# **"Yapay Zeka Destekli Erişilebilirlik Dönüşüm Platformu": Kapsamlı Özellik Raporu**

## **Giriş: Kapsayıcı ve Akıllı Öğrenmenin Geleceği**

Dijital eğitimin hızla yaygınlaştığı günümüz dünyasında, eğitim materyallerinin erişilebilirliği yalnızca yasal bir zorunluluk değil, aynı zamanda etik bir sorumluluk ve stratejik bir avantaj haline gelmiştir. Ancak, mevcut yaklaşımlar genellikle erişilebilirliği, içeriğin sonradan düzeltildiği reaktif bir uyumluluk süreci olarak ele almaktadır. Bu durum, hem maliyetli hem de verimsizdir ve en önemlisi, öğrenme deneyiminin özünü göz ardı eder. Bu rapor, "Yapay Zeka Destekli Erişilebilirlik Dönüşüm Platformu" adlı yeni bir ürün için kapsamlı bir özellik listesi ve stratejik bir yol haritası sunmaktadır.

### **Platform Vizyonu**

Platformun vizyonu, erişilebilirliği bir uyumluluk hedefinden, kapsayıcı bir öğrenme deneyiminin temel taşına dönüştürmektir. Bu platform, sadece dijital materyalleri Web İçeriği Erişilebilirlik Yönergeleri (WCAG) ve Amerikalılarla Engelliler Yasası (ADA) gibi standartlara uygun hale getiren bir araç olmanın ötesine geçecektir. Temel amacı, yapay zekanın gücünü kullanarak her öğrenci için daha etkili, kişiselleştirilmiş ve engelsiz bir öğrenme ekosistemi yaratmaktır. Bu "Erişilebilirlikten Öğrenmeye" (Accessibility-to-Learning) yaklaşımı, içeriğin yapısal analizinden elde edilen verileri, öğrenci etkileşimleriyle birleştirerek proaktif ve uyarlanabilir bir pedagojik destek motoru oluşturmayı hedefler. Platform, içeriği erişilebilir kılmakla kalmayıp, aynı zamanda onu daha anlaşılır ve öğrenilebilir hale getirecektir.

### **Hedef Kitle**

Platformun hizmet vereceği ana kullanıcı segmentleri şunlardır:

* **Birincil Hedef Kitle:**
  + **Yükseköğretim Kurumları:** Üniversiteler, kolejler ve enstitüler. Bu kurumlar için yasal uyumluluk, öğrenci memnuniyeti ve rekabet avantajı kritik öneme sahiptir.1
  + **K-12 Okul Bölgeleri:** Temel ve ortaöğretim düzeyindeki okullar ve bu okulları yöneten idari birimler.
  + **Kurumsal Eğitim Departmanları:** Çalışanlarına yönelik eğitim ve gelişim programları sunan büyük ölçekli şirketler.
* **İkincil Hedef Kitle:**
  + **Bireysel Eğitimciler ve İçerik Oluşturucular:** Kendi kurs materyallerini geliştiren ve daha geniş bir kitleye ulaşmak isteyen bağımsız profesyoneller.

### **Temel Değer Önerisi**

Platform, her bir hedef kitle segmentine yönelik farklı ve güçlü değer önerileri sunar:

* **Kurumlar için:**
  + **Otomatikleştirilmiş Uyumluluk ve Risk Azaltma:** WCAG 2.2 ve ADA gibi yasal standartlara uyumu büyük ölçüde otomatikleştirmek, manuel iyileştirme süreçlerinin getirdiği yüksek maliyetleri ve zaman kaybını ortadan kaldırmak ve olası yasal cezalardan korunmak.1
  + **Artan Öğrenci Başarısı ve Katılımı:** Erişilebilir ve kişiselleştirilmiş materyallerin, öğrenci katılım oranlarını %42'ye kadar artırabildiği ve öğrenme sonuçlarını iyileştirdiği görülmektedir.4 Platform, tüm öğrencilerin materyallere eşit şekilde erişmesini sağlayarak akademik başarıyı destekler.
  + **Operasyonel Verimlilik:** İçerik oluşturma ve yönetme süreçlerini merkezileştirerek ve otomatikleştirerek eğitimcilerin ve idari personelin iş yükünü hafifletmek.
* **İçerik Oluşturucular (Eğitimciler) için:**
  + **Basitleştirilmiş İş Akışı:** Erişilebilir içerik oluşturmanın teknik karmaşıklığını ortadan kaldırarak, eğitimcilerin pedagojik kaliteye ve içerik geliştirmeye odaklanmalarını sağlamak.
  + **Daha Geniş Kitleye Erişim:** Oluşturulan içeriğin, engelleri ne olursa olsun tüm potansiyel öğrencilere ulaşmasını garanti etmek.
* **Öğrenciler için:**
  + **Engelsiz Erişim:** Görme, işitme, motor veya bilişsel engelleri olan öğrencilerin tüm ders materyallerine tam ve eksiksiz erişimini sağlamak.5
  + **Kişiselleştirilmiş Öğrenme Desteği:** Yapay zeka destekli özetleme, soru-cevap ve uyarlanabilir test gibi araçlarla, her öğrencinin kendi hızında ve öğrenme stiline uygun şekilde konuları daha derinlemesine anlamasına yardımcı olmak.7

## **Bölüm 1: Platform Çekirdek Mimarisi ve Temel Yetenekler**

Bu bölüm, platformun stabil, güvenli, ölçeklenebilir ve mevcut eğitim ekosistemleriyle entegre bir şekilde çalışmasını sağlayan temel altyapı bileşenlerini ve arka plan yeteneklerini detaylandırmaktadır. Bu özellikler, son kullanıcılar tarafından doğrudan görülmese de, ürünün başarısı için kritik öneme sahiptir.

### **1.1. İçerik Yönetim Motoru**

Platformun temelinde, çeşitli formatlardaki eğitim materyallerini verimli bir şekilde işleyen, yöneten ve dönüştüren güçlü bir içerik yönetim motoru bulunmalıdır.

* **Çok Formatlı İçerik Alımı:** Platform, kullanıcıların ve kurumların mevcut eğitim materyallerini sisteme kolayca aktarabilmesi için esnek bir içerik alım boru hattı sunacaktır. Bu, PDF, Microsoft Word (DOCX), PowerPoint (PPTX) gibi yaygın belge formatlarının yanı sıra, MP4 video, MP3 ses dosyaları ve doğrudan web sayfası URL'lerinin yüklenmesini destekleyecektir. Yükleme işlemi, hem tekil dosyalar için manuel olarak hem de Öğrenim Yönetim Sistemleri (LMS) gibi harici sistemlerden API aracılığıyla toplu ve otomatik senkronizasyon şeklinde gerçekleştirilebilecektir.9
* **Sürüm Kontrolü ve Varlık Yönetimi:** Yüklenen her bir içerik varlığı için platform, hem orijinal dosyanın hem de erişilebilirlik dönüşümü uygulanmış versiyonlarının kaydını tutan bir sürüm kontrol sistemi içerecektir. Bu, içerik oluşturucuların yaptıkları değişiklikleri izlemelerine, farklı versiyonları karşılaştırmalarına ve gerektiğinde önceki bir duruma geri dönmelerine olanak tanır. Bir video dosyası için oluşturulan transkript, altyazı dosyaları (SRT, VTT), sesli betimleme ses parçası ve ilgili meta veriler gibi tüm ilişkili varlıklar, ana içerik öğesine mantıksal olarak bağlanarak merkezi bir yönetim sağlar.
* **İş Akışı Otomasyonu:** Platform, içerik alımını takiben önceden tanımlanmış iş akışlarını otomatik olarak tetikleyecektir. Örneğin, bir kullanıcı bir video dosyası (MP4) yüklediğinde, sistem otomatik olarak aşağıdaki adımları başlatır: (1) Videoyu transkripsiyon motoruna gönderir, (2) Konuşmacı ayrımı için analiz eder, (3) Görsel unsurları sesli betimleme için analiz eder ve (4) İçerik oluşturucunun panosunda bu görevlerin durumunu günceller. Bu otomasyon, manuel müdahale ihtiyacını en aza indirir ve dönüşüm sürecini hızlandırır.

### **1.2. Uyumluluk, Güvenlik ve Gizlilik Çerçevesi**

Platform, en yüksek uyumluluk, güvenlik ve veri gizliliği standartlarını karşılayacak şekilde tasarlanmalıdır. Bu, sadece yasal bir gereklilik değil, aynı zamanda kurumsal müşteriler nezdinde güven oluşturmak için temel bir stratejidir.

* **WCAG 2.2 AA Uyumluluğu:** Platformun kendisi (tüm kullanıcı arayüzleri, paneller, oynatıcılar) ve platform tarafından üretilen tüm dönüştürülmüş içerikler, World Wide Web Consortium (W3C) tarafından yayınlanan en son standart olan WCAG 2.2 Seviye AA'ya tam uyumlu olacaktır.11 Bu, aşağıdaki gibi temel ve yeni kriterleri kapsar:
  + **Algılanabilirlik:** Metin dışı içerik için metin alternatifleri (alt-text), altyazılar ve sesli betimlemeler sağlama.12
  + **İşletilebilirlik:** Tüm işlevselliğin klavye ile erişilebilir olması, kullanıcıların gezinmek ve içerikle etkileşimde bulunmak için yeterli zamana sahip olması ve nöbetlere veya fiziksel reaksiyonlara neden olabilecek içeriklerden kaçınılması.11 WCAG 2.2 ile gelen yeni kriterler olan "Odak Görünürlüğü" (Focus Not Obscured - odak alanının asla başka bir içerik tarafından tamamen gizlenmemesi) ve "Hedef Boyutu" (Target Size - tıklanabilir hedeflerin en az 24x24 CSS pikseli olması) gibi gereklilikler karşılanacaktır.14
  + **Anlaşılabilirlik:** Metnin okunabilir ve anlaşılır olması, web sayfalarının öngörülebilir şekillerde görünmesi ve çalışması, ve kullanıcıların hataları önlemelerine ve düzeltmelerine yardımcı olunması.6
  + **Sağlamlık:** Mevcut ve gelecekteki kullanıcı aracıları (tarayıcılar dahil) ve yardımcı teknolojilerle uyumluluğun en üst düzeye çıkarılması.
* **Yasal Standartlara Uyum:** Platform, başta ABD'deki ADA (Başlık II ve III) ve Rehabilitasyon Yasası'nın 504 ve 508. Bölümleri olmak üzere, faaliyet gösterilen bölgelerdeki temel erişilebilirlik yasalarına uyumu sağlayacak ve belgeleyecektir.1 Bu, kurumsal müşterilere yasal risklerini azaltmaları konusunda güvence verir.
* **Tasarım Gereği Gizlilik (Privacy by Design):** Platformun mimarisi, en başından itibaren veri gizliliği ilkeleri üzerine inşa edilecektir. Eğitim kurumlarının öğrenci verilerinin gizliliği konusundaki yasal sorumlulukları ve hassasiyetleri göz önüne alındığında, bu konu bir uyumluluk maddesinden öte, temel bir ürün özelliği olarak konumlandırılmalıdır. Platform, kişiselleştirilmiş öğrenme deneyimleri sunmak için öğrenci etkileşim verilerini analiz ederken 7, bu verilerin gizliliğini en üst düzeyde korumalıdır. Bu doğal gerilimi yönetmek, platformun en önemli rekabet avantajlarından birini oluşturacaktır.
  + **Yasal Çerçeve:** Platform, ABD'deki FERPA (Aile Eğitimi Hakları ve Gizlilik Yasası) ve COPPA (Çocukların Çevrimiçi Gizliliğini Koruma Yasası) ile Avrupa Birliği'ndeki GDPR (Genel Veri Koruma Yönetmeliği) gibi veri koruma düzenlemelerine tam uyumlu olacaktır.16
  + **Veri Minimizasyonu ve Anonimleştirme:** Yalnızca kişiselleştirme ve hizmet sunumu için kesinlikle gerekli olan veriler toplanacaktır. Yapay zeka modellerini eğitmek için kullanılan tüm öğrenci verileri, kişisel olarak tanımlanabilir bilgileri (PII) içermeyecek şekilde tamamen anonimleştirilecektir.19
  + **Şeffaflık ve Kontrol:** Kurum yöneticilerine ve son kullanıcılara, hangi verilerin toplandığı, nasıl kullanıldığı ve kimlerle paylaşıldığı konusunda net ve anlaşılır bilgi sunan bir gizlilik paneli sağlanacaktır. Kullanıcılar, veri paylaşım tercihleri üzerinde granüler kontrole sahip olacaktır.
  + **Stratejik Farklılaşma: Kurumsal Veri Koruma Modu:** En yüksek güvenlik ve gizlilik beklentilerine sahip kurumlar için "Kurumsal Veri Koruma Modu" adlı premium bir özellik sunulacaktır. Bu mod etkinleştirildiğinde, platform PII içeren hiçbir veriyi kişiselleştirme algoritmaları için kullanmaz ve tüm verilerin kurumun kendi belirlediği bulut depolama alanında (örneğin, kendi AWS S3 veya Azure Blob Storage hesaplarında) kalmasını sağlar. Bu, veri egemenliği ve kontrolü konusunda en hassas müşteriler için kritik bir satış noktası olacaktır.20 Ayrıca, kurumların kendi yapay zeka modellerini platforma entegre etmelerine olanak tanıyan bir "Kendi Modelini Getir" (BYOM) altyapısı da yol haritasına dahil edilebilir.

Aşağıdaki tablo, platform özelliklerinin temel WCAG 2.2 AA kriterleriyle nasıl eşleştiğini göstermektedir.

| WCAG 2.2 Başarı Kriteri | Kriter Açıklaması | İlgili Platform Özelliği/Özellikleri |
| --- | --- | --- |
| **1.1.1 Metin Dışı İçerik (A)** | Tüm metin dışı içerik için eşdeğer bir metin alternatifi sağlanmalıdır. | AI Destekli Alternatif Metin (Alt-Text) Oluşturma |
| **1.2.2 Altyazılar (Önceden Kaydedilmiş) (A)** | Senkronize medya için altyazılar sağlanmalıdır. | AI Destekli Otomatik Altyazı ve Transkripsiyon |
| **1.2.5 Sesli Betimleme (Önceden Kaydedilmiş) (AA)** | Senkronize medya için sesli betimleme sağlanmalıdır. | AI Destekli Sesli Betimleme Oluşturma |
| **1.3.1 Bilgi ve İlişkiler (A)** | Sunumla aktarılan bilgi, yapı ve ilişkiler programatik olarak belirlenebilir olmalı veya metin olarak sunulmalıdır. | AI Destekli Otomatik Etiketleme ve Yapısal Analiz (PDF'ler için <H1>, <P>, <L> vb. etiketler) |
| **1.3.2 Anlamlı Sıra (A)** | İçeriğin sunulduğu sıra anlamını etkilediğinde, doğru bir okuma sırası programatik olarak belirlenebilmelidir. | Okuma Sırası Doğrulayıcı arayüzü |
| **1.4.3 Kontrast (Minimum) (AA)** | Metin ve metin resimlerinin görsel sunumu en az 4.5:1 kontrast oranına sahip olmalıdır. | Evrensel Erişilebilirlik Araç Çubuğu (Yüksek Kontrast Modları) |
| **2.1.1 Klavye (A)** | Tüm işlevsellik klavye arayüzü ile çalıştırılabilir olmalıdır. | Platformun tüm arayüzü ve oynatıcısı klavye ile tam uyumlu olacaktır. |
| **2.4.11 Odak Görünür Değil (Minimum) (AA)** | Klavye odağını alan bir kullanıcı arayüzü bileşeni, tamamen gizlenmemelidir. | Platform arayüzü tasarımı (yapışkan altbilgiler veya başlıkların odaklanılan öğeyi gizlememesi) |
| **2.5.8 Hedef Boyutu (Minimum) (AA)** | İşaretçi girdileri için hedefin boyutu en az 24x24 CSS pikseli olmalıdır. | Platformdaki tüm düğmeler, simgeler ve diğer tıklanabilir hedefler bu minimum boyutu karşılayacaktır. |
| **3.3.8 Erişilebilir Kimlik Doğrulama (Minimum) (AA)** | Bilişsel bir işlev testi, kimlik doğrulama sürecinin tek adımı olmamalıdır. | WebAuthn, OAuth ile SSO, Şifre yöneticisi desteği, Yapıştırmaya izin verme |

### **1.3. Entegrasyon ve Birlikte Çalışabilirlik Katmanı**

Platformun eğitim kurumlarının mevcut teknoloji yığınlarına sorunsuz bir şekilde entegre olması, benimsenmesi için hayati önem taşır. Bu nedenle, endüstri standartlarına dayalı sağlam bir entegrasyon katmanı oluşturulmalıdır.

* **LTI Advantage Sertifikasyonu:** Platform, 1EdTech tarafından geliştirilen en son ve en güvenli birlikte çalışabilirlik standardı olan LTI (Öğrenim Araçları Birlikte Çalışabilirliği) 1.3 ve onun üzerine inşa edilen LTI Advantage servis paketini tam olarak destekleyecek ve bu standartlar için sertifikalandırılacaktır.21 Bu, eski LTI 1.1 standardına göre önemli güvenlik (OAuth2 ve JWT tabanlı) ve işlevsellik avantajları sunar.23
* **LTI Advantage Hizmetlerinin Uygulanması:**
  + **Derin Bağlantı (Deep Linking) 2.0:** Bu hizmet, eğitimcilerin LMS arayüzünden ayrılmadan platformun içerik kütüphanesine erişmelerini sağlar. Bir eğitimci, bir ders modülüne doğrudan bir videonun 3:15 ile 5:40 arasındaki bölümünü veya bir PDF belgesinin belirli bir sayfasını ekleyebilir. Bu, öğrencilerin doğru içeriği bulmak için zaman kaybetmesini önler ve öğrenme akışını kesintiye uğratmaz.24
  + **Atama ve Not Hizmetleri (Assignment and Grade Services) 2.0:** Platformun "Kişiselleştirilmiş Öğrenme Merkezi"nde oluşturulan AI tabanlı testler ve değerlendirmeler, birer notlandırma etkinliği olarak LMS'e gönderilebilir. Öğrenci testi tamamladığında, aldığı puan otomatik olarak ve güvenli bir şekilde LMS'in not defterine senkronize edilir. Bu, eğitimcilerin manuel not girişi yapma zorunluluğunu ortadan kaldırır ve zamandan tasarruf sağlar.10
  + **İsim ve Rol Yetkilendirme Hizmetleri (Names and Role Provisioning Services) 2.0:** Platform, bir kursa kayıtlı olan öğrencilerin ve eğitimcilerin listesini LMS'ten güvenli bir şekilde alır. Bu, platformun hangi kullanıcının hangi role (öğrenci, öğretmen) sahip olduğunu ve hangi kurslara erişimi olduğunu bilmesini sağlar. Bu bilgi, kişiselleştirilmiş öğrenme yollarının oluşturulması ve yöneticilere sunulan kullanım raporlarının filtrelenmesi için temel teşkil eder.22

Aşağıdaki tablo, LTI Advantage hizmetlerinin platformda nasıl uygulanacağını ve paydaşlara sağlayacağı somut faydaları özetlemektedir.

| LTI Advantage Hizmeti | Teknik Açıklama | Öğretmen/Yönetici İçin Faydası | Platformdaki Uygulama Örneği |
| --- | --- | --- | --- |
| **Deep Linking 2.0** | LMS'ten harici bir araca (platformumuza) içerik seçimi için bir mesaj gönderilir ve araç, seçilen içeriğe yönelik bir LTI bağlantısı döndürür. | Kurs oluşturma sürecini hızlandırır ve daha zengin, daha granüler içerik entegrasyonu sağlar. | Bir öğretmen, LMS'teki ders sayfasına "Ekle" düğmesine tıklar, platformumuzun kütüphanesi açılır, bir video seçer ve "Sadece 2. Bölümü Ekle" seçeneğini işaretler. Derse sadece o bölümün bağlantısı eklenir. |
| **Assignment and Grade Services 2.0** | Platformun, LMS'te belirli bir atama ile ilişkili not sütunları oluşturmasına ve bu sütunlara notları (puanları) göndermesine olanak tanır. | Notlandırma sürecini otomatikleştirir, manuel hataları azaltır ve öğrencilere anında geri bildirim sağlar. | Bir öğrenci, platformda bir PDF'den oluşturulmuş AI testini tamamlar. Aldığı %85'lik skor, anında LMS'teki ilgili dersin not defterine yansır. |
| **Names and Role Provisioning Services 2.0** | Platformun, bir kursun üye listesini (öğrenciler, öğretmenler vb.) ve rollerini güvenli bir şekilde sorgulamasına olanak tanır. | Kullanıcı yönetimini otomatikleştirir ve doğru kişilerin doğru içeriğe erişmesini sağlar. Kişiselleştirme için temel oluşturur. | Bir yönetici, "Bahar Dönemi Biyoloji 101" kursu için platform kullanım raporunu çektiğinde, sadece o kursa kayıtlı öğrencilerin anonimleştirilmiş verilerini görür. |

### **1.4. Kullanıcı ve Erişim Yönetimi**

Platform, güvenli ve esnek bir kullanıcı yönetimi sistemi sunarak, kurumsal müşterilerin kendi kullanıcı tabanlarını kolayca yönetmelerini sağlamalıdır.

* **Rol Tabanlı Erişim Kontrolü (RBAC):** Sistem, farklı yetki seviyelerine sahip kullanıcılar için önceden yapılandırılmış roller içerecektir. Bu roller arasında "Kurum Yöneticisi" (tüm ayarları ve kullanıcıları yönetir), "Öğretmen/İçerik Oluşturucu" (içerik yükleyebilir ve düzenleyebilir), "Öğrenci" (içeriği tüketir ve kişiselleştirme araçlarını kullanır) ve "BT Yöneticisi" (entegrasyonları ve teknik ayarları yönetir) bulunur. Kurum yöneticileri, bu temel rolleri kopyalayarak veya düzenleyerek kendi kurumlarına özgü özel roller oluşturabilirler.
* **Erişilebilir Kimlik Doğrulama (WCAG 3.3.8):** Platform, kullanıcıların giriş yaparken bilişsel yükünü en aza indiren modern ve güvenli kimlik doğrulama yöntemlerini destekleyecektir. Bu, özellikle hafıza veya transkripsiyon zorlukları yaşayan kullanıcılar için kritik bir erişilebilirlik özelliğidir.26
  + **WebAuthn Entegrasyonu:** Platform, W3C'nin Web Kimlik Doğrulama (WebAuthn) standardını destekleyecektir. Bu, kullanıcıların şifre yerine cihazlarının biyometrik (parmak izi, yüz tanıma) veya PIN gibi yerel kimlik doğrulama mekanizmalarını kullanarak güvenli bir şekilde giriş yapmalarını sağlar. Bu yöntem, hem daha güvenli hem de bilişsel olarak daha az talepkardır.27
  + **Tek Oturum Açma (SSO) ve OAuth:** Kurumların mevcut kimlik altyapılarıyla entegrasyonu kolaylaştırmak için, platform OAuth 2.0 protokolü aracılığıyla Google, Microsoft Azure AD ve diğer popüler kimlik sağlayıcıları ile SSO'yu destekleyecektir. Bu, kullanıcıların mevcut kurumsal kimlik bilgileriyle platforma sorunsuz bir şekilde erişmelerini sağlar.27
  + **Yapıştırma İşlevselliğinin Korunması:** Platform, kullanıcıların şifre yöneticilerinden veya iki faktörlü kimlik doğrulama (2FA) uygulamalarından kopyaladıkları şifreleri ve kodları giriş alanlarına yapıştırmalarını hiçbir şekilde engellemeyecektir. onpaste="return false" gibi komut dosyalarının kullanımı, kullanıcıları bilgileri manuel olarak yazmaya zorladığı için bir WCAG 3.3.8 ihlalidir ve kesinlikle kaçınılacaktır.26

## **Bölüm 2: Yapay Zeka Destekli İçerik Dönüşüm Motoru**

Bu bölüm, platformun teknolojik kalbini oluşturan ve çeşitli içerik türlerini yüksek doğrulukla ve ölçeklenebilir bir şekilde erişilebilir formatlara dönüştüren yapay zeka destekli araç setini detaylandırmaktadır. Bu motor, manuel süreçleri otomatize ederek kurumların zaman ve maliyet tasarrufu yapmasını sağlar.

### **2.1. Belge Erişilebilirlik Paketi**

Bu paket, en yaygın eğitim materyali türü olan belgeleri (özellikle PDF'ler) tamamen erişilebilir hale getirmeye odaklanır.

* **AI Destekli OCR ve Metin Tanıma:**
  + **İşlevsellik:** Platform, taranmış belgeler veya metin içeren resimler gibi "düz" görüntü tabanlı dosyaları alıp, içlerindeki metni seçilebilir, kopyalanabilir ve en önemlisi ekran okuyucular gibi yardımcı teknolojiler tarafından okunabilir hale getiren Optik Karakter Tanıma (OCR) teknolojisini kullanacaktır.3 Bu, erişilemez bir belgenin erişilebilirliğe doğru ilk ve en temel adımıdır.30
  + **Teknik Öneri: Hibrit OCR Motoru:** Piyasada hem açık kaynaklı hem de ticari OCR çözümleri bulunmaktadır. Tesseract gibi açık kaynaklı motorlar maliyet etkinliği sunsa da, özellikle düşük kaliteli taramalar, karmaşık sayfa düzenleri veya çeşitli renkli arka planlar içeren belgelerde doğrulukları önemli ölçüde düşebilmektedir.31 Bu nedenle, platform  
    **hibrit bir OCR stratejisi** benimseyecektir. Standart ve yüksek kaliteli belgeler için, maliyeti optimize etmek amacıyla docTR veya EasyOCR gibi Tesseract'tan daha üstün performans gösteren modern bir açık kaynaklı motor kullanılacaktır.32 Ancak, OCR motorunun güven puanı belirli bir eşiğin altına düştüğünde veya belge yapısı çok karmaşık olduğunda, sistem otomatik olarak Google Cloud Vision veya Azure AI Vision gibi daha yüksek doğruluk oranına sahip ticari bir API'ye geçiş yapacaktır. Bu katmanlı yaklaşım, maliyet ve kalite arasında en uygun dengeyi sağlar.
* **AI Destekli Otomatik Etiketleme ve Yapısal Analiz:**
  + **İşlevsellik:** Bir belgenin erişilebilirliği, sadece metnin okunabilir olmasından ibaret değildir; aynı zamanda mantıksal bir yapıya sahip olmasını da gerektirir. Platformun yapay zekası, OCR ile çıkarılan metni semantik olarak analiz ederek belgenin yapısal hiyerarşisini otomatik olarak tanımlayacaktır. Bu, başlıkları (örn. <H1>, <H2>), paragrafları (<P>), listeleri (<L>, <LI>), tabloları (<Table>, <TR>, <TH>, <TD>) ve diğer önemli öğeleri doğru şekilde etiketleyecektir.34 Bu etiketleme, ekran okuyucu kullanıcılarının belgede verimli bir şekilde gezinmesini ve içeriğin mantıksal akışını anlamasını sağlar.12
  + **Doğrulama Arayüzü ("Okuma Sırası Doğrulayıcı"):** Yapay zeka ne kadar gelişmiş olursa olsun, mükemmel değildir. Bu nedenle, platform içerik oluşturuculara, AI tarafından oluşturulan belge yapısını ve okuma sırasını gözden geçirebilecekleri sezgisel bir arayüz sunacaktır. Bu arayüz, etiket ağacını görselleştirecek ve kullanıcıların sürükle-bırak yöntemiyle etiketlerin sırasını kolayca değiştirmesine veya yanlış atanmış bir etiketi (örneğin, paragraf olarak etiketlenmiş bir başlık) düzeltmesine olanak tanıyacaktır.34
* **AI Destekli Alternatif Metin (Alt-Text) Oluşturma:**
  + **İşlevsellik:** Belgelerdeki ve sunumlardaki görseller, görme engelli kullanıcılar için birer kara kutudur. Platform, Microsoft 365 veya Azure Computer Vision gibi modern AI hizmetlerinden yararlanarak, görsellerin içeriğini ve bağlamını analiz eden ve bunlar için kısa, öz ve açıklayıcı alternatif metinler (alt-text) üreten bir motor içerecektir.35 Örneğin, bir hücre bölünmesi diyagramı için "Bir hücrenin mitoz bölünme aşamalarını gösteren diyagram" gibi basit bir açıklama yerine, "Diyagram, profaz, metafaz, anafaz ve telofaz aşamalarını gösteren bir hayvan hücresinin mitoz bölünmesini tasvir etmektedir" gibi daha bilgilendirici bir metin üretecektir.
  + **Kullanıcı Kontrolü ve En İyi Uygulamalar:** Otomatik olarak oluşturulan her alt metin, yayınlanmadan önce içerik oluşturucunun onayına sunulacaktır. İçerik oluşturucu, metni düzenleyebilir, onaylayabilir veya görselin tamamen dekoratif olduğunu (örneğin, bir sayfa kenarlığı) belirterek alt metin ihtiyacını ortadan kaldırabilir.35 Üretilen metinler, genellikle 125 karakter olan en iyi uygulama uzunluk sınırlarına uymaya çalışacaktır.37

### **2.2. Multimedya Erişilebilirlik Paketi**

Video ve ses içerikleri, modern eğitimin ayrılmaz bir parçasıdır. Bu paket, bu tür içerikleri işitme ve görme engelli kullanıcılar için tamamen erişilebilir kılmayı hedefler.

* **AI Destekli Otomatik Altyazı ve Transkripsiyon:**
  + **İşlevsellik:** Platform, yüklenen video (MP4) ve ses (MP3) dosyalarını analiz ederek, konuşulan içeriği metne dönüştürecek ve zamanla senkronize edilmiş altyazılar (closed captions) ile tam metin transkriptleri üretecektir.6 Bu, işitme engelli veya işitme güçlüğü çeken kullanıcıların içeriği anlaması için temel bir gerekliliktir.39
  + **Teknik Öneri: Hibrit STT Motoru:** Konuşmayı metne çevirme (Speech-to-Text - STT) teknolojisinde de hibrit bir yaklaşım benimsenecektir. OpenAI'nin Whisper modeli (özellikle en son sürümleri), çok dilli ve gürültülü ortamlarda bile yüksek doğruluk sunan güçlü bir açık kaynak seçeneğidir ve önceden kaydedilmiş (batch) içeriklerin transkripsiyonu için varsayılan motor olarak kullanılacaktır.40 Ancak, Whisper'ın temel sürümü gerçek zamanlı transkripsiyon ve yerleşik konuşmacı ayrımı (diarization) gibi kurumsal düzeyde kritik özelliklerden yoksundur.42 Bu nedenle, canlı dersler veya paneller gibi gerçek zamanlı etkinliklerin altyazılandırılması veya birden fazla konuşmacının olduğu karmaşık seslerin dökümü için, bu özellikleri sunan AssemblyAI, Deepgram veya Vatis Tech gibi ticari API'lerle entegrasyon sağlanacaktır.41
  + **Gelişmiş Altyazı Özellikleri:**
    - **Konuşmacı Ayrımı (Speaker Diarization):** Sistem, ses dosyasındaki farklı konuşmacıları otomatik olarak ayırt edecek ve transkriptte "Konuşmacı 1:", "Konuşmacı 2:" veya kullanıcı tarafından tanımlanan isimlerle (ör. "Prof. Aydın:", "Ayşe:") etiketleyecektir.40
    - **Özelleştirilebilir Altyazı Stilleri:** Kullanıcılar, altyazıların yazı tipini, boyutunu, rengini, arka planını ve konumunu kendi marka kimliklerine veya kişisel okuma tercihlerine göre özelleştirebilecekleri bir stil düzenleyiciye sahip olacaklardır.38
    - **İnteraktif Transkriptler:** Oluşturulan transkriptler statik metinler olmayacaktır. Kullanıcılar, transkript metnindeki herhangi bir kelimeye tıkladıklarında, video veya ses dosyası otomatik olarak o kelimenin söylendiği ana atlayacaktır. Bu özellik, öğrencilerin belirli konuları tekrar etmelerini veya not almalarını büyük ölçüde kolaylaştırır.13
    - **Sözsüz Seslerin Tanımlanması:** Altyazılar sadece diyalogları değil, aynı zamanda "[alkış]", "[müzik çalıyor]", "[kapı çarpması]" gibi anlam taşıyan önemli sözsüz sesleri de içerecektir.39
* **AI Destekli Sesli Betimleme Oluşturma (Audio Description - AD):**
  + **İşlevsellik:** Görme engelli bir kullanıcı için, videodaki görsel unsurlar (ekranda beliren bir grafik, bir karakterin yüz ifadesi, bir eylem) diyalogda bahsedilmiyorsa anlaşılamaz. Platformun yapay zekası, videoyu kare kare analiz ederek bu tür önemli görsel olayları tespit edecektir. Ardından, bu olayların zamanlamasını, diyaloglar arasındaki doğal duraklamalarla eşleştirerek potansiyel betimleme noktaları önerecektir.45
  + **Yarı Otomatik İş Akışı:** Bu süreç tamamen otomatik olmayacaktır. AI, içerik oluşturucuya bir "Sesli Betimleme Taslağı" sunacaktır. Bu taslak, önerilen betimleme metinlerini (ör. "Ahmet odadan çıkar.") ve bunların yerleştirileceği zaman aralıklarını içerir. İçerik oluşturucu, bu önerileri sezgisel bir düzenleyici arayüzünde inceleyebilir, metinleri düzenleyebilir, gereksiz olanları silebilir veya yenilerini ekleyebilir. Onaylandıktan sonra, platform bu betimleme metinlerini yüksek kaliteli, doğal bir metin-konuşma (TTS) sesi kullanarak seslendirir ve videoya ayrı bir ses kanalı olarak ekler.47
  + **Standart ve Genişletilmiş AD Desteği:** Platform, hem diyaloglar arasındaki mevcut boşluklara sığan "standart" sesli betimlemeleri hem de betimleme için yeterli boşluk olmadığında videoyu anlık olarak duraklatıp betimlemeyi okuduktan sonra devam ettiren "genişletilmiş" sesli betimlemeleri destekleyecektir. Bu, özellikle görsel olarak yoğun içeriklerde tam anlaşılırlığı sağlamak için kritik bir özelliktir.45
* **AI Destekli İşaret Dili Yorumlama (Gelecek Vizyonu):**
  + **İşlevsellik:** Platformun uzun vadeli yol haritasında, ana dili işaret dili olan sağır ve işitme engelli kullanıcılar için en üst düzeyde erişim sağlayacak bir özellik yer alacaktır. Bu özellik, video veya ses içeriğindeki konuşmayı analiz ederek, bunu gerçek zamanlı olarak 3D bir dijital avatar aracılığıyla seçilen bir işaret diline (örneğin, Türk İşaret Dili, Amerikan İşaret Dili) çevirecektir.6 Bu, son derece karmaşık bir teknoloji olup, mevcut haliyle araştırma ve geliştirme aşamasındadır ve ürünün gelecekteki yenilikçi bir özelliği olarak konumlandırılmalıdır.

## **Bölüm 3: Kullanıcı Deneyimi, Kişiselleştirme ve Öğrenme Araçları**

Platformun başarısı, yalnızca arka planda çalışan güçlü AI motorlarına değil, aynı zamanda son kullanıcıların (hem içerik oluşturan eğitimcilerin hem de içeriği tüketen öğrencilerin) bu teknolojiden ne kadar kolay ve etkili bir şekilde faydalanabildiğine bağlıdır. Bu bölüm, platformun "Erişilebilirlikten Öğrenmeye" vizyonunu somutlaştıran ön yüz özelliklerini ve kişiselleştirme araçlarını detaylandırmaktadır.

### **3.1. Evrensel Erişilebilirlik Araç Çubuğu ve Oynatıcı**

Platformdaki tüm içerik türlerine (belge, video, web sayfası) eşlik edecek, kullanıcıların deneyimlerini kendi bireysel ihtiyaçlarına ve tercihlerine göre anında uyarlamalarına olanak tanıyan, Recite Me, UserWay veya AccessiBe gibi sektör lideri çözümlere benzer, ancak daha entegre bir araç çubuğu sunulacaktır.48

* **Kişiselleştirilebilir Arayüz ve Görsel Ayarlar:**
  + **Metin Boyutu ve Yazı Tipi:** Kullanıcılar, metin boyutunu dinamik olarak artırma veya azaltma yeteneğine sahip olacaktır. Ayrıca, disleksi dostu yazı tipleri de dahil olmak üzere, Arial, Verdana gibi okunabilirliği yüksek, tırnaksız yazı tipleri arasından seçim yapabileceklerdir.6
  + **Renk ve Kontrast:** Platform, farklı görsel ihtiyaçlara yönelik çeşitli renk şemaları sunacaktır. Bunlar arasında yüksek kontrastlı modlar (siyah üzerine beyaz, sarı üzerine siyah), karanlık mod (gece okuması için) ve protanopi, döteranopi gibi yaygın renk körlüğü türleri için özel olarak ayarlanmış renk filtreleri bulunacaktır.11
  + **Metin ve Sayfa Düzeni Ayarları:** Kullanıcılar, daha rahat bir okuma deneyimi için satır yüksekliğini, kelimeler arası boşluğu ve harf aralığını ayarlayabileceklerdir.12 Ayrıca, dikkat dağınıklığını azaltmak için sayfa üzerindeki resimleri veya animasyonları gizleme seçeneği de sunulacaktır.
* **İşitsel ve Odaklanma Ayarları:**
  + **Metin Okuma (Text-to-Speech):** Kullanıcılar, sayfadaki herhangi bir metin bloğunu seçerek platformun yüksek kaliteli, doğal sesli TTS motoruyla dinleyebileceklerdir. Okuma hızı, ses perdesi ve seslendiren kişinin (erkek/kadın) seçimi gibi kontroller kullanıcının elinde olacaktır.11
  + **Entegre Multimedya Oynatıcı:** Video ve ses içerikleri için sunulan oynatıcı, temel oynat/duraklat işlevlerinin yanı sıra, oynatma hızını (0.5x'ten 2x'e kadar) ayarlama, ses seviyesini hassas bir şekilde kontrol etme ve tek bir tıklamayla altyazı, transkript veya sesli betimleme kanalları arasında geçiş yapma gibi gelişmiş kullanıcı kontrolleri sunacaktır.13
  + **Odaklanma Yardımcıları:** "Okuma Cetveli" özelliği, kullanıcının fare imlecini takip eden yatay bir şerit ile okuduğu satıra odaklanmasına yardımcı olurken, "Okuma Maskesi" özelliği ise sadece birkaç satırlık bir alanı aydınlatarak ekranın geri kalanını karartır ve dikkat dağınıklığını en aza indirir.
  + **Dil ve Anlama Araçları:** Araç çubuğu, metin içindeki bir kelimenin tanımını gösteren yerleşik bir sözlük ve metnin tamamını veya seçili bir bölümünü 100'den fazla dile anında çevirebilen bir çeviri aracı içerecektir.48

### **3.2. Kişiselleştirilmiş Öğrenme Merkezi**

Bu merkez, platformun en yenilikçi ve ayırt edici özelliğidir. Burada, erişilebilirlik için toplanan yapısal veriler, öğrencinin etkileşimleriyle birleştirilerek proaktif bir öğrenme deneyimi yaratılır.

Platform, içeriği erişilebilir kılmak için onu derinlemesine analiz eder; başlıkları, alt başlıkları, anahtar terimleri ve genel yapıyı anlar.34 Aynı zamanda, bir öğrencinin bu içerikle nasıl etkileşime girdiğini de gözlemleyebilir; örneğin, bir videonun belirli bir bölümünü tekrar tekrar izlemesi, bir metin paragrafını defalarca metin okuma özelliğiyle dinletmesi veya belirli bir kavram hakkında AI asistanına sürekli sorular sorması gibi.4 Bu iki farklı veri akışının birleştirilmesi, platformun sadece pasif bir içerik sunucusu olmaktan çıkıp, öğrencinin anlama zorluğu çektiği noktaları tespit edebilen akıllı bir sisteme dönüşmesini sağlar. Bir öğrencinin belirli bir konuyla ilgili sürekli olarak "zorluk sinyalleri" göndermesi, platformun o öğrenci için otomatik olarak kişiselleştirilmiş destek materyalleri oluşturmasını tetikler. Bu, öğrencinin panosunda "Bu konuyu daha iyi anlamak için işte sana özel bir özet" veya "Bu kavramla ilgili birkaç pratik soru çözmek ister misin?" gibi proaktif önerilerin belirmesi anlamına gelir. Bu yaklaşım, platformu reaktif bir erişilebilirlik aracından, her öğrenci için kişisel bir öğretmen gibi davranan proaktif bir öğrenme ortağına dönüştürür.

* **AI Destekli Özetleme ve Anahtar Kavram Çıkarımı:**
  + **İşlevsellik:** Öğrenciler, uzun bir ders kitabının bölümünü, akademik bir makaleyi veya bir saatlik bir dersin video transkriptini platforma yükleyerek, saniyeler içinde içeriğin özünü yakalayan özetler alabilirler. Özetler, öğrencinin tercihine göre tek bir paragraf, madde işaretli bir liste veya anahtar kavramlar ve tanımlarından oluşan bir formatta sunulabilir.8 Bu, özellikle sınavlara hazırlanırken veya karmaşık konuları gözden geçirirken büyük bir zaman tasarrufu sağlar.
* **AI Destekli Soru-Cevap Asistanı:**
  + **İşlevsellik:** Öğrenciler, Mindgrasp gibi platformlarda görülen bir özellikle, ders materyalleriyle sohbet edebilirler.8 Yüklenmiş bir PDF veya video transkripti bağlamında, "Newton'un ikinci yasasını basit bir dille açıkla," "Bu makaledeki deneyin hipotezi neydi?" veya "19. yüzyıl Osmanlı ekonomisinin temel zorlukları nelerdi?" gibi doğal dilde sorular sorabilirler. Yapay zeka, cevabı doğrudan içerikten bularak, ilgili bölümü alıntılayarak ve kaynak belirterek yanıtlar.52 Bu, öğrencilerin bilgiye daha hızlı ulaşmasını ve konular arasındaki bağlantıları kurmasını kolaylaştırır.
* **AI Destekli Uyarlanabilir Değerlendirme:**
  + **İşlevsellik:** Platform, herhangi bir metin tabanlı içerikten (ders notu, makale, transkript) otomatik olarak öğrenme araçları üretebilir. Tek bir tıklamayla, içerikteki anahtar terimlerden ve tanımlardan oluşan dijital bilgi kartları (flashcards) veya içeriğin anlaşılıp anlaşılmadığını ölçen çoktan seçmeli, doğru/yanlış veya boşluk doldurmalı testler oluşturabilir.8
  + **Uyarlanabilirlik (Adaptive Learning):** Oluşturulan testler statik değildir. Sistem, öğrencinin performansını izler ve testlerin zorluk seviyesini dinamik olarak ayarlar. Eğer bir öğrenci belirli bir konuyla ilgili soruları sürekli yanlış cevaplıyorsa, sistem bir sonraki testte o konuya daha fazla ağırlık verir veya o konuyla ilgili ek öğrenme materyalleri önerir.7 Bu, her öğrencinin kendi zayıf yönlerine odaklanarak verimli bir şekilde çalışmasını sağlar.

### **3.3. İçerik Oluşturucu ve Yönetici Paneli**

Bu panel, eğitimcilere ve kurum yöneticilerine içeriklerinin erişilebilirlik durumunu izleme, yönetme ve iyileştirme gücü verir.

* **Erişilebilirlik Puan Kartı ve Raporlama:** Yüklenen her bir içerik parçası için, platform WCAG 2.2 kriterlerine göre otomatik bir analiz yapar ve 0-100 arasında bir "Erişilebilirlik Puanı" atar. Puanın yanı sıra, tespit edilen tüm sorunların (örneğin, eksik alt metin, düşük kontrast, yanlış etiketlenmiş başlık) önceliklendirilmiş bir listesini ve bu sorunların nasıl çözüleceğine dair adım adım talimatlar sunar.
* **Kurumsal Analitik Paneli:** Kurum yöneticileri, tüm kurum genelindeki içeriğin genel erişilebilirlik durumunu gösteren birleşik bir panoya erişebilir. Bu pano, zaman içindeki ilerlemeyi gösteren grafikler, en sık karşılaşılan erişilebilirlik sorunlarının türleri ve departmanlara veya kurslara göre erişilebilirlik puanlarının karşılaştırması gibi verileri içerir. Ayrıca, hangi erişilebilirlik özelliklerinin öğrenciler tarafından en çok kullanıldığına dair anonimleştirilmiş veriler sunarak, öğrenci ihtiyaçları hakkında değerli bilgiler sağlar.4 Bu raporlar, kurumların yasal uyumluluk çabalarını belgelendirmelerine ve yatırımın getirisini (ROI) göstermelerine yardımcı olur.
* **Toplu İşlem ve Politika Uygulama Araçları:** Yöneticiler, belirli kuralları veya düzeltmeleri tek tek içeriklere uygulamak yerine, tüm bir kursa veya departmana ait içeriklere toplu olarak uygulama yeteneğine sahip olacaktır. Örneğin, bir yönetici, kurumun marka renklerinin erişilebilir bir paletini tanımlayabilir ve bu paletin tüm yeni yüklenen sunumlara otomatik olarak uygulanmasını sağlayabilir.

## **Bölüm 4: Teknik ve Mimari Öneriler**

Bu bölüm, ürünün uzun vadeli başarısını, ölçeklenebilirliğini ve rekabet avantajını güvence altına alacak temel teknoloji ve mimari kararlar için üst düzey stratejik öneriler sunmaktadır.

### **4.1. Yapay Zeka Modeli Seçim Stratejisi**

Platformun "yapay zeka destekli" olma vaadi, temelini oluşturan AI modellerinin kalitesine ve verimliliğine doğrudan bağlıdır. Bu alandaki karar, ürünün performansı ve maliyet yapısı üzerinde en büyük etkiye sahip olacaktır.

* Öneri: Hibrit ve Katmanlı AI Modeli Stratejisi  
  Platform, tek bir AI teknolojisine veya sağlayıcısına bağlı kalmak yerine, maliyet, performans ve özellik setini optimize etmek için hibrit ve katmanlı bir AI modeli stratejisi benimsemelidir.
* **Gerekçe:** Yapılan araştırmalar, farklı AI görevleri için "tek bir en iyi" çözüm olmadığını açıkça ortaya koymaktadır. Örneğin, OCR görevleri için açık kaynaklı Tesseract motoru basit, temiz belgelerde yeterli olabilirken, karmaşık düzenlere veya el yazısına sahip belgelerde ticari API'ler (Google Vision, Azure AI Vision) çok daha üstün sonuçlar vermektedir.31 Benzer şekilde, konuşmayı metne çevirme (STT) için OpenAI'nin Whisper modeli, önceden kaydedilmiş ses dosyalarında yüksek doğruluk sunarken, canlı yayınlar için gerçek zamanlı transkripsiyon veya birden fazla konuşmacıyı ayırt etme (diarization) gibi gelişmiş özelliklerden yoksundur. Bu özellikler, AssemblyAI veya Deepgram gibi ticari API'lerin temel güçleridir.41 Sadece açık kaynak kullanmak kaliteyi riske atarken, sadece en pahalı ticari API'leri kullanmak ise ürünün maliyetini sürdürülemez hale getirebilir.
* **Uygulama Modeli:**
  + **Katman 1: Standart Otomatik İşlem (Maliyet Odaklı):** Platforma yüklenen her içerik (belge veya medya), ilk olarak maliyetleri en aza indirmek için şirket içinde barındırılan ve belirli görevler için ince ayar yapılmış (fine-tuned) yüksek kaliteli açık kaynaklı modellerle işlenir. (Örn: OCR için docTR, STT için Whisper).
  + **Katman 2: Premium Otomatik İşlem (Kalite Odaklı):** Eğer Katman 1'de işlenen içeriğin AI tarafından üretilen güven skoru, önceden belirlenmiş bir eşiğin (örneğin, %85 doğruluk) altındaysa, sistem otomatik olarak aynı görevi gerçekleştirmek için daha yüksek doğruluk oranına sahip bir ticari API'yi tetikler. Bu, kaliteyi garanti altına alırken maliyetleri kontrol altında tutar.
  + **Katman 3: İsteğe Bağlı İnsanlı İnceleme (Maksimum Doğruluk):** Mutlak doğruluk gerektiren yasal belgeler veya kritik eğitim materyalleri için platform, kullanıcılara "insan tarafından doğrulanmış" bir hizmet seçeneği sunar. Bu seçenek, içeriği Rev veya 3Play Media gibi profesyonel transkripsiyon ve altyazı hizmetleri sağlayan üçüncü taraf iş ortaklarına gönderen bir API entegrasyonu aracılığıyla veya kurumun kendi erişilebilirlik uzmanlarına yönelik bir görev atama iş akışıyla çalışır.54

Aşağıdaki tablo, bu hibrit stratejinin temelini oluşturan model karşılaştırmasını ve platform içindeki önerilen kullanım durumlarını özetlemektedir.

| Görev | Model/API | Doğruluk (Basit/Karmaşık İçerik) | Temel Maliyet | Gerçek Zamanlı Yetenek | Gelişmiş Özellikler (Örn. Konuşmacı Ayrımı) | Önerilen Kullanım Durumu |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **OCR** | Tesseract | Düşük / Çok Düşük 32 | Açık Kaynak (Ücretsiz) | Yok | Yok | **Kullanılmamalı.** Daha modern açık kaynak alternatifleri tercih edilmelidir. |
| **OCR** | Azure AI Vision / Google Vision | Yüksek / Yüksek 31 | Kullandıkça Öde | Evet | El yazısı tanıma, belge düzeni anlama | **Katman 2:** Düşük kaliteli taramalar ve karmaşık belgeler için otomatik tetiklenir. |
| **STT** | OpenAI Whisper (Self-Hosted) | Yüksek / Orta 41 | Açık Kaynak (Altyapı Maliyeti) | Yok 42 | Yok 42 | **Katman 1:** Önceden kaydedilmiş video/ses dosyalarının standart transkripsiyonu. |
| **STT** | AssemblyAI / Deepgram | Yüksek / Yüksek 41 | Kullandıkça Öde | Evet | Evet (Konuşmacı ayrımı, PII redaksiyonu vb.) | **Katman 2:** Canlı etkinlikler ve çok konuşmacılı kayıtlar için kullanılır. |

### **4.2. Çevrimdışı Erişim Stratejisi: Aşamalı Web Uygulaması (PWA)**

Dijital uçurum, erişilebilirliğin en büyük zorluklarından biridir. Güvenilir veya sürekli internet erişimi olmayan öğrenciler için öğrenme materyallerine erişim imkansız hale gelebilir. Bu sorunu çözmek için platformun mimarisi, en başından itibaren çevrimdışı erişimi desteklemelidir.

* Öneri: Aşamalı Web Uygulaması (Progressive Web App - PWA) Mimarisi  
  Platform, geleneksel bir web sitesi olarak geliştirilmek yerine, bir Aşamalı Web Uygulaması (PWA) olarak tasarlanmalı ve inşa edilmelidir.
* **Gerekçe:** PWA'lar, modern web teknolojilerini kullanarak hem bir web sitesinin geniş erişilebilirliğini hem de bir yerel uygulamanın zengin işlevselliğini bir araya getirir. En önemli özellikleri, hizmet çalışanları (service workers) ve önbelleğe alma (caching) API'leri aracılığıyla sağlam ve güvenilir bir çevrimdışı deneyim sunabilmeleridir.56 Bu, öğrencilerin internet bağlantısı olmadığında bile daha önce eriştikleri ders materyallerine, notlarına ve hatta bazı interaktif özelliklere erişmeye devam edebilmeleri anlamına gelir.58
* **Uygulama Mimarisi:**
  + **Hizmet Çalışanı (Service Worker) ve Önbelleğe Alma:** Bir hizmet çalışanı, uygulama ile ağ arasında bir vekil (proxy) görevi görür. Bir öğrenci bir ders materyaline (örneğin, erişilebilir bir PDF veya bir video) ilk kez eriştiğinde, hizmet çalışanı bu varlıkları ve ilgili meta verileri cihazın yerel Cache deposuna kaydeder. Öğrenci daha sonra aynı içeriğe çevrimdışıyken erişmeye çalıştığında, hizmet çalışanı ağa gitmek yerine isteği yakalar ve doğrudan önbellekten sunar.56
  + **Arka Plan Senkronizasyonu (Background Sync API):** Bir öğrenci çevrimdışıyken bir testi tamamlarsa veya not alırsa, bu eylemler yerel olarak (örneğin, IndexedDB'de) saklanır. Cihaz tekrar stabil bir internet bağlantısı algıladığında, Background Sync API bu verilerin otomatik olarak sunucuya ve dolayısıyla LMS'e senkronize edilmesini tetikler. Bu, veri kaybını önler ve kesintisiz bir kullanıcı deneyimi sağlar.56
  + **Büyük Dosyaların Yönetimi (Background Fetch API):** Özellikle büyük video veya ses dosyalarının indirilmesi, PWA'lar için bir zorluk olabilir. Background Fetch API, bu tür büyük indirmelerin kullanıcı uygulamayı kapatsa veya başka bir sekmeye geçse bile arka planda güvenilir bir şekilde devam etmesini sağlar. İndirme tamamlandığında, hizmet çalışanı kullanıcıyı bilgilendirir ve dosyayı çevrimdışı erişim için kullanılabilir hale getirir.61
  + **Kurulum ve Cihaz Entegrasyonu:** PWA, kullanıcıların uygulamayı ana ekranlarına "yüklemelerine" olanak tanır. Bu, platformun diğer yerel uygulamalar gibi görünmesini ve davranmasını sağlar, bu da daha entegre ve erişimi kolay bir deneyim sunar.56

## **Sonuç ve Stratejik Öneriler**

Bu rapor, "Yapay Zeka Destekli Erişilebilirlik Dönüşüm Platformu"nun sadece bir uyumluluk aracı olmanın çok ötesinde, eğitimde kapsayıcılığı ve kişiselleştirmeyi temelden değiştirebilecek stratejik bir varlık olarak konumlandırılması gerektiğini ortaya koymaktadır. Analiz edilen veriler ve teknolojik eğilimler ışığında, platformun başarısı için aşağıdaki üç temel sütun üzerine inşa edilmesi önerilmektedir:

1. **Derin ve Standartlara Dayalı Entegrasyon:** Platformun başarısı, mevcut eğitim teknolojisi ekosistemleriyle ne kadar sorunsuz bütünleştiğine bağlıdır. LTI Advantage standardına tam uyumluluk, özellikle yükseköğretim pazarında bir "giriş bileti" niteliğindedir. Derin Bağlantı, Atama ve Not Hizmetleri ve Rol Yetkilendirme gibi özellikler, platformu eğitimciler ve yöneticiler için vazgeçilmez kılarak, manuel iş yükünü azaltan ve pedagojik süreçleri zenginleştiren somut faydalar sunar.
2. **Akıllı ve Hibrit Yapay Zeka Motoru:** Platformun teknolojik çekirdeği, maliyet ve kaliteyi dinamik olarak dengeleyen hibrit bir AI mimarisine dayanmalıdır. Sadece açık kaynaklı modellere güvenmek kaliteyi riske atarken, sadece ticari API'lere bağımlı kalmak maliyetleri sürdürülemez kılabilir. Önerilen katmanlı yaklaşım (standart işlem için açık kaynak, kalite güvencesi için ticari API'ler ve kritik görevler için insanlı inceleme), platforma hem teknolojik üstünlük hem de ticari sürdürülebilirlik kazandıracaktır.
3. **Erişilebilirlikten Öğrenmeye Geçiş:** Platformun en önemli rekabet avantajı ve uzun vadeli değeri, erişilebilirlik verilerini pedagojik içgörülere dönüştürme yeteneğinde yatmaktadır. İçeriği erişilebilir kılmak için yapılan yapısal analizleri, öğrenci etkileşim verileriyle birleştirerek "zorluk sinyalleri" tespit etmek ve bu sinyallere dayalı olarak proaktif, kişiselleştirilmiş öğrenme destekleri (özetler, testler, ek kaynaklar) sunmak, platformu pazardaki tüm rakiplerinden ayıracaktır. Bu, platformu reaktif bir düzeltme aracından, her öğrenci için akıllı bir öğrenme ortağına dönüştürür.

Bu stratejik direklere odaklanarak, "Yapay Zeka Destekli Erişilebilirlik Dönüşüm Platformu", yalnızca yasal gereklilikleri karşılamakla kalmayacak, aynı zamanda tüm öğrenciler için daha adil, daha etkili ve daha kapsayıcı bir dijital öğrenme geleceği inşa etme potansiyeline sahip olacaktır.

## Eklenebilecek Özellikler

Metin okuma (text-to-speech) yeteneği, erişilebilirliğin temel taşlarından biridir, ancak platformun vizyonunu tam anlamıyla hayata geçirmek ve her öğrenciye dokunmak için bu temel üzerine inşa edebileceğimiz çok daha fazla yenilikçi özellik bulunmaktadır. Platformu, pasif bir içerik dönüştürücüden, proaktif ve kişiselleştirilmiş bir öğrenme ortağına dönüştürecek bazı ek özellikleri aşağıda bulabilirsiniz:

### 1. Görme Engelli Öğrenciler İçin Gelişmiş Destek Araçları

Metin okumanın ötesinde, görme engelli veya az gören öğrencilerin materyallerle daha derin bir etkileşim kurmasını sağlayacak özellikler ekleyebiliriz:

* **Yapay Zeka Destekli Sesli Betimleme (Audio Description):** Videolardaki önemli görsel unsurları (grafikler, sahneler, karakterlerin eylemleri) diyaloglar arasındaki doğal boşluklarda anlatan bir sesli anlatım katmanı oluşturulabilir. Bu, görme engelli bir öğrencinin, sadece diyalogları değil, videonun bütünsel bağlamını da anlamasını sağlar.1
* **Etkileşimli Transkriptler:** Videolar için oluşturulan metin transkriptleri statik olmak zorunda değildir. Öğrencinin transkriptteki bir kelimeye tıkladığında videonun ilgili saniyesine atlamasını sağlayan bu özellik, belirli konuları tekrar etmeyi veya not almayı son derece kolaylaştırır.1
* **Yenilenebilir Braille Ekran Desteği:** Platformun, braille alfabesini kullanan öğrenciler için yenilenebilir braille ekranlarıyla tam uyumlu çalışması, onlara içeriği dokunsal olarak okuma ve düzenleme imkanı tanır.4

### 2. İşitme Engelli Öğrenciler İçin Kapsamlı Çözümler

İşitme engelli veya işitme güçlüğü çeken öğrenciler için iletişimi ve anlamayı güçlendirecek özellikler şunlardır:

* **Gelişmiş Altyazı Seçenekleri:** Standart altyazılara ek olarak, konuşmacıların kim olduğunu belirten (ör. "Profesör Ahmet:", "Öğrenci Zeynep:") ve alkış, müzik gibi önemli arka plan seslerini tanımlayan altyazılar sunulabilir.7 Kullanıcıların altyazıların boyutunu, rengini ve stilini kişiselleştirmesine olanak tanımak da deneyimi iyileştirir.1
* **İşaret Dili Çevirisi (Yol Haritası Özelliği):** Uzun vadeli bir vizyon olarak, platformun metin veya sesli içeriği, yapay zeka destekli bir 3D avatar aracılığıyla Türk İşaret Dili'ne (TİD) çevirmesi hedeflenebilir. Bu, ana dili işaret dili olan öğrenciler için en üst düzeyde erişim sağlar.8
* **Görsel Uyarılar:** Platformdaki sesli bildirimlerin (örneğin, bir mesaj geldiğinde çıkan ses) yanı sıra, ekranın yanıp sönmesi gibi görsel alternatifler sunulması, işitme engelli kullanıcıların önemli uyarıları kaçırmamasını sağlar.10

### 3. Bilişsel ve Öğrenme Güçlüğü Yaşayan Öğrenciler İçin Akıllı Araçlar

Disleksi, DEHB veya diğer öğrenme güçlükleri yaşayan öğrenciler için öğrenme sürecini basitleştiren ve kişiselleştiren özellikler büyük bir fark yaratır:

* **AI Destekli Kişiselleştirilmiş Değerlendirme:** Platform, herhangi bir ders materyalinden (PDF, video transkripti vb.) otomatik olarak kişiye özel bilgi kartları (flashcards) ve testler oluşturabilir.12 Sistem, öğrencinin cevaplarına göre soruların zorluğunu dinamik olarak ayarlayarak (uyarlanabilir öğrenme), zayıf olduğu konulara odaklanmasına yardımcı olur.14
* **Oyunlaştırma (Gamification):** Öğrenme sürecine puanlar, rozetler ve liderlik tabloları gibi oyun mekaniklerinin eklenmesi, öğrencilerin motivasyonunu ve katılımını önemli ölçüde artırabilir. Bu, özellikle geleneksel öğrenme yöntemleriyle zorlanan öğrenciler için dersleri daha eğlenceli ve çekici hale getirir.16
* **Odaklanma Yardımcıları:** "Okuma Cetveli" gibi araçlar, ekranda sadece okunan satırı aydınlatarak veya "Okuma Maskesi" ile sayfanın geri kalanını karartarak dikkat dağınıklığını azaltır ve odaklanmayı kolaylaştırır.19 Disleksi dostu yazı tipleri gibi seçenekler de sunulabilir.21

### 4. Tüm Öğrenciler İçin Erişilebilirlik ve Verimlilik

Bu özellikler, engellilik durumundan bağımsız olarak tüm kullanıcıların öğrenme deneyimini iyileştirir:

* **Erişilebilir İş Birliği Araçları:** Platformun, tüm öğrencilerin grup projelerine ve tartışmalara eşit şekilde katılabileceği erişilebilir sanal beyaz tahtalar (virtual whiteboards) veya paylaşımlı doküman düzenleyiciler gibi iş birliği araçlarıyla entegre olması, kapsayıcı bir sosyal öğrenme ortamı yaratır.22
* **Çevrimdışı Erişim:** Platformun bir Aşamalı Web Uygulaması (PWA) olarak tasarlanması, öğrencilerin ders materyallerini cihazlarına indirerek internet bağlantısı olmadığında bile çalışmaya devam etmelerini sağlar. Bu, özellikle internet erişimi kısıtlı veya güvenilir olmayan öğrenciler için fırsat eşitliği sunar.25
* **Dokunmatik ve Titreşimli Geri Bildirim (Haptic Feedback):** Özellikle etkileşimli simülasyonlar veya motor beceri gerektiren eğitimlerde, dokunsal geri bildirimler kullanılarak öğrenme deneyimi daha gerçekçi ve akılda kalıcı hale getirilebilir. Örneğin, bir sanal kimya deneyinde moleküllerin birleşmesini "hissetmek" gibi.29

Bu özellikler, platformu sadece bir erişilebilirlik aracı olmaktan çıkarıp, her öğrencinin potansiyelini en üst düzeye çıkaran, akıllı, kapsayıcı ve vazgeçilmez bir eğitim platformuna dönüştürme potansiyeline sahiptir.

#### Works cited

1. Accessible Document Management: ADA, Section 508, WCAG 2.2 Compliance - Softdocs, accessed July 6, 2025, <https://softdocs.com/blog/how-an-accessible-document-management-system-can-satisfy-wcag-2-2-compliance>
2. The Importance of Accessible Technology in Higher Education - Watermark Insights, accessed July 6, 2025, <https://www.watermarkinsights.com/resources/blog/the-importance-of-accessible-technology-in-higher-education/>
3. Guide to PDF Accessibility: Make Documents Inclusive & Compliant, accessed July 6, 2025, <https://adasitecompliance.com/pdf-accessibility-ultimate-guide/>
4. 10 Statistical Insights on Accessibility Analysis in Educational Tech - Number Analytics, accessed July 6, 2025, <https://www.numberanalytics.com/blog/10-statistical-insights-accessibility-analysis-educational-tech>
5. The Ongoing Challenges of Hearing Loss: Stigma, Socio-Cultural Differences, and Accessibility Barriers - PubMed Central, accessed July 6, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12101339/>
6. Accessibility for Deaf and Hard of Hearing: Key Guidelines, accessed July 6, 2025, <https://accessiblyapp.com/blog/deaf-accessibility/>
7. Generative AI in Education: How AI is Transforming Learning - Enrollify, accessed July 6, 2025, <https://www.enrollify.org/blog/generative-ai-in-education>
8. Mindgrasp - #1 AI Learning Platform For Students and Professionals, accessed July 6, 2025, <https://www.mindgrasp.ai/>
9. What is LTI Integration? - Teachfloor, accessed July 6, 2025, <https://www.teachfloor.com/elearning-glossary/what-is-lti-integration>
10. NHA Learning Tool Interoperability (LTI) Frequently Asked Questions - Help Center, accessed July 6, 2025, <https://knowledge.nhanow.com/nha-learning-tool-interoperability-lti-frequently-asked-questions>
11. WCAG requirements for educational publishers - Learnetic, accessed July 6, 2025, <https://www.learnetic.com/wcag-compliance/>
12. PDF Accessibility - Paperturn, accessed July 6, 2025, <https://www.paperturn.com/us/online-pdf-flip-book-features/pdf-accessibility>
13. A Guide to Video Accessibility: Tips & Tricks - Recite Me, accessed July 6, 2025, <https://reciteme.com/us/news/video-accessibility/>
14. Guide to WCAG Compliance for Version 2.2 and Accessibility - Usercentrics, accessed July 6, 2025, <https://usercentrics.com/knowledge-hub/mastering-web-app-accessibility-wcag2-2-and-inclusive-design/>
15. What's New in WCAG 2.2 | Web Accessibility Initiative (WAI) - W3C, accessed July 6, 2025, <https://www.w3.org/WAI/standards-guidelines/wcag/new-in-22/>
16. Ethical Considerations For AI Use In Education - Enrollify, accessed July 6, 2025, <https://www.enrollify.org/blog/ethical-considerations-for-ai-use-in-education>
17. (PDF) Ethical Considerations in AI-Driven Education - ResearchGate, accessed July 6, 2025, <https://www.researchgate.net/publication/387275777_Ethical_Considerations_in_AI-Driven_Education>
18. AI and the Law: What Educators Need to Know - Edutopia, accessed July 6, 2025, <https://www.edutopia.org/article/laws-ai-education>
19. Data Privacy In AI-Driven Learning And Ethical Considerations - eLearning Industry, accessed July 6, 2025, <https://elearningindustry.com/ensuring-data-privacy-and-ethical-considerations-in-ai-driven-learning>
20. Data Security Best Practices for AI Tools in Higher Education | EdTech Magazine, accessed July 6, 2025, <https://edtechmagazine.com/higher/article/2024/06/data-security-best-practices-ai-tools-higher-education>
21. Learning Tools Interoperability - Wikipedia, accessed July 6, 2025, <https://en.wikipedia.org/wiki/Learning_Tools_Interoperability>
22. LTI Advantage FAQ | IMS Global Learning Consortium - 1EdTech, accessed July 6, 2025, <https://www.imsglobal.org/lti-advantage-faq>
23. Why is CompTIA Moving from LTI 1.1 to 1.3 with Advantage?, accessed July 6, 2025, <https://help.comptia.org/hc/en-us/articles/29155702699156-Why-is-CompTIA-Moving-from-LTI-1-1-to-1-3-with-Advantage>
24. Learning Tools Interoperability - 1EdTech, accessed July 6, 2025, <https://www.1edtech.org/standards/lti>
25. LinkedIn Learning LTI 1.3 Implementation Guide, accessed July 6, 2025, <https://learn.microsoft.com/en-us/linkedin/learning/sso-auth/sso-docs/lti-13-implementation>
26. Understanding Success Criterion 3.3.8: Accessible Authentication ..., accessed July 6, 2025, <https://www.w3.org/WAI/WCAG22/Understanding/accessible-authentication-minimum.html>
27. Understanding Success Criterion 3.3.8: Accessible Authentication | WAI - W3C on GitHub, accessed July 6, 2025, <https://w3c.github.io/wcag/understanding/accessible-authentication.html>
28. Web Authentication: An API for accessing Public Key Credentials - Level 3 - W3C, accessed July 6, 2025, <https://www.w3.org/TR/webauthn-3/>
29. OCRed Documents - University of Arkansas System Division of Agriculture, accessed July 6, 2025, <https://www.uada.edu/employees/division-accessibility/documents/ocred.aspx>
30. What Is OCR (Optical Character Recognition) for Accessibility? - IBML, accessed July 6, 2025, <https://www.ibml.com/blog/optical-character-recognition-for-accessibility-a-guide/>
31. docs.vntranslator.com, accessed July 6, 2025, <https://docs.vntranslator.com/user-guide/ocr/ocr-engines-comparison#:~:text=Tesseract%20OCR%3A%20Strong%20for%20black,varied%20colors%20and%20complex%20backgrounds.>
32. [Feature Request] Alternative OCR engines (Azure AI Vision, Google ..., accessed July 6, 2025, <https://github.com/paperless-ngx/paperless-ngx/discussions/5128>
33. What OCR should I be using for a startup? : r/ycombinator - Reddit, accessed July 6, 2025, <https://www.reddit.com/r/ycombinator/comments/1ik7204/what_ocr_should_i_be_using_for_a_startup/>
34. Creating Accessible PDFs | Digital Accessibility​, accessed July 6, 2025, <https://accessibility.huit.harvard.edu/pdf>
35. Everything you need to know to write effective alt text - Microsoft Support, accessed July 6, 2025, <https://support.microsoft.com/en-us/office/everything-you-need-to-know-to-write-effective-alt-text-df98f884-ca3d-456c-807b-1a1fa82f5dc2>
36. Overview: Generate alt text of images with Image Analysis - Azure AI services, accessed July 6, 2025, <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/ai-services/computer-vision/use-case-alt-text>
37. Free AI Alt Text Generator for Images - Popupsmart, accessed July 6, 2025, <https://popupsmart.com/tools/ai-alt-text-generator>
38. Auto Subtitle Generator — 99% Accurate (Free) - Kapwing, accessed July 6, 2025, <https://www.kapwing.com/subtitles>
39. Tuning In: The Importance of Audio Accessibility on the Web, accessed July 6, 2025, <https://www.accessibilitychecker.org/blog/audio-accessibility/>
40. The AI Speech Revolution: How Voice Technology is Transforming Our Work - HyperWrite, accessed July 6, 2025, <https://www.hyperwriteai.com/blog/the-ai-speech-revolution-how-voice-technology-is-transforming-our-work>
41. List of 6 Speech-to-Text Models (Open & Closed Source) - F22 Labs, accessed July 6, 2025, <https://www.f22labs.com/blogs/list-of-6-speech-to-text-models-open-closed-source/>
42. Open Source Whisper vs. API: Selecting the Best Speech-to-Text, accessed July 6, 2025, <https://vatis.tech/blog/open-source-whisper-vs-api-selecting-the-best-speech-to-text>
43. The top free Speech-to-Text APIs, AI Models, and Open Source Engines - AssemblyAI, accessed July 6, 2025, <https://www.assemblyai.com/blog/the-top-free-speech-to-text-apis-and-open-source-engines>
44. Video Accessibility Guidelines | Willamette Marketing - MyWillamette, accessed July 6, 2025, <https://my.willamette.edu/site/digital-accessibility/guidelines/video-accessibility>
45. Writing Audio Descriptions - Digital Accessibility | University of South ..., accessed July 6, 2025, <https://sc.edu/about/offices_and_divisions/digital-accessibility/toolbox/best_practices/audio_descriptions/writing-audio-descriptions/>
46. Audio description for videos - Harvard's Digital Accessibility, accessed July 6, 2025, <https://accessibility.huit.harvard.edu/audio-description>
47. Audio Description (AD) Guide for Videos | Teaching & Learning Resources, accessed July 6, 2025, <https://utsa.screenstepslive.com/a/1950460-audio-description-ad-guide-for-videos>
48. Why Website Accessibility is a Vital Consideration for Education Providers - Recite Me, accessed July 6, 2025, <https://reciteme.com/news/website-accessibility-education-providers/>
49. Top 10 Recite Me Alternatives & Competitors in 2025 - G2, accessed July 6, 2025, <https://www.g2.com/products/recite-me/competitors/alternatives>
50. Top 10 UserWay Alternatives & Competitors in 2025 - G2, accessed July 6, 2025, <https://www.g2.com/products/userway/competitors/alternatives>
51. Best AI Summarizer for Documents & Articles in 2025 - ClickUp, accessed July 6, 2025, <https://clickup.com/blog/ai-document-summarizers/>
52. genei | AI-powered summarisation & research tool, accessed July 6, 2025, <https://www.genei.io/>
53. www.stldigital.tech, accessed July 6, 2025, <https://www.stldigital.tech/blog/personalized-learning-edtech-education/#:~:text=Personalized%20learning%20through%20EdTech%20involves,the%20content%20and%20difficulty%20accordingly.>
54. 7 Best Closed Captioning Software in 2025 - Notta, accessed July 6, 2025, <https://www.notta.ai/en/blog/best-closed-captioning-software>
55. Best Closed Captioning Services in 2025: Compare Reviews on 40+ Services | G2, accessed July 6, 2025, <https://www.g2.com/categories/closed-captioning-services>
56. Progressive web apps | MDN, accessed July 6, 2025, <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/Progressive_web_apps>
57. How to Make Progressive Web App (PWA) Work Offline? - Saffron Tech, accessed July 6, 2025, <https://www.saffrontech.net/blog/how-to-make-progressive-web-app-pwa-work-offline>
58. 6 Ways To Support Students Without Internet Access At Home - TeachThought, accessed July 6, 2025, <https://www.teachthought.com/technology/6-ways-support-students-without-internet-access-home/>
59. Offline Learning: Boosting Skills Without Internet Access - Cloud Assess, accessed July 6, 2025, <https://cloudassess.com/blog/offline-learning/>
60. Designing e-learning for students with low internet access | Teach Online - Arizona State University, accessed July 6, 2025, <https://teachonline.asu.edu/2022/04/designing-e-learning-for-students-with-low-internet-access/>
61. PWA with offline streaming | Articles - web.dev, accessed July 6, 2025, <https://web.dev/articles/pwa-with-offline-streaming>