daha indirilerek dördüncü uygulamada kullanılmıştır. Bu kapsamda Türk İşaret Dili alfabesinde tek elle gerçekleştirilen 7 harf için belirlenmiş özellik çıkarım türleri 3 başlık altında gruplandırılmış ve toplam 11 özellik

sınıflandırma aşamasında kullanılmıştır. Önceki uygulamalarda kullanılmış fakat bu uygulama kapsamında çıkarılmış 21 özellik çıkarımı bulunmaktadır.

1. Parmakların açık kapalı durum bilgileri (5 özellik)
2. Parmakların TIP parmak ucu noktaları arası uzaklık mesafe bilgileri (3 özellik)
3. Parmakların distal, ara ve proksimal kemik konumları arası açı bilgileri (3 özellik)

Parmakların açık kapalı durum bilgileri içeren özellik çıkarımları bu uygulamada seçilmiştir. Parmakların bu durumları harflerin yapıları ile ilgili kullanılması gereken bir tür olarak görünmektedir.

Tek elle gerçekleştirilen harflerin çoğunluğunun yapısında aynı parmakların kullanım oranının yüksekliği, harf sayısının az olması, harf gösterimlerinin benzerliği ve hareketlerin yapılarının kolay ve basitliği dolayısıyla harflerin ayırt edici özelliğini arttırmaya yönelik kullanılan ve kullanılmayan bütün parmakların TIP parmak ucu noktaları arası uzaklık mesafesi içeren özellik bilgisi sınırlandırılmıştır. Tek elle gerçekleştirilen harflerin yapılarında parmakların açık kapalı durum bilgisi kadar parmakların TIP parmak ucu noktaları arası uzaklık mesafe özellik bilgisi harflerin belirleyici bir etken özellik türü olarak görünmektedir. Belirleyici etken olan bu özellik türü iki aşamalı olarak belirlenmiştir. Harflerin yapıları gereği kullanılan ve kullanılmayan parmaklar arası TIP parmak ucu uzaklık mesafesi bilgisi içeren özellik çıkarımlarıdır. Türk İşaret Dili'ne ait tek elle gerçekleştirilen harflerin yapılmasında sadece kullanılan baş, işaret ve orta parmaklar arasında TIP parmak ucu uzaklık mesafesi bilgisi içeren özellik çıkarımları bu uygulama kapsamında üç özellik seçilmiştir. Uygulamalar kapsamında en uygun özellik çıkarımları belirlenmesi hedeflendiği için özellikle kullanılmayan yüzük ve serçe parmaklarında bulunduğu TIP parmak ucu noktaları arası uzaklık mesafe bilgisi içeren özellik çıkarımları bu uygulamada kullanılmamıştır. Bu iki özellik türüne ek olarak, parmakların TIP parmak ucu noktalarının, avuç içi noktasına uzaklık mesafesi içeren özellik bilgisi kullanılmamıştır.

Türk İşaret Dili'nde tek elle gerçekleştirilen harflerin gösterimleri sırasında TIP parmak ucu noktalarının, tek bir harf dışında diğer harfler için parmakların DIP, PIP ve MCP parmak eklem noktalarına temasları bulunmamaktadır. Bu sebeple gereksinim görülerek tek elle gerçekleştirilen bir harf için belirlenmiş parmakların TIP parmak ucu noktalarının, parmakların DIP, PIP ve MCP parmak eklem nokta konumlarına uzaklık mesafe bilgileri içeren özellik çıkarımları bu uygulama kapsamında gerek görülmemiştir. Tercih edilmeyen bu özellik türüne ek olarak parmakların distal, proksimal ve ara parmak kemiği konumları arası uzaklık mesafe bilgileri içeren özellik çıkarımları bu uygulama kapsamında kullanılmamıştır.

Bunların yanı sıra özellikle dairesel şekil benzerliği gösteren harfler için parmaklarının distal, ara ve proksimal kemik konumları arası açı bilgisi içeren özellik çıkarımları tercih edilmiştir. Bu harfler için belirlenen iki parmak kemik konum arası açı bilgisi içeren özellik çıkarımlarından üç tanesi kullanılmıştır.

6.9. ÇİFT ELLE GERÇEKLEŞTİRİLEN HARFLER İÇİN 16 ÖZELLİK ÇIKARIMI KULLANAN UYGULAMA (5.UYGULAMA)

Gereksinim görülerek çift elle gerçekleştirilen harfler için belirlenen özellik çıkarımları bir düzey daha indirilerek beşinci uygulamada kullanılmıştır. Gereksinim görülerek belirlenen 5 özellik tür başlığı bu uygulamada çıkarılmıştır. Bu doğrultuda Türk İşaret Dili alfabesinde çift elle gerçekleştirilen 22 harf için belirlenmiş özellik çıkarım türleri 2 başlık altında gruplandırılmış ve toplam 16 özellik sınıflandırma aşamasında kullanılmıştır. Önceki uygulamalarda kullanılmış fakat bu uygulama kapsamında çıkarılmış toplam 54 özellik çıkarımı bulunmaktadır.

1. Parmakların açık kapalı durum bilgileri (10 özellik)
2. Parmakların TIP parmak ucu noktaları arası uzaklık mesafe bilgileri (6 özellik)

Parmakların açık kapalı durum bilgileri içeren özellik çıkarımları bu uygulama kapsamında en belirleyici bir özellik türü olarak görünmesi dolayısıyla tercih edilmiştir .

Bununla birlikte Türk İşaret Dili'ne ait çift elle gerçekleştirilen harflerin gösterimlerinde sık kullanılan sağ ve sol el parmaklarının TIP parmak ucu noktaları arası uzaklık mesafesi içeren özellik bilgisi bu uygulamada kapsamında sınırlandırılmıştır. En belirleyici bir özellik türü olarak parmakların açık kapalı durum bilgisi kadar parmakların TIP parmak ucu noktaları arası uzaklık mesafe özellik bilgisi de harfler için belirleyici bir etken özellik türüdür. Bu özellik türü iki aşamalı olarak belirlenmiştir. Bu aşamalardan ilki olan sağ ve sol elin birlikte farklı parmaklar arasında TIP parmak ucu uzaklık mesafesi bilgisi içeren özellik çıkarımları kullanılmamıştır. Türk İşaret Dili'ne ait çift elle gerçekleştirilen harflerin yapılmasında sadece sağ ya da sol elin kendi parmakları arası TIP parmak ucu uzaklık mesafesi bilgisi içeren özellik çıkarımlarından altısı tercih edilmiştir. Bunlardan sadece sol el parmakları için kullanılan TIP parmak ucu noktaları arası uzaklık mesafe bilgisi içeren özellik çıkarımları ise kullanılmamıştır. Bu özelliklere ek olarak, önceki iki uygulamada olduğu gibi parmakların TIP parmak ucu noktalarının, avuç içi noktasına olan uzaklık mesafe özellik bilgisi bu uygulamada kapsamında tercih edilmemiştir. Bununla birlikte kullanılmayan bu özellik türüne ek olarak diğer dört özellik çıkarım türü yine bu uygulama için kullanılmamıştır.

6.10. TEK ELLE GERÇEKLEŞTİRİLEN HARFLER İÇİN 8 ÖZELLİK ÇIKARIMI KULLANILAN UYGULAMA (5.UYGULAMA)

Gereksinim görülerek tek elle gerçekleştirilen harfler için belirlenen özellik çıkarımları bir düzey daha indirilerek beşinci uygulamada kullanılmıştır. Bu kapsamda Türk İşaret Dili alfabesinde tek elle gerçekleştirilen 7 harf için belirlenmiş özellik çıkarım türleri 2 başlık altında gruplandırılmış ve toplam 8 özellik sınıflandırma aşamasında kullanılmıştır. Önceki uygulamalarda kullanılmış fakat bu uygulama kapsamında çıkarılmış 24 özellik çıkarımı bulunmaktadır.

1. Parmakların açık kapalı durum bilgileri (5 özellik)
2. Parmakların TIP parmak ucu noktaları arası uzaklık mesafe bilgileri (3 özellik)

Parmakların açık kapalı durum bilgileri içeren özellik çıkarımları harflerin yapıları ile ilgili kullanılması gereken ve en önemli bir özellik türü olduğundan bu uygulamada tercih edilmiştir .

Türk İşaret Dili'nde tek elle gerçekleştirilen harflerin yapıları, çift elle gerçekleştirilen harflerin yapılarına göre karşılaştırıldıklarında özellik çıkarımları bakımından sınırlandırılmaktadır. Bu bağlamda tek elle gerçekleştirilen harfler için belirlenen özellik çıkarımları çok azdır. Tek elle gerçekleştirilen harflerin yapılarında parmakların açık kapalı durum bilgisi kadar parmakların TIP parmak ucu noktaları arası uzaklık mesafe bilgisi içeren özellik çıkarımları da harflerin belirleyici bir etken özellik türü olarak bilinmektedir. Türk İşaret Dili'ne ait tek elle gerçekleştirilen harflerin yapılmasında sadece kullanılan baş, işaret ve orta parmaklar arasında TIP parmak ucu uzaklık mesafesi bilgisi içeren özellik çıkarımları için üç özellik kullanılmıştır. Harflerin yapıları gereği kullanılmayan parmaklar arası TIP parmak ucu uzaklık mesafesi bilgisi içeren özellik çıkarımları ise bu uygulamada kullanılmamıştır. Bununla birlikte bu iki özellik çıkarım türüne ek olarak, diğer üç özellik çıkarım türü tercih edilmemiştir. Özellikle dairesel şekil benzerliği gösteren harfler için parmaklarının distal, ara ve proksimal kemik konumları arası açı bilgisi içeren özellik çıkarımları bu uygulama kapsamında kullanılmamıştır.

6.11. ÇİFT ELLE GERÇEKLEŞTİRİLEN HARFLER İÇİN 10 ÖZELLİK ÇIKARIMI KULLANILAN UYGULAMA (6.UYGULAMA)

Gereksinim görülerek çift elle gerçekleştirilen harfler için belirlenen özellik çıkarımları bir düzey daha indirilerek son uygulamada kullanılmıştır. Gereksinim görülerek belirlenen 6 özellik tür başlığı bu uygulamada çıkarılmıştır. Bu doğrultuda çift elle gerçekleştirilen 22 harf için belirlenmiş özellik çıkarım türleri tek başlık altında gruplandırılmış ve toplam 10 özellik sınıflandırma aşamasında kullanılmıştır. Önceki uygulamalarda kullanılmış fakat bu uygulama kapsamında çıkarılmış toplam 60 özellik çıkarımı bulunmaktadır.

1. Parmakların açık kapalı durum bilgileri (10 özellik)

Türk İşaret Dili'nde çift elle gerçekleştirilen 22 harfin yapılış ve gösterimlerine bakıldığında benzer ya da yakın harf bulunmamaktadır. Her bir harfin yapılış durumu kendine özel bir gösterim şekli bulunmaktadır. Uygulamalar kapsamında gereksinim görülerek çift elle gerçekleştirilen harfler için belirlenen özellik çıkarımları en uygun ve gerekli görülen ayırt edici özellik sayısının bulunması noktasında kademeli olarak azaltılmıştır. İlk uygulama kapsamında harflerin yapılış ve gösterimlerine bakılarak gereksinim görülerek tespit edilen 70 özellik çıkarımı bulunmaktadır. Önceki uygulamalarda, tespit edilen bu özellik çıkarımları yine harflerin durumlarına göre aşamalı olarak azaltılmıştır. Leap Motion cihazı harflerin yapılışları esnasında her bir el ve parmağın belirlenen özellik çıkarım değerlerini doğru tespit edememektedir. Özellikle çift elle gerçekleştirilen harflerin yapılışlarında iki elin kullanılması, harflerin yapılışlarında üst üste gelme durumları, harflerin yapılış konumları, parmakların ve ellerin temas durumları başta olmak üzere hareketlerin algılanmasında zorluk çıkarmaktadır. Bu amaçla gereksinim görülerek tespit edilen özellik çıkarımları uygulamalar kapsamında aşamalı olarak azaltılarak en iyi sonuçların bulunması hedeflenmiştir.

Parmakların açık kapalı durum bilgileri içeren özellik çıkarımları bu son uygulama kapsamında kullanılmıştır. Bununla birlikte önceki uygulamada kullanılan Türk İşaret Dili'ne ait çift elle gerçekleştirilen harflerin yapılmasında parmaklarının TIP parmak ucu noktaları arası uzaklık mesafe bilgisi içeren özellik çıkarımları kullanılmamıştır. Bununla birlikte çıkarılan bu özellik türüne ek olarak diğer beş özellik çıkarım türleri tercih edilmemiştir. Bu uygulama çerçevesinde bakıldığında gereksinim görülerek belirlenen yedi özellik çıkarım türü içerisinde sadece bir özellik türü kullanılmıştır.

6.12. TEK ELLE GERÇEKLEŞTİRİLEN HARFLER İÇİN 5 ÖZELLİK ÇIKARIMI KULLANILAN UYGULAMA (6.UYGULAMA)

Gereksinim görülerek tek elle gerçekleştirilen harfler için belirlenen özellik çıkarımları bir düzey daha indirilerek son uygulamada kullanılmıştır. Bu kapsamda tek elle gerçekleştirilen 7 harf için belirlenmiş özellik çıkarım türleri tek başlık altında gruplandırılmış ve toplam 5 özellik sınıflandırma aşamasında kullanılmıştır.

Önceki uygulamalarda kullanılmış fakat bu uygulama kapsamında çıkarılmış 27 özellik çıkarımı bulunmaktadır.

1. Parmakların açık kapalı durum bilgileri (5 özellik)

Türk İşaret Dili'nde tek elle gerçekleştirilen yedi harfin yapılış ve gösterimlerine bakıldığında benzer ya da yakın harf bulunmaktadır. Her bir harfin yapılış durumu kendine özel bir gösterim şekli bulunmasına rağmen harflerin yapılış ve geçiş aşamalarında çok fazla benzerlik ve yakınlıklar oluşmaktadır. Uygulamalar kapsamında gereksinim görülerek tek elle gerçekleştirilen harfler için belirlenen özellik çıkarımları en uygun ve gerekli görülen ayırt edici özellik sayısının bulunması noktasında kademeli olarak azaltılmıştır. İlk uygulama kapsamında harflerin yapılış ve gösterimleri doğrultusunda gereksinim görülerek tespit edilen 32 özellik çıkarımı bulunmaktadır. Önceki uygulamalarda, tespit edilen bu özellik çıkarımları yine harflerin durumlarına göre aşamalı olarak azaltılmıştır. Leap Motion cihazı harflerin yapılış ve geçişleri esnasında her bir parmak için belirlenen özellik çıkarım değerlerini doğru tespit edememektedir. Özellikle tek elle gerçekleştirilen harflerin yapılışlarında tek elin kullanılması, harflerin yapılış ve geçişlerinde benzer durumların oluşması, harflerin yapılış konumları, parmakların ve ellerin temas durumları başta olmak üzere hareketlerin algılanmasında zorluk çıkarmaktadır. Bu amaçla gereksinim görülerek tespit edilen özellik çıkarımları uygulamalar kapsamında aşamalı olarak azaltılarak en iyi sonuçların bulunması hedeflenmiştir.

Parmakların açık kapalı durum bilgileri içeren özellik çıkarımları kullanılmıştır. Bununla birlikte Türk İşaret Dili'ne ait tek elle gerçekleştirilen harflerin yapılmasında kullanılan ve kullanılmayan parmaklarının TIP parmak ucu noktaları arası uzaklık mesafe bilgisi içeren özellik çıkarımları bu uygulamada gerek görülmemiştir. Bunun yanında çıkarılan bu özellik türüne ek olarak diğer beş özellik çıkarım türü tercih edilmemiştir. Bu uygulama kapsamında bakıldığında gereksinim görülerek belirlenen altı özellik çıkarım türü içerisinde sadece bir özellik türü kullanılmıştır.

Uygulamalar kapsamında gereksinim görülerek gerek çift elle gerekse tek elle gerçekleştirilen harfler için belirlenen özellik çıkarımları en uygun ve gerekli görülen

ayırt edici özellik sayısının bulunması noktasında kademeli olarak azaltılarak en iyi sonuçların bulunması hedeflenmiştir. Bu doğrultuda uygulamalar içerisinde ortak kullanılan özellik çıkarım türleri ve sayı bilgilerini içeren Çizelge 6.4’de verilmiştir.

Çizelge 6.4. Çift ve tek elle gerçekleştirilen harflerin uygulamalarda ortak kullanılan özellik çıkarım sayıları

No	Leap Motion API özellik türleri	Çift ve tek elle gerçekleştirilen harflerin ortak kullanılan özellik sayıları					
		1.Uygulama	2.Uygulama	3.Uygulama	4.Uygulama	5.Uygulama	6.Uygulama
1	Fingers[X].IsExtended	5	5	5	5	5	5
2	(Fingers[X].TipPosition).DistanceTo(Fingers[X].TipPosition)	6	6	6	3	3	0
3	(Fingers[X].TipPosition).DistanceTo(PalmPosition)	5	0	0	0	0	0
4	(Fingers[X].TipPosition).DistanceTo(Fingers[X].JointPosition(Finger.FingerJoint.JOINT_Y))	1	1	0	0	0	0
5	Fingers[X].JointPosition(Finger.FingerJoint.JOINT_Y).DistanceTo(Fingers[X].JointPosition(Finger.FingerJoint.JOINT_Y))	0	0	0	0	0	0
6	Fingers[X].Bone(Bone.BoneType.Z).NextJoint.DistanceTo(Fingers[X].Bone(Bone.BoneType.Z).NextJoint)	0	0	0	0	0	0
7	Fingers[X].Bone(Bone.BoneType.Z).Direction.AngleTo(Fingers[X].Bone(Bone.BoneType.Z).NextJoint)	3	3	0	0	0	0
Toplam ortak kullanılan özellik çıkarım sayısı		20	15	11	8	8	5

BÖLÜM 7

UYGULAMA SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu tez çalışması kapsamında geliştirilen Türk İşaret Dili tanıma sisteminde Leap Motion algılayıcı tabanlı bir sistem yapısı önerilmiştir. Leap Motion aracılığıyla, bağımsız bir işaretçiye ait işaret görüntüleri kayda alınmıştır. Leap Motion cihazının donanımsal yapısı sayesinde işaret görüntülerine ait 3 boyutlu el hareketlerini algılayabilmekte ve izleyebilmektedir. Görüş alanında bulunan el ve parmak hareketlerini tarayarak sürekli bir veri dizisi ve görüntü kareleri sağlamaktadır. Her bir görüntü karesinde izlenen ve görüş alanı içerisinde bulunan el ve parmaklara ait pozisyon, konum, hareket ve durum bilgileri içermektedir. Leap Motion tarafından sunulan bu bilgiler önerilen sistemde bir bütünlük oluşturacak biçimde değerlendirmeye tabi tutulmuştur.

Türk İşaret Dili alfabesinde tek ve çift el kullanılarak gerçekleştirilen 29 harf bulunmaktadır. Çift el kullanılarak gerçekleştirilen, statik durağan hareketlerden oluşan 16 harf ve dinamik durağan olmayan hareketlerden oluşan 6 harf bulunmaktadır. Tek el kullanılarak gerçekleştirilen statik durağan hareketten oluşan 7 harf bulunmaktadır.

Türk İşaret Dili'nde tek el kullanılarak gerçekleştirilen harflerin yapılarında, çift el kullanılarak gerçekleştirilen harflere göre tek el kullanılması, harf sayısının az olması, yapılaş şekillerinin basit ve kolay olması, parmakların üst üste gelmemesi ve parmakların parmak uçlarına ve eklem noktalarına temaslarının olmaması özellik çıkarımlarının ayrı hazırlanmasını gerektirmiştir.

Bununla birlikte Türk İşaret Dili tanıma sisteminin başarımlarının ve performansının artırılmasına yönelik en uygun özellik çıkarımları bulunması hedeflenmiştir. Öncelikle gerek çift el gerekse tek el kullanılarak gerçekleştirilen harflerin yapılaş durumu dikkate alınarak ve gereksinim görülen her nokta hesaplanarak özellik

çıkarımları seçilmiştir. Gereksinim görülerek belirlenen özellik çıkarımları birinci uygulamada kullanılmıştır. Belirlenen bu özellik çıkarımları, harflerin yapılış durumlarına göre aşamalı olarak azaltılarak diğer beş uygulamada kullanılmıştır. Bu kapsamda gerek görülerek belirlenen özellik çıkarımları kademeli olarak azaltılarak altı uygulama tasarlanmıştır.

Çalışma kapsamında, önerilen sistemin uygulanabilirliğini, güvenilirliğini, doğruluğunu sınamak amacıyla uygulamalar için hazırlanan aynı veri seti kullanılmıştır. Sistemin eğitim aşamasında Türk İşaret Dili'ne ait çift ve tek el kullanılarak gerçekleştirilen harfler için, toplamda 100 işaretten oluşan gerçek zamanlı bir ortamda bir veri seti oluşturulmuştur. Sistemin doğruluğunu ve güvenilirliğini artırmak amacıyla test verileri ayrı hazırlanmıştır. Bu kapsamda 100 işaretten oluşan gerçek zamanlı ayrı bir test veri kümesi oluşturulmuştur. Bu sayede eğitim ve test verilerin ayrı oluşturulmasıyla her örneğin kullanımı sağlanarak daha genel geçer bir sonuç alınması hedeflenmiştir. Bununla birlikte belirlenen özellik çıkarımlarının işlevselliğini gözlemlenmesi için her uygulama için aynı eğitim ve test verileri kullanılmıştır. Oluşturulan veri setlerinde, çift el kullanılarak gerçekleştirilen 22 harf için toplam 2200 adet işaret örneği ve tek el kullanılarak gerçekleştirilen 7 harf için ise 700 adet işaret örneği hazırlanmıştır.

Tez çalışmasında önerilen Türk İşaret Dili tanıma sisteminin tanıma aşamasında K-En Yakın Komşu (K-NN) sınıflandırıcı ile Naive Bayes sınıflandırıcı yaklaşımları kullanılarak işaret örneklerinin tanınması sağlanmıştır.

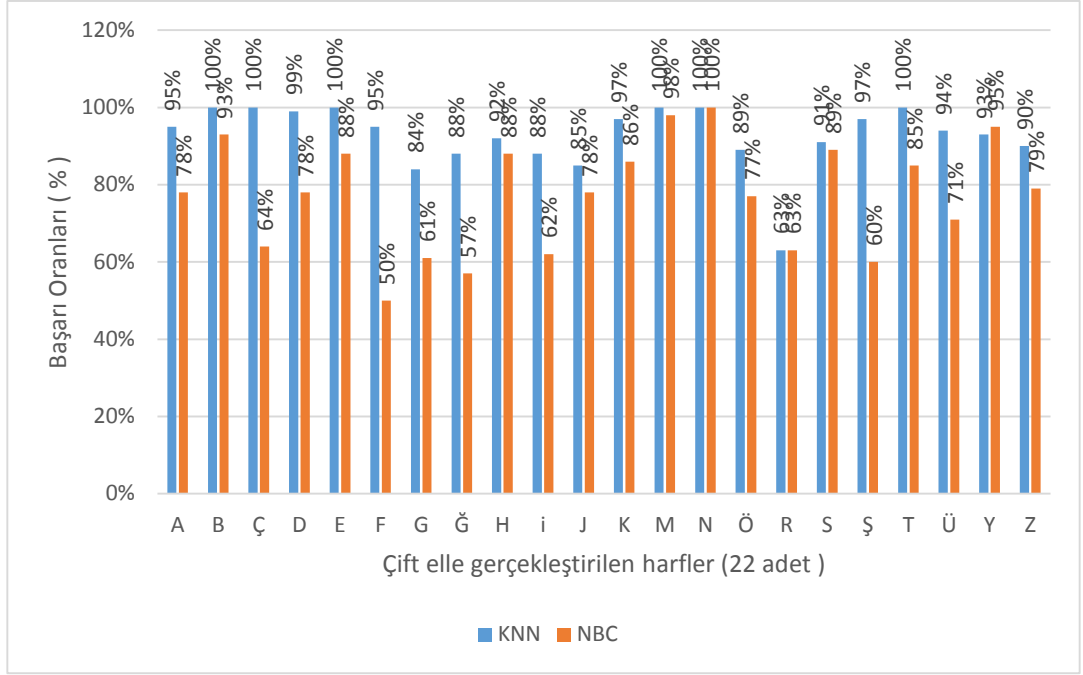
Bu kapsamda önerilen işaret dili tanıma sisteminin başarımının değerlendirilmesi için, hazırlanan Türk İşaret Dili'ne ait işaret dili veri setleri performans ölçümlerinde kullanılmıştır. Bu işaret dili veri setlerine ait özellik çıkarımları hakkında bilgilere önceki bölümlerde etraflıca yer verilmiştir.

Öncelikle hazırlanan ilk uygulamada gerek görülerek belirlenen özellik çıkarımları kullanılarak işaret örneklerinin tanınması sağlanmıştır. Bu uygulama için hazırlanan çift ve tek el kullanılarak belirlenen özellik çıkarım sayıları bütün harflerin ayırt edici ve belirleyici noktaları dikkate alınarak en yüksek düzeyde tutulmuştur. Çift el

kullanılarak hazırlanan özellik sayısı 70 olarak belirlenmiştir. Tek el kullanılarak hazırlanan özellik sayısı 32 olarak belirlenmiştir. Özellik çıkarımları muhtemel olabilecek her hareketin ayırt edici özellik durumları dikkate alınarak tespit edilmiştir. Bu uygulamanın başarısını sınamak için Öklid uzaklığı kullanan K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı ile Türk İşaret Dili'ne ait çift el kullanılarak gerçekleştirilen 22 harf için % 93 oranında başarı elde edilmiştir. K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı yönteminin başarı oranı Çizelge 7.1'de sunulmuştur. Toplamda oluşturulan 2.200 test veri küme seti içerisinde 147 test verisi hiçbir harfi tanımamış, 13 test verisi ise yanlış tanınmıştır. Benzer şekilde uygulamanın başarısını sınamak için Naive Bayes sınıflandırıcısı ile Türk İşaret Dili'ne ait çift el kullanılarak gerçekleştirilen 22 harf için % 77 oranında başarı elde edilmiştir. Naive Bayes sınıflandırıcısı yönteminin başarı oranı Çizelge 7.1'de sunulmuştur. Toplamda oluşturulan 2.200 test veri küme seti içerisinde 472 test verisi hiçbir harfi tanımamış, 28 test verisi ise yanlış tanınmıştır. Bu uygulamada en iyi sınıflandırıcı metodu doğruluk oranının bulunmasına yönelik hazırlanan veri seti aynen kullanılmıştır. Yapılan bu ilk uygulama neticesinde çift el kullanılarak gerçekleştirilen harfler için K-En Yakın Komşu sınıflandırıcı metodunun Naive Bayes sınıflandırıcısı metoduna göre daha başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Şekil 7.1'de çift elle gerçekleştirilen harfler için 70 özellik çıkarımı kullanan uygulamanın K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı ve Naive Bayes sınıflandırıcısı yöntemleri kullanılarak elde edilen sonuçlar grafiksel olarak gösterilmiştir.

Çizelge 7.1. Çift elle gerçekleştirilen harfler için 70 özellik çıkarımı kullanan uygulama (1.Uygulama).

	Yapılan Harf Sayısı	K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı				Naive Bayes sınıflandırıcısı			
		Doğru Sayısı	Boş Sayısı	Yanlış Sayısı	Başarı Yüzdesi	Doğru Sayısı	Boş Sayısı	Yanlış Sayısı	Başarı Yüzdesi
A	100	95	5	0	95%	78	22	0	78%
B	100	100	0	0	100%	93	7	0	93%
Ç	100	100	0	0	100%	64	36	0	64%
D	100	99	1	0	99%	78	22	0	78%
E	100	100	0	0	100%	88	12	0	88%
F	100	95	5	0	95%	50	50	0	50%
G	100	84	5	11	84%	61	19	20	61%
Ğ	100	88	10	2	88%	57	39	4	57%
H	100	92	8	0	92%	88	9	3	88%
i	100	88	12	0	88%	62	38	0	62%
J	100	85	15	0	85%	78	22	0	78%
K	100	97	3	0	97%	86	14	0	86%
M	100	100	0	0	100%	98	2	0	98%
N	100	100	0	0	100%	100	0	0	100%
Ö	100	89	11	0	89%	77	23	0	77%
R	100	63	37	0	63%	63	37	0	63%
S	100	91	9	0	91%	89	10	1	89%
Ş	100	97	3	0	97%	60	40	0	60%
T	100	100	0	0	100%	85	15	0	85%
Ü	100	94	6	0	94%	71	29	0	71%
Y	100	93	7	0	93%	95	5	0	95%
Z	100	90	10	0	90%	79	21	0	79%



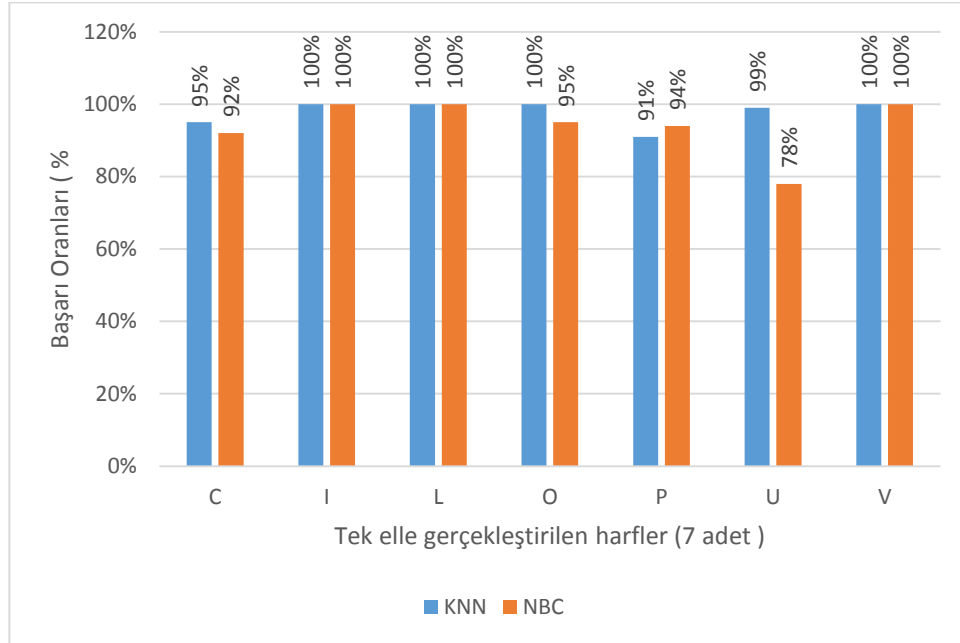
Şekil 7.1. Çift elle gerçekleştirilen harfler için 70 özellik çıkarımı kullanan uygulama (1.Uygulama).

Uygulamanın ikinci aşamasında Türk İşaret Dili'ne ait tek el kullanılarak gerçekleştirilen harfler için ayrı veri seti hazırlanmıştır. Uygulamanın başarısını sınamak için Öklid uzaklığı kullanan K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı ile Türk İşaret Dili'ne ait tek el kullanılarak gerçekleştirilen 7 harf için % 98 oranında başarı elde edilmiştir. K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı yönteminin başarı oranı Çizelge 7.2'de sunulmuştur. Toplamda oluşturulan 700 test veri küme seti içerisinde sadece 15 test verisi yanlış tanınmıştır. Benzer şekilde uygulamanın başarısını sınamak için Naive Bayes sınıflandırıcısı ile Türk İşaret Dili'ne ait tek el kullanılarak gerçekleştirilen 7 harf için % 94 oranında başarı elde edilmiştir. Naive Bayes sınıflandırıcısı yönteminin başarı oranı Çizelge 7.2'de sunulmuştur. Toplamda oluşturulan 700 test veri küme seti içerisinde sadece 41 test verisi yanlış tanınmıştır. Uygulamanın bu aşamasında da en iyi sınıflandırıcı metodu doğruluk oranının bulunmasına yönelik hazırlanan veri seti aynen kullanılmıştır. Yaptığımız bu çalışma neticesinde tek el kullanılarak gerçekleştirilen harfler için K-En Yakın Komşu sınıflandırıcı metodunun Naive Bayes sınıflandırıcısı metoduna göre daha başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Şekil 7.2'de Tek elle gerçekleştirilen harfler için 32 özellik çıkarımı kullanan uygulamanın K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı ve

Naive Bayes sınıflandırıcısı yöntemleri kullanılarak elde edilen sonuçlar grafiksel olarak gösterilmiştir.

Çizelge 7.2. Tek elle gerçekleştirilen harfler için 32 özellik çıkarımı kullanan uygulama (1.Uygulama).

	Yapılan Harf Sayısı	K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı				Naive Bayes sınıflandırıcısı			
		Doğru Sayısı	Boş Sayısı	Yanlış Sayısı	Başarı Yüzdesi	Doğru Sayısı	Boş Sayısı	Yanlış Sayısı	Başarı Yüzdesi
C	100	95	0	5	95%	92	0	8	92%
I	100	100	0	0	100%	100	0	0	100%
L	100	100	0	0	100%	100	0	0	100%
O	100	100	0	0	100%	95	0	5	95%
P	100	91	0	9	91%	94	0	6	94%
U	100	99	0	1	99%	78	0	22	78%
V	100	100	0	0	100%	100	0	0	100%



Şekil 7.2. Tek elle gerçekleştirilen harfler için 32 özellik çıkarımı kullanan uygulama (1.Uygulama).

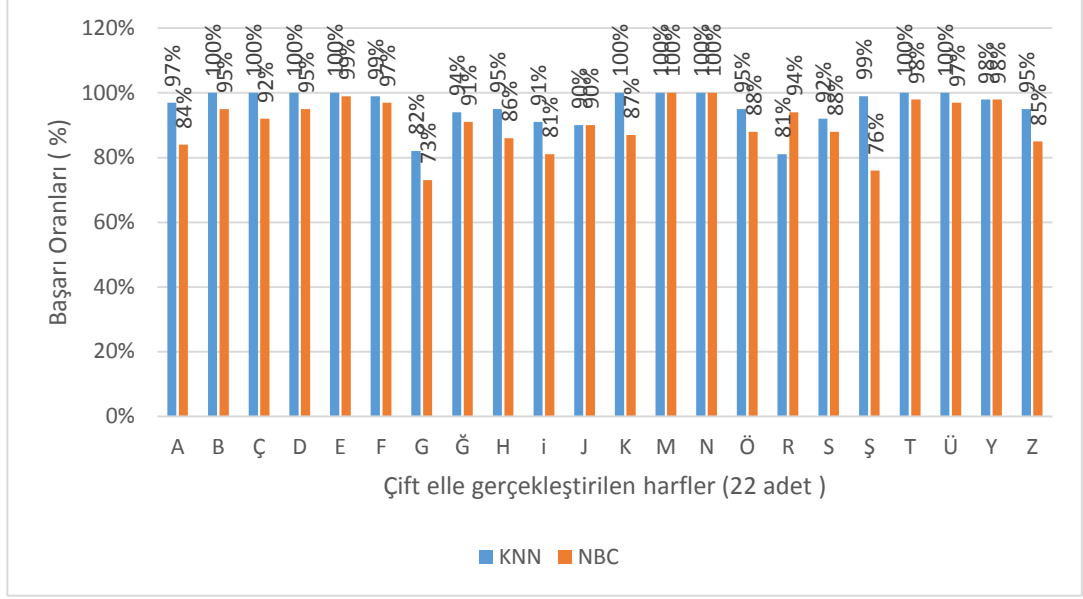
Bu uygulamanın sonunda gerek çift gerekse tek el kullanılarak gerçekleştirilen toplam 29 harf için en yüksek sınıflandırma başarı oranı %94 ile K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı (KNN) metodu ile elde edilmiştir. Uygulamada diğer kullanılan Naive Bayes sınıflandırıcısı metodu ile 29 harf için %81 oranında başarı sağlamıştır.

Uygulamaların başarımları ve performans değerlerinin en iyi düzeyde olması için gereksinim görülerek belirlenen özellik çıkarımlarının, harflerin durumları dikkate alınarak aşamalı olarak indirilerek beş uygulamada değerlendirilmiştir. Bu uygulamalar için çift ve tek el kullanılarak belirlenen özellik çıkarım sayıları hakkında bilgiyi önceki bölümde etraflıca yer verilmiştir.

Bu kapsamda hazırlanan ikinci uygulamada belirlenen özellik çıkarımları kullanılarak işaret örneklerinin tanınması sağlanmıştır. Çift el kullanılarak hazırlanan özellik sayısı 46 olarak belirlenmiştir. Tek el kullanılarak hazırlanan özellik sayısı 23 olarak belirlenmiştir. Bu uygulamanın başarımlarını sınamak için Öklid uzaklığı kullanan K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı ile Türk İşaret Dili'ne ait çift el kullanılarak gerçekleştirilen 22 harf için % 96 oranında başarımlar elde edilmiştir. K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı yönteminin başarımlar oranı Çizelge 7.3'de sunulmuştur. Bütün uygulamalarda hazırlanan aynı veri seti kümesi kullanılmıştır. Toplamda oluşturulan 2.200 test veri küme seti içerisinde 70 test verisi hiçbir harfi tanınamamış, 22 test verisi ise yanlış tanınmıştır. Benzer şekilde uygulamanın başarımlarını sınamak için Naive Bayes sınıflandırıcısı ile Türk İşaret Dili'ne ait çift el kullanılarak gerçekleştirilen 22 harf için % 91 oranında başarımlar elde edilmiştir. Naive Bayes sınıflandırıcısı yönteminin başarımlar oranı Çizelge 7.3'de sunulmuştur. Toplamda oluşturulan 2200 test veri küme seti içerisinde 134 test verisi hiçbir harfi tanınamamış, 72 test verisi ise yanlış tanınmıştır. Bu uygulamada en iyi sınıflandırıcı metodu doğruluk oranının bulunmasına yönelik hazırlanan veri seti aynen kullanılmıştır. Yaptığımız bu çalışma neticesinde çift el kullanılarak gerçekleştirilen harfler için K-En Yakın Komşu sınıflandırıcı metodunun Naive Bayes sınıflandırıcısı metoduna göre daha başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Şekil 7.3'de Çift elle gerçekleştirilen harfler için 46 özellik çıkarımı kullanan uygulamanın K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı ve Naive Bayes sınıflandırıcısı yöntemleri kullanılarak elde edilen sonuçlar grafiksel olarak gösterilmiştir.

Çizelge 7.3. Çift elle gerçekleştirilen harfler için 46 özellik çıkarımı kullanan uygulama (2.Uygulama).

	Yapılan Harf Sayısı	K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı				Naive Bayes sınıflandırıcısı			
		Doğru Sayısı	Boş Sayısı	Yanlış Sayısı	Başarı Yüzdesi	Doğru Sayısı	Boş Sayısı	Yanlış Sayısı	Başarı Yüzdesi
A	100	97	3	0	97%	84	14	2	84%
B	100	100	0	0	100%	95	5	0	95%
Ç	100	100	0	0	100%	92	8	0	92%
D	100	100	0	0	100%	95	0	5	95%
E	100	100	0	0	100%	99	0	1	99%
F	100	99	1	0	99%	97	3	0	97%
G	100	82	0	18	82%	73	2	25	73%
Ğ	100	94	5	1	94%	91	6	3	91%
H	100	95	5	0	95%	86	0	14	86%
i	100	91	9	0	91%	81	19	0	81%
J	100	90	10	0	90%	90	10	0	90%
K	100	100	0	0	100%	87	13	0	87%
M	100	100	0	0	100%	100	0	0	100%
N	100	100	0	0	100%	100	0	0	100%
Ö	100	95	5	0	95%	88	12	0	88%
R	100	81	17	2	81%	94	3	3	94%
S	100	92	8	0	92%	88	9	3	88%
Ş	100	99	0	1	99%	76	9	15	76%
T	100	100	0	0	100%	98	1	1	98%
Ü	100	100	0	0	100%	97	3	0	97%
Y	100	98	2	0	98%	98	2	0	98%
Z	100	95	5	0	95%	85	15	0	85%

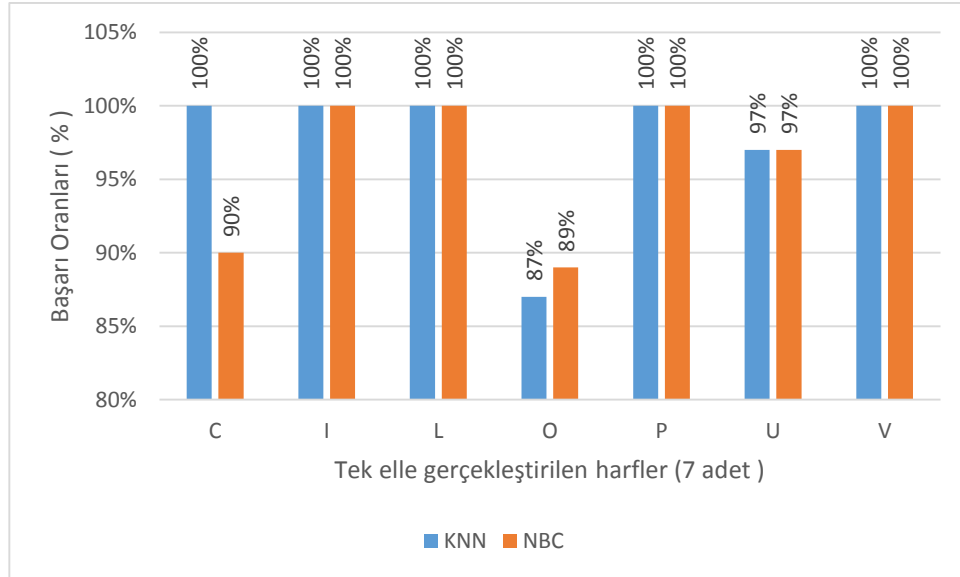


Şekil 7.3. Çift elle gerçekleştirilen harfler için 46 özellik çıkarımı kullanan uygulama (2.Uygulama).

İkinci uygulamanın bu aşamasında ise Türk İşaret Dili'ne ait tek kullanılarak gerçekleştirilen harfler için aynı veri seti kullanılmıştır. Uygulamanın başarısını sınamak için Öklid uzaklığı kullanan K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı ile Türk İşaret Dili'ne ait tek el kullanılarak gerçekleştirilen 7 harf için %98 oranında başarı elde edilmiştir. K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı yönteminin başarı oranı Çizelge 7.4'de sunulmuştur. Toplamda oluşturulan 700 test veri küme seti içerisinde sadece 16 test verisi yanlış tanınmıştır. Benzer şekilde uygulamanın başarısını sınamak için Naive Bayes sınıflandırıcısı ile Türk İşaret Dili'ne ait tek el kullanılarak gerçekleştirilen 7 harf için %97 oranında başarı elde edilmiştir. Naive Bayes sınıflandırıcısı yönteminin başarı oranı Çizelge 7.4'de sunulmuştur. Toplamda oluşturulan 700 test veri küme seti içerisinde sadece 24 test verisi yanlış tanınmıştır. Uygulamanın bu aşamasında da en iyi sınıflandırıcı metodu doğruluk oranının bulunmasına yönelik hazırlanan veri seti aynen kullanılmıştır. Yaptığımız bu çalışma neticesinde tek el kullanılarak gerçekleştirilen harfler için K-En Yakın Komşu sınıflandırıcı metodunun Naive Bayes sınıflandırıcısı metoduna göre daha başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Şekil 7.4'de Tek elle gerçekleştirilen harfler için 23 özellik çıkarımı kullanan uygulamanın K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı ve Naive Bayes sınıflandırıcısı yöntemleri kullanılarak elde edilen sonuçlar grafiksel olarak gösterilmiştir.

Çizelge 7.4. Tek elle gerçekleştirilen harfler için 23 özellik çıkarımı kullanan uygulama (2.Uygulama).

	Yapılan Harf Sayısı	K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı				Naive Bayes sınıflandırıcısı			
		Doğru Sayısı	Boş Sayısı	Yanlış Sayısı	Başarı Yüzdesi	Doğru Sayısı	Boş Sayısı	Yanlış Sayısı	Başarı Yüzdesi
C	100	100	0	0	100%	90	0	10	90%
I	100	100	0	0	100%	100	0	0	100%
L	100	100	0	0	100%	100	0	0	100%
O	100	87	0	13	87%	89	0	11	89%
P	100	100	0	0	100%	100	0	0	100%
U	100	97	0	3	97%	97	0	3	97%
V	100	100	0	0	100%	100	0	0	100%



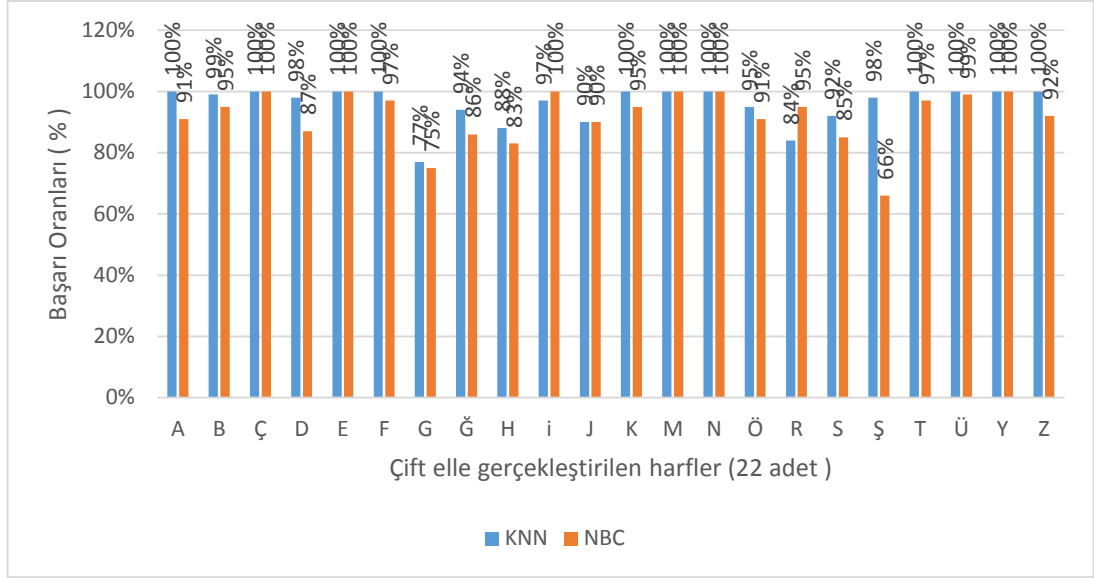
Şekil 7.4. Tek elle gerçekleştirilen harfler için 23 özellik çıkarımı kullanan uygulama (2.Uygulama).

Bu ikinci uygulamanın sonunda gerek çift gerekse tek el kullanılarak gerçekleştirilen toplam 29 harf için en yüksek sınıflandırma oranı %96 ile K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı (KNN) metodu ile elde edilmiştir. Uygulamada diğer kullanılan Naive Bayes sınıflandırıcısı metodu ile 29 harf için %92 oranında başarı sağlamıştır.

Hazırlanan üçüncü uygulamada belirlenen özellik çıkarımları kullanılarak işaret örneklerinin tanınması sağlanmıştır. Çift el kullanılarak hazırlanan özellik sayısı 30 olarak belirlenmiştir. Tek el kullanılarak hazırlanan özellik sayısı 18 olarak belirlenmiştir. Bu uygulamanın başarısını sınamak için Öklid uzaklığı kullanan K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı ile Türk İşaret Dili'ne ait çift el kullanılarak gerçekleştirilen 22 harf için %96 oranında başarımlar elde edilmiştir. K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı yönteminin başarımlar oranı Çizelge 7.5'de sunulmuştur. Toplamda oluşturulan 2.200 test veri küme seti içerisinde 23 test verisi hiçbir harfi tanınamamış, 65 test verisi ise yanlış tanınmıştır. Benzer şekilde uygulamanın başarısını sınamak için Naive Bayes sınıflandırıcısı ile Türk İşaret Dili'ne ait çift el kullanılarak gerçekleştirilen 22 harf için %92 oranında başarımlar elde edilmiştir. Naive Bayes sınıflandırıcısı yönteminin başarımlar oranı Çizelge 7.5'de sunulmuştur. Toplamda oluşturulan 2.200 test veri küme seti içerisinde 12 test verisi hiçbir harfi tanınamamış, 164 test verisi ise yanlış tanınmıştır. Bu uygulamada en iyi sınıflandırıcı metodu doğruluk oranının bulunmasına yönelik hazırlanan veri seti aynen kullanılmıştır. Yaptığımız bu çalışma neticesinde çift el kullanılarak gerçekleştirilen harfler için K-En Yakın Komşu sınıflandırıcı metodunun Naive Bayes sınıflandırıcısı metoduna göre daha başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Şekil 7.5'de çift elle gerçekleştirilen harfler için 30 özellik çıkarımı kullanan uygulamanın K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı ve Naive Bayes sınıflandırıcısı yöntemleri kullanılarak elde edilen sonuçlar grafiksel olarak gösterilmiştir.

Çizelge 7.5. Çift elle gerçekleştirilen harfler için 30 özellik çıkarımı kullanan uygulama (3.Uygulama).

	Yapılan Harf Sayısı	K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı				Naive Bayes sınıflandırıcısı			
		Doğru Sayısı	Boş Sayısı	Yanlış Sayısı	Başarı Yüzdesi	Doğru Sayısı	Boş Sayısı	Yanlış Sayısı	Başarı Yüzdesi
A	100	100	0	0	100%	91	3	6	91%
B	100	99	0	1	99%	95	0	5	95%
Ç	100	100	0	0	100%	100	0	0	100%
D	100	98	0	2	98%	87	0	13	87%
E	100	100	0	0	100%	100	0	0	100%
F	100	100	0	0	100%	97	0	3	97%
G	100	77	0	23	77%	75	0	25	75%
Ğ	100	94	0	6	94%	86	0	14	86%
H	100	88	1	11	88%	83	0	17	83%
i	100	97	3	0	97%	100	0	0	100%
J	100	90	5	5	90%	90	0	10	90%
K	100	100	0	0	100%	95	0	5	95%
M	100	100	0	0	100%	100	0	0	100%
N	100	100	0	0	100%	100	0	0	100%
Ö	100	95	5	0	95%	91	9	0	91%
R	100	84	5	11	84%	95	0	5	95%
S	100	92	4	4	92%	85	0	15	85%
Ş	100	98	0	2	98%	66	0	34	66%
T	100	100	0	0	100%	97	0	3	97%
Ü	100	100	0	0	100%	99	0	1	99%
Y	100	100	0	0	100%	100	0	0	100%
Z	100	100	0	0	100%	92	0	8	92%

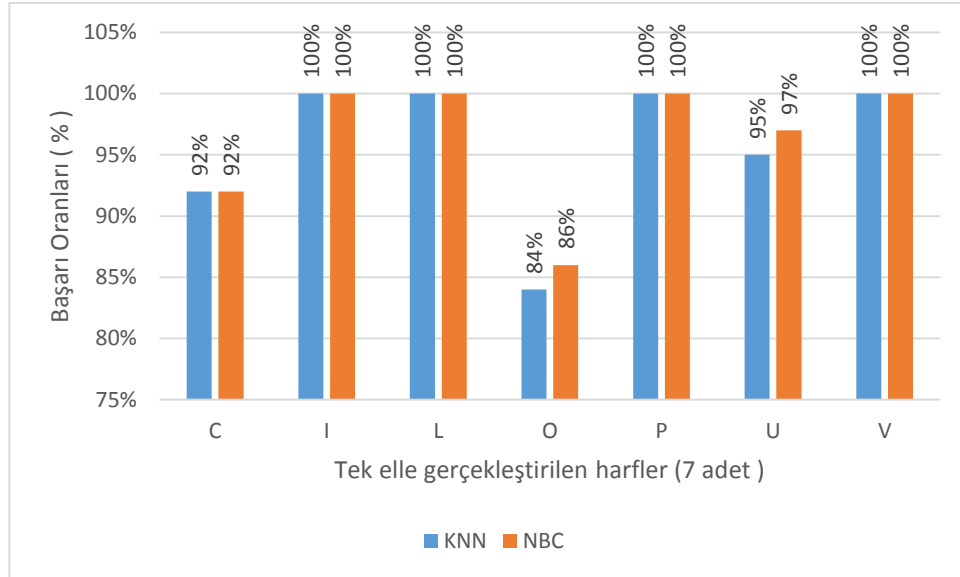


Şekil 7.5. Çift elle gerçekleştirilen harfler için 30 özellik çıkarımı kullanan uygulama (3.Uygulama).

Üçüncü uygulamanın bu aşamasında ise Türk İşaret Dili'ne ait tek el kullanılarak gerçekleştirilen harfler için aynı veri seti kullanılmıştır. Uygulamanın başarısını sınamak için Öklid uzaklığı kullanan K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı ile Türk İşaret Dili'ne ait tek el kullanılarak gerçekleştirilen 7 harf için %96 oranında başarımler elde edilmiştir. K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı yönteminin başarımler oranı Çizelge 7.6'da sunulmuştur. Toplamda oluşturulan 700 test veri kümesi içerisinde sadece 29 test verisi yanlış tanınmıştır. Benzer şekilde uygulamanın başarısını sınamak için Naive Bayes sınıflandırıcısı ile Türk İşaret Dili'ne ait tek el kullanılarak gerçekleştirilen 7 harf için %96 oranında başarımler elde edilmiştir. Naive Bayes sınıflandırıcısı yönteminin başarımler oranı Çizelge 7.6'da sunulmuştur. Toplamda oluşturulan 700 test veri kümesi içerisinde sadece 25 test verisi yanlış tanınmıştır. Uygulamanın bu aşamasında da en iyi sınıflandırıcı metodu doğruluk oranının bulunmasına yönelik hazırlanan veri seti aynen kullanılmıştır. Yaptığımız bu çalışma neticesinde tek el kullanılarak gerçekleştirilen harfler için K-En Yakın Komşu sınıflandırıcı metodunun Naive Bayes sınıflandırıcısı metoduna göre daha başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Şekil 7.6'da tek elle gerçekleştirilen harfler için 18 özellik çıkarımı kullanan uygulamanın K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı ve Naive Bayes sınıflandırıcısı yöntemleri kullanılarak elde edilen sonuçlar grafiksel olarak gösterilmiştir.

Çizelge 7.6. Tek elle gerçekleştirilen harfler için 18 özellik çıkarımı kullanan uygulama (3.Uygulama).

	Yapılan Harf Sayısı	K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı				Naive Bayes sınıflandırıcısı			
		Doğru Sayısı	Boş Sayısı	Yanlış Sayısı	Başarı Yüzdesi	Doğru Sayısı	Boş Sayısı	Yanlış Sayısı	Başarı Yüzdesi
C	100	92	0	8	92%	92	0	8	92%
I	100	100	0	0	100%	100	0	0	100%
L	100	100	0	0	100%	100	0	0	100%
O	100	84	0	16	84%	86	0	14	86%
P	100	100	0	0	100%	100	0	0	100%
U	100	95	0	5	95%	97	0	3	97%
V	100	100	0	0	100%	100	0	0	100%



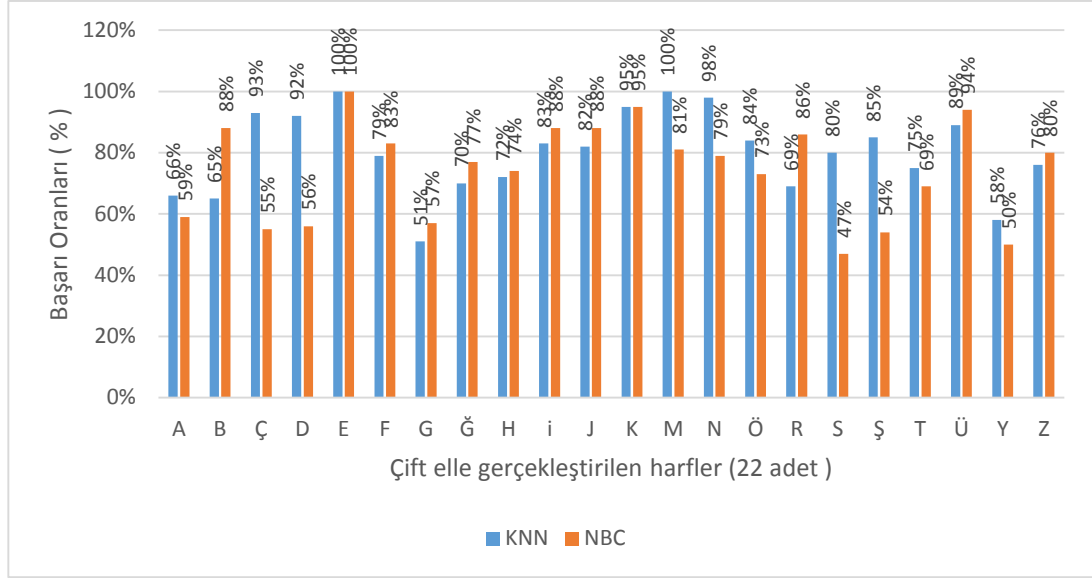
Şekil 7.6. Tek elle gerçekleştirilen harfler için 18 özellik çıkarımı kullanan uygulama (3.Uygulama).

Bu üçüncü uygulamanın sonunda gerek çift gerekse tek el kullanılarak gerçekleştirilen toplam 29 harf için en yüksek sınıflandırma oranı %96 ile K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı (KNN) metodu ile elde edilmiştir. Uygulamada diğer kullanılan Naive Bayes sınıflandırıcısı metodu ile 29 harf için %93 oranında başarı sağlamıştır.

Hazırlanan dördüncü uygulamada belirlenen özellik çıkarımları kullanılarak işaret örneklerinin tanınması sağlanmıştır. Çift el kullanılarak hazırlanan özellik sayısı 19 olarak belirlenmiştir. Tek el kullanılarak hazırlanan özellik sayısı 11 olarak belirlenmiştir. Bu uygulamanın başarısını sınamak için Öklid uzaklığı kullanan K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı ile Türk İşaret Dili'ne ait çift el kullanılarak gerçekleştirilen 22 harf için %80 oranında başarımlar elde edilmiştir. K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı yönteminin başarımlar oranı Çizelge 7.7'de sunulmuştur. Toplamda oluşturulan 2.200 test veri küme seti içerisinde sadece 438 test verisi yanlış tanınmıştır. Benzer şekilde uygulamanın başarısını sınamak için Naive Bayes sınıflandırıcısı ile Türk İşaret Dili'ne ait çift el kullanılarak gerçekleştirilen 22 harf için %74 oranında başarımlar elde edilmiştir. Naive Bayes sınıflandırıcısı yönteminin başarımlar oranı Çizelge 7.7'de sunulmuştur. Toplamda oluşturulan 2.200 test veri küme seti içerisinde sadece 567 test verisi yanlış tanınmıştır. Bu uygulamada en iyi sınıflandırıcı metodu doğruluk oranının bulunmasına yönelik hazırlanan veri seti aynen kullanılmıştır. Yaptığımız bu çalışma neticesinde çift el kullanılarak gerçekleştirilen harfler için K-En Yakın Komşu sınıflandırıcı metodunun Naive Bayes sınıflandırıcısı metoduna göre daha başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Şekil 7.7'de çift elle gerçekleştirilen harfler için 19 özellik çıkarımı kullanan uygulamanın K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı ve Naive Bayes sınıflandırıcısı yöntemleri kullanılarak elde edilen sonuçlar grafiksel olarak gösterilmiştir.

Çizelge 7.7. Çift elle gerçekleştirilen harfler için 19 özellik çıkarımı kullanan uygulama (4.Uygulama).

	Yapılan Harf Sayısı	K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı				Naive Bayes sınıflandırıcısı			
		Doğru Sayısı	Boş Sayısı	Yanlış Sayısı	Başarı Yüzdesi	Doğru Sayısı	Boş Sayısı	Yanlış Sayısı	Başarı Yüzdesi
A	100	66	0	34	66%	59	0	41	59%
B	100	65	0	35	65%	88	0	12	88%
Ç	100	93	0	7	93%	55	0	45	55%
D	100	92	0	8	92%	56	0	44	56%
E	100	100	0	0	100%	100	0	0	100%
F	100	79	0	21	79%	83	0	17	83%
G	100	51	0	49	51%	57	0	43	57%
Ğ	100	70	0	30	70%	77	0	23	77%
H	100	72	0	28	72%	74	0	26	74%
i	100	83	0	17	83%	88	0	12	88%
J	100	82	0	18	82%	88	0	12	88%
K	100	95	0	5	95%	95	0	5	95%
M	100	100	0	0	100%	81	0	19	81%
N	100	98	0	2	98%	79	0	21	79%
Ö	100	84	0	16	84%	73	0	27	73%
R	100	69	0	31	69%	86	0	14	86%
S	100	80	0	20	80%	47	0	53	47%
Ş	100	85	0	15	85%	54	0	46	54%
T	100	75	0	25	75%	69	0	31	69%
Ü	100	89	0	11	89%	94	0	6	94%
Y	100	58	0	42	58%	50	0	50	50%
Z	100	76	0	24	76%	80	0	20	80%

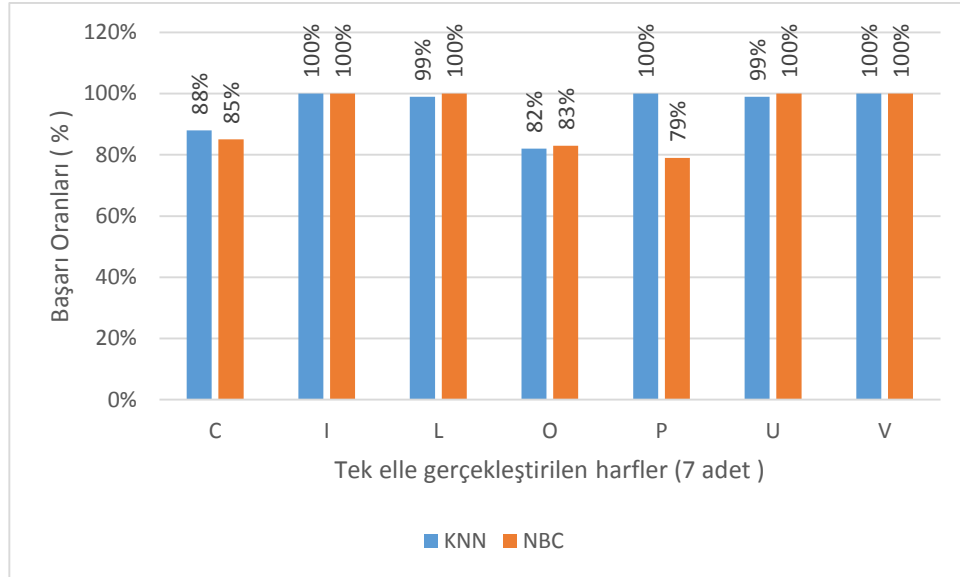


Şekil 7.7. Çift elle gerçekleştirilen harfler için 19 özellik çıkarımı kullanan uygulama (4.Uygulama).

Dördüncü uygulamanın bu aşamasında ise Türk İşaret Dili'ne ait tek el kullanılarak gerçekleştirilen harfler için aynı veri seti kullanılmıştır. Uygulamanın başarısını sınamak için Öklid uzaklığı kullanan K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı ile Türk İşaret Dili'ne ait tek el kullanılarak gerçekleştirilen 7 harf için %95 oranında başarı elde edilmiştir. K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı yönteminin başarı oranı Çizelge 7.8'de sunulmuştur. Toplamda oluşturulan 700 test veri küme seti içerisinde sadece 32 test verisi yanlış tanınmıştır. Benzer şekilde uygulamanın başarısını sınamak için Naive Bayes sınıflandırıcısı ile Türk İşaret Dili'ne ait tek el kullanılarak gerçekleştirilen 7 harf için %92 oranında başarı elde edilmiştir. Naive Bayes sınıflandırıcısı yönteminin başarı oranı Çizelge 7.8'de sunulmuştur. Toplamda oluşturulan 700 test veri küme seti içerisinde sadece 53 test verisi yanlış tanınmıştır. Uygulamanın bu aşamasında da en iyi sınıflandırıcı metodu doğruluk oranının bulunmasına yönelik hazırlanan veri seti aynen kullanılmıştır. Yaptığımız bu çalışma neticesinde tek el kullanılarak gerçekleştirilen harfler için K-En Yakın Komşu sınıflandırıcı metodunun Naive Bayes sınıflandırıcısı metoduna göre daha başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Şekil 7.8'de tek elle gerçekleştirilen harfler için 11 özellik çıkarımı kullanan uygulamanın K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı ve Naive Bayes sınıflandırıcısı yöntemleri kullanılarak elde edilen sonuçlar grafiksel olarak gösterilmiştir.

Çizelge 7.8. Tek elle gerçekleştirilen harfler için 11 özellik çıkarımı kullanan uygulama (4.Uygulama).

	Yapılan Harf Sayısı	K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı				Naive Bayes sınıflandırıcısı			
		Doğru Sayısı	Boş Sayısı	Yanlış Sayısı	Başarı Yüzdesi	Doğru Sayısı	Boş Sayısı	Yanlış Sayısı	Başarı Yüzdesi
C	100	88	0	12	88%	85	0	15	85%
I	100	100	0	0	100%	100	0	0	100%
L	100	99	0	1	99%	100	0	0	100%
O	100	82	0	18	82%	83	0	17	83%
P	100	100	0	0	100%	79	0	21	79%
U	100	99	0	1	99%	100	0	0	100%
V	100	100	0	0	100%	100	0	0	100%



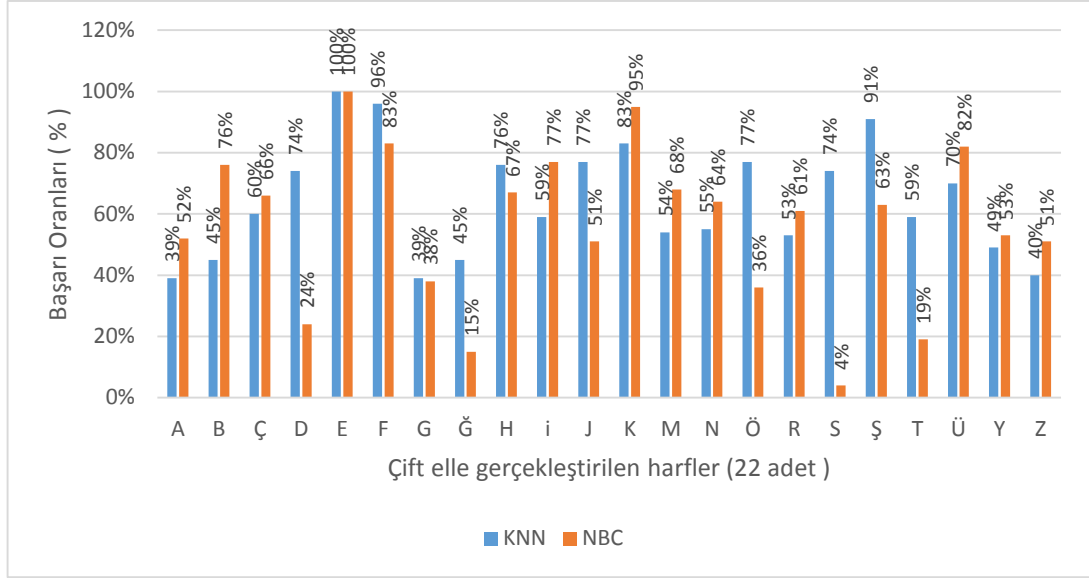
Şekil 7.8. Tek elle gerçekleştirilen harfler için 11 özellik çıkarımı kullanan uygulama (4.Uygulama).

Bu dördüncü uygulamanın sonunda gerek çift gerekse tek el kullanılarak gerçekleştirilen toplam 29 harf için en yüksek sınıflandırma oranı %84 ile K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı (KNN) metodu ile elde edilmiştir. Uygulamada diğer kullanılan Naive Bayes sınıflandırıcısı metodu ile 29 harf için %79 oranında başarı sağlamıştır.

Hazırlanan beşinci uygulamada belirlenen özellik çıkarımları kullanılarak işaret örneklerinin tanınması sağlanmıştır. Çift el kullanılarak hazırlanan özellik sayısı 16 olarak belirlenmiştir. Tek el kullanılarak hazırlanan özellik sayısı 8 olarak belirlenmiştir. Bu uygulamanın başarısını sınamak için Öklid uzaklığı kullanan K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı ile Türk İşaret Dili'ne ait çift el kullanılarak gerçekleştirilen 22 harf için %64 oranında başarımlar elde edilmiştir. K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı yönteminin başarımlar oranı Çizelge 7.9'de sunulmuştur. Toplamda oluşturulan 2200 test veri küme seti içerisinde sadece 785 test verisi yanlış tanınmıştır. Benzer şekilde uygulamanın başarısını sınamak için Naive Bayes sınıflandırıcısı ile Türk İşaret Dili'ne ait çift el kullanılarak gerçekleştirilen 22 harf için %57 oranında başarımlar elde edilmiştir. Naive Bayes sınıflandırıcısı yönteminin başarımlar oranı Çizelge 7.9'de sunulmuştur. Toplamda oluşturulan 2200 test veri küme seti içerisinde sadece 955 test verisi yanlış tanınmıştır. Bu uygulamada en iyi sınıflandırıcı metodu doğruluk oranının bulunmasına yönelik hazırlanan veri seti aynen kullanılmıştır. Yaptığımız bu çalışma neticesinde çift el kullanılarak gerçekleştirilen harfler için K-En Yakın Komşu sınıflandırıcı metodunun Naive Bayes sınıflandırıcısı metoduna göre daha başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Şekil 7.9'de çift elle gerçekleştirilen harfler için 16 özellik çıkarımı kullanan uygulamanın K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı ve Naive Bayes sınıflandırıcısı yöntemleri kullanılarak elde edilen sonuçlar grafiksel olarak gösterilmiştir.

Çizelge 7.9. Çift elle gerçekleştirilen harfler için 16 özellik çıkarımı kullanan uygulama (5.Uygulama).

	Yapılan Harf Sayısı	K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı				Naive Bayes sınıflandırıcısı			
		Doğru Sayısı	Boş Sayısı	Yanlış Sayısı	Başarı Yüzdesi	Doğru Sayısı	Boş Sayısı	Yanlış Sayısı	Başarı Yüzdesi
A	100	39	0	61	39%	52	0	48	52%
B	100	45	0	55	45%	76	0	24	76%
Ç	100	60	0	40	60%	66	0	34	66%
D	100	74	0	26	74%	24	0	76	24%
E	100	100	0	0	100%	100	0	0	100%
F	100	96	0	4	96%	83	0	17	83%
G	100	39	0	61	39%	38	0	62	38%
Ğ	100	45	0	55	45%	15	0	85	15%
H	100	76	0	24	76%	67	0	33	67%
i	100	59	0	41	59%	77	0	23	77%
J	100	77	0	23	77%	51	0	49	51%
K	100	83	0	17	83%	95	0	5	95%
M	100	54	0	46	54%	68	0	32	68%
N	100	55	0	45	55%	64	0	36	64%
Ö	100	77	0	23	77%	36	0	64	36%
R	100	53	0	47	53%	61	0	39	61%
S	100	74	0	26	74%	4	0	96	4%
Ş	100	91	0	9	91%	63	0	37	63%
T	100	59	0	41	59%	19	0	81	19%
Ü	100	70	0	30	70%	82	0	18	82%
Y	100	49	0	51	49%	53	0	47	53%
Z	100	40	0	60	40%	51	0	49	51%

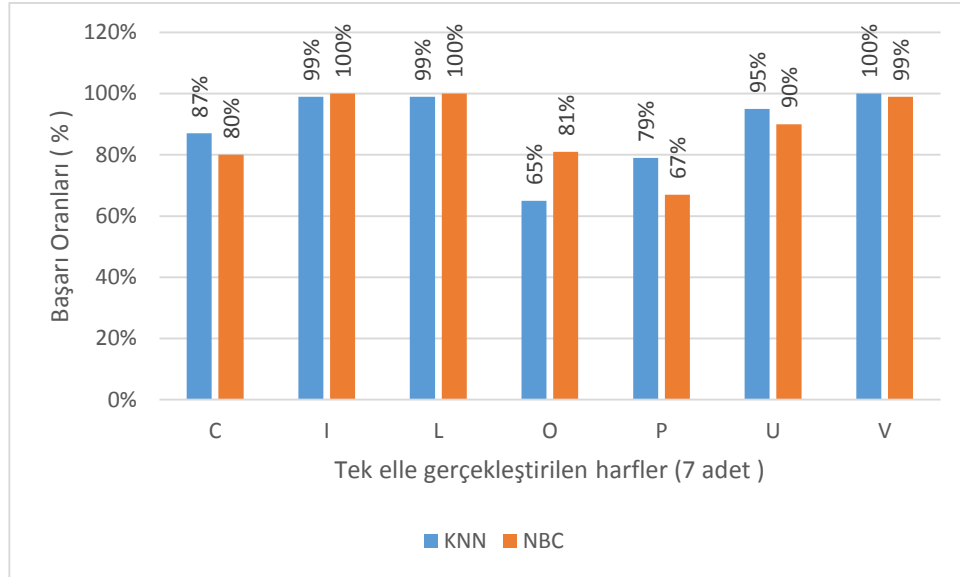


Şekil 7.9. Çift elle gerçekleştirilen harfler için 16 özellik çıkarımı kullanan uygulama (5.Uygulama).

Beşinci uygulamanın bu aşamasında ise Türk İşaret Dili'ne ait tek el kullanılarak gerçekleştirilen harfler için aynı veri seti kullanılmıştır. Uygulamanın başarısını sınamak için Öklid uzaklığı kullanan K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı ile Türk İşaret Dili'ne ait tek el kullanılarak gerçekleştirilen 7 harf için %89 oranında başarımler elde edilmiştir. K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı yönteminin başarımler oranı Çizelge 7.10'de sunulmuştur. Toplamda oluşturulan 700 test veri küme seti içerisinde sadece 76 test verisi yanlış tanınmıştır. Benzer şekilde uygulamanın başarısını sınamak için Naive Bayes sınıflandırıcısı ile Türk İşaret Dili'ne ait tek el kullanılarak gerçekleştirilen 7 harf için %88 oranında başarımler elde edilmiştir. Naive Bayes sınıflandırıcısı yönteminin başarımler oranı Çizelge 7.10'de sunulmuştur. Toplamda oluşturulan 700 test veri küme seti içerisinde sadece 83 test verisi yanlış tanınmıştır. Uygulamanın bu aşamasında da en iyi sınıflandırıcı metodu doğruluk oranının bulunmasına yönelik hazırlanan veri seti aynen kullanılmıştır. Yaptığımız bu çalışma neticesinde tek el kullanılarak gerçekleştirilen harfler için K-En Yakın Komşu sınıflandırıcı metodunun Naive Bayes sınıflandırıcısı metoduna göre daha başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Şekil 7.10'de tek elle gerçekleştirilen harfler için 8 özellik çıkarımı kullanan uygulamanın K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı ve Naive Bayes sınıflandırıcısı yöntemleri kullanılarak elde edilen sonuçlar grafiksel olarak gösterilmiştir.

Çizelge 7.10. Tek elle gerçekleştirilen harfler için 8 özellik çıkarımı kullanan uygulama (5.Uygulama).

	Yapılan Harf Sayısı	K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı				Naive Bayes sınıflandırıcısı			
		Doğru Sayısı	Boş Sayısı	Yanlış Sayısı	Başarı Yüzdesi	Doğru Sayısı	Boş Sayısı	Yanlış Sayısı	Başarı Yüzdesi
C	100	87	0	13	87%	80	0	20	80%
I	100	99	0	1	99%	100	0	0	100%
L	100	99	0	1	99%	100	0	0	100%
O	100	65	0	35	65%	81	0	19	81%
P	100	79	0	21	79%	67	0	33	67%
U	100	95	0	5	95%	90	0	10	90%
V	100	100	0	0	100%	99	0	1	99%



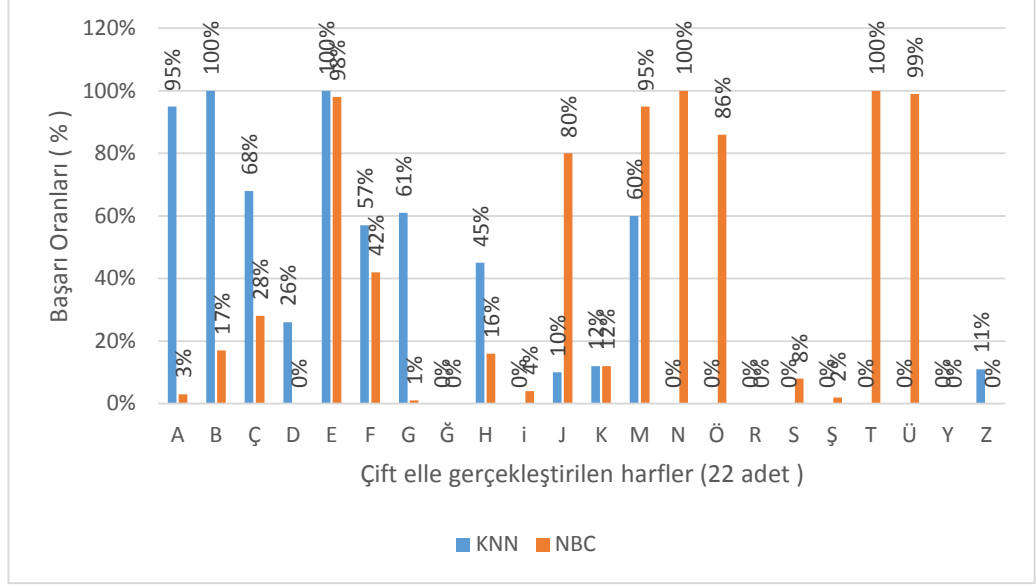
Şekil 7.10. Tek elle gerçekleştirilen harfler için 8 özellik çıkarımı kullanan uygulama (5.Uygulama).

Bu beşinci uygulamanın sonunda gerek çift gerekse tek el kullanılarak gerçekleştirilen toplam 29 harf için en yüksek sınıflandırma oranı %70 ile K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı (KNN) metodu ile elde edilmiştir. Uygulamada diğer kullanılan Naive Bayes sınıflandırıcısı metodu ile 29 harf için %64 oranında başarı sağlamıştır.

Hazırlanan son uygulamada belirlenen özellik çıkarımları kullanılarak işaret örneklerinin tanınması sağlanmıştır. Çift el kullanılarak hazırlanan özellik sayısı 10 olarak belirlenmiştir. Tek el kullanılarak hazırlanan özellik sayısı 5 olarak belirlenmiştir. Bu uygulamanın başarısını sınamak için Öklid uzaklığı kullanan K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı ile Türk İşaret Dili'ne ait çift el kullanılarak gerçekleştirilen 22 harf için %29 oranında başarımlar elde edilmiştir. K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı yönteminin başarımlar oranı Çizelge 7.11'de sunulmuştur. Toplamda oluşturulan 2200 test veri küme seti içerisinde sadece 1.555 test verisi yanlış tanınmıştır. Benzer şekilde uygulamanın başarısını sınamak için Naive Bayes sınıflandırıcısı ile Türk İşaret Dili'ne ait çift el kullanılarak gerçekleştirilen 22 harf için %36 oranında başarımlar elde edilmiştir. Naive Bayes sınıflandırıcısı yönteminin başarımlar oranı Çizelge 7.11'de sunulmuştur. Toplamda oluşturulan 2200 test veri küme seti içerisinde sadece 1.409 test verisi yanlış tanınmıştır. Bu uygulamada en iyi sınıflandırıcı metodu doğruluk oranının bulunmasına yönelik hazırlanan veri seti aynen kullanılmıştır. Yaptığımız bu çalışma neticesinde çift el kullanılarak gerçekleştirilen harfler için K-En Yakın Komşu sınıflandırıcı metodunun Naive Bayes sınıflandırıcısı metoduna göre daha başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Şekil 7.11'de çift elle gerçekleştirilen harfler için 10 özellik çıkarımı kullanan uygulamanın K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı ve Naive Bayes sınıflandırıcısı yöntemleri kullanılarak elde edilen sonuçlar grafiksel olarak gösterilmiştir.

Çizelge 7.11. Çift elle gerçekleştirilen harfler için 10 özellik çıkarımı kullanan uygulama (6.Uygulama).

	Yapılan Harf Sayısı	K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı				Naive Bayes sınıflandırıcısı			
		Doğru Sayısı	Boş Sayısı	Yanlış Sayısı	Başarı Yüzdesi	Doğru Sayısı	Boş Sayısı	Yanlış Sayısı	Başarı Yüzdesi
A	100	95	0	5	95%	3	0	97	3%
B	100	100	0	0	100%	17	0	83	17%
Ç	100	68	0	32	68%	28	0	72	28%
D	100	26	0	74	26%	0	0	100	0%
E	100	100	0	0	100%	98	0	2	98%
F	100	57	0	43	57%	42	0	58	42%
G	100	61	0	39	61%	1	0	99	1%
Ğ	100	0	0	100	0%	0	0	100	0%
H	100	45	0	55	45%	16	0	84	16%
i	100	0	0	100	0%	4	0	96	4%
J	100	10	0	90	10%	80	0	20	80%
K	100	12	0	88	12%	12	0	88	12%
M	100	60	0	40	60%	95	0	5	95%
N	100	0	0	100	0%	100	0	0	100%
Ö	100	0	0	100	0%	86	0	14	86%
R	100	0	0	100	0%	0	0	100	0%
S	100	0	0	100	0%	8	0	92	8%
Ş	100	0	0	100	0%	2	0	98	2%
T	100	0	0	100	0%	100	0	0	100%
Ü	100	0	0	100	0%	99	0	1	99%
Y	100	0	0	100	0%	0	0	100	0%
Z	100	11	0	89	11%	0	0	100	0%

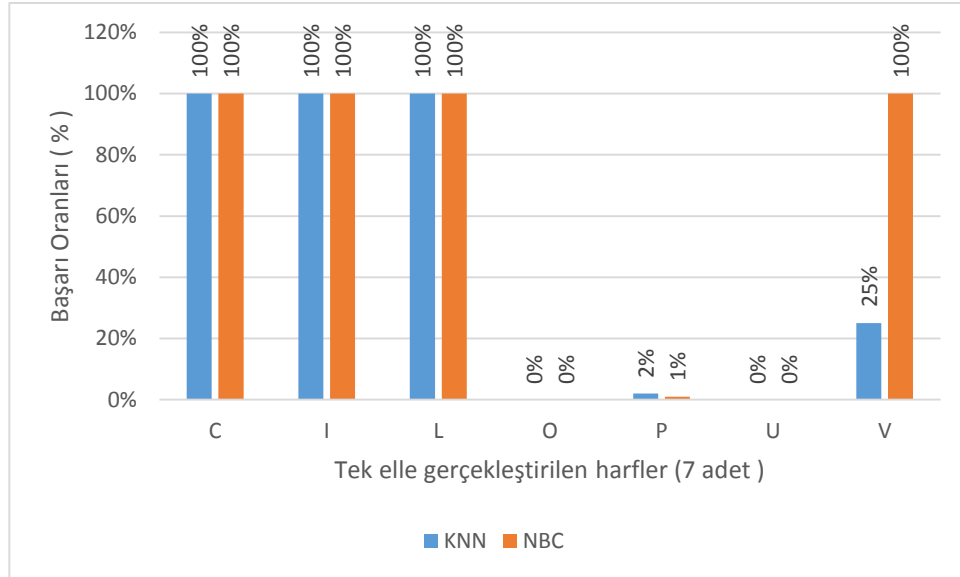


Şekil 7.11. Çift elle gerçekleştirilen harfler için 10 özellik çıkarımı kullanan uygulama (6.Uygulama).

Son uygulamanın bu aşamasında ise Türk İşaret Dili'ne ait tek el kullanılarak gerçekleştirilen harfler için aynı veri seti kullanılmıştır. Uygulamanın başarısını sınamak için Öklid uzaklığı kullanan K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı ile Türk İşaret Dili'ne ait tek el kullanılarak gerçekleştirilen 7 harf için %47 oranında başarı elde edilmiştir. K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı yönteminin başarı oranı Çizelge 7.12'de sunulmuştur. Toplamda oluşturulan 700 test veri küme seti içerisinde sadece 34 test verisi yanlış tanınmıştır. Benzer şekilde uygulamanın başarısını sınamak için Naive Bayes sınıflandırıcısı ile Türk İşaret Dili'ne ait tek el kullanılarak gerçekleştirilen 7 harf için %57 oranında başarı elde edilmiştir. Naive Bayes sınıflandırıcısı yönteminin başarı oranı Çizelge 7.12'de sunulmuştur. Toplamda oluşturulan 700 test veri küme seti içerisinde sadece 41 test verisi yanlış tanınmıştır. Uygulamanın bu aşamasında da en iyi sınıflandırıcı metodu doğruluk oranının bulunmasına yönelik hazırlanan veri seti aynen kullanılmıştır. Yaptığımız bu çalışma neticesinde tek el kullanılarak gerçekleştirilen harfler için K-En Yakın Komşu sınıflandırıcı metodunun Naive Bayes sınıflandırıcısı metoduna göre daha başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Şekil 7.12'de tek elle gerçekleştirilen harfler için 5 özellik çıkarımı kullanan uygulamanın K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı ve Naive Bayes sınıflandırıcısı yöntemleri kullanılarak elde edilen sonuçlar grafiksel olarak gösterilmiştir.

Çizelge 7.12. Tek elle gerçekleştirilen harfler için 5 özellik çıkarımı kullanan uygulama (6.Uygulama).

	Yapılan Harf Sayısı	K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı				Naive Bayes sınıflandırıcısı			
		Doğru Sayısı	Boş Sayısı	Yanlış Sayısı	Başarı Yüzdesi	Doğru Sayısı	Boş Sayısı	Yanlış Sayısı	Başarı Yüzdesi
C	100	100	0	0	100%	100	0	0	100%
I	100	100	0	0	100%	100	0	0	100%
L	100	100	0	0	100%	100	0	0	100%
O	100	0	0	100	0%	0	0	100	0%
P	100	2	0	98	2%	1	0	99	1%
U	100	0	0	100	0%	0	0	100	0%
V	100	25	0	75	25%	100	0	0	100%



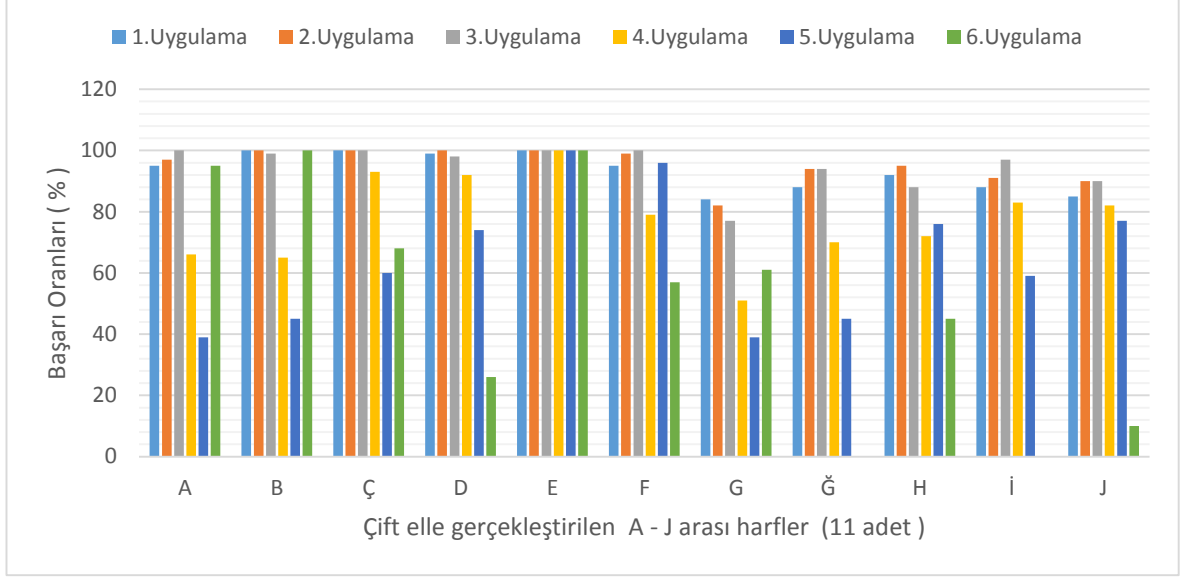
Şekil 7.12. Tek elle gerçekleştirilen harfler için 5 özellik çıkarımı kullanan uygulama (6.Uygulama).

Bu altıncı uygulamanın sonunda gerek çift gerekse tek el kullanılarak gerçekleştirilen toplam 29 harf için en yüksek sınıflandırma oranı %34 ile K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı (KNN) metodu ile elde edilmiştir. Uygulamada diğer kullanılan Naive Bayes sınıflandırıcısı metodu ile 29 harf için %41 oranında başarı sağlamıştır.

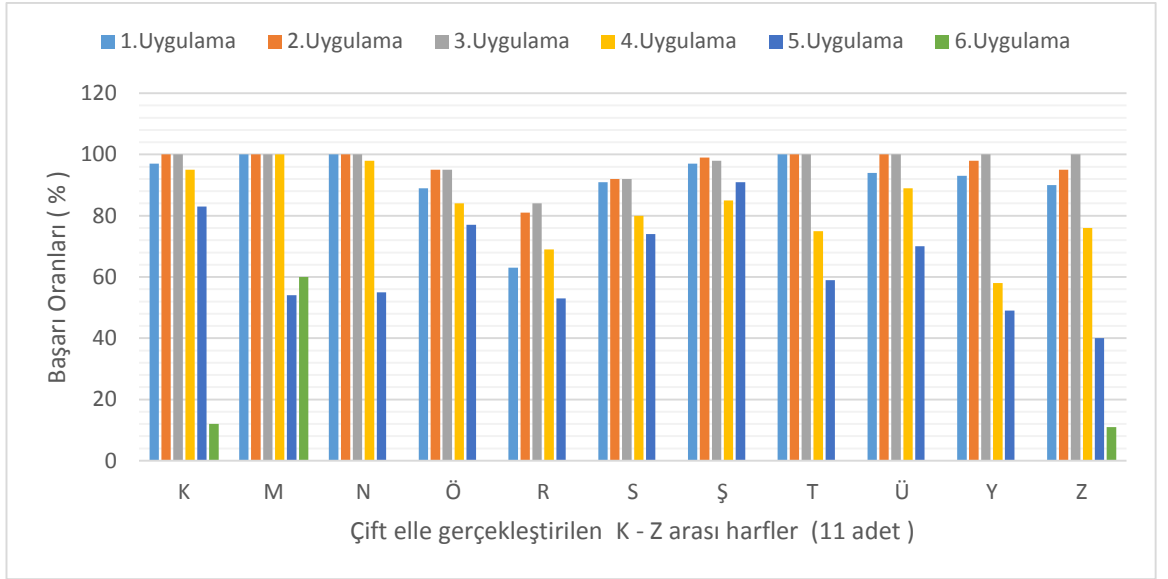
Farklı özellik çıkarımlarının K-En Yakın Komşu sınıflandırıcı ile kullanılarak Türk İşaret Dili'ne ait çift elle gerçekleştirilen her bir harfin uygulamalardaki ortalama başarı oranı Çizelge 7.13'de sunulmuştur. Şekil 7.13-14'de çift elle gerçekleştirilen her bir harfin uygulamalardaki ortalama başarı oranları grafiksel olarak gösterilmiştir.

Çizelge 7.13. KNN kullanılarak çift elle gerçekleştirilen her bir harfin uygulamalardaki ortalama başarı oranı.

K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı						
	1.Uygulama (70 özellik)	2.Uygulama (46 özellik)	3.Uygulama (30 özellik)	4.Uygulama (19 özellik)	5.Uygulama (16 özellik)	6.Uygulama (10 özellik)
A	95	97	100	66	39	95
B	100	100	99	65	45	100
Ç	100	100	100	93	60	68
D	99	100	98	92	74	26
E	100	100	100	100	100	100
F	95	99	100	79	96	57
G	84	82	77	51	39	61
Ğ	88	94	94	70	45	0
H	92	95	88	72	76	45
İ	88	91	97	83	59	0
J	85	90	90	82	77	10
K	97	100	100	95	83	12
M	100	100	100	100	54	60
N	100	100	100	98	55	0
Ö	89	95	95	84	77	0
R	63	81	84	69	53	0
S	91	92	92	80	74	0
Ş	97	99	98	85	91	0
T	100	100	100	75	59	0
Ü	94	100	100	89	70	0
Y	93	98	100	58	49	0
Z	90	95	100	76	40	11



Şekil 7.13. KNN kullanılarak çift elle gerçekleştirilen ilk 11 harfin uygulamalardaki ortalama başarı oranı.

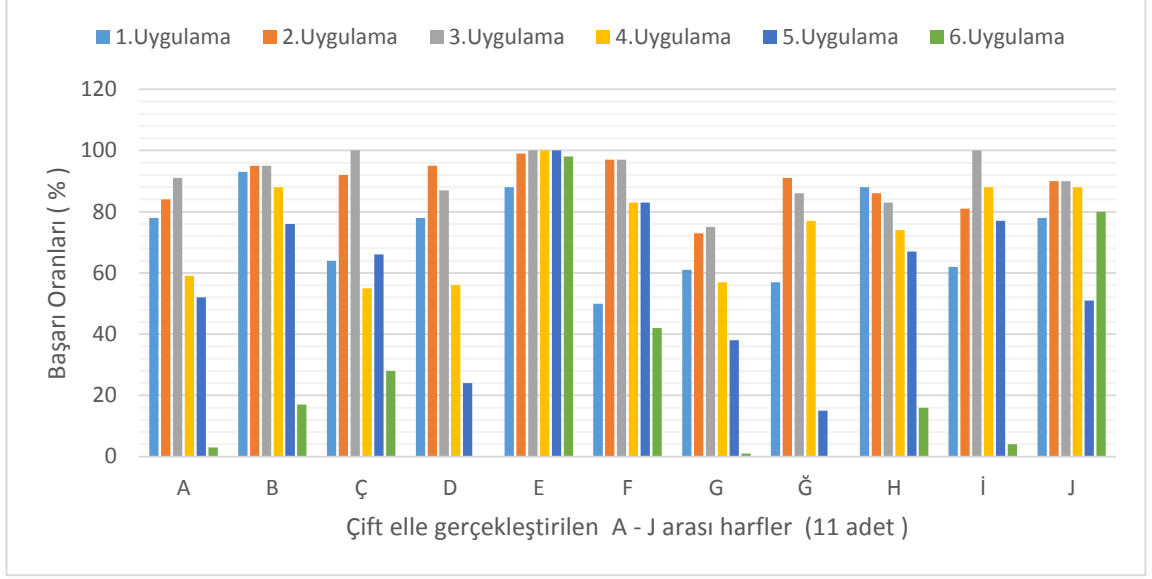


Şekil 7.14. KNN kullanılarak çift elle gerçekleştirilen son 11 harfin uygulamalardaki ortalama başarı oranı.

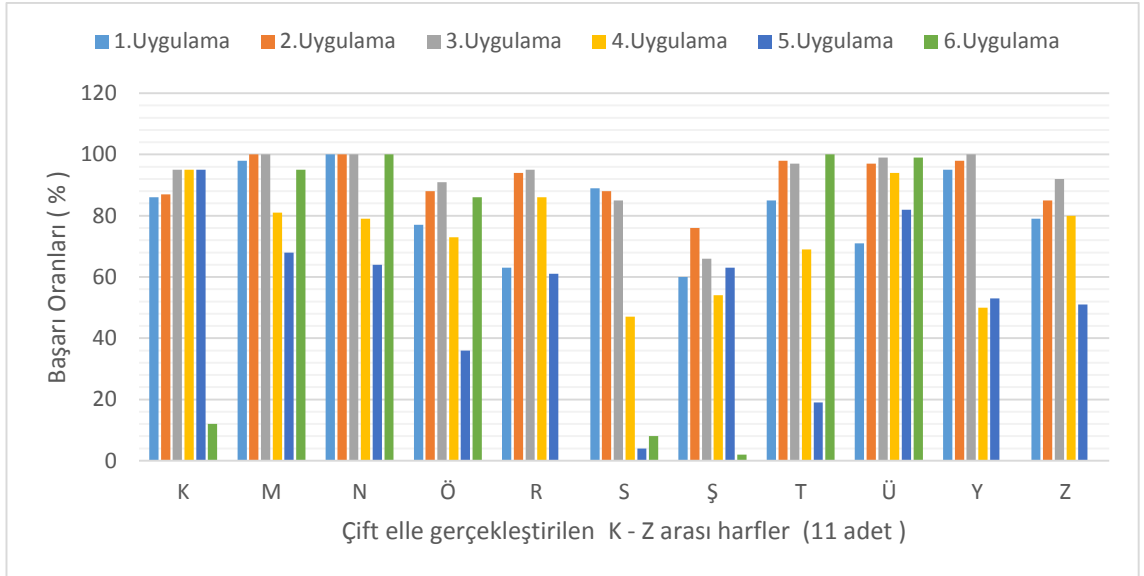
Farklı özellik çıkarımlarının Naive Bayes sınıflandırıcı ile kullanılarak Türk İşaret Dili'ne ait çift elle gerçekleştirilen her bir harfin uygulamalardaki ortalama başarı oranı Çizelge 7.14'de sunulmuştur. Şekil 7.15-16'da çift elle gerçekleştirilen her bir harfin uygulamalardaki ortalama başarı oranları grafiksel olarak gösterilmiştir.

Çizelge 7.14. NBC kullanılarak çift elle gerçekleştirilen her bir harfin uygulamalardaki ortalama başarımları.

Naive Bayes sınıflandırıcısı						
	1.Uygulama (70 özellik)	2.Uygulama (46 özellik)	3.Uygulama (30 özellik)	4.Uygulama (19 özellik)	5.Uygulama (16 özellik)	6.Uygulama (10 özellik)
A	78	84	91	59	52	3
B	93	95	95	88	76	17
Ç	64	92	100	55	66	28
D	78	95	87	56	24	0
E	88	99	100	100	100	98
F	50	97	97	83	83	42
G	61	73	75	57	38	1
Ğ	57	91	86	77	15	0
H	88	86	83	74	67	16
İ	62	81	100	88	77	4
J	78	90	90	88	51	80
K	86	87	95	95	95	12
M	98	100	100	81	68	95
N	100	100	100	79	64	100
Ö	77	88	91	73	36	86
R	63	94	95	86	61	0
S	89	88	85	47	4	8
Ş	60	76	66	54	63	2
T	85	98	97	69	19	100
Ü	71	97	99	94	82	99
Y	95	98	100	50	53	0
Z	79	85	92	80	51	0



Şekil 7.15. NBC kullanılarak çift elle gerçekleştirilen ilk 11 harfin uygulamalardaki ortalama başarı oranı.

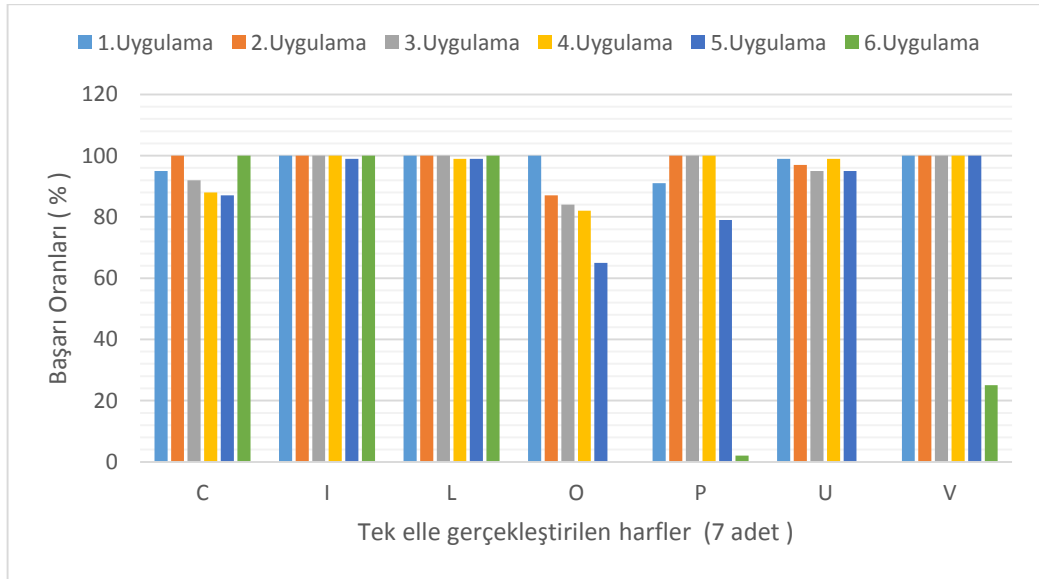


Şekil 7.16. NBC kullanılarak çift elle gerçekleştirilen son 11 harfin uygulamalardaki ortalama başarı oranı.

Farklı özellik çıkarımlarının K-En Yakın Komşu sınıflandırıcı ile kullanılarak Türk İşaret Dili'ne ait tek elle gerçekleştirilen her bir harfin uygulamalardaki ortalama başarı oranı Çizelge 7.15'de sunulmuştur. Şekil 7.17'de tek elle gerçekleştirilen her bir harfin uygulamalardaki ortalama başarı oranları grafiksel olarak gösterilmiştir.

Çizelge 7.15. KNN kullanılarak tek elle gerçekleştirilen her bir harfin uygulamalardaki ortalama başarı oranı.

K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı						
	1.Uygulama (32 özellik)	2.Uygulama (23 özellik)	3.Uygulama (18 özellik)	4.Uygulama (11 özellik)	5.Uygulama (8 özellik)	6.Uygulama (5 özellik)
C	95	100	92	88	87	100
I	100	100	100	100	99	100
L	100	100	100	99	99	100
O	100	87	84	82	65	0
P	91	100	100	100	79	2
U	99	97	95	99	95	0
V	100	100	100	100	100	25

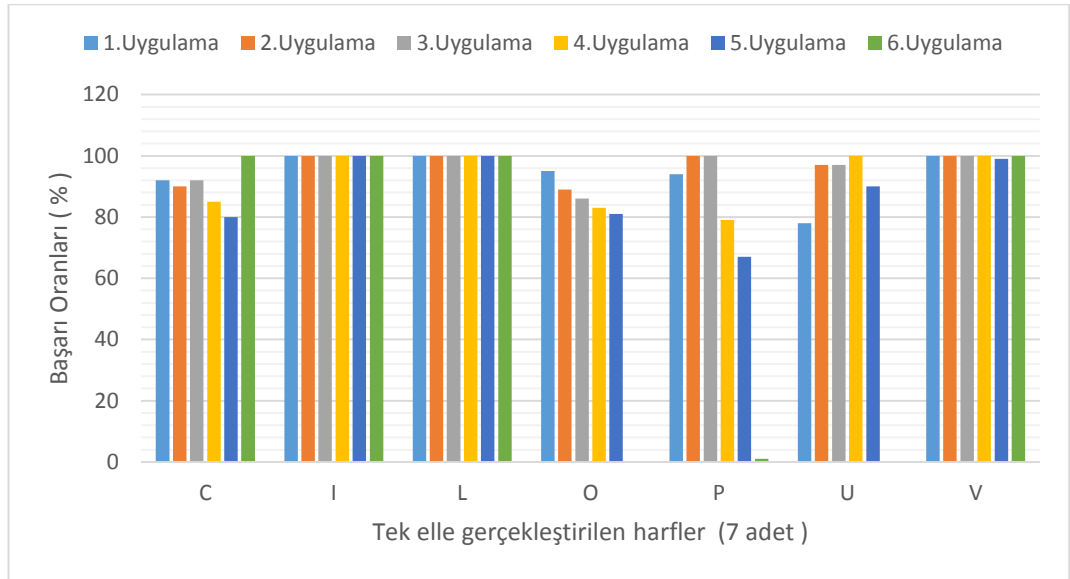


Şekil 7.17. KNN kullanılarak tek elle gerçekleştirilen her bir harfin uygulamalardaki ortalama başarı oranı.

Farklı özellik çıkarımlarının Naive Bayes sınıflandırıcı kullanılarak Türk İşaret Dili'ne ait tek elle gerçekleştirilen her bir harfin uygulamalardaki ortalama başarı oranı Çizelge 7.16'da sunulmuştur. Şekil 7.18'de tek elle gerçekleştirilen her bir harfin uygulamalardaki ortalama başarı oranları grafiksel olarak gösterilmiştir.

Çizelge 7.16. NBC kullanılarak tek elle gerçekleştirilen her bir harfin uygulamalardaki ortalama başarımları.

Naive Bayes sınıflandırıcısı						
	1.Uygulama (32 özellik)	2.Uygulama (23 özellik)	3.Uygulama (18 özellik)	4.Uygulama (11 özellik)	5.Uygulama (8 özellik)	6.Uygulama (5 özellik)
C	92	90	92	85	80	100
I	100	100	100	100	100	100
L	100	100	100	100	100	100
O	95	89	86	83	81	0
P	94	100	100	79	67	1
U	78	97	97	100	90	0
V	100	100	100	100	99	100



Şekil 7.18. NBC kullanılarak çift elle gerçekleştirilen her bir harfin uygulamalardaki ortalama başarımları.

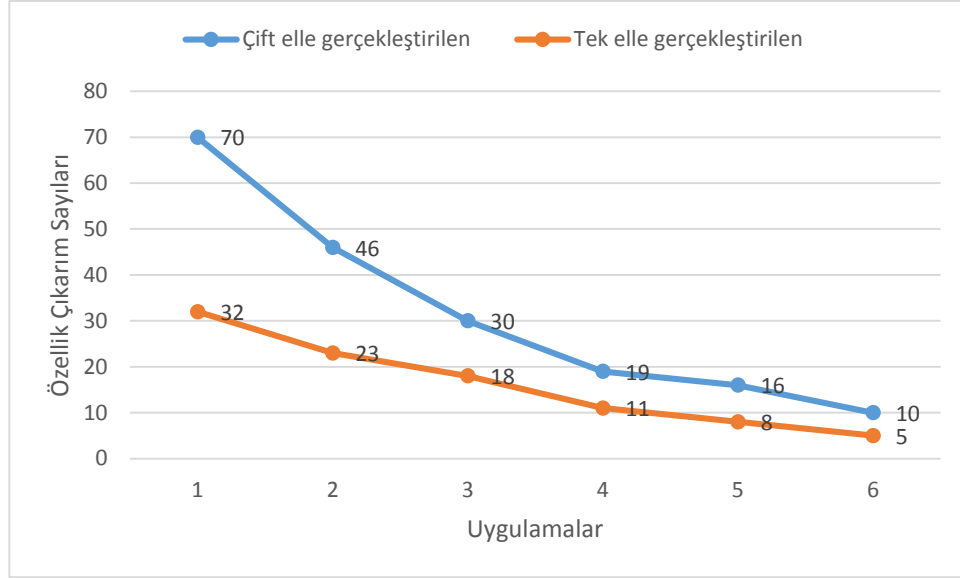
Farklı özellik çıkarımlarının K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı ve Naive Bayes sınıflandırıcısı algoritmaları kullanılarak Türk İşaret Dili'ne ait çift ve tek elle gerçekleştirilen her bir harfin uygulamalardaki ortalama başarımları sunulmuştur. Bu bağlamda optimum ayırt edici özellik çıkarımlarının ve sayısının bulunması

noktasında çift ve tek elle gerçekleştirilen harflerin başarımlar oranları, aşamalı olarak indirilmesi ile oluşturulan ikinci ve üçüncü uygulama kapsamında yükselmiş, diğer dört, beş ve altıncı uygulamalarda ise düşüş eğilimine girmiştir. Bununla birlikte her bir harfin uygulamalardaki başarımlar oranına bakıldığında özellikle son uygulama kapsamında bazı harfler için %100 , yine bazı harfler için ise %0 ve yakın sonuçları elde edilmiştir. Türk İşaret Dili'nde çift ve tek elle gerçekleştirilen harflerin yapılaş ve gösterimlerine bakıldığında benzerlik ve yakınlık çok fazla bulunmasa da, son uygulamada kullanılan tek özellik çıkarım türünün ayırt edici özellik olarak yetersiz kaldığını söyleyebiliriz. Bu açıdan başarımlar oranlarının yüksek tutulması için, uygulamalarda ayırt edici özellik çıkarımlarının ve sayısının sonuçlarda da görüldüğü gibi belirlenen aralık düzeyinde tutulması gerekliliğı görülmektedir.

Harflerin yapılaş durumları dikkate alınarak ve gereksinim görülen her nokta hesaplanarak belirlenen özellik çıkarımlarının kullanılarak hazırlanan birinci uygulama ve aşamalı olarak indirilerek belirlenen özellikler çıkarımlarının kullanılarak hazırlanan diğer uygulamalar kapsamında gerek çift gerekse tek elle gerçekleştirilen harflerin özellik çıkarım sayıları Çizelge 7.17'de sunulmuştur. Şekil 7.19'da Uygulamalarda kullanılan çift ve tek elle gerçekleştirilen harflerin özellik çıkarım sayısı grafiksel olarak gösterilmiştir.

Çizelge 7.17. Uygulamalarda kullanılan çift ve tek elle gerçekleştirilen harflerin özellik çıkarım sayısı.

	Çift el ile gerçekleştirilen harflerin özellik sayısı (22 harf)	Tek el ile gerçekleştirilen harflerin özellik sayısı (7 harf)
1. Uygulama	70	32
2. Uygulama	46	23
3. Uygulama	30	18
4. Uygulama	19	11
5. Uygulama	16	8
6. Uygulama	10	5

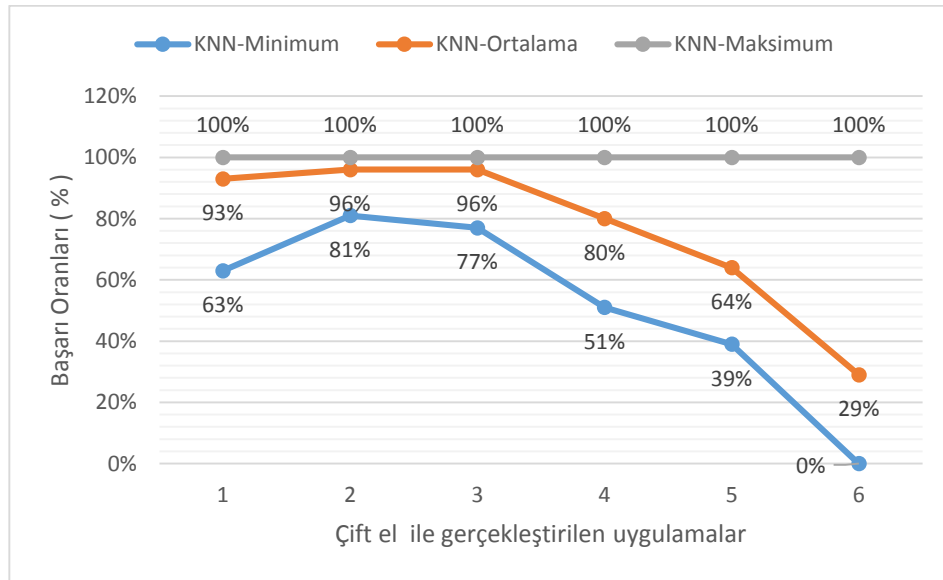


Şekil 7.19. Uygulamalarda kullanılan çift ve tek elle gerçekleştirilen harflerin özellik çıkarım sayısı.

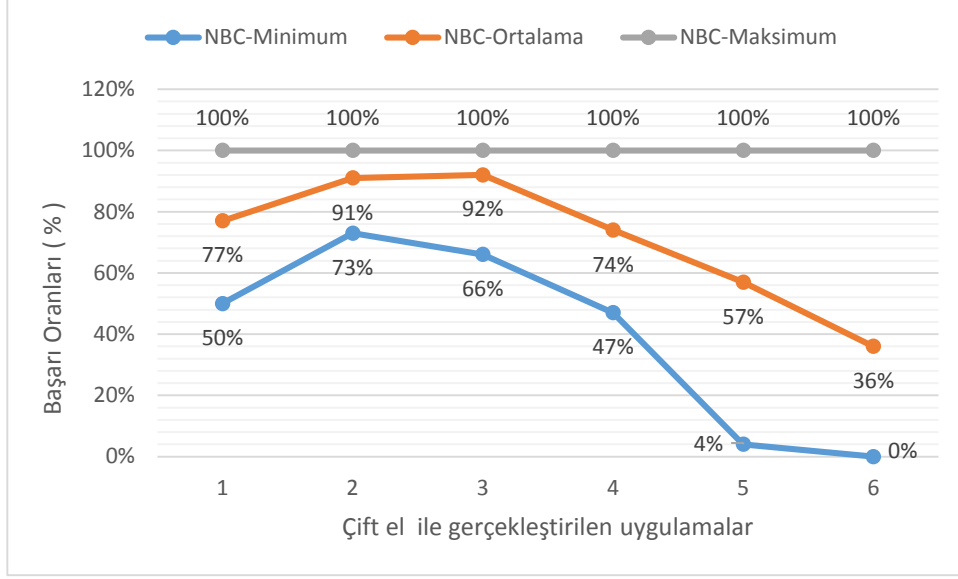
Gereksinim görülerek belirlenen özellik çıkarımlarının aşamalı olarak indirilmesiyle oluşturulan uygulamalar kapsamında, gerek çift gerekse tek elle gerçekleştirilen harfler için K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı ve Naive Bayes sınıflandırıcısı yöntemleri kullanılarak minimum, ortalama ve maksimum başarımları Çizelge 7.18’de sunulmuştur. Şekil 7.20-25’de uygulamalarda farklı özellik çıkarımları kullanılarak çift ve tek elle gerçekleştirilen harfler ve tüm harfler için başarımları grafiksel olarak gösterilmiştir.

Çizelge 7.18. Çift ve tek elle gerçekleştirilen uygulamaların başarımları oranı.

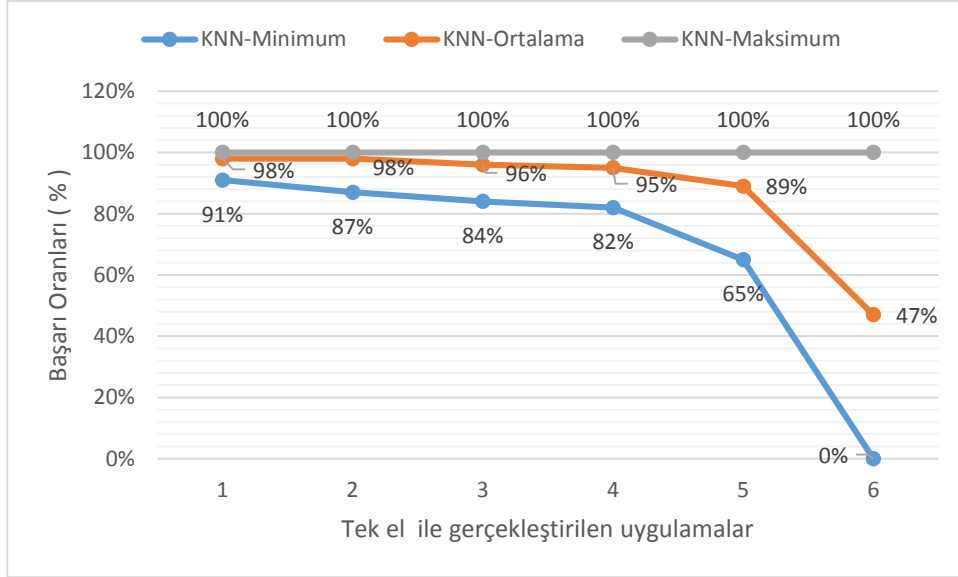
	KNN			NBC			KNN			NBC			KNN			NBC		
	Minimum	Ortalama	Maksimum	Minimum	Ortalama	Maksimum	Minimum	Ortalama	Maksimum	Minimum	Ortalama	Maksimum	Minimum	Ortalama	Maksimum	Minimum	Ortalama	Maksimum
	Çift el ile gerçekleştirilen harfler için minimum, ortalama ve maksimum başarı yüzdesi (%)						Tek el ile gerçekleştirilen harfler için minimum, ortalama ve maksimum başarı yüzdesi (%)						Tüm harfler için minimum, ortalama ve maksimum başarı yüzdesi (%)					
1. Uygulama	63	93	100	50	77	100	91	98	100	78	94	100	63	94	100	50	81	100
2. Uygulama	81	96	100	73	91	100	87	98	100	89	97	100	81	96	100	73	92	100
3. Uygulama	77	96	100	66	92	100	84	96	100	86	96	100	77	96	100	66	93	100
4. Uygulama	51	80	100	47	74	100	82	95	100	79	92	100	51	84	100	47	79	100
5. Uygulama	39	64	100	4	57	100	65	89	100	67	88	100	39	70	100	4	64	100
6. Uygulama	0	29	100	0	36	100	0	47	100	0	57	100	0	34	100	0	41	100



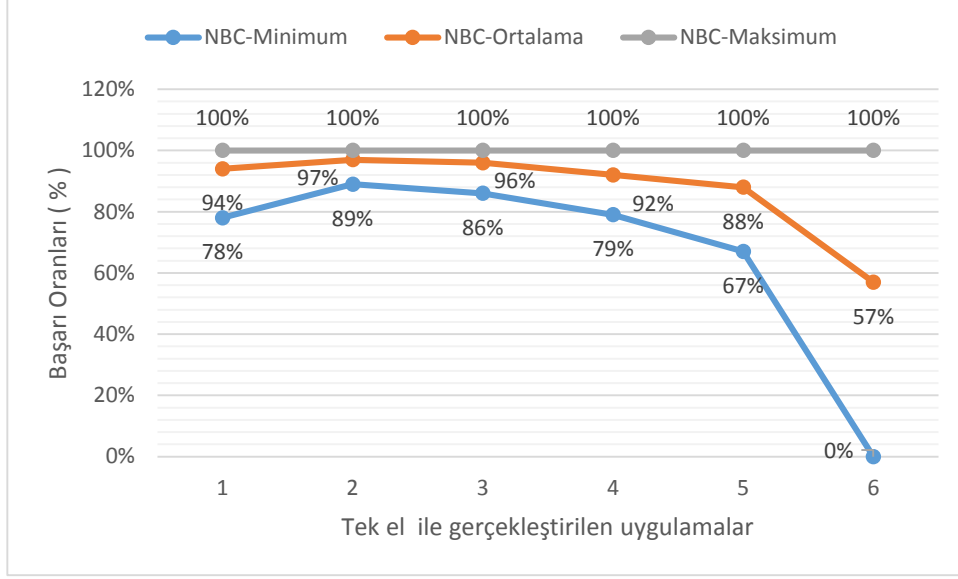
Şekil 7.20. Farklı özellik çıkarımları kullanılarak çift elle gerçekleştirilen uygulamaların başarımları oranı.



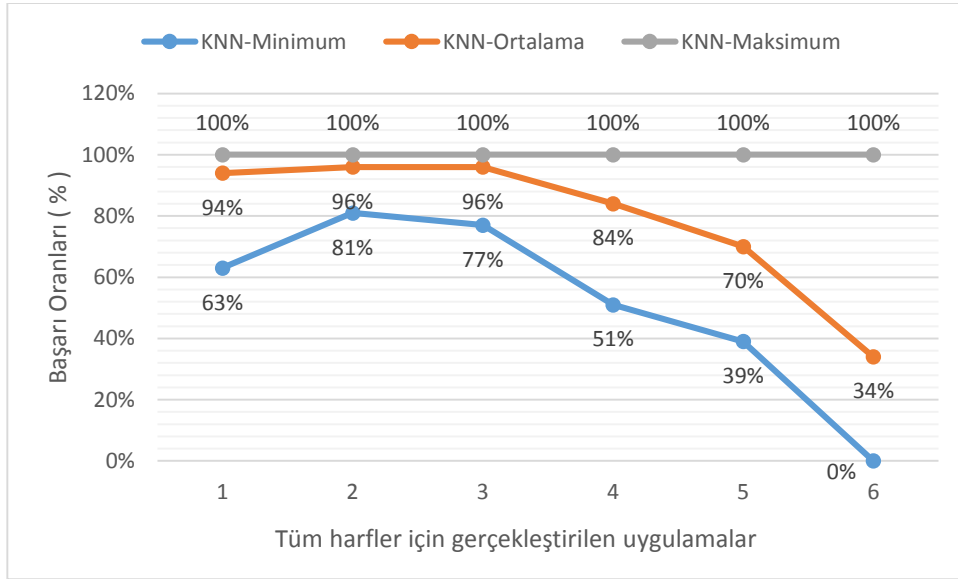
Şekil 7.21. Farklı özellik çıkarımları kullanılarak çift elle gerçekleştirilen uygulamaların başarımları oranı.



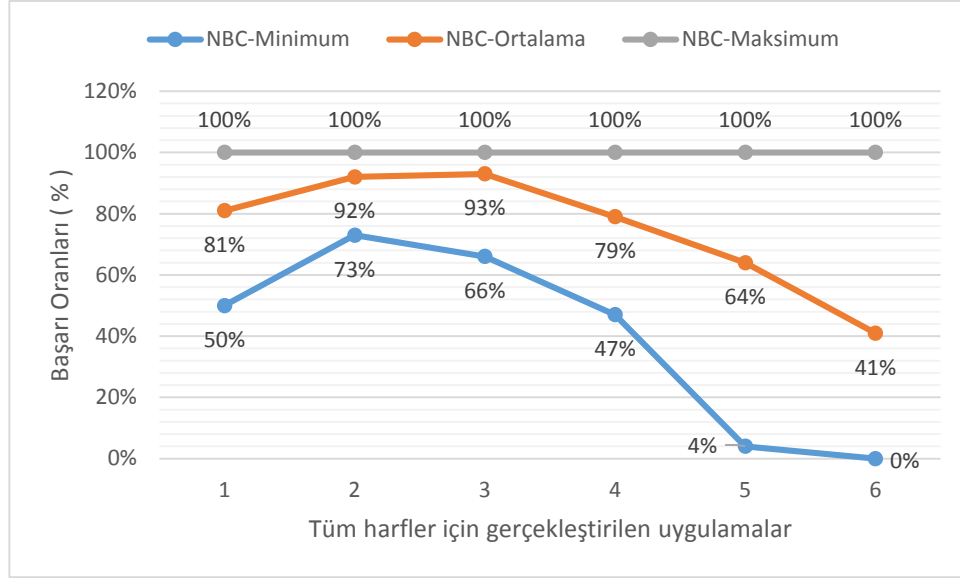
Şekil 7.22. Farklı özellik çıkarımları kullanılarak tek elle gerçekleştirilen uygulamaların başarımları oranı.



Şekil 7.23. Farklı özellik çıkarımları kullanılarak tek elle gerçekleştirilen uygulamaların başarı oranı.



Şekil 7.24. Tüm harfler için gerçekleştirilen uygulamaların başarı oranı.

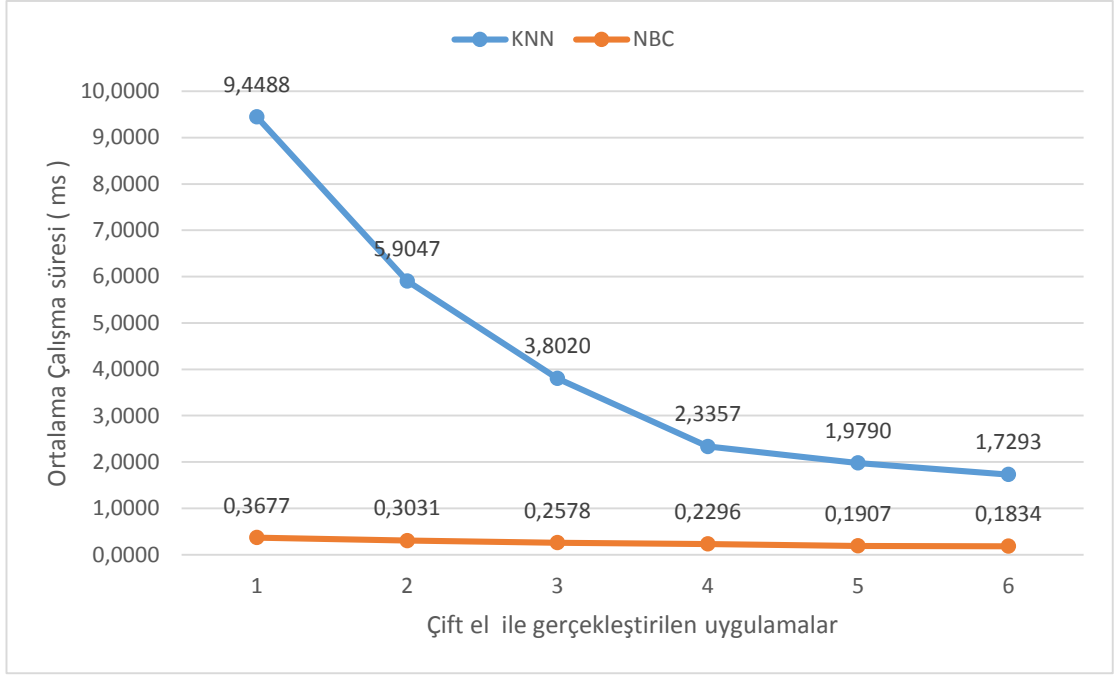


Şekil 7.25. Tüm harfler için gerçekleştirilen uygulamaların başarımları oranı.

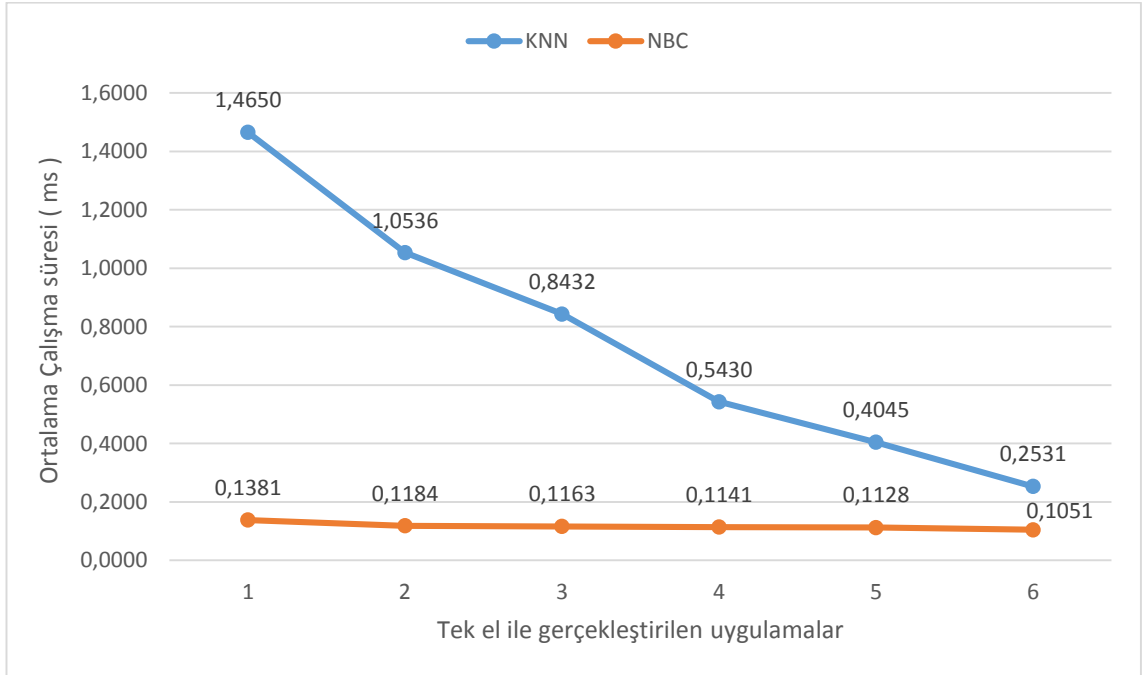
Gereksinim görülerek belirlenen özellik çıkarımlarının aşamalı olarak indirilmesiyle oluşturulan uygulamalar kapsamında, gerek çift gerekse tek elle gerçekleştirilen harfler için K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı ve Naive Bayes sınıflandırıcısı yöntemleri kullanılarak ortalama çalışma süreleri Çizelge 7.19’da sunulmuştur. Şekil 7.26-27’de uygulamalarda farklı özellik çıkarımları kullanılarak çift ve tek elle gerçekleştirilen harfler için ortalama çalışma süresi grafiksel olarak gösterilmiştir.

Çizelge 7.19. Çift ve tek elle gerçekleştirilen uygulamaların ortalama çalışma süresi.

	KNN	NBC	KNN	NBC
	Çift el ile gerçekleştirilen harfler için ortalama çalışma süresi (mili saniye)		Tek el ile gerçekleştirilen harfler için ortalama çalışma süresi (mili saniye)	
1. Uygulama	9,4488	0,3677	1,4650	0,1381
2. Uygulama	5,9047	0,3031	1,0536	0,1184
3. Uygulama	3,8020	0,2578	0,8432	0,1163
4. Uygulama	2,3357	0,2296	0,5430	0,1141
5. Uygulama	1,9790	0,1907	0,4045	0,1128
6. Uygulama	1,7293	0,1834	0,2531	0,1051



Şekil 7.26. Çift elle gerçekleştirilen uygulamaların ortalama çalışma süresi .



Şekil 7.27. Tek elle gerçekleştirilen uygulamaların ortalama çalışma süresi .

BÖLÜM 8

SONUÇ VE ÖNERİLER

Sunulan bu çalışmada özellikle işaret dilini kullanarak hayatını devam ettiren işitme engelli insanların ve bu insanlar ile iletişim kuran kişilerin daha kolay anlaşmaları ve işaret dilini bilmeyen bir kişinin dahi bu dili anlayabilmesi ve iletişim kurabilmesi hedeflenmiştir.

Bu çalışmada Leap Motion adlı yeni bir dijital sensöre dayalı algılayıcı kullanılarak, Türk İşaret Dili (TİD)'ne ait çift ve tek kullanılarak gerçekleştirilen parmak heceleme alfabesi harflerinin tanınması üzerine çalışılmıştır. Çalışma, Türk İşaret Dili'nde bulunan çift elle gerçekleştirilen 22 harf ve tek elle gerçekleştirilen 7 harf için ayrı özellik çıkarımları kullanılarak hazırlanan veri setleri üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Türk İşaret Dili'nde gerçekleştirilen harflerin gerçek zamanlı yapılarındaki çoğunlukla iki el beraberce kullanılmaktadır. Bu aşamada parmakların üst üste gelme ya da iç içe geçme durumları, parmakların konumları, parmakların birbirine ya da farklı noktalara temas etme ya da etmeme durumları ve özellikle parmakların açık kapalı durumları başta olmak üzere hareketlerin algılanmasında zorluklar çıkmaktadır. Bu amaçla Leap Motion cihazı harflerin gerçek zamanlı yapıları esnasında her bir el ve parmaklar için belirlenen özellik çıkarım değerlerinin alınmasında sapmalar, kaymalar oluşmakta ve buna bağlı anlık sabit ve doğru değerler döndürmemektedir. Bununla birlikte Leap Motion cihazının özellikle çift elle gerçekleştirilen harflerin gösterimleri esnasında geçici parmak tıkanıklıkları, veri düzensizlikleri, veri kayıpları ve en önemlisi sistemin kilitlemesi benzeri durumlar ortaya çıkmaktadır.

Harflerin yapıları dikkate alınarak ve gereksinim görülen her nokta hesaplanarak belirlenen özellik çıkarımları kullanılarak hazırlanan ilk uygulama ile birlikte en uygun ve gerekli görülen ayırt edici özellik çıkarımlarının bulunması

noktasında kademeli olarak azaltılarak hazırlanan altı uygulama geliştirilmiştir. Bu amaçla gereksinim görülerek tespit edilen özellik çıkarımları geliştirilen uygulamalar kapsamında aşamalı olarak azaltılarak başarımlar ve performans değerlerinin en iyi düzeyde olması hedeflenmiştir.

Yaklaşımın başarımlarını sınamak amacıyla, K-En Yakın Komşu sınıflandırıcı (KNN) ile Naive Bayes sınıflandırıcı algoritmaları kullanılarak çok yüksek bir doğruluk elde etmek ve karşılaştırma sunmayı hedeflenmiştir. Bu bağlamda ikinci ve üçüncü aralık düzeyde geliştirilen uygulamalar kapsamında belirlenen özellik çıkarımları bağlı olarak K-En Yakın Komşu sınıflandırıcı kullanılarak en yüksek sonuçlar verdiği ve başarılı olduğu ortaya konmuştur. Kullanılan Naive Bayes sınıflandırma algoritmasında ise yakın sonuçlar vermesi yüksek bir doğruluk elde edildiği sonucu oluşmaktadır.

K-En Yakın Komşu algoritması basit yapısına rağmen, bir test örneğinin sınıfını belirlerken öğrenme kümesindeki örneklere olan uzaklıkları tek tek hesaplaması süreci, özellik çıkarım sayısı ve öğrenme kümesi büyüklüğüne bağlı olarak değişmektedir. Buna bağlı uygulamaların özellik çıkarım sayısı ve eğitim veri kümesi sayısına bağlı olarak K-En Yakın Komşu sınıflandırıcı algoritmasının performans değerlerinin doğru orantılı değiştiği söylenebilir. Bunun yanında Naive Bayes sınıflandırma algoritması öğrenme kümesinde bulunan örneklerin ortalama ve standart sapma değerleri önceden bulunması, bir test örneğinin bir sınıfta bulunma olasılığını hesaplayarak bu olasılıkların çarpımları sürecini çok kısaltmaktadır. Bununla birlikte özellik çıkarım sayıları ve eğitim veri kümesi sayısı bu süreci çok fazla değiştirmemektedir. Naive Bayes sınıflandırma algoritmasının çalışma süresi ve performans değerlendirilmesi düzeyinde bakıldığında K-En Yakın Komşu algoritmasına göre yüksek sonuçlar elde edilmiştir.

Leap Motion cihazı ve API yazılımı yeni bir teknoloji olması dolayısıyla, özellikle çift elle gerçekleştirilen harflerin algılanmasında yaşanan kısıtlamalar ve problemler önümüzdeki zaman içerisinde cihazın geliştirilmesiyle daha doğru ve iyi sonuçlar vermesi düşünülmektedir. Türk İşaret Dili'nde tek elle gerçekleştirilen harflerin gösterimlerine bakıldığında yapılış ve geçiş aşamalarında çok fazla benzerlik ve

yakınlıklar olmaktadır. Bu sebeple tek elle gerçekleştirilen harflerin gerçek zamanlı yapılış ve gösterim duruşları dışında geçiş durumları için veri setleri oluşturularak daha doğru ve gerçekçi sonuçlar elde edilebilir. Bu alanda yapılacak çalışmalara yönelik olarak eğitim ve test verileri arttırılarak, sınıflandırma aşamasında kullanılan yöntemlerinin etkinliği daha iyi gözlemlenebilir. Bu çalışmada kullanılan K-En Yakın Komşu ve Naive Bayes sınıflandırma algoritmalarının yanında farklı algoritmalar kullanılarak daha yüksek başarılar elde edilebilir ve sonuçlar kıyaslanabilir.

KAYNAKLAR

1. Murakami, K. ve Taguchi, H., "Gesture Recognition Using Recurrent Neural Networks", *Proceeding of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New Orleans, 237-242 (1991).
2. Saengsri, S., Niennattrakul, V., Ratanamahatana, C.A., "TFRS: Thai Finger-Spelling Sign Language Recognition System", *Digital Information and Communication Technology and its Applications (DICTAP)*, 457-462 (2012).
3. Tangsuksant, W., Adhan, S., Pintavirooj, C., "American Sign Language Recognition by Using 3D Geometric Invariant Feature and ANN Classification", *Biomedical Engineering International Conference (BMEiCON)*, 1-5 (2014).
4. Munib, Q., Habeeb H., Takruri B., Al-Malik H.A., "American Sign Language (ASL) recognition based on Hough transform and neural networks", *Expert Systems with Applications*, 32: 24-37 (2007).
5. Starner, T. ve Pentland, A., "Real-time American Sign Language Recognition from Video using Hidden Markov Models", *Proceedings of International Symposium on Computer Vision*, Coral Gables, 265-270 (1995).
6. Starner, T., Weaver, J. ve Pentland, A., "A Wearable Computer Based American Sign Language Recognizer", *First International Symposium on Wearable Computers*, Cambridge, 130-137 (1997)
7. Silanon, K., Suvonvorn, N., "Finger-spelling recognition system using fuzzy finger shape and hand appearance features", *Digital Information and Communication Technology and its Applications (DICTAP)*, 419-424 (2014).
8. Amin, M.A. ve Yan, H., "Sign Language Finger Alphabet Recognition From Gabor-PCA Representation of Hand Gestures", *International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, Hong Kong, 2218-2223 (2007).
9. Ullah, F., "American Sign Language Recognition System for Hearing Impaired People Using Cartesian Genetic Programming", *Automation, Robotics and Applications (ICARA)*, 96-99 (2014).
10. Porfirio, A.J., Lais Wiggers, K., Oliveira, L.E.S., Weingaertner, D., "LIBRAS Sign Language Hand Configuration Recognition Based on 3D Meshes", *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*, 1588-1593 (2013).

11. Xiaolong Zhu , Wong, K.K.,"Single-Frame Hand Gesture Recognition Using Color and Depth Kernel Descriptors", *Pattern Recognition (ICPR)*, 2989-2992 (2012).
12. Otiniano Rodriguez, K. ,Camara Chavez, G., "Finger Spelling Recognition from RGB-D Information Using Kernel Descriptor",*Graphics Patterns and Images (SIBGRABI)*, 1-7 (2013).
13. S., Chao , Zhang ,T., Bao, K. , Xu. , C., "Latent support vector machine for sign language recognition with Kinect", *Image Processing (ICIP)*, 4190-4194 (2013).
14. Weerasekera, C.S. ,Jaward, M.H. , Kamrani, N., "Robust ASL Fingerspelling Recognition Using Local Binary Patterns And Geometric Features" , *Digital Image Computing: Techniques and Applications (DICTA)*, 1-8 (2013).
15. Rioux-Maldague, L. , Giguere, P., "Sign Language Fingerspelling Classification from Depth and Color Images Using a Deep Belief Network", *Computer and Robot Vision (CRV)*, 92-97 (2014).
16. Haberdar, H., Saklı Markov Model Kullanılarak Görüntüden Gerçek Zamanlı İşaret Dili Tanıma Sistemi, Yüksek Lisans Tezi, *YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2005).
17. Bayrak S. ," İşaret Dilinin Bilgisayarlı Yorumlanması" , Yüksek Lisans Tezi, *KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, (2009).
18. Memis, A. ; Albayrak, S., "Kinect RGB Görüntülerde ve Derinlik Haritalarında Uzam-zamansal Özellikleri Kullanarak Türk İşaret Dili Tanıma, *Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, (2013).
19. Altun, O. ve Albayrak, S., "Turkish Fingerspelling Recognition System Using Generalized Hough Transform, Interest Regions, and Local Descriptors", *Pattern Recognition Letters*, 32 (13):1626-1632 (2011).
20. Altun, O., "İlgi Bölgeleri ve Yerel Tanımlayıcılar ile Genelleştirilmiş Hough Dönüşümü ve En Az Eylemsizlik Eksenli Tabanlı Hızlı Hizalama Yaklaşımı ile Türk İşaret Dili Tanıma Sistemi", Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* , İstanbul, (2010).
21. Goknar, G. ; Yıldırım, T , "Hand Gesture Recognition Using Artificial Neural Networks", *Signal Processing and Communications Applications Conference*, (2005).
22. Isikdogan, F. ve Albayrak, S., "Automatic Recognition of Turkish Fingerspelling", *International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications*, Istanbul, 264-267, (2011).

23. Yakut H. , " İşaret dili harflerinin görüntü işleme yöntemleriyle Tanınması için bir uygulama " ,Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, (2013).
24. Aran, O., “Vision Based Sign Language Recognition: Modelling and Recognizing Isolated Signs with Manual and Non-manual Components”, Doktora Tezi, *Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2008).
25. Nowicki, M, Pilarczyk, o., Wasikowski J., Zjawin,K, "Gesture Recognition library for leap motion Controller", Lisans Tezi, *Poznan University of Technology Faculty of Computing Institute of Computing Science*, Poznan, (2014).
26. Chuan C., Regina E., Guardino C , "American Sign Language Recognition Using Leap Motion Sensor", *13th International Conference on Machine Learning and Applications*, 14 (2): 541-544 (2014).
27. Mohandes, M. , Aliyu, S. ; Deriche, M., "Arabic sign language recognition using the leap motion controller", *IEEE 23rd International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*, 14 (2): 960-965 (2014).
28. Elons, A.S., Ahmed, M. , Shedid, H. , Tolba, M.F., "Arabic Sign Language Recognition Using Leap Motion Sensor", *9th International Conference on Computer Engineering & Systems (ICCES)*, 14 (2): 368-373 (2014).
29. Marin, G. , Dominio, F. , Zanuttigh, P., "Hand gesture recognition with leap motion and kinect devices", *Image Processing (ICIP)*,1565-1569 (2014).
30. Türkoğlu, İ., “Yapay sinir ağları ile nesne tanıma”, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 56-60 (1996).
31. Özkan,H.,” K-Means Kümeleme Ve K-NN Sınıflandırma Algoritmalarının Öğrenci Notları Ve Hastalık Verilerine Uygulanması”, *Bitirme Ödevi*, (2013).
32. Albayrak, S., “Sınıflama ve Kümeleme Yöntemleri”, *Proje Sunumu*, (2007).

ÖZGEÇMİŞ

Zekeriya KATILMIŞ 1978 yılında Kütahya – Tavşanlı’da doğdu. İlkokulu Köprücek Köyü İlkokulu’nda, ortaokulu Tunçbilek Lisesi’nde tamamladı. 1994 yılında Kütahya Endüstri Meslek Lisesi Elektronik Bölümünü bitirdi.1996 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Bilgisayar Öğretmenliği bölümünü kazandı. 2001 yılında Bilgisayar Öğretmeni olarak mezun oldu.2001 yılında Dumlupınar Üniversitesi Tavşanlı Meslek Yüksekokulunda Öğretim Görevlisi olarak göreve başladı ve halen görevine devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Dumlupınar Üniversitesi
Tavşanlı Meslek Yüksekokulu
Tavşanlı / Kütahya

Tel : (505) 871 79 42

E-posta : zekeriya43@gmail.com