

پروژه : Smart Grid AI-Based Forecasting & Demand Response: Management System

پیش زمینه و ضرورت

با افزایش سهم منابع تجدیدپذیر و بارهای جدید مانند خودروهای برقی، مدیریت شبکه‌های توزیع هوشمند اهمیت بیشتری یافته است. پیش‌بینی دقیق بار کوتاه‌مدت و طراحی مکانیسم‌های Demand Response می‌تواند:

- پیک بار را کاهش دهد،
- قابلیت اطمینان شبکه را بالا ببرد،
- هزینه‌های عملیاتی اپراتورها را کاهش دهد،
- و به اهداف زیست‌محیطی کمک کند.

مقدمه

این پروژه با هدف توسعه یک سیستم هوشمند پیش‌بینی بار کوتاه مدت و مدیریت Demand Response برای شبکه‌های توزیع برق طراحی می‌شود. سیستم شامل بخش‌های Backend – شبیه سازی – هوش مصنوعی و FrontEnd بوده و قابلیت ارائه به اپراتورهای شبکه و سازمان‌های انرژی را خواهد داشت.

اهداف پروژه

اهداف کلان

1. توسعه یک پلتفرم یکپارچه (Backend + AI + Simulator + Dashboard).
2. پیش‌بینی بار کوتاه‌مدت با دقت بالا و مقیاس‌پذیری.
3. طراحی ماژول پیشنهاد اقدامات (DR (load shifting, peak shaving).
4. شبیه‌سازی سناریوهای متنوع شبکه برای اعتبارسنجی نتایج.
5. ارائه داشبورد عملیاتی کاربرپسند.
6. مستندسازی کامل و تولید گزارش علمی.

اهداف خرد (قابل اندازه‌گیری)

- دقت پیش‌بینی : $MAPE < 5\%$
- پاسخ‌دهی $API: < 2$ ثانیه
- کاهش پیک بار: $\leq 10\%$ در سناریوها
- پشتیبانی از حداقل 5 سناریوی مختلف شبکه (EV, PV بار صنعتی خانگی و تجاری)
- داشبورد با حداقل 10 نمودار و قابلیت فیلتر زمانی

محدوده کاری (Scope of Work)

Backend

- طراحی و پیاده‌سازی RESTful API با FastAPI
- ذخیره‌سازی داده‌ها در TimescaleDB
- مدیریت pipeline داده‌های ورودی (raw → cleaned → model input)
- سرویس‌دهی به بخش ML و Frontend

AI/ML

- جمع‌آوری دیتاست‌های عمومی (UCI, ISO, GridLAB-D outputs)
- طراحی pipeline preprocessing (missing values, scaling, feature extraction)
- توسعه مدل (ARIMA, Prophet) baseline
- توسعه مدل‌های پیشرفته (LSTM, Transformer, Ensemble)
- آموزش مدل‌ها با GPU و ذخیره مدل نهایی
- پیاده‌سازی API برای prediction و retraining
- ماژول پیشنهاد DR براساس پیش‌بینی و قیود شبکه

شبیه‌سازی شبکه

- انتخاب ابزار (GridLAB-D / OpenDSS / MATPOWER)
- مدل‌سازی feeder ساده + توسعه به سناریوهای پیچیده
- ورودی: داده بار، PV, EV
- خروجی: پروفایل ولتاژ، بار، توان اکتیو/راکتیو
- ارتباط خروجی شبیه‌ساز با Backend برای تحلیل و DR

Frontend

- توسعه داشبورد React (TypeScript)
- ماژول Authentication ساده (login برای اپراتور)
- نمایش بار واقعی + پیش‌بینی + پیشنهاد DR
- نمودارهای تعاملی با Plotly/D3
- قابلیت ساخت سناریو (انتخاب بار / DER → مشاهده خروجی)

Infra و DevOps

- Dockerize همه ماژول‌ها
- GitHub Actions با CI/CD
- مانیتورینگ ساده (logs, metrics)
- استقرار روی کلود (AWS/GCP/Azure) یا Heroku

Use Cases

UC1 : پیش‌بینی بار

- Actor : اپراتور شبکه
- Input : داده بار تاریخی (15min resolution)
- Output : نمودار پیش‌بینی + مقادیر عددی
- Success : خطای $MAPE < 5\%$

UC2 : مدیریت DR

- Actor : اپراتور
- Input : درخواست کاهش بار در ساعت مشخص
- Output : پیشنهاد load shifting و نتیجه شبیه‌سازی
- Success : کاهش پیک $\leq 10\%$

UC3 : سناریوسازی

- Actor : اپراتور
- Input : اضافه کردن EV یا PV به شبکه
- Output : پروفایل جدید بار و پیش‌بینی اصلاح‌شده
- Success : نمایش نتایج ≥ 30 ثانیه

تحویل‌پذیرها (Deliverables)

- کد کامل ماژول‌ها (GitHub repo)
- پایگاه داده نمونه و pipeline داده
- مدل‌های آموزش‌دیده + ML مستندات
- اسکریپت‌های شبیه‌سازی و سناریوها
- داشبورد تحت وب کامل
- مستندات (UML (Use Case, Sequence, Component)
- گزارش نهایی + مقاله علمی IEEE/Elsevier

منابع مورد نیاز

- نیروی انسانی: ۶ نفر (AI, Backend, Frontend, Power, DevOps, Lead)
- GPU برای آموزش مدل‌ها
- سرور cloud با $\text{RAM} \geq 16\text{GB}$, $\text{CPU} \geq 8 \text{ cores}$
- ابزارهای متن‌باز: (GridLAB-D, FastAPI, React, PostgreSQL)

ریسک‌ها و مدیریت آن‌ها

- کمبود داده → استفاده از دیتاست‌های عمومی + شبیه‌ساز
- پیچیدگی integration → تست‌های واحد + CI/CD
- پرفورمنس پایین مدل‌ها → استفاده از (ensemble) hybrid models
- زمان محدود → تعریف MVP در ماه 2-3، توسعه کامل در ماه 4-6

ساختار گزارش نهایی

1. مقدمه
2. معماری سیستم
3. شرح پیاده‌سازی
4. مدل‌های ML و نتایج
5. شبیه‌سازی و سناریوها
6. داشبورد و UI/UX
7. ارزیابی و KPI ها
8. نتیجه‌گیری و کارهای آتی

زمان‌بندی (Timeline & Milestones)

- ماه ۱: طراحی معماری، UML repo
- ماه ۲: Backend + DB + API پایه
- ماه ۳: ML baseline + مدل LSTM
- ماه ۴: شبیه‌ساز + اتصال به Backend
- ماه ۵: Frontend + ادغام کل سیستم
- ماه ۶: تست‌ها، DR module، گزارش، مقاله