

WEIAP - Rüzgar Enerjisi Altyapı Değerlendirme Platformu

Gereksinim ve Teknik Spesifikasyon Dokümanı

Versiyon: 1.1.0 **Tarih:** 26 Aralık 2025 **Kapsam:** Türkiye Geneli Yenilenebilir Enerji (Rüzgar) Fizibilite Analizi

1. Proje Tanımı ve Amaç

WEIAP, Türkiye'deki potansiyel rüzgar enerjisi sahalarının tekno-ekonomik fizibilitesini değerlendiren bir Karar Destek Sistemi dir. Sistem, **Open-Meteo API** verilerini işleyerek ham meteorolojik veriyi, yatırımcı için anlamlı finansal ve teknik metriklere dönüştürür.

2. Veri Kaynağı Entegrasyonu (Open-Meteo API)

Veriler `archive-api.open-meteo.com` üzerinden **saatlik (hourly)** çözünürlükte çekilecektir. Analiz için **minimum son 3 yılın** verisi gereklidir.

2.1. Zorunlu API Parametreleri

Aşağıdaki parametreler API isteği dahil edilmelidir:

| Parametre Grubu | API Değişkeni (Open-Meteo) | Birim | Kullanım Amacı ve Kritiklik |
|-----------------|--|--------------------|---|
| Rüzgar Hızı | <code>wind_speed_10m</code> <code>wind_speed_80m</code> <code>wind_speed_120m</code> | km/h (veya m/s) | Wind Shear (Makaslama) Hesabı: Türbin göbek yüksekliğindeki (örn: 100m) hızı interpolasyonla bulmak için zorunludur. |
| Rüzgar Yönü | <code>wind_direction_100m</code> | Derece (°) | Mikro Konumlandırma: Hakim rüzgar yönünü belirleyip turbinin bakacağı açayı saptamak için kullanılır. |
| Sıcaklık | <code>temperature_2m</code> | °C | Hava Yoğunluğu Hesabı: Soğuk havada yoğunluk artar, üretim artar. Standart yoğunluk (1.225) yerine gerçek değer hesaplanacaktır. |

| | | | |
|------------------|------------------|-------|---|
| Basınç | surface_pressure | hPa | Hava Yoğunluğu Hesabı: Basınç verisi olmadan güç hesabı %10-15 hatalı çıkar. |
| Yükseklik | elevation | Metre | API dönüşümde otomatik gelir. Basınç düzeltmesi için kullanılır. |

Örnek API İsteği:

```
hourly=temperature_2m,surface_pressure,wind_speed_10m,wind_speed_80m,wind_speed_120m,wind_direction_100m
```

3. Teknik Hesaplama Metodolojisi

Ham veri alındıktan sonra sırasıyla aşağıdaki işlemler uygulanır:

3.1. Adım 1: Veri Normalizasyonu ve Dönüşümü

- Birim Dönüşümü:** Open-Meteo rüzgarı varsayılan olarak km/h verir. Mühendislik hesapları için bu m/s 'ye çevrilmelidir.
- $V_{ms} = V_{kmh}/3.6$

3.2. Adım 2: Rüzgar Makası (Wind Shear) Hesabı

Türbinin tam göbek yüksekliğindeki (Hub Height - H) rüzgar hızını (v) bulmak için **Hellmann Üstel Yasası** kullanılır.

- Formül:** $v = v_{ref} \cdot \left(\frac{H}{H_{ref}}\right)^\alpha$
- α (Alpha) Tespiti:** 10m ve 80m verileri arasındaki ilişki kullanılarak o bölgenin sürtünme katsayısı (α) dinamik hesaplanır, sabit 0.14 alınmaz.

3.3. Adım 3: Hava Yoğunluğu (ρ) Düzeltmesi

Güç üretimi hava yoğunluğu ile doğru orantılıdır. Standart atmosfer (1.225 kg/m³) yerine saatlik yoğunluk hesaplanır:

- Formül:** $\rho = \frac{P}{R_{specific} \cdot T}$
 - P : Mutlak Basınç (Pa)
 - $R_{specific}$: Kuru hava gaz sabiti ($287.058 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$)
 - T : Mutlak Sıcaklık (Kelvin) ($^{\circ}\text{C} + 273.15$)

3.4. Adım 4: Güç Eğrisi (Power Curve) Entegrasyonu

Seçilen türbin modelinin (Örn: Vestas V150-4.2MW) $V - P$ tablosu (Hız - Güç) kullanılır.

- Algoritma:** Her saatin rüzgar hızı (v) için tablodan karşılık gelen güç (P_{out}) bulunur.
- Yoğunluk Düzeltmesi:** $P_{corrected} = P_{curve} \cdot \left(\frac{\rho_{actual}}{\rho_{std}}\right)$

4. Çıktı Metrikleri ve KPI'lar

4.1. Teknik Çıktılar

- **Brüt AEP (MWh):** Kayıpsız toplam yıllık üretim.
- **Net AEP (MWh):** Brüt üretimden %12-15 toplam kayıp (kablo, trafo, wake effect, emre amadelik) düşüldükten sonra kalan değer.
- **Kapasite Faktörü (%):** $CF = \frac{NetAEP}{KuruluGüç\x 8760}$
 - *Beklenen Değer (Türkiye):* %30 - %45 arası.

4.2. Ekonomik Çıktılar

- **LCOE (Seviyelendirilmiş Elektrik Maliyeti - \$/MWh):**
 - $LCOE = \frac{CAPEX + \sum(OPEX)}{(20 \text{ Yıl} \times NetAEP)}$
 - *CAPEX Varsayımları:* ~1.1 Milyon USD / MW
 - *OPEX Varsayımları:* ~30.000 USD / MW / Yıl
- **Yatırım Geri Dönüşü (ROI):**
 - Basit Geri Dönüş = $ToplamYatırım / (YıllıkGelir - YıllıkGider)$
 - *Elektrik Satış Fiyatı:* PTF (Piyasa Takas Fiyatı) veya YEKDEM taban fiyatı baz alınabilir (Örn: 5.5 \$cent/kWh).

5. Sistem Kısıtları ve Varsayımlar

1. **Veri Boşlukları:** API'den eksik veri gelmesi durumunda "Linear Interpolation" (Doğrusal Enterpolasyon) yöntemi ile boşluklar doldurulacaktır.
2. **Arazi Modeli:** İlk fazda, karmaşık akışkanlar dinamiği (CFD) yerine lineer modeller (WAsP benzeri basitleştirilmiş) kullanılacaktır.
3. **Türbin Seçimi:** Sistemde başlangıçta 3 standart türbin tipi (2MW, 3MW, 4MW+ sınıfı) tanımlı olacaktır.

6. Teknoloji Yığını

- **Backend:** Python 3.10+ (Pandas, NumPy, SciPy)
- **API:** FastAPI
- **Frontend:** React (TypeScript) + Leaflet (Harita) + Recharts (Grafikler)
- **Database:** PostgreSQL (Veri saklama ihtiyacı olursa), Redis (API yanıtlarını önbellekleme için - 24 saatlik TTL).