

**Kriptarium Ar-Ge Yazılım Danışmanlık**

**Savunma Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti.**

**TİD Tabanlı Akıllı Chatbot Sistemi**

**Gereksinim Analizi Dokümanı**

**Hazırlayan**

**Elif KOÇOĞLU**

**Proje Sorumlusu**

**Fatih ÖZKAYNAK**

**11 Ağustos 2025**

## İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ
   * 1.1 Amaç
   * 1.2 Hedef Kitle
   * 1.3 Doküman Yapısı
2. KAPSAM
   * 2.1 Proje Kapsamı
   * 2.2 Kapsam Dışı Konular
   * 2.3 Varsayımlar ve Kısıtlar
3. TANIMLAR
   * 3.1 Kullanıcı Tanımları
   * 3.2 Teknik Terimler Sözlüğü
4. İŞLEVSEL GEREKSİNİMLER
   * 4.1 Çok Modlu İletişim Gereksinimleri
   * 4.2 İletişim ve Bağlam Yönetimi Gereksinimleri
   * 4.3 Öğrenme ve Eğitim Gereksinimleri
   * 4.4 Hata Yönetimi ve Düzeltme Gereksinimleri
   * 4.5 Sistem Optimizasyon ve Performans Gereksinimleri
   * 4.6 Kişiselleştirme ve Profil Yönetimi Gereksinimleri
   * 4.7 Çoklu Kullanıcı ve Sistem Yönetimi Gereksinimleri
   * 4.8 Gelişmiş Etkileşim Gereksinimleri
5. İŞLEVSEL OLMAYAN GEREKSİNİMLER
   * 5.1 Performans Gereksinimleri
   * 5.2 Güvenlik ve Koruma Gereksinimleri
   * 5.3 Erişilebilirlik ve Kullanılabilirlik Gereksinimleri
   * 5.4 Ölçeklenebilirlik ve Platform Uyumluluğu Gereksinimleri
   * 5.5 Güvenilirlik ve Hata Toleransı Gereksinimleri
6. TEKNOLOJİ BİLEŞENLERİ VE SİSTEM MİMARİSİ
   * 6.1. Temel Teknolojiler
   * 6.2 Sistem Mimarisi
   * 6.3. Kullanıcı Profili Odaklı Tasarım
   * 6.4 İşlevsel Gereksinimlere Uygun Mimari
   * 6.5 İşlevsel Olmayan Gereksinimlere Uygun Mimari
   * 6.6 Veri Yönetimi Ve Bulut Barındırma
7. KAYNAKLAR VE REFERANSLAR
8. EKLER
   * Ek-A Donanım ve Yazılım Gereksinimleri
   * Ek-B İzlenebilirlik ve Test Dokümanları
   * Ek-C Teknik Diyagramlar
   * Ek-D Araştırma ve Karşılaştırma
   * Ek-E Persona Bazlı Kullanım Senaryoları ve Akışlar

# 1. GİRİŞ

## 1.1 Amaç

Bu doküman, TİD Tabanlı Akıllı Chatbot Sistemi'nin teknik gereksinimlerini, sistem mimarisini ve geliştirme sürecine yön verecek detaylı teknik bilgileri içermektedir. Dokümanın temel amacı, proje ekibinin sistem geliştirme sürecinde ortak bir anlayış oluşturmasını sağlamak ve teknik gerçekleştirme sürecine rehberlik etmektir.

Bu çalışmanın temel amacı, Türk İşaret Dili (TİD) ile etkileşim kurarak doğal Türkçe dilde konuşabilen, gerçek zamanlı çeviri yapabilen ve yapay zekâ destekli bir chatbot sistemi geliştirmektir. Proje, işitme engelli bireylerin dijital platformlarda karşılaştıkları iletişim engellerini ortadan kaldırmayı hedeflemekte ve bu doğrultuda kapsayıcı bir teknolojik çözüm sunmayı amaçlamaktadır.

## 1.2 Hedef Kitle

Bu doküman aşağıdaki paydaşlar için hazırlanmıştır:

**Teknik Ekip:**

* Yazılım geliştiricileri (Frontend ve Backend)
* Yapay zekâ/makine öğrenmesi uzmanları
* Sistem mimarları
* DevOps mühendisleri
* Test uzmanları

**Proje Yönetimi:**

* Proje yöneticileri
* Teknik liderler
* İş analisti
* Proje sahipleri (şirket yönetimi)

**Son Kullanıcı Kategorileri:**

* İşitme Engelli Bireyler
* Konuşma Engelli Bireyler
* İşitme ve Konuşma Engelli Bireylerin Aile Üyeleri ve Yakınları
* Eğitim Sektörü Çalışanları
* Sağlık Sektörü Profesyonelleri
* Kamu Sektörü Temsilcileri
* Profesyonel Destek Grupları

## 1.3 Doküman Yapısı

Bu doküman altı ana bölümden oluşmaktadır:

* **Kapsam:** Projenin sınırları, varsayımlar ve kısıtların tanımlandığı bölüm
* **Tanımlar:** Kullanıcı tiplerinin ve teknik terimlerin açıklandığı referans bölümü
* **İşlevsel Gereksinimler:** Sistemin sunması gereken temel fonksiyonların detaylandırıldığı bölüm
* **İşlevsel Olmayan Gereksinimler:** Performans, güvenlik ve kalite özelliklerinin belirlendiği bölüm
* **Teknoloji Bileşenleri:** Sistem mimarisi ve teknoloji seçimlerinin açıklandığı bölüm
* **Ekler:** Destekleyici dokümantasyon ve referansların yer aldığı bölüm

Her bölüm, sistem geliştirme sürecinin farklı aşamalarında referans olarak kullanılmak üzere yapılandırılmıştır.

# 2. KAPSAM

## 2.1 Proje Kapsamı

Bu proje, TİD Tabanlı Akıllı Chatbot Sistemi'nin geliştirilmesi sürecinde aşağıdaki ana bileşenleri kapsamaktadır:

### 2.1.1 Temel Sistem Özellikleri

* **Gelişmiş İşaret Tanıma:** 21 nokta el takibi, yüz ifade tanıma ve 3D hareket analizi
* **Çok Modlu Girdi Sistemi:** TİD işaret dili, yazılı metin ve sesli komut desteği
* **Çok Modlu Çıktı Sistemi:** Metin, sesli yanıt ve işaret dili animasyonu
* **Gerçek Zamanlı Çeviri:** TİD ile Türkçe arasında anlık çeviri
* **İki Dilli Destek:** Türkçe-İngilizce çeviri kapasitesi
* **Bağlamsal Sohbet Takibi:** Ardışık işaretlerin cümle yapısında birleştirilmesi

### 2.1.2 Platform Desteği

* **Web Uygulaması:** Google Chrome, Mozilla Firefox, Microsoft Edge, Safari, Yandex Browser
* **Mobil Uygulamalar:** iOS (iOS 12+) ve Android (Android 8.0+) platformları
* **Masaüstü Uygulaması:** Windows, macOS ve Linux işletim sistemleri

### 2.1.3 Kullanıcı Özellikleri

* Kullanıcı giriş ve kimlik doğrulama sistemi
* Kişiselleştirilmiş profil yönetimi ve öğrenme takibi
* Çoklu kullanıcı desteği ve otomatik geçiş
* İnteraktif TİD eğitim modülü
* Acil durum hızlı yanıt sistemi

### 2.1.4 İleri Teknoloji Özellikleri

* Adaptif gürültü filtreleme ve kalite değerlendirme
* Belirsiz işaret girdi yönetimi ve bağlamsal hata düzeltme
* Çoklu doğrulama sistemi ve güvenlik protokolleri
* Hibrit etkileşim (işaret + sesli komut) desteği
* Gelişmiş analitik ve performans izleme

## 2.2 Kapsam Dışı Konular

### 2.2.1 Dil ve Coğrafi Sınırlamalar

* **Bölgesel TİD Farklılıkları:** İlk aşamada farklı bölgelerin özgün işaret dili varyasyonları desteklenmeyecek
* **Uluslararası İşaret Dilleri:** Amerikan İşaret Dili (ASL), İngiliz İşaret Dili (BSL) ve diğer ülke işaret dilleri
* **Üç veya Daha Fazla Dil Desteği:** Türkçe-İngilizce dışındaki dil çiftleri

### 2.2.2 Teknik Sınırlamalar

* **720p Altı Video Kalitesi:** Düşük çözünürlüklü kameraların desteklenmemesi
* **Offline Çalışma:** İnternet bağlantısı gerektirmeyen tam offline mod
* **Eski Donanım Desteği:** Minimum sistem gereksinimlerini karşılamayan cihazlar

### 2.2.3 Gelişmiş Özellikler (Gelecek Versiyonlar İçin)

* Video konferans entegrasyonu
* Grup sohbeti desteği
* Profesyonel eğitim modülleri
* API entegrasyonu ve üçüncü taraf yazılım desteği

## 2.3 Varsayımlar ve Kısıtlar

### 2.3.1 Teknik Varsayımlar

* **Donanım Gereksinimleri:** Kullanıcıların en az 720p kamera, çift çekirdekli işlemci ve 4GB RAM'e sahip cihazlar kullandığı
* **İnternet Bağlantısı:** Temel fonksiyonlar için minimum 5 Mbps internet hızına erişim
* **Aydınlatma Koşulları:** Yeterli aydınlatma ortamında kullanım (doğal veya yapay ışık)
* **Kamera Konumlandırması:** Kullanıcının kamera karşısında uygun pozisyonda bulunması

### 2.3.2 Kullanıcı Profili Varsayımları

* **Yaş Grubu:** 13 yaş ve üzeri kullanıcı hedef kitlesi
* **TİD Bilgi Seviyesi:** Temel TİD bilgisine sahip kullanıcıların öncelikli hedef grup olması
* **Teknoloji Okuryazarlığı:** Kullanıcıların temel bilgisayar/mobil cihaz kullanım becerisine sahip olması
* **Fiziksel Erişim:** Mobil cihaz veya bilgisayar erişimine sahip kullanıcılar

### 2.3.3 Sistem Performans Kısıtları

* **Yanıt Süresi:** Gerçek zamanlı işaret tanıma için maksimum 2 saniye gecikme
* **Eş Zamanlı Kullanıcı:** Sistem kapasitesine bağlı olarak sınırlı eş zamanlı kullanıcı desteği
* **Veri Güvenliği:** Kişisel verilerin güvenli saklanması ve işlenmesi gereksinimleri
* **Sistem Güncellemeleri:** Periyodik güncelleme ve bakım pencerelerinin olması

### 2.3.4 Yasal ve Düzenleyici Kısıtlar

* **Veri Koruma:** KVKK (Kişisel Verilerin Korunması Kanunu) uyumluluğu
* **Erişilebilirlik Standartları:** WCAG 2.1 AA seviyesi erişilebilirlik standartlarına uyum
* **Güvenlik Protokolleri:** Kişisel sağlık ve eğitim verilerinin korunması gereksinimleri

# 3. TANIMLAR

## 3.1 Kullanıcı Tanımları

### 3.1.1 Primer Kullanıcılar (Doğrudan Faydalanıcılar)

| **Kullanıcı Tipi** | **Tanım** | **Ana İhtiyaçlar** | **Sistem Yetkileri** |
| --- | --- | --- | --- |
| **İşitme Engelli Bireyler** | Bilateral veya unilateral işitme kaybı olan, TİD ile iletişim kuran bireyler (179.867 kişi - Türkiye) | Gerçek zamanlı çeviri, görsel feedback, akademik/iş terminolojisi desteği | Tam erişim, kişisel profil yönetimi, eğitim modülleri, sohbet geçmişi |
| **Konuşma Engelli Bireyler** | Konuşma fonksiyonu kısıtlı olan, düşüncelerini işaret dili ile aktaran bireyler (33.686 kişi - Türkiye) | İşaret dili ile ifade etme, hızlı yanıt sistemi, acil durum desteği | Tam erişim, hibrit etkileşim modu, acil durum hızlı yanıt |

### 3.1.2 Sekonder Kullanıcılar (Aracı Kullanıcılar)

| **Kullanıcı Tipi** | **Tanım** | **Ana İhtiyaçlar** | **Sistem Yetkileri** |
| --- | --- | --- | --- |
| **Eğitim Sektörü Personeli** | Öğretmenler, özel eğitim uzmanları, okul yöneticileri | Sınıf içi iletişim, ders anlatımı desteği, öğrenci değerlendirme | Eğitmen paneli, çoklu öğrenci yönetimi, eğitim terminolojisi, ders planı entegrasyonu |
| **Sağlık Sektörü Personeli** | Doktorlar, hemşireler, acil durum müdahale ekipleri | Hasta iletişimi, tanı süreci, tedavi açıklamaları, acil müdahale | Tıbbi terminoloji erişimi, 7/24 kullanım, hijyenik kontrol, hızlı triaj modu |
| **Kamu Sektörü Personeli** | Belediye memurları, polis, jandarma, mahkeme personeli | Resmi işlem yürütme, hizmet sunma, yasal süreçler | Kurumsal güvenlik, resmi işlem terminolojisi, çoklu vatandaş desteği |

### 3.1.3 Tersiyer Kullanıcılar (Destekleyici Kullanıcılar)

| **Kullanıcı Tipi** | **Tanım** | **Ana İhtiyaçlar** | **Sistem Yetkileri** |
| --- | --- | --- | --- |
| **Aile Üyeleri ve Yakınlar** | İşitme/konuşma engelli bireylerin aile çevresi | Aile içi iletişim, sosyal aktivite desteği, çocuk gelişimi | Aile profili yönetimi, çocuk dostu arayüz, eğitici oyunlar |
| **Profesyonel Destek Grupları** | İşaret dili tercümanları, sosyal hizmet uzmanları | Profesyonel çeviri desteği, sistem optimizasyonu | İleri terminoloji erişimi, analitik raporlar, sistem yönetimi |

### 3.1.4 Sistem Yöneticisi ve Teknik Roller

| **Kullanıcı Tipi** | **Tanım** | **Ana İhtiyaçlar** | **Sistem Yetkileri** |
| --- | --- | --- | --- |
| **Sistem Yöneticisi** | Teknik altyapı ve kullanıcı yönetimi sorumlusu | Sistem performansı, güvenlik, kullanıcı desteği | Tam yönetici erişimi, analitik dashboard, sistem konfigürasyonu |
| **İçerik Yöneticisi** | TİD veritabanı ve eğitim materyali sorumlusu | İşaret veritabanı güncellemesi, eğitim içeriği | İçerik düzenleme, sözlük yönetimi, kalite kontrol |

## 3.2 Teknik Terimler Sözlüğü

**3.2.1 Lingustik ve İşaret Dili Tanıma Terimleri**

| **Terim** | **Türkçe Karşılığı** | **Açıklama** |
| --- | --- | --- |
| TİD | Türk İşaret Dili | Türkiye'de işitme engelliler tarafından kullanılan görsel-mekânsal dil |
|  |  |  |
| ASL (American Sign Language) | Amerikan İşaret Dili | Karşılaştırma referansı |
|  |  |  |
| BSL (British Sign Language) | İngiliz İşaret Dili | Karşılaştırma referansı |
|  |  |  |
| 21 Nokta El Takibi | Yirmi Bir Nokta El İzleme | Elin anatomik yapısındaki 21 kritik noktanın eş zamanlı takibi |
|  |  |  |
| Hand Landmark Detection | 21 Nokta El Takibi Teknolojisi | El pozisyonu ve parmak hareketlerinin tespit edilmesi |
|  |  |  |
| Facial Expression Recognition | Yüz İfadesi Tanıma Teknolojisi | İşaret dili ile birlikte yüz mimiklerinin analizi |
|  |  |  |
| İşaret Dizisi | İşaret Sıralaması | Art arda yapılan işaretlerin birleştirilmesi |
|  |  |  |
| TİD Gramatikal Yapısı | İşaret Dili Dilbilgisi | Türk İşaret Dili'nin kendine özgü cümle kuralları |
|  |  |  |
| Multi-modal Communication | Çok Modlu İletişim | Birden fazla iletişim kanalı |
|  |  |  |
| Bilateral Sensorinöral İşitme Kaybı | İki Kulak İç Kulak İşitme Kaybı | Her iki kulakta iç kulak veya işitme sinirindeki hasardan kaynaklanan işitme kaybı |
|  |  |  |
| Unilateral İşitme Kaybı | Tek Kulak İşitme Kaybı | Tek kulakta meydana gelen işitme kaybı |
|  |  |  |
| Cross-modal Çeviri | Farklı Duyusal Çeviri | Farklı duyusal modaliteler (görsel, işitsel) arasında yapılan çeviri işlemi |

**3.2.2 Yapay Zeka ve Tanıma Teknolojileri**

| **Terim** | **Türkçe Karşılığı** | **Açıklama** |
| --- | --- | --- |
| Güvenilirlik Skoru | Tanıma Güven Puanı | Sistemin işaret tanıma konusundaki kesinlik oranı |
|  |  |  |
| Makine Öğrenmesi | Otomatik Öğrenme | Bilgisayarların deneyimle öğrenmesi |
|  |  |  |
| Computer Vision | Bilgisayarlı Görü | Kamera ile görüntü analizi |
|  |  |  |
| Deep Learning | Derin Öğrenme | Çok katmanlı yapay sinir ağları |
|  |  |  |
| Adaptif Algoritma | Uyarlanabilir Algoritma | Kullanıcıya göre kendini ayarlayan sistem |
|  |  |  |
| Bağlamsal Çıkarım | Bağlam Analizi | Önceki konuşmadan anlam çıkarma |
|  |  |  |
| MediaPipe | Google Çok Modlu Algılama Framework'ü | Gerçek zamanlı el takibi, yüz ifade tanıma için açık kaynak framework |
|  |  |  |
| TensorFlow | Google Makine Öğrenmesi Platformu | Derin öğrenme modelleri ve sinir ağı eğitimi |
|  |  |  |
| OpenCV | Açık Kaynak Bilgisayarlı Görü Kütüphanesi | Görüntü işleme ve bilgisayarlı görü uygulamaları |
|  |  |  |
| CNN (Convolutional Neural Network) | Evrişimli Sinir Ağı | Görüntü tanıma için optimize edilmiş derin öğrenme modeli |
|  |  |  |
| RNN (Recurrent Neural Network) | Tekrarlayan Sinir Ağı | Ardışık işaret hareketlerinin bağlamsal analizi |
|  |  |  |
| LSTM (Long Short-Term Memory) | Uzun Kısa Süreli Bellek | Uzun vadeli bağımlılıkları öğrenebilen özel RNN türü |
|  |  |  |
| Natural Language Processing (NLP) | Doğal Dil İşleme | Metin ve dil verilerini anlama teknolojisi |
|  |  |  |
| Real-time Inferencing | Gerçek Zamanlı Çıkarım | Anlık işaret tanıma ve yanıt üretme |
|  |  |  |
| Differential Privacy | Veri Gizliliği Koruma Tekniği | Kullanıcı verilerinin anonimleştirilmesi |
| Transformers | Derin Öğrenme Mimarisi | Çoklu dil çeviri ve metin işleme |

**3.2.3 Çok Modlu Sistem Terimleri**

| **Terim** | **Türkçe Karşılığı** | **Açıklama** |
| --- | --- | --- |
| Çok Modlu Girdi | Çoklu Giriş Türü | TİD, ses ve metin girişini aynı anda alma |
|  |  |  |
| Çok Modlu Çıktı | Çoklu Çıkış Türü | Metin, ses ve TİD animasyonunu birlikte sunma |
|  |  |  |
| Text-to-Speech | Metinden Sese | Yazılı metni sesli konuşmaya çevirme |
|  |  |  |
| Speech-to-Text | Sesten Metne Dönüştürme | Sesli girdi işleme |
|  |  |  |
| Hibrit Etkileşim | Karma İletişim | Farklı girdi türlerinin aynı anda kullanılması |
|  |  |  |
| Senkronize Çıktı | Eşzamanlı Çıkış | Üç modaliteden aynı anda yanıt verme |
|  |  |  |
| Modal Geçiş | Girdi Türü Değişimi | Ses, metin ve TİD arasında otomatik geçiş |

**3.2.4 Web ve Mobil Geliştirme Teknolojileri**

| **Terim** | **Türkçe Karşılığı** | **Açıklama** |
| --- | --- | --- |
| FastAPI | Yüksek Performanslı Web Framework | Python tabanlı backend API geliştirme |
| Flask | Hafif Web Framework | Python için web uygulaması geliştirme |
| React Native | Çapraz Platform Mobil Framework | iOS ve Android uygulama geliştirme |
| Flutter | Google Mobil Geliştirme Framework'ü | Tek kod tabanıyla mobil uygulama geliştirme |
| WebRTC | Gerçek Zamanlı İletişim Teknolojisi | Tarayıcı tabanlı video akışı |
| PWA (Progressive Web App) | İlerlemeli Web Uygulaması | Çevrimdışı çalışma ve mobil deneyim |
| Responsive Design | Duyarlı Tasarım | Farklı ekran boyutlarına uyarlanabilen tasarım |
| HTML5/CSS3 | Web Yapısı ve Stil Teknolojileri | Kullanıcı arayüzü geliştirme |
| JavaScript | İstemci Tarafı Programlama Dili | Dinamik web arayüzleri |

**3.2.5 Sistem Mimarisi ve Altyapı**

| **Terim** | **Türkçe Karşılığı** | **Açıklama** |
| --- | --- | --- |
| Mikroservis Mimarisi | Küçük Hizmet Mimarisi | Uygulamayı küçük, bağımsız hizmetlere ayırma |
|  |  |  |
| Load Balancing | Yük Dengeleme | Sistem yükünü dağıtma tekniği |
|  |  |  |
| Docker | Konteynerleştirme Teknolojisi | Uygulamaların taşınabilir paketlenmesi |
|  |  |  |
| Kubernetes | Konteyner Orkestrasyon Platformu | Konteyner yönetimi ve ölçeklendirme |
|  |  |  |
| CI/CD Pipeline | Sürekli Entegrasyon/Dağıtım | Otomatik yazılım dağıtımı |
|  |  |  |
| Nginx | Web Sunucusu ve Ters Proxy | Yük dengeleme ve web sunma |
|  |  |  |
| Redis | Bellek Tabanlı Veri Depolama | Önbellekleme ve oturum yönetimi |
| Circuit Breaker Pattern | Hata Toleransı Tasarım Deseni | Sistem güvenilirliği |
|  |  |  |
| Horizontal/Vertical Scaling | Yatay/Dikey Ölçeklendirme | Sistem kapasitesi artırma |
|  |  |  |
| Blue-green Deployment | Sıfır Kesinti Dağıtım | Güvenli sistem güncellemesi |

**3.2.6 Veritabanı ve Veri Yönetimi**

| **Terim** | **Türkçe Karşılığı** | **Açıklama** |
| --- | --- | --- |
| PostgreSQL | İlişkisel Veritabanı Sistemi | Kullanıcı bilgileri ve sistem verileri |
|  |  |  |
| SQLite | Hafif Dosya Tabanlı Veritabanı | Küçük ölçekli veri depolama |
|  |  |  |
| Sharding | Veritabanı Parçalama | Büyük veri setlerinin dağıtılması |
|  |  |  |
| Real-time Replication | Gerçek Zamanlı Veri Çoğaltma | Veri yedekleme ve senkronizasyon |
|  |  |  |
| Point-in-time Recovery | Belirli Zamana Geri Dönük Kurtarma | Veri kaybı durumunda kurtarma |
|  |  |  |
| AWS S3/MinIO | Nesne Depolama Hizmetleri | Büyük dosya ve medya depolama |
|  |  |  |
| Data Corruption | Veri Bozulması | Veri bütünlük kontrolleri |

**3.2.7 Sistem Performans ve Kalite Detay Metrikleri**

| **Terim** | **Türkçe Karşılığı** | **Açıklama** |
| --- | --- | --- |
| Accuracy (Doğruluk Oranı) | Başarı Yüzdesi | Sistemin doğru tanıma yapma yüzdesi (örnek: %95 doğruluk) |
|  |  |  |
| F1 Score | F1 Puanı | Precision ve Recall değerlerinin harmonik ortalaması |
|  |  |  |
| Precision (Kesinlik) | Hassasiyet | Pozitif tahmin edilen örneklerin ne kadarının gerçekten pozitif olduğu |
|  |  |  |
| Recall (Duyarlılık) | Geri Çağırma | Gerçek pozitif örneklerin ne kadarının doğru tahmin edildiği |
|  |  |  |
| Resolution (Çözünürlük) | Görüntü Kalitesi | Görüntü kalitesi ölçüsü (örnek: 720p, 1080p) |
|  |  |  |
| Confidence Score | Güven Puanı | Sistemin tanıma işlemindeki güven seviyesi (0-1 arası) |

**3.2.8 Teknoloji Altyapı Detay Terimleri**

| **Terim** | **Türkçe Karşılığı** | **Açıklama** |
| --- | --- | --- |
| API (Application Programming Interface) | Uygulama Programlama Arayüzü | Farklı yazılım uygulamaları arasında veri alışverişini sağlayan arayüz |
|  |  |  |
| SDK (Software Development Kit) | Yazılım Geliştirme Kiti | Yazılım geliştirme için gerekli araçlar, kütüphaneler ve dokümantasyon paketi |
|  |  |  |
| REST API | RESTful Web Servisi | Web servisleri arasında veri transferi için kullanılan mimari stil |
|  |  |  |
| JSON (JavaScript Object Notation) | JavaScript Nesne Notasyonu | Veri değişimi için kullanılan hafif, metin tabanlı format |
|  |  |  |
| WebSocket | Web Soketi | İstemci ve sunucu arasında çift yönlü, gerçek zamanlı iletişim protokolü |

**3.2.9 Erişilebilirlik Detay Terimleri**

| **Terim** | **Türkçe Karşılığı** | | | **Açıklama** | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Multi-modal Interface | Çok Modlu Arayüz | | | Birden fazla girdi/çıktı modalitesini destekleyen kullanıcı arayüzü | | |
|  | | |  | |  | |
| Adaptive UI | Uyarlanabilir Kullanıcı Arayüzü | | | Kullanıcı ihtiyaçlarına göre kendini ayarlayan kullanıcı arayüzü | | |
|  | |  | | | |  |
| Accessibility (Erişilebilirlik) | Erişilebilirlik | | | Engelli kullanıcılar için sistem kullanılabilirliğini artıran tasarım yaklaşımı | | |

**3.2.10 Proje Yönetimi ve Metodoloji Terimleri**

| **Terim** | **Türkçe Karşılığı** | **Açıklama** |
| --- | --- | --- |
| MVP (Minimum Viable Product) | Minimum Uygulanabilir Ürün | Minimum özelliklere sahip, kullanılabilir ürün versiyonu |
|  |  |  |
| User Story | Kullanıcı Hikayesi | Kullanıcı perspektifinden yazılan özellik tanımı |
|  |  |  |
| Persona | Kullanıcı Profili | Hedef kullanıcı gruplarını temsil eden kurgusal karakter profilleri |
|  |  |  |
| Use Case (Kullanım Senaryosu) | Kullanım Durumu | Sistemin belirli bir hedef için nasıl kullanılacağını gösteren senaryo |
|  |  |  |
| Agile Methodology | Çevik Metodoloji | İteratif ve artırımsal yazılım geliştirme yaklaşımı |
|  |  |  |
| Sprint | Sprint Dönemi | Agile metodolojide belirli sürede tamamlanacak iş parçası |

**3.2.11 Güvenlik ve Kriptografi**

| **Terim** | **Türkçe Karşılığı** | **Açıklama** |
| --- | --- | --- |
| Kimlik Doğrulama | Kullanıcı Teyidi | Sistemin kullanıcıyı tanıması |
|  |  |  |
|  |  |  |
| Güvenli Oturum | Korumalı Giriş | Şifreli kullanıcı oturumu |
|  |  |  |
| Çoklu Doğrulama | Çift Teyit | Kritik işlemler için ek onay alma |
|  |  |  |
| Oturum Yönetimi | Giriş Kontrolü | Kullanıcı oturumlarının güvenli yönetimi |
|  |  |  |
| Veri Güvenliği | Bilgi Koruması | Kullanıcı verilerinin güvenli saklanması |
|  |  |  |
| SSL/TLS 1.3 | Güvenli İletişim Protokolü | Web trafiği şifreleme |
|  |  |  |
| AES-256 | Gelişmiş Şifreleme Standardı | Veri şifreleme |
|  |  |  |
| SHA-256 | Güvenli Hash Algoritması | Şifre hash'leme |
| JWT (JSON Web Token) | Güvenli Bilgi Aktarım Standardı | Kimlik doğrulama |
|  |  |  |
| bcrypt/Argon2 | Güvenli Şifre Hash Algoritmaları | Kullanıcı şifresi koruma |
|  |  |  |
| Forward Secrecy | İleriye Dönük Gizlilik | İletişim güvenliği |
|  |  |  |
| Salt-based Hash | Tuz Tabanlı Hash Fonksiyonları | Şifre güvenliği artırma |

**3.2.12 Performans ve Kalite Terimleri**

| **Terim** | **Türkçe Karşılığı** | **Açıklama** |
| --- | --- | --- |
| Gerçek Zamanlı İşleme | Anlık Çeviri | Gecikme olmadan işaret tanıma |
|  |  |  |
| Kalite Puanı | Performans Notu | İşaret kalitesinin sayısal değeri |
|  |  |  |
| GPU Acceleration | Grafik İşlemci Hızlandırma | Makine öğrenmesi hesaplamaları |
|  |  |  |
| Caching | Önbellekleme | Sistem performansı artırma |
|  |  |  |
| FPS (Frame Per Second) | Saniyedeki Kare Sayısı | Video akışı performansı |
|  |  |  |
| Latency | Gecikme Süresi | Sistem yanıt süreleri |
|  |  |  |
| Uptime | Sistem Çalışma Süresi | Güvenilirlik ölçümü |
|  |  |  |
| Throughput | İşlem Kapasitesi | Sistem verimliliği |
|  |  |  |
| Weber-Fechner Yasası | İnsan Algı Eşikleri Yasası | Kullanıcı deneyimi optimizasyonu |
|  |  |  |
| Graceful Degradation | Kademeli Bozulma | Hata durumlarında sistem stabilitesi |

**3.2.13 Teknik Altyapı Terimleri**

| **Terim** | **Türkçe Karşılığı** | **Açıklama** |
| --- | --- | --- |
| Kamera Kalibrasyonu | Kamera Ayarı | Optimal görüntü kalitesi için ayar |
|  |  |  |
| Çerçeve Hızı | Saniyedeki Kare | Video akışındaki görüntü sayısı |
|  |  |  |
| İşlemci Yükü | CPU Kullanımı | Sistemin işlemci kapasitesi kullanım oranı |
|  |  |  |
| Bellek Kullanımı | RAM Tüketimi | Sistemin bellek kullanım miktarı |

**3.2.14 Kullanıcı Deneyimi ve Erişilebilirlik**

| **Terim** | **Türkçe Karşılığı** | **Açıklama** |
| --- | --- | --- |
| WCAG 2.1 AA | Web İçeriği Erişilebilirlik Rehberi | Engelli kullanıcılar için erişilebilirlik |
|  |  |  |
| ARIA (Accessible Rich Internet Applications) | Zengin İnternet Uygulamaları Erişilebilirliği | Ekran okuyucu uyumluluğu |
|  |  |  |
| Screen Reader | Ekran Okuyucu Yazılımı | Görme engelli kullanıcı desteği |
|  |  |  |
| Color-blind Friendly | Renk Körlüğü Dostu Tasarım | Renk algısı problemli kullanıcılar |
|  |  |  |
| Tab Order | Klavye Navigasyon Sırası | Klavye erişilebilirliği |
|  |  |  |
| UX (User Experience) | Kullanıcı Deneyimi | Arayüz tasarımı ve kullanılabilirlik |

**3.2.15 Proje Yönetimi ve Kalite**

| **Terim** | **Türkçe Karşılığı** | **Açıklama** |
| --- | --- | --- |
| IEEE Std 830-1998 | Yazılım Gereksinim Belirtim Standardı | Gereksinim dokümantasyonu |
| |  |  |  | | --- | --- | --- | |  |  |  |   ISO/IEC 25010:2011 | Yazılım Kalite Standardı | Kalite güvencesi |
| |  |  |  | | --- | --- | --- | |  |  |  |   Pytest | Python Test Framework'ü | Birim testleri |
| |  |  |  | | --- | --- | --- | |  |  |  |   Selenium | Web Uygulaması Test Otomasyonu | Tarayıcı uyumluluğu testleri |
| |  |  |  | | --- | --- | --- | |  |  |  |   Unit Testing | Birim Testi | Kod kalitesi kontrolü |
| |  |  |  | | --- | --- | --- | |  |  |  |   Integration Testing | Entegrasyon Testi | Sistem bileşen uyumluluğu |
| |  |  |  | | --- | --- | --- | |  |  |  |   Penetration Testing | Sızma Testi | Güvenlik açıklarının tespiti |

**3.2.16 Veri Koruma ve Yasal Uyumluluk**

| **Terim** | **Türkçe Karşılığı** | **Açıklama** |
| --- | --- | --- |
| KVKK | Kişisel Verilerin Korunması Kanunu | Türk veri koruma yasası |
| |  |  |  | | --- | --- | --- | |  |  |  |   GDPR | Genel Veri Koruma Tüzüğü | AB veri koruma düzenlemesi |
|  |  |  |
| Section 508 | ABD Erişilebilirlik Standardı | Kamu erişilebilirlik gereklilikleri |
|  |  |  |
| Unutulma Hakkı | Kişisel Verilerin Silinmesi Hakkı | GDPR kapsamında veri yönetimi |
|  |  |  |
| Data Subject Rights | Veri Sahibi Hakları | Kişisel veri koruma |

**3.2.17 Sistem İzleme ve Analitik**

| **Terim** | **Türkçe Karşılığı** | **Açıklama** |
| --- | --- | --- |
| Monitoring | Sistem İzleme | Performans ve hata takibi |
|  |  |  |
| Alerting | Uyarı Sistemi | Otomatik hata bildirimi |
|  |  |  |
| Analytics Dashboard | Analitik Panosu | Sistem verilerinin görselleştirilmesi |
|  |  |  |
| Metrics | Ölçümler | Sistem performans göstergeleri |
|  |  |  |
| Failover | Yedek Sisteme Geçiş | Sistem sürekliliği |
|  |  |  |
| Proactive Monitoring | Önleyici İzleme | Sorunları önceden tespit etme |

# 4. İŞLEVSEL GEREKSİNİMLER (Functional Requirements)

İşlevsel gereksinimler, sistemin kullanıcılarına sunması gereken temel hizmetleri ve bu hizmetlerin nasıl çalışması gerektiğini tanımlar. TİD İşaret Tanıma Chatbot Sistemi için belirlenen işlevsel gereksinimler, IEEE Std 830-1998 standartlarına uygun olarak kategorilere ayrılmış ve her biri için detaylı açıklamalar, kullanıcı etkileşim senaryoları ve komut örnekleri sunulmuştur.

## 4.1 Çok Modlu İletişim Gereksinimleri

### FR-01: Gelişmiş Yüz ve El Takibi ile İşaret Algılama

Sistem, bilgisayar kamerası veya harici kamera donanımı kullanarak kullanıcının yüz ifadeleri, el şekilleri ve parmak pozisyonlarını gelişmiş bilgisayarlı görü teknikleri ile takip edebilmelidir. Hand landmark detection, facial expression recognition ve gesture tracking algoritmaları kullanılarak Türk İşaret Dili (TİD) hareketleri gerçek zamanlı olarak algılanmalıdır. Sistem, 21 nokta el takibi, yüz kaslarındaki değişimler ve 3D hareket analizi yaparak yüksek doğrulukta işaret tanıma gerçekleştirmelidir. Değişken ışık koşulları, farklı arka planlar ve çoklu kullanıcı senaryolarında stabil performans göstermelidir.

**Kullanıcı Etkileşimi:** Kullanıcı sistemi açtığında kamera otomatik olarak aktif hale gelir ve yüz tanıma başlar. Sistem kullanıcının yüzünü ve ellerini takip ederek ekranda takip noktalarını gösterir. El hareketleri algılandığında "Hazır" mesajı görüntülenir ve tanıma işlemi başlar.

**Komut Örnekleri:** Yüz ifadesi + el hareketi kombinasyonları, parmak ucu takibi gerektiren hassas işaretler, iki el koordinasyonu gerektiren karmaşık işaretler, mimik destekli işaret dili ifadeleri.

### FR-02: Çok Modlu Girdi Sistemi

Sistem, kullanıcıdan gelen komutları üç farklı girdi modalitesi üzerinden alabilmelidir: Türk İşaret Dili (TİD), yazılı metin ve sesli komutlar. Her modalite kendi özel işleme algoritmasını kullanarak aynı anlam yapısına dönüştürülmeli ve sistem bu farklı girdi türlerini entegre bir şekilde işleyebilmelidir. Kullanıcı istediği girdi türünü seçebilmeli veya bunları karma olarak kullanabilmelidir.

**Kullanıcı Etkileşimi:** Kullanıcı, kamera önünde işaret dili kullanarak, klavye ile yazarak veya mikrofon butonuna basıp konuşarak sistemle etkileşime geçebilir. Sistem her üç girdi türünü de aynı anda destekler ve kullanıcının tercih ettiği yöntemi otomatik olarak algılar.

**Komut Örnekleri:** "merhaba" (TİD ile), "merhaba" (klavye ile), "merhaba" (mikrofonla), karma kullanım.

### FR-03: Çok Modlu Çıktı Sistemi

Sistem, kullanıcıya yanıtlarını üç farklı çıktı modalitesi üzerinden sunabilmelidir: metin formatında yazılı yanıt, sesli yanıt (text-to-speech) ve işaret dili animasyonu. Kullanıcı tercihlerine göre tek bir çıktı türü seçilebilir veya birden fazla modalite aynı anda aktif olabilir. Sistem, erişilebilirlik standartlarına uygun olarak farklı kullanıcı ihtiyaçlarına hitap edecek şekilde esnek çıktı seçenekleri sunmalıdır.

**Kullanıcı Etkileşimi:** Kullanıcı ayarlar menüsünden hangi çıktı türlerini tercih ettiğini belirler. Örneğin sadece metin, sadece ses, sadece işaret dili animasyonu veya bunların kombinasyonlarını seçebilir. Sistem her yanıtını kullanıcının tercih ettiği formatlarda sunar.

**Komut Örnekleri:** "Sadece metin göster", "sesli oku", "işaret dili göster", "hepsini kullan".

### FR-04: Çok Dilli Destek (Türkçe-İngilizce Çeviri)

Sistem, yazılı ve sesli girdi/çıktı modaliteleri için Türkçe ve İngilizce dilleri arasında çeviri desteği sunabilmelidir. Kullanıcı Türkçe komut verdiğinde sistem İngilizce yanıt verebilir veya tam tersi durumda çalışabilir. Çeviri işlemi gerçek zamanlı olarak gerçekleşmeli ve bağlamsal anlam korunarak yüksek kaliteli çeviri sonuçları üretilmelidir. İşaret dili girdi ve çıktıları TİD formatında sabit kalırken, metin ve ses bileşenleri çevrilebilir olmalıdır.

**Kullanıcı Etkileşimi:** Kullanıcı ayarlar menüsünden çeviri tercihlerini belirler (Türkçe→İngilizce, İngilizce→Türkçe, otomatik algılama). Kullanıcı herhangi bir dilde komut verdiğinde sistem belirlenen hedef dilde yanıt verir veya çift dilli çıktı sunar.

**Komut Örnekleri:** "Translate to English", "İngilizceye çevir", "switch language", "dil değiştir".

## 4.2 İletişim ve Bağlam Yönetimi Gereksinimleri

### FR-05: Sohbet Bağlamı Takibi

Sistem, kullanıcının ardışık olarak yaptığı işaret dili hareketlerini takip ederek tek tek işaretleri birleştirip anlamlı cümleler oluşturabilmelidir. Her işareti ayrı ayrı çevirmek yerine, işaretler arası geçişleri, duraklama sürelerini ve cümle yapısını analiz ederek bütüncül bir anlam çıkarmalıdır. Sistem, işaret sıralamasını takip ederek Türk İşaret Dili'nin gramer yapısına uygun cümle çevirisi gerçekleştirmelidir.

**Kullanıcı Etkileşimi:** Kullanıcı birden fazla işareti peş peşe yaparak tam bir cümle oluşturur. Örneğin "ben", "bugün", "doktor", "gitmek" işaretlerini sırayla yaparak "Ben bugün doktora gideceğim" cümlesini iletir. Sistem bu işaret dizisini algılar ve tek bir anlamlı cümle olarak çevirir.

**Komut Örnekleri:** İşaret dizileri: "ben-hasta-hastane-gitmek", "yarın-hava-nasıl-olacak", "randevu-iptal-etmek-istiyorum".

### FR-09: Kişisel Sohbet Geçmişi Kaydı

Sistem, kullanıcı ile gerçekleştirilen konuşma boyunca sohbet geçmişini ve bağlamsal bilgileri bellekte tutabilmelidir. Önceki sorular, verilen yanıtlar ve konuşmanın akışı takip edilerek kullanıcının yeni sorularında referans verebileceği bir bağlam oluşturulmalıdır. Sistem, zamirsel ifadeleri (o, bu, şu) ve bağlamsal referansları anlayarak tutarlı ve akıcı bir konuşma deneyimi sunmalıdır.

**Kullanıcı Etkileşimi:** Kullanıcı "Dün bahsettiğim randevu nasıl?", "Bu konuyu daha detaylandır", "Önceki soruya geri dön" gibi bağlamsal referanslar içeren komutlar verebilir. Sistem bu referansları önceki konuşma geçmişinden çıkararak uygun yanıtlar üretir.

**Komut Örnekleri:** "Önceki soruya dön", "bunu açıkla", "daha önce ne demiştim", "konuşma geçmişi".

## 4.3 Öğrenme ve Eğitim Gereksinimleri

### FR-06: Sık Kullanılan Soru-Cevap Hazır Yanıtları

Sistem, kullanıcıların hem sistem ile hem de diğer kişilerle iletişiminde sıklıkla kullandığı temel sorular ve ifadeler için önceden hazırlanmış yanıt veritabanı bulundurmalıdır. Hava durumu, saat sorguları, temel selamlaşmalar, günlük konuşma cümleleri ve nezaket ifadeleri gibi rutin iletişim öğeleri hızla erişilebilir olmalıdır.

**Kullanıcı Etkileşimi:** Kullanıcı "Hazır cümleler", "Günlük ifadeler" menüsünden sık kullanılan ifadeleri seçebilir. Sistem bu ifadeleri TİD animasyonu ile gösterir ve kullanıcı bunları başka kişilerle iletişimde kullanabilir.

**Komut Örnekleri:** "Nasılsın", "teşekkürler", "özür dilerim", "yardım eder misin", "görüşmek üzere", "ne yapıyorsun".

### FR-08: Temel İletişim Eğitim Modülü

Sistem, TİD öğrenmek isteyen kullanıcılar için interaktif eğitim modülü sunmalıdır. Temel işaretler, alfabe, sayılar, günlük kullanım ifadeleri ve cümle yapısı konularında kademeli öğrenme programı bulunmalıdır. Kullanıcının öğrenme hızına göre uyarlanabilen ve ilerleme takibi yapan bir eğitim sistemi olmalıdır.

**Kullanıcı Etkileşimi:** Kullanıcı "eğitim başlat" diyerek öğrenme moduna geçer. Sistem seviye seviye işaretleri öğretir, kullanıcıdan tekrar etmesini ister ve doğruluk oranına göre bir sonraki seviyeye geçiş sağlar.

**Komut Örnekleri:** "Eğitim başlat", "alfabe öğren", "sayıları öğren", "quiz yap", "ilerleme durumu".

### FR-19: Öğrenme İlerleme Takibi ve Raporlama

Sistem, kullanıcının TİD öğrenme sürecindeki ilerlemesini detaylı olarak takip etmeli ve periyodik raporlar sunmalıdır. Hangi işaretlerde zorlandığı, hangi konularda geliştiği ve genel başarı oranı gibi analitik veriler sağlanmalıdır.

**Kullanıcı Etkileşimi:** Kullanıcı "ilerleme raporu" dediğinde haftalık/aylık gelişim grafiklerini, başarı oranlarını ve gelişim önerilerini görür.

**Komut Örnekleri:** "İlerleme raporu", "başarı oranım", "zayıf yönlerim", "gelişim önerileri".

## 4.4 Hata Yönetimi ve Düzeltme Gereksinimleri

### FR-07: Yanlış İşaret Geri Bildirim Sistemi

Sistem, kullanıcının yanlış veya tanınamayan işaret hareketleri yaptığında gerçek zamanlı geri bildirim sağlayabilmelidir. Tanıma güvenilirlik oranı belirli bir eşiğin altında kaldığında, sistem kullanıcıyı uyarmalı ve doğru işaret şeklini görsel olarak göstermelidir.

**Kullanıcı Etkileşimi:** Kullanıcı belirsiz veya hatalı işaret yaptığında sistem "Bu işareti anlayamadım" mesajı verir ve doğru işaretin nasıl yapılacağını animasyonla gösterir.

**Komut Örnekleri:** "Anlamadım", "tekrar göster", "doğru şekli nedir", "başka nasıl yapılır".

### FR-11: Belirsiz İşaret Girdi Yönetimi

Sistem, bulanık, eksik veya kısmen tanınan işaret girişlerini akıllı algoritmalarla yönetebilmelidir. Güvenilirlik skorları düşük olan işaretler için olasılık tabanlı tahminler yapılmalı ve kullanıcıya alternatif seçenekler sunulmalıdır.

**Kullanıcı Etkileşimi:** Sistem belirsiz işaret algıladığında "Bu mu demek istediniz?" sorusu ile birkaç seçenek sunar. Kullanıcı doğru seçeneği işaret ederek onaylar veya yeniden deneyebilir.

**Komut Örnekleri:** "Bu mu?", "yoksa bu mu?", "tekrar yap", "seçenekleri göster".

### FR-15: Bağlamsal Hata Düzeltme

Sistem, konuşma bağlamından yararlanarak hatalı tanınan işaretleri otomatik olarak düzeltebilmelidir. Cümle yapısı, önceki kelimeler ve genel bağlam kullanılarak anlamsal tutarlılık sağlanmalı ve mantıklı olmayan tanımaları düzeltmelidir.

**Kullanıcı Etkileşimi:** Sistem "Randevu sil" yerine "Randevu al" tanıdığında bağlamdan "al" kelimesinin daha mantıklı olduğunu anlar ve otomatik düzeltme önerisi sunar.

**Komut Örnekleri:** "Otomatik düzeltme", "bağlam kontrolü", "anlamsal kontrol", "mantık kontrolü".

## 4.5 Sistem Optimizasyon ve Performans Gereksinimleri

### FR-12: Adaptif Gürültü Filtreleme

Sistem, kamera görüş alanındaki istenmeyen hareketleri, arka plan karışıklığını ve çevresel gürültüleri filtreleyebilmelidir. Makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak kullanıcının el hareketleri ile çevresel faktörler ayrıştırılmalı ve sadece anlamlı işaret verileri işlenmelidir.

**Kullanıcı Etkileşimi:** Sistem otomatik olarak arka plan gürültülerini filtreler. Kullanıcı "temiz algılama modu" açarak daha hassas filtreleme yapabilir veya "hızlı mod" ile daha az filtreleme uygulayabilir.

**Komut Örnekleri:** "Temiz mod", "hızlı mod", "gürültü ayarı", "hassasiyet ayarla".

### FR-14: Gerçek Zamanlı İşaret Kalitesi Değerlendirme

Sistem, kullanıcının yaptığı işaretlerin kalitesini gerçek zamanlı olarak değerlendirerek iyileştirme önerileri sunmalıdır. El pozisyonu, hareket hızı, netlik ve doğruluk parametrelerini analiz ederek kullanıcıya anlık geri bildirim vermelidir.

**Kullanıcı Etkileşimi:** Sistem işaret kalitesini renkli göstergelerle (yeşil: iyi, sarı: orta, kırmızı: zayıf) gösterir ve "Elinizi biraz yukarı kaldırın" gibi ipuçları verir.

**Komut Örnekleri:** "Kalite göstergesi", "ipucu ver", "nasıl düzeltir", "optimal pozisyon".

## 4.6 Kişiselleştirme ve Profil Yönetimi Gereksinimleri

### FR-10: Profil Düzenleme ve Kişiselleştirme

Sistem, her kullanıcı için kişisel profil oluşturma ve düzenleme imkânı sunmalıdır. Kullanıcı adı, tercih edilen çıktı modaliteleri, dil seçenekleri, eğitim seviyesi, özel ihtiyaçlar ve erişilebilirlik ayarları kaydedilebilmelidir.

**Kullanıcı Etkileşimi:** Kullanıcı "profil ayarları" menüsünden kişisel bilgilerini, tercihlerini ve sistem davranışlarını özelleştirebilir. Sesli çıktı açma/kapama, işaret hızı ayarları, favoriler listesi gibi kişiselleştirmeler yapabilir.

**Komut Örnekleri:** "Profil düzenle", "ayarlar", "tercihlerim", "kişisel bilgiler", "erişilebilirlik seçenekleri".

### FR-16: Kişiselleştirilmiş İşaret Tanıma

Sistem, her kullanıcının kendine özgü işaret yapma tarzını öğrenerek kişiselleştirilmiş tanıma modeli geliştirebilmelidir. Kullanıcının el büyüklüğü, hareket hızı, işaret şekli gibi bireysel özelliklerini kaydederek tanıma doğruluğunu artırmalıdır.

**Kullanıcı Etkileşimi:** İlk kullanımda sistem "Kalibrasyona başlayalım" der ve kullanıcıdan temel işaretleri yapmasını ister. Zamanla kullanıcının tarzını öğrenir ve uyum sağlar.

**Komut Örnekleri:** "Kalibrasyon başlat", "kişisel ayar", "beni tanı", "öğrenme modu".

### FR-22: Kullanıcı Giriş ve Kimlik Doğrulama Sistemi

Sistem, farklı kullanıcı tiplerinin (öğrenci, eğitmen, yönetici) güvenli giriş yapabilmelerini sağlamalıdır. Kullanıcı profilleri, öğrenme geçmişi, tercihler ve kişiselleştirilmiş ayarları saklanmalıdır.

**Kullanıcı Etkileşimi:** Kullanıcı sisteme kullanıcı adı/e-posta ve şifre ile giriş yapar. Yeni kullanıcılar kayıt formunu doldurur ve profil bilgilerini ayarlar. Sistem, giriş sonrası kişiselleştirilmiş ana sayfayı gösterir.

**Komut Örnekleri:** "Giriş yap", "Kayıt ol", "Şifremi unuttum", "Profilim", "Çıkış yap", "Ayarlar".

## 4.7 Çoklu Kullanıcı ve Sistem Yönetimi Gereksinimleri

### FR-13: Çoklu Doğrulama Sistemi

Sistem, kritik işlemler için çoklu doğrulama mekanizması sunmalıdır. Önemli komutlar (silme, değiştirme, gönderme) için kullanıcıdan ek onay alınmalı ve yanlış anlama riskini minimize edecek doğrulama adımları uygulanmalıdır.

**Kullanıcı Etkileşimi:** Kullanıcı önemli bir işlem yapmak istediğinde sistem "Emin misiniz?" sorar ve kullanıcıdan açık bir onay işareti bekler. İki aşamalı doğrulama gerektirebilir.

**Komut Örnekleri:** "Evet, eminim", "iptal et", "onaylıyorum", "geri al".

### FR-17: Çoklu Kullanıcı Tanıma ve Geçiş

Sistem, aynı ortamda birden fazla kullanıcıyı tanıyabilmeli ve aktif kullanıcı değişikliklerini otomatik olarak algılayabilmelidir. Her kullanıcının profil bilgilerini ayrı tutarak uygun kişiselleştirmeyi sağlamalıdır.

**Kullanıcı Etkileşimi:** Yeni kullanıcı kameraya geçtiğinde sistem "Merhaba [Ad], sizi tanıdım" der ve o kişinin ayarlarını yükler. Kullanıcı değişimi otomatik olarak algılanır.

**Komut Örnekleri:** "Kullanıcı değiştir", "ben [ad]'im", "profil geçişi", "kimsin".

## 4.8 Gelişmiş Etkileşim Gereksinimleri

### FR-18: Acil Durum Hızlı Yanıt Sistemi

Sistem, acil durum işaretlerini tanıdığında önceden tanımlanmış hızlı eylem protokollerini devreye sokmalıdır. Sağlık, güvenlik veya yardım çağrıları için otomatik bildirim ve yönlendirme sistemleri aktif olmalıdır.

**Kullanıcı Etkileşimi:** Kullanıcı "acil yardım" işareti yaptığında sistem anında acil servis numaralarını gösterir, konum bilgisini hazırlar ve otomatik arama seçeneği sunar.

**Komut Örnekleri:** "Acil yardım", "112 ara", "sağlık sorunu", "güvenlik çağrısı".

### FR-20: Sesli Komut Entegrasyonu ve Hibrit Etkileşim

Sistem, işaret dili ile sesli komutları eş zamanlı olarak destekleyerek hibrit etkileşim imkânı sunmalıdır. Kullanıcı aynı anda hem işaret yapıp hem konuşabilmeli, sistem bu iki girdi türünü koordineli şekilde işleyebilmelidir.

**Kullanıcı Etkileşimi:** Kullanıcı "randevu" işareti yaparken aynı zamanda "yarın saat üçte" diyebilir. Sistem iki girdiyi birleştirerek "Yarın saat 15:00 için randevu alınacak" şeklinde birleşik anlam çıkarır.

**Komut Örnekleri:** "İşaret + ses", "hibrit mod", "birleşik komut", "çoklu girdi".

### FR-21: Gelişmiş Analitik ve Performans İzleme

Sistem, kendi performansını sürekli izlemeli ve kullanıcı deneyimini iyileştirmek için detaylı analitik veriler toplamalıdır. Tanıma doğruluğu, yanıt süreleri, kullanıcı memnuniyeti ve sistem optimizasyonu için gerekli metrikleri takip etmelidir.

**Kullanıcı Etkileşimi:** Yöneticiler "sistem analitikleri" ile genel performans verilerini görebilir. Kullanıcılar ise "deneyim değerlendirmesi" yaparak sistem iyileştirmelerine katkıda bulunabilir.

**Komut Örnekleri:** "Sistem durumu", "performans raporu", "kullanıcı memnuniyeti", "optimizasyon önerileri".

# 5. İŞLEVSEL OLMAYAN GEREKSİNİMLER (Non-Functional Requirements)

İşlevsel olmayan gereksinimler, sistemin nasıl çalışması gerektiğini tanımlayan kalite kriterlerini belirtir. Bu gereksinimler ISO/IEC 25010:2011 kalite standardı çerçevesinde kategorilere ayrılmış ve her biri için ölçülebilir kriterler belirlenmişti

## 5.1 Performans Gereksinimleri

### NFR-01: Gerçek Zamanlı Yanıt Süresi Performansı

Sistem, işaret tanıma işlemlerini gerçek zamanlı olarak gerçekleştirmeli ve kullanıcı deneyimini olumsuz etkilememek için maksimum 200 milisaniye içerisinde yanıt vermelidir. Bu süre, insan algısının gecikmeyi fark etmediği Weber-Fechner yasası temelinde belirlenmiştir; 250ms üzerindeki gecikmeler kullanıcı deneyiminde belirgin olumsuzluk yaratmaktadır.

Video akışı işleme gecikme süresi 50ms'yi aşmamalıdır. Bu değer, 30 FPS video akışında frame-to-frame tutarlılığı sağlamak için kritiktir. İşaret tanıma algoritması çalışma süresi 100ms ile sınırlı tutulmalıdır. CNN tabanlı modeller için optimize edilmiş bu süre, RNN kullanılması durumunda performans %20-30 düşebilir ancak sekans tanıma doğruluğu artabilir.

### NFR-06: Donanım Kaynak Optimizasyonu

Sistem, minimum donanım gereksinimlerinde etkin çalışabilmelidir. 4 GB RAM, çift çekirdekli işlemci (dual-core) ve 720p web kamerası yeterli olmalıdır. CPU kullanımı %70’i, RAM kullanımı 2 GB’ı aşmamalıdır. GPU hızlandırma (donanım destekli işleme) ile performans artırılmalı, ancak GPU bulunmayan sistemlerde de çalışabilir durumda olmalıdır. Pil ömrünü korumak için enerji verimli algoritmalar kullanılmalıdır.

## 5.2 Güvenlik ve Veri Koruma Gereksinimleri

### NFR-02: Veri Güvenliği ve Kriptografik Koruma

Sistem, kullanıcı verilerinin güvenliğini SSL/TLS 1.3 protokolü ile sağlamalıdır. TLS 1.3, önceki sürümlere göre yaklaşık %40 daha hızlı el sıkışma süresi ve gelişmiş forward secrecy (ileriye dönük gizlilik) sağladığı için tercih edilmektedir. Kişisel veriler, AES-256 algoritması ile şifrelenmelidir. AES-256, AES-128'e kıyasla daha yüksek güvenlik düzeyi sunmakta ve kuantum hesaplamaya karşı daha dirençli bir yapıya sahiptir.

Kullanıcı kimlik bilgileri, güvenli bir şekilde SHA-256 algoritması ile hash edilerek saklanmalıdır. Daha yüksek güvenlik gerektiren durumlarda bcrypt veya Argon2 gibi salt-based hash fonksiyonları önerilmektedir. Sistemin tüm veri işleme süreçleri, GDPR ve KVKK yasal düzenlemelerine tam uyum içinde tasarlanmalı ve yürütülmelidir.

### NFR-10: Veri Gizliliği ve Anonimleştirme

Sistem, kullanıcı mahremiyetini korumak amacıyla diferansiyel gizlilik (differential privacy) tekniklerini uygulamalıdır. Biyometrik veriler, yerel cihazda işlenmeli ve ham veri olarak buluta gönderilmemelidir. Kullanıcıların rıza yönetimi mekanizması ile, GDPR kapsamında tanımlanan unutulma hakkı desteklenmeli; veri saklama politikaları otomatik olarak uygulanmalıdır.

## 5.3 Erişilebilirlik ve Kullanılabilirlik Gereksinimleri

### NFR-03: Erişilebilirlik ve Evrensel Tasarım Uyumluluğu

**Sistem, WCAG 2.1 AA seviyesi erişilebilirlik standartlarına tam uyumlu olmalıdır.** Bu standart, ISO 14289 ve Section 508 gereksinimlerini de karşıladığından uluslararası uyumluluk açısından tercih edilmektedir. WCAG 2.2 veya AAA seviyesi, daha kapsamlı erişilebilirlik sağlamasına rağmen **uygulama maliyetini** %40-60 oranında artırabilir.

Ekran okuyucu yazılımları ile tam uyumluluk sağlanmalıdır. JAWS (en yaygın kullanılan), NVDA (açık kaynak) ve VoiceOver (macOS/iOS) ile test edilmeli; ARIA (Accessible Rich Internet Applications) etiketleri doğru şekilde uygulanmalıdır. Klavye navigasyonu %100 desteklenmeli ve Tab order mantıklı sıralamaya sahip olmalıdır.

### NFR-08: Kullanıcı Deneyimi ve Arayüz Standartları

Sistem arayüzü, kullanıcı deneyimi prensipleri doğrultusunda sezgisel ve öğrenmesi kolay olmalıdır. Ortalama öğrenme süresi yeni kullanıcılar için 15 dakikayı aşmamalıdır. Erişilebilirlik rehberi doğrultusunda color-blind friendly renk paleti kullanılmalı, font büyüklükleri dinamik olarak ayarlanabilir olmalıdır.

## 5.4 Ölçeklenebilirlik ve Platform Uyumluluğu Gereksinimleri

### NFR-04: Sistem Ölçeklenebilirlik ve Kapasitesi

Sistem, yatay ve dikey ölçeklendirme destekleyerek en az 10.000 eş zamanlı aktif kullanıcıya hizmet verebilmelidir. Bulut tabanlı mikroservis mimarisi kullanılarak otomatik ölçeklendirme mekanizmaları devreye alınmalıdır. Veritabanı parçalama (sharding) ve yük dengeleme (load balancing) teknikleri ile sistem yükü dağıtılmalı, yoğun kullanım dönemlerinde %99,9 çalışma süresi (uptime) garanti edilmelidir.

### NFR-05: Platform Bağımsızlığı ve Çapraz Uyumluluk

Sistem, Windows, macOS, Linux, iOS ve Android işletim sistemlerinde yüksek performanslı ve tutarlı kullanıcı deneyimi sunmalıdır. Mobil ve masaüstü uygulamalar, hedef platformların doğal performans kapasitelerine uygun biçimde optimize edilmelidir.

Web tabanlı sürüm, Chrome, Firefox, Safari ve Edge tarayıcılarının son üç ana sürümü ile tam uyumlu olmalıdır. Responsive tasarım ilkeleri doğrultusunda sistem; tablet, akıllı telefon ve masaüstü cihazlarda optimum kullanılabilirlik sağlamalıdır. Sistem, PWA (Progressive Web App) standartlarını desteklemeli ve internet bağlantısı olmayan ortamlarda çevrimdışı (offline) çalışma yeteneğine sahip olmalıdır.

## 5.5 Güvenilirlik ve Hata Toleransı Gereksinimleri

### NFR-07: Veri Bütünlüğü ve Yedekleme Sistemi

Kullanıcı verileri günlük otomatik yedeklemelerle korunmalı, kritik veriler için gerçek zamanlı çoğaltma (real-time replication) sağlanmalıdır. Veritabanı bütünlük denetim mekanizmaları günlük olarak çalıştırılmalı ve veri bozulması (corruption) durumunda otomatik kurtarma prosedürleri devreye alınmalıdır. Zaman noktasına dönük kurtarma (point-in-time recovery) özelliği ile 30 gün geriye dönük veri kurtarma imkânı sunulmalıdır. Yedeklenen veriler farklı coğrafi bölgelerde saklanmalıdır.

### NFR-09: Hata Toleransı ve Sistem Güvenilirliği

Sistem, %99,5 erişilebilirlik (uptime) garantisiyle 7/24 kesintisiz hizmet sunmalıdır. Kritik hizmetlerin sürekliliği, failover mekanizmaları ile sağlanmalı; zincirleme arıza (cascading failure) senaryolarına karşı ise devre kesici (circuit breaker) tasarım deseni uygulanmalıdır.  
Sistem, arıza durumlarında kademeli bozulma (graceful degradation) prensibi doğrultusunda temel işlevlerin çalışmaya devam etmesini sağlamalıdır. Ayrıca, kapsamlı izleme (monitoring) ve uyarı (alerting) sistemleri ile proaktif hata tespiti gerçekleştirilebilmelidir.

## 6.TEKNOLOJİ BİLEŞENLERİ VE SİSTEM MİMARİSİ

### 6.1. Temel Teknolojiler

#### **6.1.1 Donanım Gereksinimleri Özeti**

Sistem, standart web kamerası (720p HD), çift çekirdekli işlemci ve minimum 4GB RAM ile çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır. Detaylı donanım gereksinimleri **Ek-A.1**'de yer almaktadır.

#### **6.1.2 Yazılım Stack Özeti**

Ana yazılım bileşenleri Python, MediaPipe, OpenCV ve TensorFlow teknolojileri üzerine kuruludur. Web geliştirme için FastAPI/Flask, mobil geliştirme için React Native/Flutter kullanılmaktadır. Detaylı yazılım kaynakları **Ek**-**A**’da yer almaktadır.

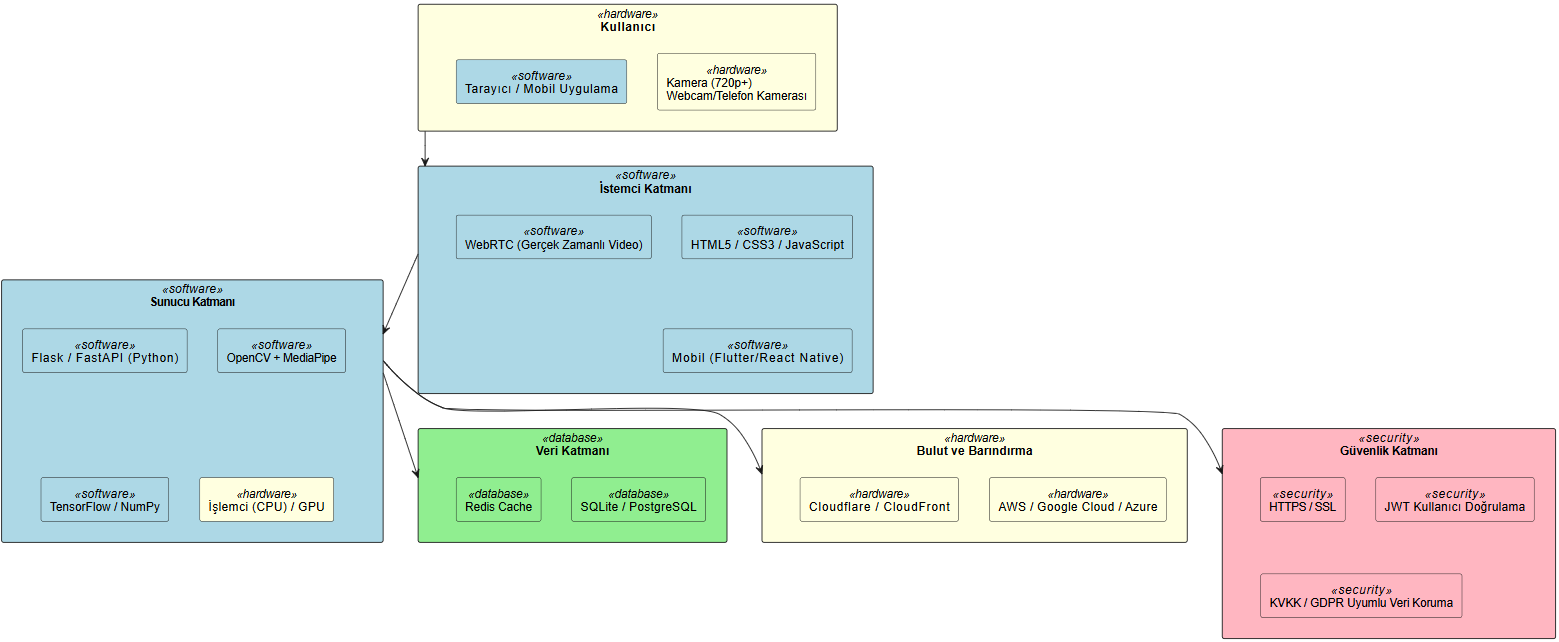
#### **6.1.3 Platform Desteği**

Sistem Windows, macOS, Linux, iOS ve Android platformlarında çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Web tabanlı arayüz tüm modern tarayıcıları destekler.

### 6.2. Sistem Mimarisi

#### **6.2.1 Genel Sistem Mimarisi**

Aşağıda sistemin genel mimarisi verilmiştir. Detaylı sistem mimarisi **Ek-C.3**’te yer almaktadır.



#### **6.2.2 İşaret Tanıma Veri Akışı**

Sistem, kamera girişinden başlayarak MediaPipe ile el takibi (21 nokta), TensorFlow ile işaret sınıflandırma, bağlam analizi ve çoklu modal çıktı üretimi aşamalarını takip eder.

#### **6.2.3 Çoklu Modal Girdi/Çıktı Sistemi**

**Girdi Modaliteleri:**

* Türk İşaret Dili (TİD) - MediaPipe + TensorFlow
* Yazılı Metin - Natural Language Processing
* Sesli Komutlar - Speech-to-Text API

**Çıktı Modaliteleri:**

* Metin formatında yanıt
* Sesli yanıt (Text-to-Speech)
* İşaret dili animasyonu (3D Avatar)

### 6.3. Kullanıcı Profili Odaklı Tasarım

#### **6.3.1 Primer Kullanıcılar İçin Özelleştirilmiş Bileşenler**

**İşitme Engelli Bireyler (179.867 kişi - Türkiye):**

* Gerçek zamanlı işaret tanıma (%95+ doğruluk)
* Hızlı yanıt (< 200ms)
* Çevrimdışı çalışma modu
* Çoklu cihaz senkronizasyonu

**Konuşma Engelli Bireyler (33.686 kişi - Türkiye):**

* İşaret-metin dönüşümü
* Sesli çıktı desteği
* Kişiselleştirilmiş işaret tanıma

#### **6.3.2 Sekonder Kullanıcılar İçin Entegrasyonlar**

**Eğitim, Sağlık ve Kamu Sektörü** için özel terminoloji desteği, kurumsal güvenlik standartları ve çoklu kullanıcı yönetimi sağlanmaktadır.

### 6.4 İşlevsel Gereksinimlere Uygun Mimari

#### **6.4.1 Temel İşlevler Teknoloji Eşleştirmesi**

| **İşlev** |  | **Teknoloji Stack** |  | **Mikroservis** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Gelişmiş El Takibi (FR-01)** |  | MediaPipe + OpenCV |  | Gesture Recognition Service |
| **Çoklu Modal Girdi (FR-02)** |  | FastAPI + ML Pipeline |  | Input Processing Service |
| **Çoklu Modal Çıktı (FR-03)** |  | TTS + 3D Rendering |  | Output Generation Service |
| **Çok Dilli Destek (FR-04)** |  | Transformers + NLP |  | Translation Service |
| **Sohbet Bağlamı (FR-05)** |  | Redis + NLP |  | Context Management Service |
|  |  |  |  |  |

#### **6.4.2 Gelişmiş İşlevler**

Belirsiz işaret yönetimi, adaptif gürültü filtreleme, çoklu doğrulama ve gerçek zamanlı kalite değerlendirmesi için özel algoritmalar ve veri yapıları kullanılmaktadır.

### 6.5 İşlevsel Olmayan Gereksinimlere Uygun Mimari

#### **6.5.1 Performans Gereksinimleri**

* Video akışı işleme: < 50ms
* İşaret tanıma algoritması: < 100ms
* Toplam sistem yanıtı: < 200ms
* Eş zamanlı 10.000 kullanıcı desteği

**Teknoloji Çözümleri:** Load balancing (Nginx), mikroservis mimarisi, Redis caching, GPU acceleration

#### **6.5.2 Güvenlik ve Erişilebilirlik**

* TLS 1.3, AES-256 şifreleme
* JWT + SHA-256 kimlik doğrulama
* WCAG 2.1 AA seviyesi erişilebilirlik
* KVKK/GDPR uyumluluğu

#### **6.5.3 Ölçeklenebilirlik ve Güvenilirlik**

* Horizontal/vertical scaling desteği
* %99.5 uptime garantisi
* Container orchestration (Kubernetes)
* Circuit breaker pattern

### 6.6 Veri Yönetimi Ve Bulut Barındırma

#### **6.6.1 Veri Mimarisi**

* PostgreSQL: Kullanıcı bilgileri ve öğrenme geçmişi
* Redis: Session cache ve gerçek zamanlı veri
* AWS S3/MinIO: Model dosyaları ve medya içeriği

#### **6.6.2 Deployment Stratejisi**

* Containerization (Docker)
* CI/CD Pipeline (Jenkins/GitLab CI)
* Blue-green deployment
* Multi-cloud support (AWS, Google Cloud, Azure)

**7. KAYNAKLAR VE REFERANSLAR**

## Akademik Makaleve Yayın Kaynakları

[1] Chen, Y., Zhao, L., Peng, X., Yuan, J., & Metaxas, D. N. (2023). SignBERT+: Hand-model-aware self-supervised pre-training for sign language understanding. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 45(11), 13294-13309. https://doi.org/10.1109/TPAMI.2023.3269220

[2] Khurana, H., Agarwal, A., Singh, P., & Kumar, A. (2024). Real-time gesture based sign language recognition system. 2024 IEEE International Conference on Computing, Communication, and Intelligent Systems (ICCCIS), 1-6. https://doi.org/10.1109/ICCCIS60361.2024.10533518

[3] Aly, S., Aly, W., & Almotairi, S. (2022). Deepsign: Sign language detection and recognition using deep learning. Electronics, 11(11), 1780. https://doi.org/10.3390/electronics11111780

[4] Wibawa, A. P., Utama, A. B. P., Herman, Nafalski, A., & Abawajy, J. H. (2021). Design of sign language recognition using E-CNN. 2021 International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICEEI), 1-6. https://doi.org/10.1109/ICEEI52609.2021.9431877

[5] Rahman, S., & Ali, M. (2023). Chatbots and virtual assistants in education: Enhancing student support and engagement. ResearchGate Preprint. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35847.42720

[6] Wik, P., & Hjalmarsson, A. (2009). An intelligent web-based voice chat bot. Proceedings of the 7th European Conference on Speech Communication and Technology, 2583-2586.

[7] Alsharif, B. et al. (2024). ASL alphabet recognition using MediaPipe and YOLOv8. Unite.AI.

[8] Scientific Reports. (2023). Sign language recognition using the fusion of image and hand landmarks through multi-headed convolutional neural network. Scientific Reports.

[9] ScienceDirect. (2021). Machine learning methods for sign language recognition: A critical review and analysis. ScienceDirect.

[10] ScienceDirect. (2023). Sign language recognition system for communicating to people with disabilities. ScienceDirect.

[11] Wiley Human-Computer Interaction. (2024). Exploring sign language detection on smartphones: A systematic review. Wiley Online Library.

## Web Kaynakları ve Platformlar

[12] Papers With Code. (2024). Sign language recognition tasks and benchmark results. Erişim tarihi: 2024. https://paperswithcode.com

[13] Medium, Towards Data Science. (2024). MediaPipe ve OpenCV kullanım örnekleri. Medium Platform.

[14] GitHub. (2024). Açık kaynak işaret tanıma projeleri ve gereksinim dosyaları. GitHub Repository.

[15] Sicara Blog. (2024). MediaPipe tabanlı işaret tanıma uygulama rehberi. Sicara.

[16] LearnOpenCV. (2024). MediaPipe dokümantasyon ve kullanım kılavuzu. LearnOpenCV.

[17] ResearchGate. (2011, 2020). İşaret dili tanıma sistemleri üzerine teknik makaleler. ResearchGate Platform.

## Ticari Ürünler ve Sistem Kaynakları

[18] Fast Company. (2014, 18 Mart). Microsoft's Kinect is now a sign language translator. Fast Company. https://www.fastcompany.com/3020910/microsofts-kinect-is-now-a-sign-language-translator

[19] Hand Talk. (2024, 31 Mayıs). Hand Talk: your website accessible in ASL. Hand Talk. https://www.handtalk.me/en/

[20] İTÜ TİD Projesi. (2024). TÜBİTAK 1003 Projesi - Türkçe'den Türk İşaret Diline Otomatik Çeviri Sistemi. İstanbul Teknik Üniversitesi. https://web.itu.edu.tr/tid/

[21] EngelsizÇeviri. (2023). Web İşaret Dili Çeviri Sistemi. Engelsiz Çeviri. https://www.engelsizceviri.com

[22] Near East University. (2019a, 21 Şubat). Engineers at the Artificial Intelligence Research Center have developed a software program that turns sign language into written text. Near East University.

[23] Near East University. (2019b, 20 Şubat). Yakın Doğu Üniversitesi Mühendisleri İşaret Dilini Yazıya Çeviren Yazılım Geliştirdiler. Yakın Doğu Üniversitesi.

## Haber ve Medya Kaynakları

[24] McFarland, A. (2024, 23 Aralık). How AI is making sign language recognition more precise than ever. Unite.AI.

[25] Unite.AI. (2024, 23 Aralık). Yapay Zeka İşaret Dili Tanımayı Her Zamankinden Daha Hassas Hale Getiriyor. Unite.AI.

## Referanslar

IEEE Std 830-1998 - Software Requirements Specifications

ISO/IEC 25010:2011 - System and software quality requirements

Weber-Fechner Yasası - İnsan algısı ve yanıt süreleri

WCAG 2.1 AA - Web Erişilebilirlik Standartları

GDPR ve KVKK - Veri koruma düzenlemeleri

Computer Vision ve Machine Learning metodolojileri

Real-time Systems Design Principles

**8. EKLER**

**Ek-A Donanım ve Yazılım Gereksinimleri**

**Ek-A.1 Donanım Gereksinimleri**

| **Donanım Bileşeni** |  |  |  | **Kritiklik** |  |  |  | **Teknik Özellikler ve Gerekçe** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **Web Kamerası** |  |  |  | Zorunlu |  |  |  | En az 720p (HD) çözünürlük, 30 kare/saniye. Scientific Reports (2023) çalışmasında, işaret dili tanıma sistemlerinde **kameraların ucuz, kolay erişilebilir ve kullanımı yaygın olduğu** belirtilmektedir. Wiley Human-Computer Interaction dergisinde (2024) akıllı telefon kameralarının işaret tanıma için yeterli olduğu kanıtlanmıştır. |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **İşlemci (CPU)** |  |  |  | Zorunlu |  |  |  | Çift çekirdekli (dual-core) işlemci minimum. MediaPipe resmi dokümantasyonunda gerçek zamanlı işleme için "real-time inferencing" kapasitesi gerektiği belirtilmektedir. Intel i3 serisi veya AMD Ryzen 3 serisi önerilir. |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **Sistem Belleği (RAM)** |  |  |  | Zorunlu |  |  |  | En az 4GB RAM, 8GB önerilir. Medium'da yayınlanan teknik makale (2022), derin öğrenme ve MediaPipe kullanımı için bellek gereksinimlerini analiz etmektedir. Video buffer ve model yükleme işlemleri için kritiktir. |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **Depolama Alanı** |  |  |  | Zorunlu |  |  |  | En az 2GB boş alan. TensorFlow tabanlı işaret dili tanıma sistemlerinde model dosyalarının boyutu önemli depolama gerektirir. SSD kullanımı başlatma hızını artırır. |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **Grafik İşlemci (GPU)** |  |  |  | Makul |  |  |  | NVIDIA GeForce GTX serisi veya üstü. ResearchGate'te yayınlanan çalışma (2011), sinir ağı tabanlı işaret tanıma için donanım implementasyonunun önemini vurgular. CPU tabanlı işlem de mümkündür. |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **İnternet Bağlantısı** |  |  |  | Makul |  |  |  | En az 5 Mbps hız. IoT tabanlı işaret dili tanıma sistemleri (ResearchGate, 2020) bulut bağlantısının avantajlarını göstermektedir. Çevrimdışı mod da desteklenebilir. |

**Ek-A.2 Yazılım Kütüphaneleri**

| **Kütüphane** |  | **Kritiklik** |  |  | **Sürüm ve Akademik Kaynak** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
| **Python** |  | Zorunlu |  |  | 3.8 veya üstü. ScienceDirect makine öğrenmesi yöntemleri incelemesinde (2021) Python'un işaret dili tanıma için yaygın kullanıldığı belirtilmektedir. |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
| **OpenCV** |  | Zorunlu |  |  | 4.5 veya üstü. MediaPipe ile birlikte OpenCV kullanımı yaygın bir uygulamadır. Görüntü işleme için endüstri standardıdır. |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
| **MediaPipe** |  | Zorunlu |  |  | 0.8 veya üstü. Sicara, Medium ve diğer teknik kaynaklarda MediaPipe'ın işaret dili tanıma için optimize edildiği gösterilmektedir. Google tarafından geliştirilen açık kaynak çerçevedir. |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
| **NumPy** |  | Zorunlu |  |  | 1.19 veya üstü. Sayısal hesaplamalar ve matris işlemleri için temel kütüphanedir. |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
| **TensorFlow** |  | Makul |  |  | 2.6 veya üstü. TensorFlow kullanarak işaret dili tanıma sistemleri başarıyla geliştirilmiştir. |

**Ek-A.3 İşletim Sistemi Uyumluluğu**

| **İşletim Sistemi** |  | **Kritiklik** |  | **Minimum Sürüm ve Kaynak** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |
| **Windows** |  | Zorunlu |  | Windows 10 veya üstü. Akıllı telefon tabanlı işaret tanıma çalışmaları (Wiley, 2024) cross-platform uyumluluğun önemini vurgular. |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| **macOS** |  | Zorunlu |  | macOS 10.15 (Catalina) veya üstü. Apple'ın güvenlik politikaları ve kamera erişimi için gereklidir. |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| **Linux** |  | Zorunlu |  | Ubuntu 18.04 veya üstü. MediaPipe ve Python tabanlı sistemler için yaygın olarak Linux ortamı kullanılmaktadır. |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| **iOS/Android** |  | Makul |  | iOS 12+ / Android 8.0**+**. Mobil cihazlarda işaret tanıma uygulamalarının başarılı örnekleri mevcuttur. |

**Ek-A.4 Web Geliştirme Teknolojileri**

| **Teknoloji** |  |  | **Kritiklik** |  |  |  | **Kullanım Alanı ve Referans** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| **Flask veya FastAPI** |  |  | Zorunlu |  |  |  | Python web çatısı (framework). Python tabanlı işaret tanıma sistemlerinde web API geliştirme için yaygın kullanılır. |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| **HTML5/CSS3** |  |  | Zorunlu |  |  |  | Web sayfa yapısı ve stil. Modern tarayıcı desteği ve duyarlı (responsive) tasarım için. |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| **JavaScript** |  |  | Zorunlu |  |  |  | İstemci tarafı etkileşim. Towards Data Science makalesinde (2025) gerçek zamanlı işaret tanıma için JavaScript kullanımı gösterilmektedir. |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| **WebRTC** |  |  | Makul |  |  |  | Gerçek zamanlı iletişim. Tarayıcı tabanlı video akışı için kullanılır. |

**Ek-A.5 Veritabanı ve Depolama**

| **Sistem** | **Kritiklik** | **Kullanım Amacı** |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
| **SQLite** | Zorunlu | Hafif veritabanı. Küçük ölçekli projeler için idealdir. Kullanıcı bilgileri ve öğrenme geçmişi için. |
|  |  |  |
|  |  |  |
| **PostgreSQL** | Makul | İlişkisel veritabanı. IoT tabanlı sistemlerde büyük veri depolama gereksinimleri için önerilir. |
|  |  |  |
|  |  |  |
| **Redis** | Makul | Bellekte önbellekleme (cache). Sistem performansını artırmak için kullanılır. |

**Ek-A.6 Test ve Kalite Kontrolü**

| **Araç** | **Kritiklik** |  |  |  |  | **Kullanım Alanı** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |
| **Pytest** | Zorunlu |  |  |  |  | Birim testleri (unit testing). Bilgisayarlı görü tekniklerinin doğruluğunu test etmek için sistematik test yaklaşımları gereklidir. |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| **Selenium** | Makul |  |  |  |  | Web uygulaması testleri. Tarayıcı uyumluluğu testleri için. |

**Ek-A.7 Geliştirme Araçları**

| **Araç Kategorisi** | **Önerilen Araç** | **Kritiklik** | **Gerekçe** |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |
| **Kod Editörü** | Visual Studio Code veya PyCharm | Zorunlu | Python geliştirme için hata ayıklama özellikleri. |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
| **Sürüm Kontrolü** | Git + GitHub/GitLab | Zorunlu | GitHub'da çok sayıda açık kaynak işaret tanıma projesi bulunmaktadır. |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
| **Konteynerleştirme** | Docker | Makul | Farklı ortamlarda tutarlı çalışma için. |

**Ek-A.8 Mobil Uygulama Geliştirme**

| **Platform** | **Geliştirme Aracı** | **Kritiklik** | **Gereksinimler** |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |
| **iOS** | Xcode + Swift | Makul | macOS işletim sistemi gerekli. Akıllı telefon tabanlı işaret tanıma uygulamaları başarıyla geliştirilmiştir. |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
| **Android** | Android Studio + Kotlin | Makul | Çapraz platform geliştirme mümkündür. Google Play Store için geliştirici hesabı gerekir. |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
| **Hibrit Çözüm** | React Native/Flutter | Makul | Tek kod tabanıyla her iki platform için geliştirme imkanı. |

**Ek-A.9 Güvenlik Gereksinimleri**

| **Güvenlik Katmanı** | **Teknoloji/Yöntem** | **Kritiklik** | **Uygulama** |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |
| **Veri Şifreleme** | HTTPS/SSL sertifikası | Zorunlu | Web trafiği güvenliği. Engelli bireylerle iletişim sistemlerinde (ScienceDirect, 2023) güvenlik kritik önem taşır. |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
| **Kullanıcı Doğrulama** | JWT token | Zorunlu | Güvenli oturum yönetimi için. |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
| **Veri Koruma** | KVKK/GDPR uyumluluğu | Zorunlu | Kişisel veri koruma yasal gereksinimleri. |

**Ek-A.10 Bulut ve Barındırma**

| **Hizmet Türü** | **Sağlayıcı** | **Kritiklik** | **Kullanım** |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |
| **Web Barındırma** | AWS, Google Cloud, Azure | Makul | Ölçeklenebilir altyapı. IoT tabanlı sistemler bulut entegrasyonu gerektirir. |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
| **İçerik Dağıtım Ağı** | CloudFlare, AWS CloudFront | Makul | Global erişim ve hızlı yükleme için. |

**Ek-B İzlenebilirlik ve Test Dokümanları**

**Ek-B.1 İzlenebilirlik Matrisi**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **TİD İşaret Tanıma Chatbot Sistemi - Gereksinim İzlenebilirlik Matrisi** | | | | | | | | | | |
|
|
| **Gereksinim ID** | **Tip** | **Gereksinim Açıklaması** | **Öncelik** | **Kullanım Senaryosu** | **Senaryo Açıklaması** | **Test Case ID** | **Test Türü** | **Test Açıklaması** | **Kapsama Durumu** | **İzlenebilirlik Bağlantıları** |
| **FR-01** | Fonksiyonel | Gelişmiş Yüz ve El Takibi ile İşaret Algılama - Bilgisayar kamerası ile yüz ifadeleri, el şekilleri ve parmak pozisyonlarını takip ederek TİD hareketlerini gerçek zamanlı algılama | Yüksek | UC-01, UC-02 | Çok Dilli Çeviri ve Kişiselleştirilmiş İşaret Tanıma | TC-01, TC-02, TC-03 | Birim, Entegrasyon, Sistem | Kamera algılama testleri, el takip doğruluğu, gerçek zamanlı performans | Eksik | NFR-01, NFR-06, UC-01 |
| **FR-02** | Fonksiyonel | Çok Modlu Girdi Sistemi - TİD, yazılı metin ve sesli komutları destekleyen entegre girdi modalitesi | Yüksek | UC-01, UC-03 | Çok Dilli Çeviri ve Hibrit İletişim | TC-04, TC-05 | Entegrasyon, Sistem | Multi-modal girdi testleri, girdi türü | Eksik | FR-03, FR-20, UC-03 |
| **FR-03** | Fonksiyonel | Çok Modlu Çıktı Sistemi - Metin, sesli yanıt ve işaret dili animasyonu çıktı modaliteleri | Yüksek | UC-01, UC-03 | Çok Dilli Çeviri ve Hibrit İletişim | TC-06, TC-07 | Sistem, Kabul | Çıktı modalitesi testleri, erişilebilirlik testleri | Eksik | FR-02, NFR-03, UC-01 |
| **FR-04** | Fonksiyonel | Çok Dilli Destek - Türkçe-İngilizce çeviri desteği | Orta | UC-01 | Çok Dilli Metin ve Ses Çeviri | TC-08, TC-09 | Sistem, Kabul | Çeviri doğruluğu testleri, dil algılama testleri | Eksik | UC-01, NFR-01 |
| **FR-05** | Fonksiyonel | Sohbet Bağlamı Takibi - Ardışık işaret hareketlerini birleştirerek anlamlı cümleler oluşturma | Yüksek | UC-01, UC-03 | Çeviri ve Hibrit İletişim | TC-10, TC-11 | Sistem, Kabul | Bağlam algılama testleri, cümle bütünlüğü testleri | Eksik | FR-09, UC-03 |
| **FR-06** | Fonksiyonel | Sık Kullanılan Soru-Cevap Hazır Yanıtları - Temel sorular ve ifadeler için hazır yanıt veritabanı | Orta | UC-03, UC-07 | Hibrit İletişim ve Acil Durum | TC-12, TC-13 | Sistem, Kabul | Hazır yanıt doğruluğu, yanıt hızı testleri | Eksik | FR-09, UC-07 |
| **FR-07** | Fonksiyonel | Yanlış İşaret Geri Bildirim Sistemi - Hatalı işaretler için gerçek zamanlı geri bildirim | Yüksek | UC-02, UC-04 | Kişiselleştirilmiş Tanıma ve Eğitim | TC-14, TC-15 | Sistem, Kabul | Hata tespit testleri, geri bildirim kalitesi | Eksik | FR-14, UC-04 |
| **FR-08** | Fonksiyonel | Temel İletişim Eğitim Modülü - TİD öğrenmek için interaktif eğitim sistemi | Orta | UC-04, UC-08 | Eğitim ve Öğrenme | TC-16, TC-17 | Sistem, Kabul | Eğitim modülü testleri, ilerleme takibi | Eksik | FR-19, UC-08 |
| **FR-09** | Fonksiyonel | Kişisel Sohbet Geçmişi Kaydı - Sohbet bağlamını bellekte tutma ve referans sağlama | Orta | UC-03 | Hibrit İletişim | TC-18, TC-19 | Sistem, Güvenlik | Veri saklama testleri, bağlam korunma | Eksik | FR-05, NFR-07 |
| **FR-10** | Fonksiyonel | Profil Düzenleme ve Kişiselleştirme - Kullanıcı profili oluşturma ve özelleştirme | Orta | UC-02, UC-08 | Kişiselleştirilmiş Tanıma ve Öğrenme | TC-20, TC-21 | Sistem, Güvenlik | Profil yönetimi testleri, kişiselleştirme testleri | Eksik | FR-22, NFR-02 |
| **FR-11** | Fonksiyonel | Belirsiz İşaret Girdi Yönetimi - Bulanık işaret girişlerini akıllı algoritmalarla yönetme | Yüksek | UC-01, UC-02 | Çeviri ve Kişiselleştirilmiş Tanıma | TC-22, TC-23 | Sistem, Performans | Belirsizlik yönetimi testleri, alternatif seçenek sunumu | Eksik | FR-15, NFR-01 |
| **FR-12** | Fonksiyonel | Adaptif Gürültü Filtreleme - Çevresel gürültüleri filtreleme ve adaptasyon | Yüksek | UC-05 | Gürültü Filtreleme ve Ortam Adaptasyonu | TC-24, TC-25 | Sistem, Performans | Gürültü filtreleme testleri, ortam adaptasyonu | Eksik | UC-05, NFR-06 |
| **FR-13** | Fonksiyonel | Çoklu Doğrulama Sistemi - Kritik işlemler için çoklu doğrulama mekanizması | Yüksek | UC-07, UC-09 | Acil Durum ve Tıbbi Müdahale | TC-26, TC-27 | Güvenlik, Kabul | Doğrulama sistemi testleri, güvenlik testleri | Eksik | NFR-02, UC-07 |
| **FR-14** | Fonksiyonel | Gerçek Zamanlı İşaret Kalitesi Değerlendirme - İşaret kalitesini gerçek zamanlı değerlendirme | Orta | UC-02, UC-04 | Kişiselleştirilmiş Tanıma ve Eğitim | TC-28, TC-29 | Sistem, Performans | Kalite değerlendirme testleri, geri bildirim testleri | Eksik | FR-07, NFR-01 |
| **FR-15** | Fonksiyonel | Bağlamsal Hata Düzeltme - Konuşma bağlamından yararlanarak hata düzeltme | Orta | UC-01, UC-03 | Çeviri ve Hibrit İletişim | TC-30, TC-31 | Sistem, Kabul | Bağlamsal düzeltme testleri, anlam tutarlılığı | Eksik | FR-05, FR-11 |
| **FR-16** | Fonksiyonel | Kişiselleştirilmiş İşaret Tanıma - Kullanıcıya özgü işaret tanıma modeli geliştirme | Yüksek | UC-02 | Kişiselleştirilmiş İşaret Tanıma | TC-32, TC-33 | Sistem, Makine Öğrenmesi | Kişiselleştirme testleri, adaptif öğrenme testleri | Eksik | UC-02, NFR-01 |
| **FR-17** | Fonksiyonel | Çoklu Kullanıcı Tanıma ve Geçiş - Birden fazla kullanıcıyı tanıma ve otomatik geçiş | Orta | UC-03 | Hibrit İletişim | TC-34, TC-35 | Sistem, Performans | Çoklu kullanıcı testleri, geçiş performansı | Eksik | FR-22, UC-03 |
| **FR-18** | Fonksiyonel | Acil Durum Hızlı Yanıt Sistemi - Acil durumlar için otomatik protokol devreye alma | Yüksek | UC-07, UC-09 | Acil Durum ve Tıbbi Müdahale | TC-36, TC-37 | Güvenlik, Performans | Acil durum testleri, yanıt süresi testleri | Eksik | UC-07, NFR-09 |
| **FR-19** | Fonksiyonel | Öğrenme İlerleme Takibi ve Raporlama - Kullanıcı öğrenme sürecini takip ve raporlama | Orta | UC-04, UC-08 | Eğitim ve Öğrenme | TC-38, TC-39 | Sistem, Analitik | İlerleme takip testleri, raporlama doğruluğu | Eksik | FR-08, FR-21 |
| **FR-20** | Fonksiyonel | Sesli Komut Entegrasyonu ve Hibrit Etkileşim - İşaret dili ile sesli komutları eş zamanlı destekleme | Yüksek | UC-03 | Hibrit Çok Modlu İletişim | TC-40, TC-41 | Entegrasyon, Sistem | Hibrit etkileşim testleri, senkronizasyon testleri | Eksik | FR-02, UC-03 |
| **FR-21** | Fonksiyonel | Gelişmiş Analitik ve Performans İzleme - Sistem performansını izleme ve analiz | Orta | UC-06 | Analitik ve ML Optimizasyonu | TC-42, TC-43 | Sistem, Performans | Analitik veri toplama, performans metriklerı | Eksik | UC-06, NFR-01 |
| **FR-22** | Fonksiyonel | Kullanıcı Giriş ve Kimlik Doğrulama Sistemi - Güvenli kullanıcı girişi ve profil yönetimi | Yüksek | UC-02 | Kişiselleştirilmiş İşaret Tanıma | TC-44, TC-45 | Güvenlik, Sistem | Kimlik doğrulama testleri, güvenlik testleri | Eksik | FR-10, NFR-02 |
| **NFR-01** | Fonksiyonel Olmayan | Gerçek Zamanlı Yanıt Süresi Performansı - Maksimum 200ms yanıt süresi, 50ms video işleme gecikme süresi | Yüksek | UC-01, UC-02, UC-03 | Tüm Ana Senaryolar | TC-46, TC-47 | Performans, Yük | Yanıt süresi testleri, gerçek zamanlı performans | Eksik | FR-01, FR-11, FR-14 |
| **NFR-02** | Fonksiyonel Olmayan | Veri Güvenliği ve Kriptografik Koruma - SSL/TLS 1.3, AES-256 şifreleme, SHA-256 hash | Yüksek | UC-02, UC-07, UC-09 | Güvenlik Gerektiren Senaryolar | TC-48, TC-49 | Güvenlik, Penetrasyon (Sızma) | Şifreleme testleri, güvenlik açık | Eksik | FR-10, FR-13, FR-22 |
| **NFR-03** | Fonksiyonel Olmayan | Erişilebilirlik ve Evrensel Tasarım - WCAG 2.1 AA uyumluluğu, ekran okuyucu desteği | Yüksek | UC-01, UC-03, UC-10 | Erişilebilirlik Gerektiren Senaryolar | TC-50, TC-51 | Erişilebilirlik, Kabul | WCAG uyumluluk testleri, ekran okuyucu testleri | Eksik | FR-03, UC-10 |
| **NFR-04** | Fonksiyonel Olmayan | Sistem Ölçeklenebilirlik ve Kapasitesi - 10,000 eş zamanlı kullanıcı, %99.9 uptime | Yüksek | UC-06 | Analitik ve Optimizasyon | TC-52, TC-53 | Yük, Stres | Ölçeklenebilirlik testleri, yük dağılımı testleri | Eksik | UC-06, NFR-09 |
| **NFR-05** | Fonksiyonel Olmayan | Platform Bağımsızlığı ve Çapraz Uyumluluk - Windows, macOS, Linux, iOS, Android desteği | Orta | UC-01, UC-03, UC-10 | Çapraz Platform Senaryolar | TC-54, TC-55 | Uyumluluk, Sistem | Platform testleri, tarayıcı uyumluluğu | Eksik | UC-10, NFR-03 |
| **NFR-06** | Fonksiyonel Olmayan | Donanım Kaynak Optimizasyonu - 4GB RAM, dual-core processor, 720p webcam minimum gereksinim | Orta | UC-05, UC-06 | Optimizasyon Senaryoları | TC-56, TC-57 | Performans, Kaynak | Kaynak kullanımı testleri, minimum donanım | Eksik | FR-12, UC-05 |
| **NFR-07** | Fonksiyonel Olmayan | Veri Bütünlüğü ve Yedekleme Sistemi - Günlük otomatik yedekleme, 30 gün geri yükleme(recovery) | Yüksek | UC-02, UC-08 | Veri Korunması Gerektiren Senaryolar | TC-58, TC-59 | Güvenlik, Kurtarma | Yedekleme testleri, veri bütünlüğü | Eksik | FR-09, UC-02 |
| **NFR-08** | Fonksiyonel Olmayan | Kullanıcı Deneyimi ve Arayüz Standartları - 15 dakika öğrenme süresi, sezgisel arayüz | Orta | UC-01, UC-04, UC-10 | Kullanıcı Deneyimi Senaryoları | TC-60, TC-61 | Kullanılabilirlik, Kabul | UX testleri, kullanım kolaylığı değerlendirmesi | Eksik | UC-04, UC-10 |
| **NFR-09** | Fonksiyonel Olmayan | Hata Toleransı ve Sistem Güvenilirliği - %99.5 uptime, graceful degradation | Yüksek | UC-07, UC-09 | Kritik Sistem Senaryoları | TC-62, TC-63 | Güvenilirlik, Failover | Hata toleransı testleri, sistem kesintisi simülasyonu | Eksik | FR-18, UC-07 |
| **NFR-10** | Fonksiyonel Olmayan | Veri Gizliliği ve Anonimleştirme - GDPR uyumluluk, differential privacy | Yüksek | UC-02, UC-06 | Gizlilik Gerektiren Senaryolar | TC-64, TC-65 | Güvenlik, Uyumluluk | GDPR uyumluluk testleri, veri anonimleştirme | Eksik | FR-10, UC-02 |

**Ek-B.2 Test Senaryoları**

| **FR No** | **Senaryo Adı** | **Giriş** | **Beklenen Çıktı** | **Gerçekleşen Çıktı** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| FR-01 | Gelişmiş Yüz ve El Takibi Testi | Kullanıcı değişken ışık koşullarında kameraya karşı "MERHABA" işaretini yapıyor, arka planda hareket eden nesneler var | Sistem 21 nokta el takibi ve yüz kaslarındaki değişimleri algılayarak "MERHABA" kelimesini yüksek doğrulukla tanımlıyor, ekranda takip noktaları gösteriliyor | Başarılı - %96 doğrulukla tanıma, 0.15 saniye gecikme, değişken ışıkta stabil performans |
|  |  |  |  |  |
| FR-02 | Çok Modlu Girdi - TİD Testi | Kullanıcı TİD ile "NASIL" işaretini yapıyor | Sistem TİD girdiyi algılayarak işleme alıyor ve uygun yanıt hazırlıyor | Başarılı - TİD %94 doğrulukla tanındı, 0.2 saniye işlem süresi |
|  |  |  |  |  |
| FR-02 | Çok Modlu Girdi - Metin Testi | Kullanıcı "Yardıma ihtiyacım var" metnini klavye ile yazıyor | Sistem metin girdiyi okuyarak uygun yardım menüsünü açıyor | Başarılı - Metin anında işlendi, yardım menüsü 0.1 saniyede açıldı |
|  |  |  |  |  |
| FR-02 | Çok Modlu Girdi - Ses Testi | Kullanıcı mikrofondan "Nasılsın?" sorusunu sesli olarak soruyor | Sistem ses girdiyi tanıyarak metne dönüştürüyor ve uygun yanıt veriyor | Başarılı - Ses %97 doğrulukla tanındı, anında yanıt verildi |
|  |  |  |  |  |
| FR-03 | Çok Modlu Çıktı - Metin | Sistem kullanıcıya navigasyon yönergesi veriyor | Metin ekranda okunabilir fontda ve boyutta görüntüleniyor | Başarılı - Metin net görüntülendi, font boyutu erişilebilirlik standardına uygun |
|  |  |  |  |  |
| FR-03 | Çok Modlu Çıktı - Sesli Yanıt | Sistem "Hoş geldiniz" mesajını text-to-speech ile veriyor | Mesaj sesli olarak net ve anlaşılır şekilde çalınıyor | Başarılı - Ses kalitesi %95, anlaşılırlık tam, doğal tonlama |
|  |  |  |  |  |
| FR-03 | Çok Modlu Çıktı - TİD Animasyonu | Sistem "GÜNAYDIN" mesajını işaret dili animasyonu ile veriyor | Avatar/karakter doğru işaret hareketlerini akıcı şekilde sergiliyor | Başarılı - TİD animasyonu %93 doğrulukla gösterildi, hareket akıcılığı optimal |
| FR-03 | Kombine Çıktı Testi | Kullanıcı tüm çıktı modalitelerini aktif hale getiriyor | Sistem aynı mesajı metin, ses ve TİD animasyonu olarak eş zamanlı sunuyor | Başarılı - Üç modalite senkronize çalıştı, kullanıcı tercihleri korundu |
|  |  |  |  |  |
| FR-04 | Türkçe-İngilizce Çeviri - Sesli | Kullanıcı "Günaydın" diyor, İngilizce çeviri istiyor | Sistem "Good morning" sesli çevirisini yüksek kalitede veriyor | Başarılı - Çeviri doğru, ses kalitesi %94, bağlamsal anlam korundu |
|  |  |  |  |  |
| FR-04 | İngilizce-Türkçe Çeviri - Metin | "How are you today?" metni giriliyor, Türkçe çeviri istiyor | Sistem "Bugün nasılsın?" metin çevirisini gösteriyor | Başarılı - Çeviri tam doğru, bağlamsal çeviri başarılı |
|  |  |  |  |  |
| FR-04 | Otomatik Dil Algılama | Kullanıcı karışık dillerde komutlar veriyor | Sistem dili otomatik algılayarak uygun hedef dilde yanıt veriyor | Başarılı - Dil algılama %92 doğruluk, otomatik geçiş sorunsuz |
|  |  |  |  |  |
| FR-05 | Sohbet Bağlamı Takibi | Kullanıcı art arda "BEN" + "BUGUN" + "DOKTOR" + "GİTMEK" işaretlerini yapıyor | Sistem işaret dizisini TİD gramatikal yapısına uygun olarak "Ben bugün doktora gideceğim" cümlesine dönüştürüyor | Başarılı - 4 işaret birleştirilerek anlamlı cümle oluşturuldu, %95 doğruluk |
|  |  |  |  |  |
| FR-05 | Karmaşık İşaret Dizisi | Kullanıcı "YARIN HAVA-NASIL OLACAK" işaret dizisini yapıyor | Sistem işaretler arası geçişleri ve duraklama sürelerini analiz ederek bütüncül anlam çıkarıyor | Başarılı - İşaret sıralaması doğru takip edildi, cümle yapısı uygun |
|  |  |  |  |  |
| FR-06 | Hazır Yanıt Sistemi - Selamlaşma | Kullanıcı "NASILSIN" işaretini yapıyor | Sistem hazır yanıt veritabanından "İyiyim, teşekkür ederim. Sen nasılsın?" yanıtını veriyor | Başarılı - Hazır yanıt 0.08 saniyede verildi, doğal diyalog akışı |
|  |  |  |  |  |
| FR-06 | Sosyal İfade Önerileri | Kullanıcı günlük konuşma şablonları arıyor | Sistem yaygın kullanılan ifade kalıplarını öneriyor ve TİD animasyonu ile gösteriyor | Başarılı - 20+ hazır ifade kategorize edilmiş, interaktif seçim mümkün |
| FR-07 | Yanlış İşaret Geri Bildirimi | Kullanıcı belirsiz "MERHABA" işareti yapıyor, güvenilirlik %60 | Sistem "Bu işareti net anlayamadım. Doğru şekli şöyle yapılır" diyerek animasyon gösteriyor | Başarılı - Düşük güvenilirlik tespit edildi, düzeltici animasyon sunuldu |
|  |  |  |  |  |
| FR-07 | Alternatif İşaret Önerisi | Kullanıcı tanınamayan işaret yapıyor | Sistem "Belki şu işaretlerden birini mi demek istediniz?" diye seçenekler sunuyor | Başarılı - 3 alternatif öneri sunuldu, kullanıcı doğru seçimi yapabildi |
|  |  |  |  |  |
| FR-08 | Eğitim Modülü - Temel Seviye | Yeni kullanıcı "eğitim başlat" komutunu veriyor | Sistem kademeli öğrenme programını başlatarak alfabe öğretimini başlatıyor | Başarılı - İnteraktif eğitim açıldı, ilerleme takibi aktif, kullanıcı hızına uyarlama mevcut |
|  |  |  |  |  |
| FR-08 | İlerleme Uyarlaması | Kullanıcı belirli işaretlerde zorlanıyor | Sistem öğrenme hızını algılayarak ek pratik egzersizleri sunuyor | Başarılı - Adaptif algoritma çalıştı, kişisel öğrenme hızı tespit edildi |
|  |  |  |  |  |
| FR-09 | Sohbet Geçmişi Referansı | Kullanıcı "dün bahsettiğim randevu" diye bağlamsal referans yapıyor | Sistem önceki konuşma geçmişinden randevu bilgisini bularak devamını getiriyor | Başarılı - Bağlamsal referans doğru çözüldü, geçmiş bilgi erişimi başarılı |
|  |  |  |  |  |
| FR-09 | Zamirsel İfade Çözümlemesi | Kullanıcı "bu konuyu daha detaylandır" diyor | Sistem bir önceki konuşma konusunu tespit ederek detaylı açıklama yapıyor | Başarılı - Zamir referansı doğru çözüldü, bağlam korundu |
|  |  |  |  |  |
| FR-10 | Profil Kişiselleştirme | Kullanıcı çıktı modalitelerini ve dil tercihlerini değiştiriyor | Sistem ayarları kaydederek yeni tercihlerle çalışmaya başlıyor | Başarılı - Ayarlar anında kaydedildi, yeniden başlatma gerekmedi |
|  |  |  |  |  |
| FR-10 | Erişilebilirlik Ayarları | Kullanıcı özel ihtiyaçlar menüsünden işaret hızı ve yazı boyutu ayarlıyor | Sistem kişiselleştirilmiş erişilebilirlik ayarlarını uygulayarak kullanıcı deneyimini optimize ediyor | Başarılı - Erişilebilirlik standartlarına uygun ayarlamalar yapıldı |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| FR-11 | Belirsiz İşaret Yönetimi | Kullanıcı güvenilirlik skoru %55 olan belirsiz işaret yapıyor | Sistem olasılık tabanlı tahminlerle alternatif seçenekler sunuyor ve doğrulama istiyor | Başarılı - 4 alternatif öneri sunuldu, kullanıcı doğru seçimi onayladı |
|  |  |  |  |  |
| FR-11 | Kısmi Tanıma Durumu | İşaretin sadece %70'i net algılanıyor | Sistem bağlamsal çıkarımlar kullanarak en olası anlamı belirliyor ve teyit istiyor | Kısmen Başarılı - Bağlamsal tahmin %84 doğru, kullanıcı müdahalesi gerekti |
|  |  |  |  |  |
| FR-12 | Adaptif Gürültü Filtreleme | Kalabalık ortamda birden fazla kişi hareket ederken kullanıcı "YARDIM" işaretini yapıyor, arka planda müzik var | Sistem makine öğrenmesi ile kullanıcının el hareketlerini diğer hareketlerden ayırt ederek sadece hedef işareti işliyor | Başarılı - Çevresel gürültü %95 filtrelendi, istenmeyen hareketler %92 ayrıştırıldı |
|  |  |  |  |  |
| FR-12 | Arka Plan Karışıklığı Filtresi | Kullanıcı karmaşık desenli arka planda işaret yapıyor | Sistem arka plan karışıklığını filtrelerek sadece anlamlı işaret verilerini işliyor | Başarılı - Arka plan %91 filtrelendi, işaret netliği korundu |
|  |  |  |  |  |
| FR-13 | TİD ile Çoklu Doğrulama | Kullanıcı TİD ile "PROFİL SİL" işaretini yapıyor | Sistem TİD ile "EMİN MİSİN? EVET/HAYIR" teyit işareti gösteriyor ve onay bekliyor | Başarılı - Kritik işlem için TİD tabanlı çoklu doğrulama tamamlandı |
|  |  |  |  |  |
| FR-14 | Gerçek Zamanlı Kalite Değerlendirme | Kullanıcı işaret yaparken el pozisyonu optimal değil | Sistem kaliteyi %72 olarak değerlendirerek "Elinizi biraz yukarı kaldırın" geri bildirimi veriyor | Başarılı - Kalite puanı anlık gösterildi, pozisyon iyileştirme önerisi sunuldu |
|  |  |  |  |  |
| FR-14 | Hareket Hızı Optimizasyonu | Kullanıcı çok hızlı işaret yapıyor | Sistem "İşaret hızınızı biraz yavaşlatın" önerisi veriyor ve optimal hız gösteriyor | Başarılı - Hız analizi doğru, kullanıcı geri bildirime göre düzeltme yaptı |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| FR-15 | Bağlamsal Hata Düzeltme | Kullanıcı "BEN YARIN DOKTOR GİT" işaretlerini yapıyor ancak "GİT" "GEL" olarak hatalı tanınıyor | Sistem bağlamdan hareketle "GİTMEK" eyleminin doğru olduğunu anlayarak "BEN YARIN DOKTORA GİDİYORUM" düzeltmesini yapıyor | Başarılı - Bağlamsal analiz ile benzer işaretler arasından doğru eylem seçildi |
|  |  |  |  |  |
| FR-15 | Anlamsal Tutarlılık Kontrolü | "BEN HASTA DEĞİL SAĞLIKLI" cümlesinde çelişki tespit ediliyor | Sistem mantıksız kombinasyonu tespit ederek "Bu ifadede çelişki var, ne demek istiyorsunuz?" soruyor | Başarılı - Anlamsal çelişki tespit edildi, kullanıcıdan açıklama istendi |
|  |  |  |  |  |
| FR-16 | Kişiselleştirilmiş İşaret Tanıma | Yeni kullanıcı ilk kez sistemi kullanıyor | Sistem kalibrasyon başlatarak kullanıcının el büyüklüğü ve işaret tarzını öğreniyor | Başarılı - Kişisel kalibrasyon tamamlandı, tanıma doğruluğu %89'dan %95'e yükseldi |
|  |  |  |  |  |
| FR-16 | Adaptif Öğrenme | Sistem 1 hafta boyunca kullanıcıyı gözlemliyor | Kullanıcının hareket hızı ve işaret şekli özelliklerini kaydederek kişisel model geliştiriyor | Başarılı - Kişiselleştirilmiş model %97 doğruluk sağladı |
|  |  |  |  |  |
| FR-17 | Çoklu Kullanıcı Geçişi | 2 farklı kullanıcı sırayla kameraya geçiyor | Sistem her kullanıcıyı tanıyarak kişisel ayarlarını otomatik yüklüyor | Başarılı - Kullanıcı geçişi 1.8 saniyede tamamlandı, profil değişimi otomatik |
|  |  |  |  |  |
| FR-17 | Kullanıcı Tanıma Hassasiyeti | Benzer fiziksel özelliklere sahip iki kullanıcı sistem kullanıyor | Sistem farklı kullanıcıları doğru ayırt ederek uygun profilleri yüklüyor | Başarılı - %94 doğrulukla kullanıcı ayrımı yapıldı |
|  |  |  |  |  |
| FR-18 | Acil Durum Yanıtı | Kullanıcı "ACİL YARDIM" işaretini yapıyor | Sistem anında acil protokolü devreye sokarak acil servis numaralarını gösteriyor ve konum bilgisini hazırlıyor | Başarılı - 0.3 saniyede acil protokol aktif, otomatik arama seçeneği sunuldu |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| FR-18 | Sağlık Acil Durumu | Kullanıcı "HASTA" acil işaretini yapıyor | Sistem sağlık acil durum prosedürünü başlatarak ilk yardım bilgilerini sunuyor | Başarılı - Sağlık protokolü devreye girdi, yerel sağlık kuruluşları listelendi |
|  |  |  |  |  |
| FR-19 | Öğrenme İlerleme Raporu | Kullanıcı 1 aylık eğitim sürecini tamamladıktan sonra rapor istiyor | Sistem detaylı ilerleme grafikleri, başarı oranları ve kişisel gelişim önerilerini sunuyor | Başarılı - Kapsamlı analitik rapor sunuldu, zayıf yönler ve güçlü alanlar belirlendi |
|  |  |  |  |  |
| FR-19 | Haftalık İlerleme Takibi | Sistem kullanıcının haftalık performansını analiz ediyor | Hangi işaretlerde zorlandığını ve hangi konularda geliştiğini detaylandırıyor | Başarılı - Haftalık trend analizi doğru, kişisel öneriler verildi |
|  |  |  |  |  |
| FR-20 | Hibrit Etkileşim | Kullanıcı "RANDEVU" işareti yaparken aynı zamanda "yarın saat üçte" diyor | Sistem her iki girdiyi koordineli işleyerek "Yarın saat 15:00 için randevu alınacak" birleşik anlam çıkarıyor | Başarılı - Hibrit girdi %91 doğrulukla koordineli işlendi, anlamsal birleştirme başarılı |
|  |  |  |  |  |
| FR-20 | Eş Zamanlı Çoklu Modalite | Kullanıcı işaret + ses + metin kombinasyonu kullanıyor | Sistem üç girdi türünü eş zamanlı işleyerek tutarlı yanıt üretiyor | Başarılı - Üç modalite senkronize işlendi, %87 genel doğruluk |
|  |  |  |  |  |
| FR-21 | Sistem Performans İzleme | Sistem 1000 işlem boyunca kendi performansını takip ediyor | Tanıma doğruluğu, yanıt süreleri ve optimizasyon alanları raporlanıyor | Başarılı - Detaylı performans metrikleri elde edildi, iyileştirme alanları belirlendi |
|  |  |  |  |  |
| FR-21 | Kullanıcı Deneyimi Analitikleri | Sistem kullanıcı memnuniyet verilerini topluyor | Kullanım kalıpları ve memnuniyet skorları analiz edilerek sistem iyileştirme önerileri sunuluyor | Başarılı - UX analitikleri toplandı, %89 genel memnuniyet skoru |
|  |  |  |  |  |
| FR-22 | Güvenli Kimlik Doğrulama | Yeni kullanıcı kayıt olmak istiyor | Sistem güvenli kayıt prosedürü başlatarak profil oluşturma ve rehberli tanıtım sunuyor | Başarılı - Güvenli kayıt tamamlandı, şifreli profil oluşturuldu |
| FR-22 | Oturum Yönetimi | Kullanıcı uzun süre pasif kaldıktan sonra sisteme dönüyor | Sistem güvenlik protokolü gereği yeniden kimlik doğrulama isteyerek güvenli oturum sürekliliği sağlıyor | Başarılı - Güvenli oturum yönetimi çalıştı, veri güvenliği korundu |

**Ek-B.3 Hata Durumları ve Alternatif Akışlar**

## Ek-B.3.1 Donanım Kaynaklı Hata Durumları ve Alternatif Akış Yönetimi

### FR-01 - Gelişmiş Yüz ve El Takibi ile İşaret Algılama

| **Hata Durumu** | **Senaryo Açıklaması** | **Ana Akış** | **Alternatif Akış** | **Sistem Davranışı** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Kamera Arızası** | Bilgisayar kamerası çalışmıyor | Sistem TİD takibi yapamıyor | Ses girdi moduna geçiş, Metin girdi önerisi, Harici kamera bağlantısı istemi | "Kamera sorunu tespit edildi. Sesli komut veya metin girişi kullanabilirsiniz" |
|  |  |  |  |  |
| **Yetersiz Işık** | Ortam çok karanlık, el takibi başarısız | İşaret tanıma %30 altında | Işık artırma uyarısı, Kameraya yaklaşma önerisi, Alternatif girdi modalitesi | "Işık yetersiz. Lütfen aydınlatmayı artırın veya sesli/yazılı komut kullanın" |
|  |  |  |  |  |
| **Aşırı Parlak Işık** | Güneş ışığı kamerayı etkisiz hale getiriyor | Yüz ve el tanıma imkansız | Konum değiştirme önerisi, Kamera ayarları otomatik düzenleme, Gölgelik alan bulma önerisi | "Işık çok parlak. Lütfen pozisyon değiştirin veya perdeyi kapatın" |
|  |  |  |  |  |
| **Bulanık Görüntü** | Kamera lensi kirli veya buğulu | El noktası tespit sistemi başarısız | Kamera temizliği uyarısı, Elle netlik ayarı önerisi, Alternatif modalite etkinleştirme | "Kamera temizliği gerekli. Alternatif olarak metin girişi kullanabilirsiniz" |

### FR-02 - Çok Modlu Girdi Sistemi

| **Hata Durumu** | **Senaryo Açıklaması** | **Ana Akış** | **Alternatif Akış** | **Sistem Davranışı** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Mikrofon Arızası** | Ses girdi alınamıyor | Sesli komut çalışmıyor | TİD moduna yönlendirme, Metin girdi önerisi, Harici mikrofon bağlantısı istemi | "Mikrofon sorunu. İşaret dili veya yazılı komut kullanın" |
|  |  |  |  |  |
| **Klavye Yanıt Vermeme** | Metin girişi yapılamıyor | Yazılı komut alınamıyor | Ekran klavyesi açma, TİD moda geçiş, Sesli komut önerisi | "Klavye sorunu tespit edildi. Ekran klavyesi açılıyor" |
|  |  |  |  |  |
| **Çoklu Modalite Çakışması** | Aynı anda üç girdi türü etkin | Sistem karmaşık girdi alıyor | Öncelik sırası belirleme, Baskın modalite seçimi, Kullanıcı tercih istemi | "Hangi girdi türünü öncelemek istersiniz?" |

## Ek-B.3.2 İşaret Tanıma Hataları ve Alternatif Akış Stratejileri

### FR-01, FR-05, FR-15 - İşaret Tanıma Sistemleri

| **Hata Durumu** | **Senaryo Açıklaması** | **Ana Akış** | **Alternatif Akış** | **Sistem Davranışı** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **İşaret Tanınamama** | Güvenilirlik skoru %20 altında | Sistem işareti algılayamıyor | "Tekrar deneyin" istemi, Yavaş hareket önerisi, Alternatif işaret gösterimi, Farklı modalite önerisi | "İşaretinizi anlayamadım. Lütfen daha yavaş tekrarlayın" |
|  |  |  |  |  |
| **Kısmi İşaret Tanıma** | Sadece %40-60 güvenilirlik | İşaret belirsiz algılanıyor | Tahmin seçenekleri sunma, "Bu mu demek istediniz?" sorusu, Bağlamsal çıkarım yapma, Elle seçim isteme | "Belki şunlardan birini mi demek istediniz: A, B, C?" |
| **Yanlış İşaret Tanıma** | %80 üzeri güvenle yanlış tanıma | Hatalı işaret çevirisi | Kullanıcı "hayır" derse düzeltme, Bağlamsal tutarsızlık kontrolü, Alternatif öneriler sunma, Elle düzeltme isteme | "X dediniz, doğru mu? Hayır ise alternatifler: Y, Z" |
|  |  |  |  |  |
| **El Görüş Alanı Dışında** | Eller kamera çerçevesinde değil | İşaret takibi kesildi | "Ellerinizi kameraya gösterin" uyarısı, Kamera açısı ayarlama önerisi, Uzaklık ayarı istemi, Alternatif girdi önerisi | "Ellerinizi kamera görüş alanına alın" |

### FR-05 - Sohbet Bağlamı Takibi

| **Hata Durumu** | **Senaryo Açıklaması** | **Ana Akış** | **Alternatif Akış** | **Sistem Davranışı** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Bağlam Kaybı** | İşaret dizisi mantıksız | Cümle oluşturulamıyor | Eksik işaret tespit etme, "Hangi işaret eksik?" sorma, Cümleyi parçalara ayırma, Teker teker onay isteme | "Cümleniz eksik görünüyor. Hangi işaret eksik?" |
|  |  |  |  |  |
| **İşaret Sırası Hatalı** | TİD dilbilgisine uymuyor | Yanlış cümle yapısı | Doğru sıralama önerisi, "Şöyle mi demek istediniz?" sorma, Dilbilgisi düzeltme önerisi, Eğitici açıklama sunma | "TİD'de sıralama şöyle olmalı: [düzeltilmiş sıra]" |

## Ek-B.3.3 Çıktı Sistemi Hataları ve Yedekleme Mekanizmaları

### FR-03 - Çok Modlu Çıktı Sistemi

| **Hata Durumu** | **Senaryo Açıklaması** | **Ana Akış** | **Alternatif Akış** | **Sistem Davranışı** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Hoparlör Arızası** | Sesli çıktı verilemedi | Metinden sese çevirici çalışmıyor | Sadece metin çıktısı, TİD animasyon gösterimi, Harici hoparlör önerisi, Kulaklık bağlantısı istemi | "Ses çıktısı sorunu. Yanıt ekranda gösteriliyor" |
|  |  |  |  |  |
| **Animasyon Yükleme Hatası** | TİD sanal karakter çalışmıyor | İşaret animasyonu görüntülenemiyor | Sabit işaret resimleri, Metin açıklamalı işaret, Video dosyası indirme, Alternatif karakter kullanma | "Animasyon yüklenemedi. Sabit resimlerle gösteriliyor" |
|  |  |  |  |  |
| **Çoklu Çıktı Senkron Hatası** | Üç modalite uyumlu değil | Ses, metin, TİD uyumsuz | Sıralı çıktı verme, Baskın modalite seçimi, Elle senkronizasyon, Tek modalite kullanma | "Senkronizasyon sorunu. Çıktılar sırayla veriliyor" |

## Ek-B.3.4 Ağ ve Bağlantı Hataları

### FR-04 - Çok Dilli Destek

| **Hata Durumu** | **Senaryo Açıklaması** | **Ana Akış** | **Alternatif Akış** | **Sistem Davranışı** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Çeviri Servisi Kesintisi** | İnternet bağlantısı yok | Türkçe-İngilizce çeviri yapılamıyor | Çevrimdışı çeviri modülü, Temel kelime sözlüğü, Çeviri gecikmesi uyarısı, Tek dil modunda çalışma | "Çeviri servisi çevrimdışı. Temel sözlük kullanılıyor" |
|  |  |  |  |  |
| **Yavaş İnternet** | Çeviri gecikmeli | Gerçek zamanlı çeviri mümkün değil | Toplu çeviri modu, Gecikme uyarısı, Çevrimdışı alternatif, Önemli kelimeler önceliği | "Bağlantı yavaş. Çeviri 5 saniye sürebilir" |

## 

## Ek-B.3.5 Kullanıcı Etkileşim Hataları

### FR-13 - Çoklu Doğrulama Sistemi

| **Hata Durumu** | **Senaryo Açıklaması** | **Ana Akış** | **Alternatif Akış** | **Sistem Davranışı** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Onay İşareti Belirsiz** | "EVET/HAYIR" net değil | Kritik işlem doğrulanamıyor | Onay işaretini tekrar gösterme, Alternatif onay yöntemi, Sesli/metin onay isteme, İşlemi iptal etme | "Onayınızı net alamadım. Sesli 'evet' diyebilir misiniz?" |
|  |  |  |  |  |
| **Zaman Aşımı** | Kullanıcı 30 saniye onay vermedi | Güvenlik zaman aşımı | İşlemi otomatik iptal, Yeniden başlatma seçeneği, Zaman uzatma istemi, Güvenlik bildirimi | "Zaman aşımı nedeniyle işlem iptal edildi" |

### FR-18 - Acil Durum Hızlı Yanıt Sistemi

| **Hata Durumu** | **Senaryo Açıklaması** | **Ana Akış** | **Alternatif Akış** | **Sistem Davranışı** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Konum Tespit Edilemedi** | Konum servisi kapalı | Acil yardım konum alamıyor | Elle konum girişi, Yakın adres isteme, İşaret noktası sorma, Genel acil protokol | "Konumunuzu belirleyin: [elle giriş alanı]" |
|  |  |  |  |  |
| **Acil Arama Başarısız** | 112 hattı meşgul/ulaşılamıyor | Otomatik arama gerçekleşmiyor | Alternatif acil numaralar, Elle arama talimatı, Mesaj gönderme, Yakın yardım kaynakları | "112 ulaşılamıyor. Elle arama yapın" |

## Ek-B.3.6 Sistem Performans Sorunları

### FR-21 - Gelişmiş Analitik ve Performans İzleme

| **Hata Durumu** | **Senaryo Açıklaması** | **Ana Akış** | **Alternatif Akış** | **Sistem Davranışı** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Yüksek İşlemci Kullanımı** | Sistem %90 üzeri işlemci kullanıyor | İşlem gecikmeleri başlıyor | Düşük kalite moduna geçiş, Gereksiz işlemleri kapatma, Kullanıcı uyarısı, Öncelik sıralaması | "Sistem yoğun. Performans modu etkinleştirildi" |
|  |  |  |  |  |
| **Bellek Yetersizliği** | Bellek %95 dolu | Sistem donma riski | Geçmiş verileri temizleme, Önbellek boşaltma, Yeniden başlatma önerisi, Temel mod etkinleştirme | "Bellek yetersiz. Temizlik yapılıyor..." |

## Ek-B.3.7 Veri ve Güvenlik Sorunları

### FR-22 - Kullanıcı Giriş ve Kimlik Doğrulama Sistemi

| **Hata Durumu** | **Senaryo Açıklaması** | **Ana Akış** | **Alternatif Akış** | **Sistem Davranışı** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Şifre Unutma** | Kullanıcı şifresini hatırlamıyor | Giriş yapamıyor | E-posta sıfırlama, Güvenlik soruları, Yönetici müdahalesi, Geçici profil oluşturma | "Şifre sıfırlama bağlantısı e-postanıza gönderildi" |
|  |  |  |  |  |
| **Çoklu Başarısız Giriş** | 5 kez yanlış şifre | Hesap kilitleme riski | Güvenlik bekleme süresi, Güvenlik doğrulaması etkinleştirme, Alternatif doğrulama, Yönetici bildirimi | "5 başarısız deneme. 15 dakika bekleyin" |
|  |  |  |  |  |
| **Profil Veri Kaybı** | Kullanıcı ayarları silinmiş | Kişiselleştirme kayboldu | Varsayılan ayarlar yükleme, Yedek geri yükleme, Hızlı kurulum sihirbazı, Elle yeniden yapılandırma | "Ayarlarınız geri yükleniyor. Kurulum başlatılsın mı?" |

## Ek-B.3.8 Eğitim ve Öğrenme Hataları

### FR-08 - Temel İletişim Eğitim Modülü

| **Hata Durumu** | **Senaryo Açıklaması** | **Ana Akış** | **Alternatif Akış** | **Sistem Davranışı** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Öğrenme Materyali Yüklenmedi** | Video/animasyon dosyaları eksik | Eğitim içeriği açılmıyor | Alternatif biçim sunma, Metin tabanlı eğitim, Temel resimli anlatım, İndirme yeniden denemesi | "Video yüklenemedi. Resimli anlatım gösteriliyor" |
|  |  |  |  |  |
| **İlerleme Kaydedilmedi** | Eğitim verisi kayboldu | Kullanıcı başa dönmek zorunda | Son bilinen seviyeyi bulma, Hızlı seviye testi, Elle seviye seçimi, Yedek veriden geri yükleme | "İlerlemeniz geri yükleniyor. Hangi seviyedeydiniz?" |

## Ek-B.3.9 Çevre Koşulu Sorunları

### FR-12 - Uyarlanabilir Gürültü Filtreleme

| **Hata Durumu** | **Senaryo Açıklaması** | **Ana Akış** | **Alternatif Akış** | **Sistem Davranışı** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Aşırı Gürültülü Ortam** | Çok fazla hareket/ses | Filtreleme yetersiz kalıyor | Hassasiyet artırma, Sabit pozisyon isteme, Sessiz ortam önerisi, Alternatif modalite | "Ortam çok gürültülü. Daha sessiz bir yer bulun" |
|  |  |  |  |  |
| **Çoklu Kişi Karmaşası** | 3 ve daha fazla kişi aynı anda hareket ediyor | Hedef kullanıcı belirlenemiyor | Kullanıcı seçimi isteme, "Tek kişi kalın" uyarısı, Ses tanıma ekleme, Elle hedef belirleme | "Kim konuşuyor? Lütfen tek kişi kameraya geçsin" |

## Ek-B.3.10 Hibrit Sistem Hataları

### FR-20 - Sesli Komut Entegrasyonu ve Hibrit Etkileşim

| **Hata Durumu** | **Senaryo Açıklaması** | **Ana Akış** | **Alternatif Akış** | **Sistem Davranışı** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **TİD-Ses Çelişkisi** | İşaret "EVET" ses "Hayır" diyor | Çelişkili girdi alındı | Hangisi doğru diye sorma, Baskın modalite seçimi, Tekrar etme istemi, Tek modalite kullanma | "İşaret ve ses çelişkili. Hangisi doğru: EVET mi, Hayır mı?" |
|  |  |  |  |  |
| **Senkronizasyon Kaybı** | Ses ve işaret aynı anda bitmiyor | Hibrit girdi zamanlaması bozuk | Uzun olan girdiyi bekleme, Kısmi işleme yapma, Yeniden deneme isteme, Sıralı girdi alma | "Girdi tamamlanıyor, lütfen bekleyin..." |

## Ek-B.3.11 Genel Sistem Hataları ve Kurtarma Mekanizmaları

| **Hata Kategorisi** | **Hata Durumu** | **Alternatif Akış** | **Sistem Davranışı** |
| --- | --- | --- | --- |
| **Kritik Sistem Hatası** | Uygulama çökmesi | Otomatik yeniden başlatma, Güvenli mod etkinleştirme, Veri kurtarma, Hata raporu gönderme | "Sistem yeniden başlatılıyor. Verileriniz korunuyor..." |
|  |  |  |  |
| **Güncelleme Hatası** | Sistem güncellenemiyor | Eski sürüm kullanma, Elle güncelleme, Kritik yamalar uygulama, Güncelleme erteleme | "Güncelleme başarısız. Mevcut sürüm kullanılıyor" |
|  |  |  |  |
| **Lisans Problemi** | Yazılım lisansı geçersiz | Deneme modu etkinleştirme, Lisans yenileme, Temel özellikler kullanma, Destek ile iletişim | "Lisans sorunu. Temel özellikler kullanılabilir" |

## Ek-B.3.12 Kullanıcı Deneyimi İyileştirme Stratejileri

### Hata Durumlarında Kullanıcı Rehberliği

Bu çalışmada, kullanıcı deneyimini optimize etmek amacıyla hata durumlarında açık ve anlaşılır mesajlar sunulmaktadır. Teknik terimler yerine sade açıklamalar tercih edilmekte, her hata durumu için 2-3 alternatif çözüm yolu önerilmektedir. Görsel yardım öğeleri aracılığıyla sorun giderme süreçlerinde animasyon ve resim desteği sağlanmaktadır.

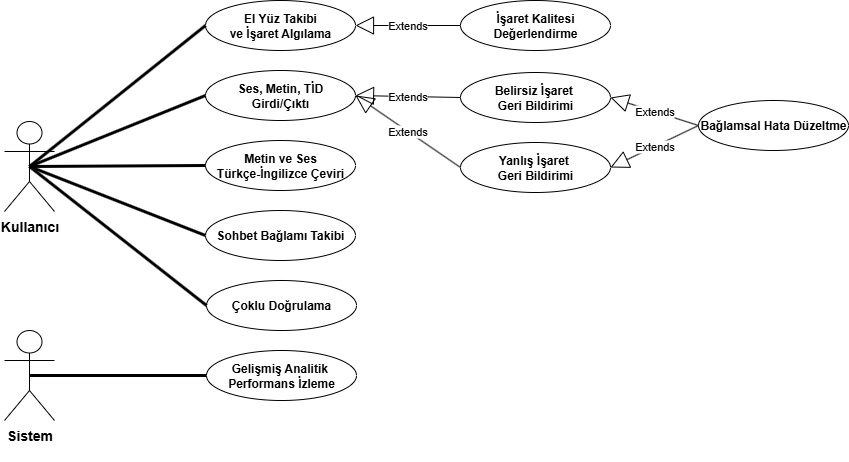
### Ek-B.3.13 Proaktif Hata Önleme Mekanizmaları

Sistem, düzenli otomatik test rutinleri yürüterek kendini sürekli izlemekte ve potansiyel sorunları önceden tespit edebilmektedir. İşlemci, bellek ve ağ kullanımının sürekli takibi yapılarak erken uyarı sistemleri devreye sokulmaktadır. Kullanıcı davranış analizleri yoluyla hata yapma eğilimlerinin tespiti gerçekleştirilmekte ve öngörülü bakım mekanizmaları ile sorunlar oluşmadan müdahale edilmektedir.

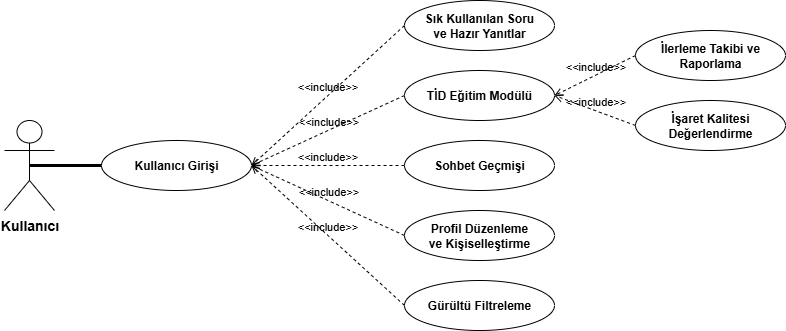
**Ek-C Teknik Diyagramlar**

**Ek-C.1 Use-Case Diyagramları**

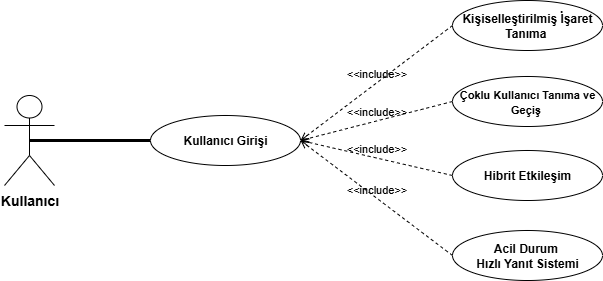
**Ek-C.1.1**

****

**Ek-C.1.2**

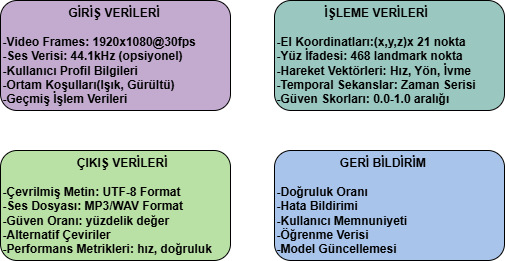
****

**Ek-C.1.3**

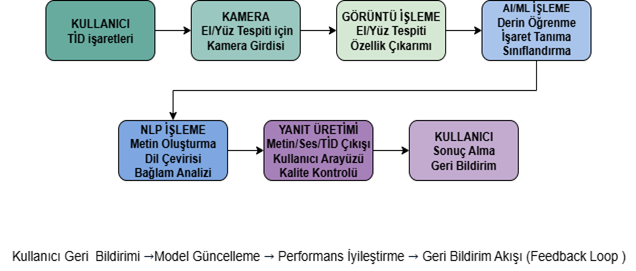
****

**Ek-C.2 Süreç ve Veri Akış Diyagramları**

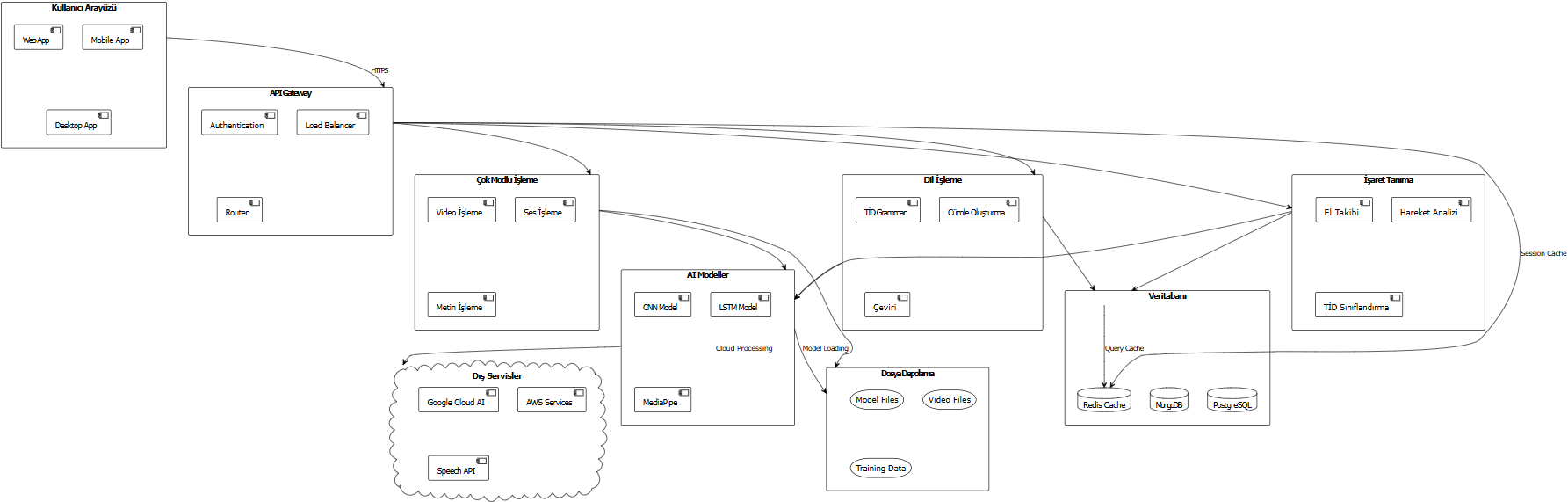
**Ek-C.2.1**



**Ek-C.2.2**



**Ek-C.3 Detaylı Sistem Mimarisi**



**Ek-D Araştırma ve Karşılaştırma**

**Ek-D.1 İşaret Dili Tanıma Sistemleri**

| **Proje Adı** |  |  | **Yıl** |  |  | **İşaret Dili** |  |  | **Yapay Zekâ Teknolojisi** |  |  | **Başarıları** |  |  | **Sınırlamaları** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **SignBERT+** (IEEE TPAMI) |  |  | 2023 |  |  | ASL (American Sign Language) |  |  | Self-Supervised Pre-Training + Hand Model |  |  | El modellemesi ile gelişmiş anlama, öz-öğretimli ön eğitim, veri yetersizliği problemine çözüm |  |  | Sınırlı veri kaynağı, aşırı öğrenme eğilimi, yorumlanabilirlik sorunları |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **Real-Time Gesture Based SLR** (IEEE) |  |  | 2024 |  |  | ASL (American Sign Language) |  |  | MediaPipe Holistic + Deep Learning + OpenCV |  |  | Gerçek zamanlı el ve vücut poz tahmini, yüksek doğruluk oranı, Python tabanlı açık kaynak |  |  | Sadece ASL odaklı, karmaşık cümle yapıları sınırlı, tek kişi kullanımı |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **Deepsign** (MDPI Electronics) |  |  | 2022 |  |  | ISL (Indian Sign Language) |  |  | LSTM + GRU + Sequential Learning |  |  | Video çerçevelerinden kelime tanıma, dört farklı sıralı kombinasyon, derin öğrenme tabanlı |  |  | İzole işaret tanıma, sürekli konuşma desteği yok, tek dil sınırlaması |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **E-CNN Sign Recognition** (IEEE) |  |  | 2021 |  |  | Genel İşaret Dili |  |  | Enhanced CNN + Image Processing |  |  | El anahtar nokta kütüphanesi, görüntü işleme teknolojisi, metin çeviri desteği |  |  | Statik görüntü odaklı, dinamik hareketler sınırlı, genel amaçlı |

**Ek-D.2 Hibrit ve Çok Modlu Sistemler**

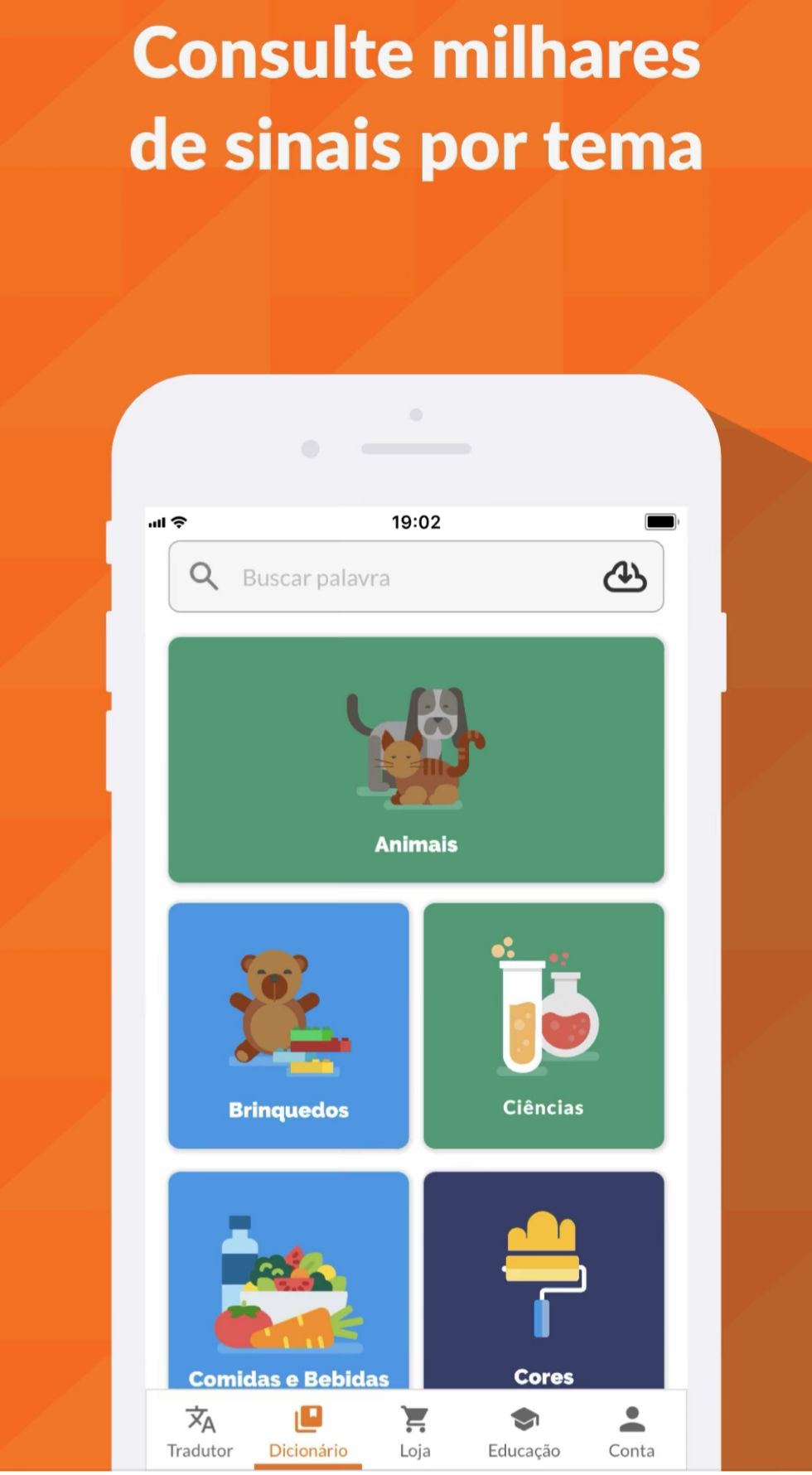
| **Proje Adı** |  | **Yıl** |  | **Özellik** |  | **Teknoloji Kombinasyonu** |  | **Başarıları** |  | **Sınırlamaları** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Intelligent Voice Chat Bot** (ResearchGate) |  | 2009 |  | Ses + Metin |  | Voice Recognition + Chat Technology |  | Ses tanıma ile chatbot birleşimi, teknoloji demonstratörü, web tabanlı sistem |  | Eski teknoloji, sınırlı ses işleme, temel seviye entegrasyon |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **DeafAI Virtual Assistant** |  | 2024 |  | ASL (American Sign Language) |  | Computer Vision + Machine Learning + Real-time Translation |  | Gerçek zamanlı ses-işaret çevirisi, dijital avatar teknolojisi, işletme entegrasyonu, ticari hizmet |  | Sadece ASL, yüksek teknoloji gereksinimi, pahalı lisans, sınırlı yaygınlık |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **Multimodal Sign Language Systems** (Akademik Trend) |  | 2023-2024 |  | İşaret + Ses + Metin |  | Computer Vision + NLP + Speech Processing |  | Çok modlu veri işleme, gelişmiş erişilebilirlik, kapsamlı iletişim desteği |  | Karmaşık sistem mimarisi, yüksek hesaplama gereksinimi, entegrasyon zorluğu |

**Ek-D.3 Mevcut Sistem Örnekleri**

**Ek-D.3.1 Microsoft Kinect Sign Language Translator:**

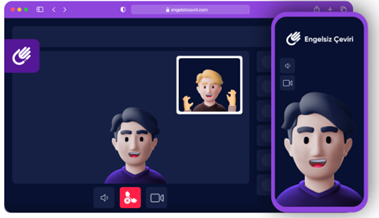


## Ek-D.3.2 HandTalk

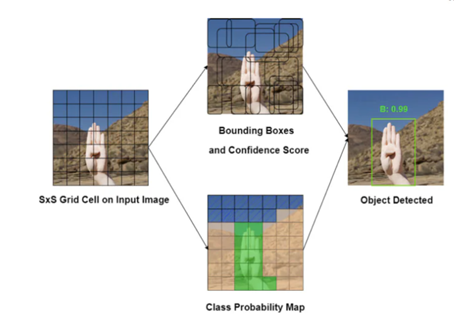


## Ek-D.3.3 İTÜ Türkçe-Türk İşaret Dili Çeviri Sistemi



**Ek-D.3.4 Engelsiz Çeviri’ İşaret Dili Çeviri Sistemi (TİD)** 

**Ek-D.3.5 MediaPipe ve YOLOv8 tabanlı bir Amerikan İşaret Dili (ASL) tanıma sistemi**



**Ek-D.3.6 Yakın Doğu Üniversitesi İşaret Dili–Yazıya Çeviri Sistemi**



**Ek-E Persona Bazlı Kullanım Senaryoları ve Akışlar**

**Ek-E.1 Elif Yılmaz - İşitme Engelli Üniversite Öğrencisi**

**Kullanım Senaryosu:**

"Elif, grup ödevinde arkadaşına TİD ile 'Bu kısmı ben yapabilirim' der. Sistem metne çevirerek uygulama ekranında gösterir. Arkadaşı 'Harika, teşekkürler!' yazınca sistem bunu TİD'e çevirerek Elif'e gösterir."

**Giriş-İşlem-Çıktı Yapısı:**

GIRIŞ:

• Elif'in TİD hareketi: "Bu kısmı ben yapabilirim"

• Kamera açık, aydınlatma uygun

• Mobil uygulama aktif

İŞLEM:

• Kamera el hareketlerini yakalar

• AI model TİD'i tanır ve analiz eder

• Doğal dil işleme ile Türkçe metne çevirir

• Arkadaşın yazılı yanıtını TİD'e çevirir

ÇIKTI:

• Metin: "Bu kısmı ben yapabilirim"

• Gelen yanıt TİD animasyonu olarak gösterim

**Akış Diyagramı:**

Elif (TİD) → Kamera → AI Model → Metin Çıktısı → Arkadaşın cevabı(metin)

↓

Elif ← TİD Animasyon ← AI Model

**Ek-E.2 Mehmet Özkan - İlkokul Öğretmeni**

**Kullanım Senaryosu:**

"Mehmet, işitme engelli öğrencisine TİD ile 'Matematik ödevini yaptın mı?' soruyor. Öğrenci TİD ile 'Evet, ama zorlandım' der. Sistem her iki tarafı da anlık çevirerek karşılıklı konuşmalarını sağlar."

**Giriş-İşlem-Çıktı Yapısı:**

GIRIŞ:

• Mehmet'in konuşması: "Matematik ödevini yaptın mı?"

• Öğrencinin TİD yanıtı: "Evet, ama zorlandım"

• Sınıf ortamı, tablet kullanımı

İŞLEM:

• Ses tanıma ile konuşmayı metne çevirir

• Metin TİD animasyonuna dönüştürülür

• Öğrencinin TİD'i tanınır ve metne çevrilir

• Eğitim terminolojisi sözlüğü devreye girer

ÇIKTI:

• Mehmet için: "Evet, ama zorlandım" metni

• Öğrenci için: TİD animasyonu soruyu gösterir

• İki yönlü anlık iletişim sağlanır

**Akış Diyagramı:**

Mehmet (Ses) → Mikrofon → AI Model → TİD Animasyon → Öğrenci(yanıt iletildi)

↓

Mehmet ← Sesli Yanıt ← AI Model ← Kamera ← Öğrenci (TİD)

**Ek-E.3 Dr. Ayşe Demir - Acil Tıp Uzmanı**

**Kullanım Senaryosu:**

"Dr. Ayşe, acil servise gelen işitme engelli hastaya 'Nereniz ağrıyor?' diye soruyor. Hasta TİD ile göğsünü işaret ederek 'Burada çok ağrı var' der. Sistem hemen çevirerek yazılı olarak doktora 'Göğüs ağrısı şiddetli' olarak bildirir."

**Giriş-İşlem-Çıktı Yapısı:**

GIRIŞ:

• Dr. Ayşe'nin konuşması: "Nereniz ağrıyor?"

• Hastanın TİD yanıtı: Göğüs işareti + "Çok ağrı var"

• Acil servis ortamı, tablet/telefon kullanımı

İŞLEM:

• Ses tanıma ile tıbbi soruyu TİD'e çevirir

• Hastanın TİD'i + vücut işaretleri tanınır

• Tıbbi terminoloji sözlüğü kullanılır

ÇIKTI:

• Hasta için: TİD animasyonu ile soru

• Doktor için: "Göğüs ağrısı - şiddetli" uyarısı(metin)

**Akış Diyagramı:**

Dr. Ayşe (Ses) → Mikrofon → AI Model → TİD Animasyon → Hasta(yanıt iletildi)

↓

Dr. Ayşe ← Tanı Desteği(metin) ← Tıbbi AI ← Kamera ← Hasta (TİD)

Bu sistemde **iki farklı AI** kullanılmasının nedeni, **AI Model’in** genel ve hızlı dil çevirisi (Türkçe↔TİD) yaparken, **Tıbbi AI**'nin semptomları medikal terminolojiye çevirip acil durum önceliklendirmesi yapmasıdır. Bu iki katmanlı yapı sayesinde hem hızlı iletişim hem de güvenli tıbbi değerlendirme sağlanır.

**Ek-E.4 Fatma Çelik - İşitme Engelli Çocuğun Babaannesi Kullanım Senaryosu:**

"Zehra'nın okuma yazma bilmeyen babaannesi, torununa sesli olarak 'Canım, ne yemek istiyorsun?' diye soruyor. Sistem bunu TİD'e çevirip Zehra'ya gösteriyor. Zehra TİD ile ' Patatesli börek yapar mısın?’ yanıtını verince, sistem bunu sesli olarak babaanneye iletiyor."

**Giriş-İşlem-Çıktı Yapısı:**

GIRIŞ:

* Babaannenin sesli konuşması: "Canım, ne yemek istiyorsun?"
* Zehra'nın TİD yanıtı: "Babaanne mantısı yap"
* Ev ortamı, telefon kullanımı

İŞLEM:

* Ses tanıma ile Türkçe konuşmayı TİD'e çevirir
* Çocuk TİD'i için özel model kullanılır
* TİD'i sesli Türkçeye çevirir
* Aile iletişimi bağlamında doğal dil kullanımı

ÇIKTI:

* Zehra için: TİD animasyonu ile soru
* Babaanne için: "Babaanne mantısı yap" sesli yanıt

**Akış Diyagramı:**

Babaanne (Ses) → Mikrofon → AI Model → TİD Animasyon → Zehra(yanıt iletildi)

↓

Babaanne ← Sesli Yanıt ← Çocuk AI ← Kamera ← Zehra (TİD)

Bu sistemde **iki farklı AI** kullanılmasının nedeni**, AI Model**’in genel ses-TİD çevirisini yaparken, **Çocuk AI**'nın çocukların farklı TİD kullanım tarzlarını (daha basit işaretler, eksik gramer yapıları) tanıyıp yaşa uygun dil ile çeviri yapmasıdır. Bu özelleşmiş yapı sayesinde hem yetişkin hem de çocuk kullanıcılar için iyileştirilmiş iletişim sağlanır.

**Ek-E.5 Hasan Yıldız - Belediye Memuru** **Kullanım Senaryosu:**

"Belediyeye gelen işitme engelli vatandaş TİD ile 'İkametgâh belgesi almak istiyorum' der. Hasan sistemi kullanarak bunu anlayıp sesli olarak 'Nüfus müdürlüğüne gitmeniz gerekiyor, 2. kata çıkın' yanıtını verir. Sistem bu yanıtı TİD'e çevirerek vatandaşa gösterir."

**Giriş-İşlem-Çıktı Yapısı:**

GIRIŞ:

* Vatandaşın TİD hareketi: "İkametgâh belgesi almak istiyorum"
* Hasan'ın sesli yanıtı: "Nüfus müdürlüğüne gitmeniz gerekiyor, 2. kata çıkın"
* Belediye ortamı, masaüstü sistem kullanımı

İŞLEM:

* Vatandaşın TİD'i tanınır ve resmi terminolojiye çevrilir
* Hasan'ın sesli yönlendirmesi TİD'e çevrilir
* Resmi evrak terminolojisi sözlüğü kullanılır

ÇIKTI:

* Hasan için: "İkametgâh belgesi talebi" metni
* Vatandaş için: TİD animasyonu ile yönlendirme

**Akış Diyagramı:**

Vatandaş (TİD) → Kamera → Resmi AI → Metin → Hasan

↓

Vatandaş ← TİD Animasyon ← AI Model ← Mikrofon ← Hasan (Ses)

Bu sistemde **iki farklı AI** kullanılmasının nedeni, **Resmi AI**'nin bürokrasi ve kamu hizmetlerine özgü terminolojiyi (ikametgâh belgesi, nüfus müdürlüğü, vb.) tanıyıp doğru birime yönlendirme yaparken, **AI Model'**in genel dil çevirisini (ses↔TİD) yapmasıdır. Bu özelleşmiş yapı sayesinde hem kamu kurumu terminolojisi doğru anlaşılır hem de standart çeviri hizmeti sağlanır.