# گزارش فنی پروژه

## مقدمه

### 1. اهمیت مطالعات گرانش و گرادیان گرانش در ژئودزی

یکی از اساسی‌ترین مؤلفه‌ها در علوم زمین، شناخت و تحلیل میدان گرانش (Gravity Field) زمین است. این میدان، اطلاعات ارزشمندی را درباره‌ی توزیع جرم در پوسته‌ی زمین فراهم می‌کند. با پیشرفت فناوری‌های سنجش از راه دور و حسگرهای ماهواره‌ای، ابزارهای دقیق‌تری برای اندازه‌گیری و بررسی میدان گرانش در دسترس قرار گرفته‌اند. در این میان، **گرادیان گرانش (Gravity Gradient)** درک ما را از جزئیات ساختارهای زیرزمینی بالا می‌برد، زیرا به‌جای مقدار مطلق شتاب گرانی، تغییرات مکانی آن را بررسی می‌کند.

مطالعه‌ی گرادیان گرانش کاربردهای فراوانی دارد؛ از جمله:

- **اکتشافات معدنی و نفت‌وگاز:** مشاهده‌ی ناهنجاری‌های ریز در میدان گرانش و تطبیق آن با مدل‌های زیرزمینی.
- **زمین‌شناسی و مطالعات تکتونیکی :** تشخیص گسل‌ها، دره‌های مدفون‌شده یا ساختارهای چین‌خورده.
- **هیدروژئولوژی :** ردیابی حفره‌ها یا سفره‌های زیرزمینی با مشاهده‌ی تغییرات جرمی.

### 2. چالش‌های محاسباتی و داده‌ای

از سوی دیگر، محاسبه‌ی گرادیان گرانش و ترسیم نقشه‌های مربوطه با مشکلاتی همراه است:

1. **حجم زیاد داده‌ها** :داده‌های ارتفاعی (DEM) یا مدل‌های دیجیتال زمین گاه به ده‌ها تا صدها مگابایت می‌رسند. در صورت افزایش دقت مکانی، پردازش این داده‌ها نیازمند روش‌های مؤثر برای مدیریت حافظه و توان محاسباتی بالاست.
2. **مدل‌های مختلف جاذبه** :مدل‌هایی نظیرEGM96 ، EGM2008یا ماهواره‌های Grace/GOCE هرکدام ضرایب مختص خود را دارند. نگاشت درست این ضرایب به فرمول‌های محاسباتی و کنترل تصحیحات C20, C40 و ... موضوعی تخصصی است.
3. **اینترپولاسیون و مصورسازی** :داده‌های گرانش اغلب در مختصات جغرافیایی مختلف مثلاً .Geocentric vs Geodetic ثبت شده‌اند. تبدیل این داده‌ها به نقشه‌هایی نرم و گویا، به تکنیک‌های اینترپولاسیون مانند cubic griddata و کتابخانه‌های گرافیکی نیاز دارد.

## 3 . معرفی پروژه‌یGeoGraphica

با توجه به مسائل فوق، در پروژه‌ی **GeoGraphica** تلاش شده است یک چارچوب نرم‌افزاری یکپارچه ایجاد شود تا متخصصان ژئودزی و دیگر رشته‌های مرتبط بتوانند در محیطی ساده و کاربردی، داده‌های گرانش و گرادیان گرانش را پردازش و مصورسازی کنند. این نرم‌افزار با زبان Python و بهره‌گیری از کتابخانه‌های Numerical نظیرNumPy ، SciPy و mpmath توسعه یافته است. برخی از قابلیت‌های کلیدی عبارت‌اند از:

1. **پشتیبانی از مدل جهانیEGM96** : ضرایب این مدل در فایل CSV خوانده می‌شوند و کاربر می‌تواند تا درجه و مرتبه‌ی ۳۶۰ از آن استفاده کند.
2. **محاسبات موازی:** با بهره‌گیری از joblib و Threading در پایتون، روند محاسبات سنگین (Fourier-based, Parker method) سریع‌تر انجام می‌شود.
3. **رابط کاربری تحت وب و دسکتاپی:** با استفاده از FastAPI و کتابخانه‌یpywebview ، یک واسط گرافیکی فراهم گردیده تا کاربر بتواند محدوده‌ی جغرافیایی، رزولوشن و سایر پارامترهای ورودی را از طریق یک فرم دریافت کند. نتیجه‌ی نهایی (نقشه‌های کانتور) نیز در قالب تصاویر یا PDF ارائه می‌شود.
4. **امکان انتخابColormap** : کاربران برای نمایش داده‌ها در قالب‌های رنگی مختلف، می‌توانند ازColormap های متعدد Matplotlib بهره برند.

## 4 . اهداف و مزایای پروژه

- **سرعت و سهولت کار:** به‌جای استفاده از چندین نرم‌افزار پراکنده مثلMATLAB ، ArcGIS، GMTو... ، تلاش شده که فرایند بارگذاری داده‌ی ارتفاعی، محاسبه‌ی گرادیان و رسم نقشه‌ها در یک بسته‌ی واحد قابل انجام باشد.
- **افزونگی و ماژولار بودن:** معماری پروژه به شکل ماژولار طراحی شده است تا در آینده بتوان مدل‌های جدیدتر (EGM2008) یا الگوریتم‌های موازی قدرتمندتر را نیز به آن اضافه نمود.
- **ظرفیت سفارشی‌سازی:** کاربران حرفه‌ای می‌توانند به صورت عمیق با بخش Computations کار کنند یا حتی توابع محاسباتی خود را در آن جایگزین نمایند.

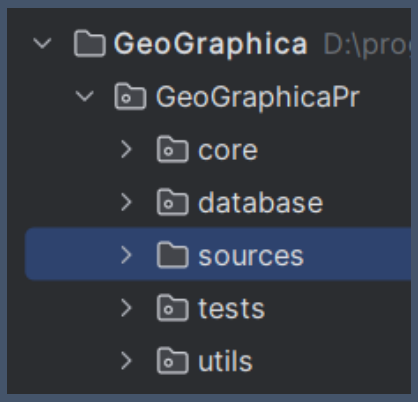
## 5. مخاطبان و ذینفعان

- **ژئودزیست‌ها و ژئوفیزیکدان‌ها** :که روزانه با داده‌های گرانی و مدل‌های ارتفاعی سروکار دارند.
- **مهندسین اکتشاف معدنی و نفتی** :برای ارزیابی و تحلیل منابع زیرزمینی و ذخایر اقتصادی.
- **مراکز پژوهشی و دانشگاهی** :برای آموزش و پروژه‌های تحقیقاتی در حوزه‌ی علوم زمین، مدل‌سازی اقیانوس و... .

## ❖ معماری پروژه (Project Architecture)

### ۱ . ساختار کلی پوشه‌ها و ماژول‌ها

پروژه‌ی حاضر تحت عنوان موقت **GeoGraphica** در حالت کلی به‌صورت ماژولار طراحی شده و از چندین پوشه (Directory) اصلی تشکیل شده است. هدف از این ساختار ماژولار، تفکیک مسئولیت‌ها (Separation of Concerns) و نگهداری راحت‌تر کد در بخش‌های مرتبط است.




مهم‌ترین بخش‌های این پروژه عبارت‌اند از:

1. **core**
   - **computations** : در این پوشه توابع و کلاس‌های اصلی محاسبات گرادیان گرانش قرار گرفته‌اند. برای نمونه، compute , Constant , EGM96_data, functions
   - **my_app** : ماژول مربوط به رابط کاربری و Backend در این پوشه قرار دارد. فایل‌های کلیدی شامل main.py (ایجاد WebView و مدیریت رابط دسکتاپی ) و backend.py ( راه‌اندازی سرور FastAPI و تعریف اندپوینت‌ها ) هستند.
   - **Plotting** : وظیفه‌ی رسم و مصورسازی نقشه‌های گرادیان گرانش ، در اینجا پیاده‌سازی شده است. فایل plotter.py از کتابخانه‌ی Matplotlib بهره می‌گیرد تا داده‌های محاسبه‌شده را به‌صورت Contour Plot نمایش دهد و خروجی تصویری در قالب PNG/PDF ارائه کند.
2. **database**

   در این پوشه داده‌های ضروری پروژه، از جمله فایل‌های مرتبط با مدل EGM96 ( مانند EGM96.csv، EGM96.gfc ) و فایل‌های ارتفاعی (مثلاً Elev_Matrix_Output.xlsx ) نگهداری می‌شوند. همچنین داده‌های خام (DEM) در زیرفولدرهای مربوطه (مانند gt30e020n40_dem ) قرار گرفته اند.
3. **sources**

   این فولدر شامل فایل‌ها و منابعی است که ممکن است در مراحل اولیه و میانی توسعه جمع‌آوری شده باشند (برای مثال داده‌های

مرحله‌ی اول و دوم پروژه، یا اسناد مربوط به ارزیابی داده‌ها). در واقع، محلی برای نگهداری منابع اضافی یا کدهای نمونه‌ی فازهای قبلی است.

4. **tests**
فایل‌ها و اسکریپت‌های تست پروژه در اینجا نگهداری می‌شوند. برای نمونه، test_plooter.py شبیه‌سازی داده‌های محاسباتی و تست فرایند رسم نمودار را انجام می‌دهد. همچنین فایل‌های دیگری مانند TxxLinearPlotter.py برای مقایسه‌ی خروجی‌ها در یک محیط مجزای تحلیل استفاده شوند.

5. **utils**
این پوشه حاوی ابزارها و ماژول‌های کمکی (Utility Modules) است که در بخش‌های مختلف پروژه مورد استفاده قرار می‌گیرند. از جمله مهم‌ترین فایل‌های این بخش، files_paths.py است که مسیرهای پیش‌فرض فایل‌های ورودی/خروجی نظیر CSV های خروجی، دیتاست‌های ورودی و ... را مدیریت می‌کند.

## ۲ . الگوی ماژولار و مزایای آن

با پیاده‌سازی این ساختار ماژولار، هر بخش از پروژه وظیفه‌ی خاص خود را بر عهده دارد:

- **جداکردن منطق محاسبات از رابط کاربری** : ماژول‌های محاسباتی در computations متمرکز شده‌اند تا توسعه‌دهندگان بتوانند الگوریتم‌های جدید (مانند مدل‌های دیگر یا روش‌های پردازشی متفاوت) را به راحتی اضافه کنند، بدون آن‌که نیاز باشد در کد رابط کاربری تغییری بدهند.
- **یکپارچگی ساده داده‌ها** : تمامی فایل‌ها و مدل‌های ارتفاعی در پوشه‌ی database قرار دارند و با استفاده از ماژول files_paths.py به‌طور متمرکز مدیریت می‌شوند؛ این مسئله نگهداری و به‌روزرسانی داده‌ها را آسان‌تر می‌کند.
- **امکان تست و نگهداشت آسان** : با تفکیک فایل‌های تست(tests) ، فرایند خطایابی و ارزیابی عملکرد بخش‌های مختلف ساده‌تر شده و می‌توان هر کدام از توابع اصلی را به‌صورت جداگانه تست یا پروفایل کرد.
- **قابلیت گسترش پذیری** : ماژول‌های plotting و my_app را می‌توان برای اضافه‌کردن قابلیت‌های جدید (مثلاً رسم نمودارهای سه‌بعدی یا رابط کاربری پیشرفته‌تر) توسعه داد، بی‌آنکه ساختار کل پروژه دستخوش تغییر اساسی شود.

## ۳ . گردش کار کلی (کپسولی از معماری)

1. **دریافت محدوده‌های جغرافیایی** و سایر پارامترها (از طریق رابط وب یا دسکتاپ)

2. **فراخوانی ماژول محاسبات** compute_gradients.py یا توابع موجود در functions.py برای محاسبه‌ی ماتریس‌های گرادیان گرانش با استفاده از داده‌های ارتفاعی و مدل EGM96
3. **ذخیره‌ی خروجی** در قالب CSV یا سایر فرمت‌های واسط
4. **رسم نقشه‌ها** با استفاده از ماژول plotter.py و ارائه‌ی نتیجه به کاربر (داخلی یا تحت وب)

این الگو امکان جداسازی وظایف (Separation of Concerns) را فراهم کرده و به ارتقای خوانایی و نگهداری کد کمک شایانی کرده است.

## « جزئیات پیاده‌سازی ماژول‌های دایرکتوری core »

### 1 . ماژول Constant

این ماژول مسئول نگهداری و مدیریت ثابت‌های فیزیکی و هندسی مورد نیاز در محاسبات است. ساختار آن به صورت یک کلاس به نام Constants طراحی شده که در سازنده (Constructor) خود، متغیرهای زیر را مقداردهی می‌کند:

- EOTVOS : مقدار ثابت برای تبدیل گرادیان به واحد **Eötvös** تقریباً ۹e-۱.
- GM : ثابت جهانی G ضربدر جرم زمین (حدود 3.986004418×10^14).
- a : شعاع نیم‌قطر استوا (Earth’s semi-major axis) در بیضوی مرجع WGS84 (حدود متر 6378137 ) .
- Nmax : بالاترین درجه و مرتبه برای مدل EGM96 ( در اینجا ۳۶۰ ) .
- PRECISION : دقت محاسباتی برای کتابخانه‌ی mpmath
- f : مقدار تختی بیضوی زمین(Flattening) ؛ در WGS84 برابر با 1/298.257223563 .
- e2 : مجذور خروج از مرکز بیضوی (eccentricity squared)
- h : ارتفاع پیش‌فرض (مثلاً 100 متر) برای محاسبات بالاتر از بیضوی.
- G : ثابت جهانی گرانش (6.6742×10^-11)
- p : چگالی متوسط یا دلخواه در اینجا 2670 kg/m³

کلاس Constants برای دسترسی به این ثابت‌ها ، یکسری متدها وProperty ها ارائه می‌کند (نظیر get_a()، get_h()، EOTVOS، و ...) تا در سایر بخش‌های پروژه ( ماژول‌های محاسباتی وplotting ) قابل فراخوانی باشند. این روش باعث می‌شود در صورت نیاز به تغییر ثابت‌ها یا به‌روزرسانی به مدل جدیدتر، تنها همین فایل اصلاح شود.

### 2 . ماژول EGM96_data

در این ماژول، ضرایب مدل جاذبه‌ی زمین EGM96 (تا درجه و مرتبه‌ی ۳۶۰) از یک فایل CSV بارگذاری می‌شود. مراحل اصلی عبارت‌اند از:

1. **تعریف مسیر csv_file_path** : مسیر فایل EGM96.csv در پوشه‌ی database
2. **ایجاد یک دیکشنری global** با نام data که به صورت data[n][m] = [C_nm, S_nm] مقداردهی می‌شود ( nدرجه، mمرتبه )
3. **اصلاح برخی ضرایب** نظیر C20, C40, C60و... با توجه به تصحیحات لازم (همانند تفکیک چرخش یا مسائل ژئودتیک).

در پایان، دیکشنری data حاوی تمام ضرایب ضروری برای محاسبه‌ی پتانسیل و گرادیان گرانش در مدل EGM96 می‌شود. دیگر ماژول‌ها مانند functions.py از این دیکشنری برای فراخوانی ضرایب استفاده می‌کنند.

---

### 3 . ماژول functions

این ماژول قلب محاسبات گرادیان گرانش به روش EGM96 است .
ساختار کلی آن عبارت است از:

1. **بارگذاری داده‌ها و ثابت‌ها:**
   در ابتدای فایل، ماژول Constant.py و EGM96_data.py ایمپورت شده و از آن‌ها مقادیر EOTVOS, Gm, Nmax و ... دریافت می‌شود.
2. **مقادیر و متغیرهای سراسری:**
   - legendre_data : برای کش ذخیره‌ی چندجمله‌ای‌های لژاندر(Legendre Polynomials) ؛
   - part_two : یک متغیر سراسری برای تجمیع نتایج موقت در حین محاسبات چندنخی(Threading) ؛
   - متغیر chunk_size و یک **Lock** از کتابخانه‌ی threading جهت ایمنی در دسترسی همزمان.
3. **توابع کمکی:**
   - convert_seconds() : تبدیل ثانیه به روز، ساعت، دقیقه، ثانیه (برای گزارش زمان).
   - legendre_data_existence() و retrieve_legendre_data() : مدیریت کش چندجمله‌ای‌های لژاندر محاسبه‌شده .

- C_nm() و S_nm() : بازیابی ضرایب C و S از دیکشنری EGM96_data .
- مجموعه توابع a_nm, b_nm, c_nm, d_nm, … : ضرایب مختلف مورد نیاز در محاسبات سری لژاندر نرمال‌شده.
- normal_pnm() : محاسبه‌ی چندجمله‌ای‌های Associated Legendre به‌صورت نرمال‌شده.(Normalized)
- …

4. **توابع مربوط به محاسبه‌ی Txx, Txy, Txz, ...**

هر مؤلفه‌ی تنسور یک تابع اصلی مثلاً Txx_function دارد که داده‌های ژئودتیک r ، φ، λ را گرفته، چندنخی MultiThreading اجرا می‌شود و در نهایت مقداری از جنس mpf ( دقت بالای mpmath ) برمی‌گرداند.

5. **توابع compute_Txx_chunk, compute_Txy_chunk, ...**

این توابع درون‌حلقه‌ای برای محاسبات موازی طراحی شده‌اند. هرکدام در بازه‌ای از درجات n و مراتب m محاسبه را انجام می‌دهند، سپس در متغیر سراسری part_two ذخیره می‌شوند ( قفل threading Lock برای جلوگیری از رخ دادن race condition استفاده شده است )

6. **خروجی نهایی**

توابعی مانند Txx_function از تجمیع (part_one * part_two) و پاک‌کردن کش لژاندر (در صورت نیاز) مقدار نهایی را برمی‌گردانند.

---

### 4. ماژول compute

این فایل (با متد compute_gradients ) ترکیبی از منطق محاسبات پارکر (Fourier-based) و فراخوانی توابع EGM96 است. دو بخش اصلی در آن قابل تفکیک است:

1. **محاسبات:Parker**
   - دریافت محدوده‌ی طول و عرض جغرافیایی و رزولوشن.
   - تبدیل این محدوده‌ها به نقاط مشبک (Grids) با استفاده ازNumPy .
   - بستن سری فوریه (Fourier Series) برای ماتریس ارتفاعی و محاسبه‌ی مؤلفه‌های گرادیان مانند TxxParker ، TxyParker و... .
2. **محاسبات EGM96** :
   - استفاده از توابع موازی (Parallel) کتابخانه‌ی joblib برای فراخوانی Txx_function, Txy_function و... در نقاط مختلف.
   - **موازی‌سازی (Parallel Computing)** :
     - استفاده از Threading قفل (Lock) برای ایمنی دسترسی به متغیر سراسری (part_two) .
     - استفاده از joblib در مرحله‌ی محاسبه‌ی TxxEGM96 و بقیه‌ی مؤلفه‌ها. این روش مخصوصاً برای **Data Parallelism** مناسب است و سرعت اجرای پروژه را بالا می‌برد.
   - تولید ماتریس‌های خروجی TxxEGM96, TxyEGM96 و ... .
3. **خروجی CSV** :
   - تمام مؤلفه‌های گرادیان (چه پارکر و چهEGM96 ) جداگانه در فایل‌های CSV صادر می‌شوند.
   - جمع مؤلفه‌های پارکر و EGM96 به‌عنوان مؤلفه‌ی نهایی (Total) نیز درCSV های مجزا ذخیره می‌شود.
   - ساختار فایل‌های CSV طوریست که سطر اول، مقادیر طول جغرافیایی را نشان می‌دهد و ستون اول، مقادیر عرض جغرافیایی .
4. **مدیریت مسیرها:**
   - از utils ماژول files_paths.py برای تعیین یا ایجاد پوشه‌ی مقصد (base_path) و نام فایل‌های خروجی TxxTOTAL.csv و ... استفاده می‌شود.

5. **نحوه فراخوانی:**

این تابع کلیدی از طریق اندپوینت /plot در backend بخش ( my_app ) فراخوانی می‌شود که در آن کاربر مقادیر ورودی‌اش را مشخص می‌کند. در نهایت، نتایج CSV تولیدشده یا نقشه‌های آماده‌ی Plotting خواهند بود.

---

**جمع‌بندی**

**پوشه‌ی core** در حقیقت ستون فقرات (Backbone) محاسباتی و منطقی پروژه‌ی **GeoGraphica** است. هرآنچه مربوط به تولید داده‌های نهایی گرادیان گرانش می‌شود، اعم از پردازش سری‌های لژاندر، مدلEGM96 ، روش پارکر، تبدیل مختصات، و خروجی فایل‌های CSV در این پوشه قرار دارد. این تمایز بین ماژول‌های محاسباتی (computations) و ماژول رابط کاربری (my_app) باعث شده کدها ساختارمند، قابل‌فهم و نگهداری‌پذیر باشند.

## « جزئیات پیاده‌سازی ماژول‌های دایرکتوری my_app »

هدف کلی این پوشه فراهم‌کردن رابط کاربری (UI) و کنترل‌کننده‌ی (Controller) برنامه است؛ یعنی بخش‌هایی که کاربر با آن‌ها تعامل می‌کند و همچنین بخشی که درخواست‌های وی را پردازش می‌کند. ساختار اصلی این فولدر به شکل زیر است:

1. **پوشه‌ی static**

حاوی فایل‌های استاتیک (Front-end) شامل:

- script.js : اسکریپت اصلی جاوااسکریپت برای ارسال درخواست به سرور با استفاده از متد fetch ، فراخوانی اندپوینت‌ها (مانند /plot و /select_directory ، بارگذاری فهرست Colormap و. ...
- styles.css : استایل‌ها و قالب‌بندی ظاهری (رنگ، پس‌زمینه، اندازه المان‌ها و ...) که برای صفحه‌ی HTML اعمال می‌شود.

2. **پوشه‌ی templates**

شامل فایل‌های قالب HTML، به‌ویژه index.html که رابط وب اصلی پروژه را فراهم می‌کند. در این فایل، ورودی‌ها (محدوده‌ی طول و عرض جغرافیایی، رزولوشن و ...) از کاربر دریافت می‌شوند و سپس با JavaScript به سرور ارسال می‌گردند.

3. **فایل backend.py**

- یک سرور **FastAPI** ایجاد می‌کند که اندپوینت‌های مختلف را در اختیار می‌گذارد. مهم‌ترین بخش‌ها عبارت‌اند از :
  - @app.get("/") : بازگشت فایل index.html برای نمایش صفحه‌ی اصلی برنامه.
  - @app.post("/plot") : دریافت JSON پارامترهای کاربر (طول و عرض جغرافیایی، رزولوشن، مسیر ذخیره‌سازی و ...) و اجرای محاسبات با متد compute_gradients .
  - @app.get("/select_directory") : فراخوانی یک دیالوگ انتخاب پوشه به کمک tkinter و برگرداندن مسیر انتخاب‌شده به فرانت‌اند.
  - اندپوینت‌های دیگر مانند /colormaps برای ارائه‌ی فهرست رنگ‌ها درMatplotlib ، و /plots برای نمایش تب‌بندی‌شده‌ی تصاویر خروجی.
- با استفاده از FileResponse و اندپوینت‌هایی مانند (@app.get("/plots/image/{plot_type}")، فایل‌های تصویری تولیدشدهTotal ، EGM96و Parker برای نمایش در مرورگر بازگردانده می‌شوند.
- **مدیریتCORS** : از fastapi.middleware.cors.CORSMiddleware برای دسترسی همه‌ی منابع (allow_origins=["*"]) و جلوگیری از خطاهای Cross-Origin استفاده شده است.

- **پیکربندی StaticFiles** : با دستور app.mount("/static", ...) پوشه‌ی static را در مسیر /static منتشر ( مونت – mount ) می‌کند تا فایل‌های جاوااسکریپت و CSS در مرورگر قابل دسترسی باشند.

4. **فایل main.py**

- در این فایل، برنامه با استفاده از کتابخانه‌ی webview یک پنجره‌ی دسکتاپی باز می‌کند که درون آن صفحه‌ی وب سرور FastAPI در حال اجرا بارگذاری می‌شود. این رویکرد اجازه می‌دهد تا کاربر برنامه را مشابه یک نرم‌افزار دسکتاپ با پنجره‌ی گرافیکی تجربه کند، درحالی‌که هسته‌ی اصلی آن همچنان از مزایای معماری تحت وب بهره می‌برد.
- تابع start_server() از backend.py در یک Thread جداگانه اجرا می‌شود. سپس دستور webview.create_window(...) پنجره‌ی جدیدی با URL پیش‌فرض (مثلاً http://127.0.0.1:5000 ) باز کرده و با فراخوانی webview.start() آن را نمایش می‌دهد.

---

**گردش کار کلی در my_app**

1. **اجرای main.py:**

- سرور FastAPI تعریف‌شده در backend.py در پورت 5000 راه‌اندازی می‌شود.
- یک پنجره وب (WebView) در اندازه‌ی ۱۲۰۰×۸۰۰ پیکسل باز می‌گردد و به آدرس http://127.0.0.1:5000 متصل می‌شود.

2. **بارگذاری صفحه‌ی اصلی:**

- فایل index.html از پوشه‌ی templates دریافت می‌شود و المان‌هایی مانند input برای Longitude و Latitude و دکمه‌ی Plot را در اختیار کاربر قرار می‌دهد.
- فایل‌های CSS و JS در پوشه‌ی static نیز بارگذاری می‌شوند (مانند styles.css ) و ( script.js )

3. **تکمیل اطلاعات توسط کاربر:**

- محدوده‌های طول و عرض جغرافیایی، رزولوشن، مسیر ذخیره‌سازی و نوع Colormap انتخاب می‌شود.
- با کلیک روی دکمه‌ی **PLOT**، تابع plotGraph() در script.js اجرا و یک درخواست POST به اندپوینت /plot ارسال می‌شود.

4. **دریافت درخواست در backend.py:**
   - در متد @app.post("/plot") ، داده‌های دریافتی مدل InputData را تشکیل می‌دهند.
   - بر اساس این اطلاعات، محاسبات انجام می‌شود.
   - خروجی نهایی( ماتریس‌ها یا فایل‌های CSV و تصاویر رسم‌شده) تولید شده و مسیر فایل‌های تصویری در متغیرهای سراسری (total_map_path, egm96_maps_path, parker_maps_path) ذخیره می‌شود.
5. **نمایش نقشه‌ها:**
   - کاربر به آدرس plots/ منتقل می‌شود، صفحه‌ای تب‌بندی‌شده را مشاهده می‌کند که با کلیک هر تب، تصویر مربوط (/plots/image/<plot_type>) از سرور دریافت و نمایش داده می‌شود.

---

**نکات برجسته در طراحی رابط کاربری (UI) و Backend**

- **تلفیق رابط وب و دسکتاپ** :با استفاده از کتابخانه‌ی pywebview ، برنامه به کاربر جلوه‌ی یک نرم‌افزار دسکتاپ می‌دهد، در حالی که هسته و منطق آن به شکل وب‌سرویس FastAPI پیاده‌سازی شده است.
- **مدیریت ساده فایل‌های استاتیک** :با app.mount("/static", ...) و فایل‌هایی مانند script.js، نگهداری و نسخه‌بندی JS/CSS ساده‌تر شده است.
- **اتصال سریع به ماژول‌های محاسباتی:** اندپوینت plot/ مستقیماً می‌تواند با تابع compute_gradients() در compute.py ارتباط بگیرد و نتیجه را به شکل تصویر نهایی (PDF/PNG) یا CSV برگشت دهد.
- **قابلیت انتخاب Colormap** : از اندپوینت colormaps/ برای بارگیری لیست رنگ‌های Matplotlib و نمایش آن در منوی کشویی HTML استفاده می‌شود. این قابلیت به کاربر آزادی در انتخاب پالت رنگ برای نقشه‌ها می‌دهد.
- **دیالوگ انتخاب پوشه** :اندپوینت select_directory/ از کتابخانه‌ی استاندارد tkinter برای بازکردن دیالوگ فایل استفاده می‌کند و به کاربر اجازه می‌دهد مسیر ذخیره‌سازی فایل‌های خروجی را مستقیماً از طریق GUI انتخاب کند (به‌جای تایپ دستی).

---

**جمع‌بندی:**

دایرکتوری my_app در نقش لایه‌ی ارائه (Presentation Layer) و کنترل‌کننده (Controller) است. از یک سو با فایل‌های HTML/JS/CSS برای نمایش و دریافت پارامترها سروکار دارد و از سوی دیگر با اندپوینت‌های FastAPI در backend.py محاسبات یا فراخوانی‌های لازم را انجام می‌دهد. این معماری ماژولار و جدا از منطق محاسباتی، نگهداری و توسعه‌ی نرم‌افزار را بسیار آسان کرده است.

## « جزئیات پیاده‌سازی ماژول‌های دایرکتوری plotting »

این دایرکتوری محل قرارگیری کدهای مرتبط با **ترسیم (Plotting) و مصورسازی** خروجی محاسبات پروژه است. ماژول اصلی (plotter.py) وظیفه‌ی رسم داده‌های محاسبه‌شده ( نظیر مؤلفه‌های گرادیان گرانیTxx, Txy, Txz, Tyy, Tyz, Tzz ) را به‌صورت کانتورپلات دوبعدی بر عهده دارد. در ادامه ساختار کلی و عملکرد این ماژول تشریح شده است.

**۱ .کتابخانه‌های مورد استفاده**

- **Matplotlib** : اصلی‌ترین ابزار پایتون برای ترسیم نمودار. در ابتدای ماژول با دستور matplotlib.use("Agg") ، mode رندر را روی حالت **بدون واسط گرافیکی** قرار می‌دهیم. این کار به ما اجازه می‌دهد حتی روی سرور یا محیطی بدون مانیتور نیز خروجی تصویری بگیریم.
- **scipy.interpolate.griddata** : از این تابع برای اینترپوله‌کردن داده‌ها استفاده می‌شود تا نمودارهای کانتور، ظاهری نرم‌تر (Smooth)داشته باشند.
- **GeoGraphicaPr.core.computations.functions.convert_seconds** : تابعی که برای گزارش مدت زمان اجرای ترسیم استفاده می‌شود (تبدیل ثانیه به روز، ساعت، دقیقه و ثانیه).

**۲ .تابع کلیدی plot_matrices(...)**

**امضای تابع:**

```
3 usages  new *
def plot_matrices(
        header_title,
        matrices,
        titles,
        phi_range_deg,
        landa_range_deg,
        selected_colormap,
        start_time,
        saved_path,
        contour_levels=10,
        axis_resolution=0.5,
        grid_size=200
):
    """
    Plots multiple 2D matrices (e.g., total gravity gradients) using contour plots,
    with optional interpolation for smoother visualization.

    ...
    """
```

در ادامه پارامترهای ورودی مهم توضیح داده شده است:

1. header_title : عنوان کلی نمودار مثلاً "Gravity Gradient Total Maps" که روی شکل و همچنین در نام فایل خروجی درج می‌شود.
2. Matrices : یک لیست از ماتریس‌های دوبعدی مثل [TxxTOTAL, TxyTOTAL, ...] ، که هرکدام نشان‌دهنده‌ی مقادیر گرادیان در نقاط مختلف جغرافیایی هستند.
3. Titles : عناوین متناظر هر ماتریس مثل ["Txx Total", "Txy Total", ...] .
4. phi_range_deg, landa_range_deg : بردارهای مختصات جغرافیایی (عرض و طول جغرافیایی) به درجه.
5. selected_colormap : نوع **Colormap** انتخاب‌شده توسط کاربر (مثلاً "viridis", "plasma"و ...). در صورت عدم ارسال مقدار، یک کولورمپ سفارشی ساخته می‌شود.
6. start_time : زمان شروع ( مثلاً time.time() )برای اندازه‌گیری مدت کل ترسیم.
7. saved_path : مسیری که خروجی نمودارها بصورت PNG و PDF در آن ذخیره می‌شود.
8. contour_levels : تعداد محدوده‌ها در ترسیم کانتور.

9. axis_resolution : فواصل پیش‌فرض برای قرارگیری tick روی محور طول و عرض جغرافیایی.
10. grid_size : تعداد نقاط برای اینترپوله‌کردن داده‌ها (اگر عدد بیشتر باشد، نمودار نرم‌تر اما زمان اجرا طولانی‌تر خواهد شد).

**۳ .فرایند درون تابع**

1. **تابع کمکی interpolate_data(...)**
   - با استفاده از griddata داده‌های ورودی (ماتریس) را روی یک شبکه‌ی گسسته‌ی ریزتر با ابعاد grid_size اینترپوله می‌کند. این کار به ایجاد نمودارهای کانتور نرم‌تر و زیباتر منجر می‌شود.
2. **تعریف Colormap سفارشی (در صورت نبود ورودی)**
   - در صورت خالی بودن selected_colormap ، یک لیست رنگ ساده تعریف و با LinearSegmentedColormap.from_list کولورمپ می‌سازد.
3. **ایجاد زیرنمودارها(Subplots)**
   - دستور plt.subplots(2, 3, ...) شش محور (Axes) در قالب دو ردیف و سه ستون ایجاد می‌کند.
   - در یک حلقه‌ی for idx, ax in enumerate(axes.flat) : هر ماتریس به همراه عنوان مربوط رسم می‌گردد.
4. **رسم کانتور**
   - با دستور ax.contourf(...) داده‌های اینترپوله‌شده‌ی هر ماتریس به‌صورت نقشه‌ی کانتور رنگی پرشده ترسیم می‌شود.
   - با ax.contour(...) خطوط کانتور نیز به‌صورت مشکی اضافه می‌شود (خود این خطوط، تقسیم‌بندی مقادیر را مشخص می‌کنند).
5. **تنظیمات ظاهری**
   - محورهای x (طول جغرافیایی) و y (عرض جغرافیایی) بر اساس landa_range_deg و phi_range_deg مقداردهی می‌شوند.
   - برای هر نمودار عنوان، برچسب محور، شبکه‌ی (Grid) نازک با رنگ سیاه و شفافیت نسبی تعیین می‌شود.
   - یک Colorbar در کنار هر محور قرار داده می‌شود که مقیاس رنگ را نشان می‌دهد.
6. **عنوان کلی و ذخیره نمودار**

- دستور plt.suptitle(...) یک عنوان اصلی برای کل شکل (Figure) تعیین می‌کند.
- زمان سپری‌شده از start_time محاسبه و در خروجی چاپ می‌شود.
- فایل نهایی در دو قالب **PDF** و **PNG** در مسیر تعیین‌شده (saved_path) ذخیره می‌گردد.
- در پایان تابع، با plt.close(fig) شکل آزاد می‌شود تا از مصرف حافظه‌ی غیرضروری جلوگیری شود.

7. **خروجی**

- در نهایت مسیر فایل PNG مثلاً .../Gravity Gradient Total Maps.png بازگردانده می‌شود تا در صورتی که ماژول دیگری بخواهد فایل تصویر را مستقیماً استفاده کند، به آن دسترسی داشته باشد.

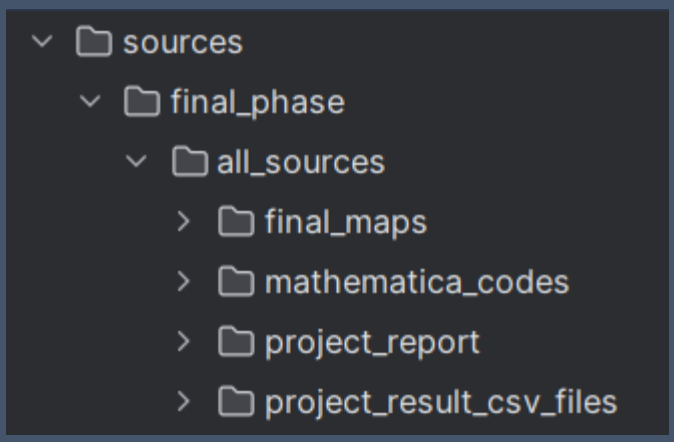
## « جزئیات پیاده‌سازی ماژول‌های دایرکتوری database »


در این پوشه داده‌های ضروری پروژه، از جمله فایل‌های مرتبط با مدل EGM96 ( مانند EGM96.csv، EGM96.gfc ) و فایل‌های ارتفاعی (مثلاً Elev_Matrix_Output.xlsx ) نگهداری می‌شوند. همچنین داده‌های خام (DEM) در زیرفولدرهای مربوطه (مانند gt30e020n40_dem ) قرار گرفته اند.

افزایش راندمان پروژه و بهنیه کردن پروسه جنریت کردن نقشه های گرادیان گرانش یک سری داده های مورد نیاز در محاسبه ( مانند داده های مدل EGM96 ) از قبل از فایل اصلی با فرمت gfc. استخراج شده و سطر و ستون های مدنظر در یک فایل جدید با فرمت csv ذخیره شدند .

این فایل پیش محاسبه و استخراج شده EGM96.csv در دایرکتوری core/computations در ماژول EGM96_data.py مورد استفاده قرار میگرد .
همه داده ها و اطلاعات ذخیره شده در این فایل در یک دیکشنری ذخیره میشود که هرگاه نیاز داشتیم به ضرایب Cnm , Snm ( داده های مدل EGM96 ) بتوانیم با مرتبه زمانی O(1) از طریق دیکشنری تعریف شده در پایتون ، به آنها دسترسی داشته باشیم .

همچنین اطلاعات داده های ارتفاعی فایل gt30e020n40_dem.zip از قبل استخراج شده و در فایلی با عنوان Elev_Matrix_Output.xlsx ذخیره کردیم ، تا هر دفعه برای جنریت کردن نقشه های گرادیان گرانش نیاز به استخراج و تحلیل اطلاعات فایل زیپ شده مدل ارتفاعی gt30e020n40_dem نباشد .




## « جزئیات پیاده‌سازی ماژول‌های دایرکتوری sources »

دایرکتوری sources یکی از بخش‌های کلیدی پروژه است که شامل داده‌های مورد استفاده، کدهای مرتبط با محاسبات و نتایج پردازش شده است.

این دایرکتوری در مسیر sources/final_phase/all_sources سازماندهی شده و شامل چهار زیر دایرکتوری اصلی است که در ادامه توضیح داده می‌شوند.

### 1. final_maps

این دایرکتوری شامل نقشه‌های نهایی تولید شده در پروژه است. این نقشه‌ها از طریق پردازش داده‌های جاذبه‌ای و روش‌های تحلیلی مختلف مانند روش **Parker** و داده‌های مدل **EGM96** به دست آمده‌اند. این خروجی‌ها برای نمایش تغییرات گرانشی در ناحیه مورد مطالعه استفاده می‌شوند.

### 2. mathematica_codes

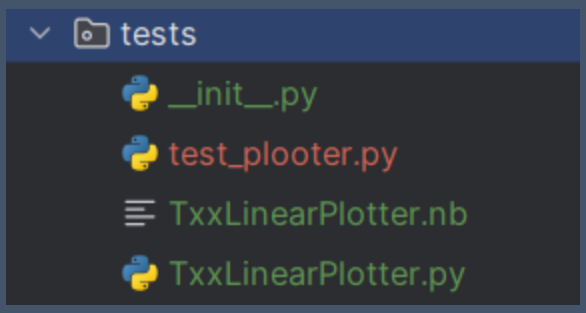
این بخش شامل کدهای **Mathematica** است که برای انجام پردازش‌های عددی در نسخه اولیه پروژه مورد استفاده قرار گرفته‌اند. از آنجایی که در مراحل نهایی پروژه پردازش به زبان **Python** منتقل شده، این کدها به عنوان مرجع یا برای مقایسه نتایج همچنان در ساختار پروژه باقی مانده‌اند.

### 3. project_report

دایرکتوری مربوط به مستندات و گزارشات پروژه است. این بخش شامل اسناد و توضیحات فنی درباره نحوه عملکرد الگوریتم‌ها، نتایج و تحلیل‌های انجام شده است. مستندات موجود در این پوشه به درک بهتر خروجی‌های تولید شده و استدلال‌های پشت روش‌های مورد استفاده کمک می‌کنند.

### 4. project_result_csv_files

این بخش شامل **فایل‌های خروجی پردازش‌شده** به فرمت **CSV** است. این فایل‌ها داده‌های عددی نهایی مربوط به ماتریس‌های جاذبه‌ای و گرادیان گرانشی را شامل می‌شوند. برخی از این فایل‌ها نتایج مربوط به محاسبات **Parker** و برخی دیگر مربوط به مدل **EGM96** هستند. خروجی‌های این دایرکتوری به عنوان ورودی برای تولید نقشه‌های نهایی در دایرکتوری final_maps مورد استفاده قرار گرفته‌اند.




## « جزئیات پیاده‌سازی ماژول‌های دایرکتوری tests »

دایرکتوری tests مسئول انجام تست‌های مختلف بر روی داده‌های خروجی و الگوریتم‌های پردازشی پروژه است. این دایرکتوری شامل اسکریپت‌های تستی است که دقت، صحت و کیفیت داده‌های پردازش‌شده را بررسی می‌کنند. تست‌ها معمولاً روی داده‌های نهایی، روش‌های ترسیم نمودار و پردازش‌های محاسباتی انجام می‌شوند.

### 1. test_plooter.py

این فایل شامل تست‌هایی برای بررسی دقت پردازش داده‌های گرادیان گرانشی و ترکیب نتایج محاسبات روش‌های مختلف مانند Parker و EGM96 است. مهم‌ترین بخش‌های این فایل عبارتند از:

- **بارگذاری داده‌ها** از فایل‌های CSV خروجی TxxParker.csv ، TyyEGM96.csvو غیره .
- **محاسبه مجموع ماتریس‌ها** برای تأیید صحت جمع داده‌های پردازش‌شده از روش‌های مختلف.
- **تولید محدوده طول و عرض جغرافیایی** بر اساس مقادیر مشخص‌شده مثلاً 50-52,32-34,0.5
- **بررسی ساختار داده‌ها** و مطمئن شدن از همخوانی مقادیر ورودی و خروجی.

**نکته:** این فایل می‌تواند در تست‌های مقایسه‌ای و کنترل صحت داده‌های پردازش‌شده قبل از ترسیم نهایی استفاده شود.

### 2. TxxLinearPlotter.py

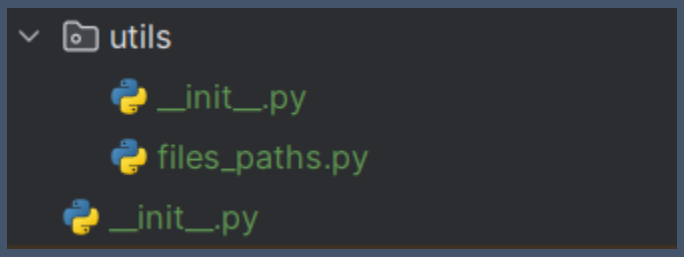
این فایل مربوط به بررسی **نمودارهای خطی گرادیان گرانشی Txx** در طول و عرض جغرافیایی خاص است. این تست شامل:

- **بارگذاری داده‌های TxxTOTAL.csv** از مسیر sources/final_phase/all_sources/project_result_csv_files/
- **ترسیم Txx در برابر طول جغرافیایی** برای یک عرض جغرافیایی ثابت $\varphi = 33°$ .
- **ترسیم Txx در برابر عرض جغرافیایی** برای یک طول جغرافیایی ثابت $\lambda = 51°$ .

این فایل به تحلیل نحوه تغییرات گرادیان گرانشی در نقاط خاص و بررسی کیفیت داده‌های خروجی کمک می‌کند.

### 3. TxxLinearPlotter.nb

این فایل یک نوت‌بوک Mathematica (.nb) است که شامل نسخه تعاملی TxxLinearPlotter.py می‌باشد. این نوت‌بوک از زبان Wolfram Languageمتعلق به Mathematica استفاده می‌کند و به کاربران امکان بررسی بصری و تحلیل نتایج را در یک محیط محاسباتی تعاملی می‌دهد.




## « جزئیات پیاده‌سازی ماژول‌های دایرکتوری utils »

دایرکتوری utils مخفف **Utilities** شامل توابع و متغیرهای کمکی است که در بخش‌های مختلف پروژه استفاده می‌شوند. این دایرکتوری معمولاً شامل توابع عمومی مانند مدیریت مسیر فایل‌ها، تبدیل داده‌ها، و سایر ابزارهای مورد نیاز برای اجرای پردازش‌های اصلی پروژه است.=

### files_paths.py

این ماژول شامل **مسیرهای فایل‌های داده‌ای** است که در پردازش‌های مختلف پروژه استفاده می‌شوند. ساختار اصلی این فایل به شکل زیر است:

1. **مسیر فایل‌های ورودی:**
   - مسیر فایل **Elev_Matrix_Output.xlsx** که داده‌های ارتفاع را در خود ذخیره دارد :
   - Elev_Matrix_Output_file_path = '../../database/Elev_Matrix_Output.xlsx'
2. **مسیر پایه (base_path) برای فایل‌های خروجی:**
   - خروجی‌های پروژه در دایرکتوری :
   - ../sources/final_phase/all_sources/project_result_csv_files/new/python

ذخیره می‌شوند :

base_path = '../sources/final_phase/all_sources/project_result_csv_files/new/python'

3. **نام فایل‌های CSV مرتبط با روش‌های مختلف پردازشی:**
   - **فایل‌های مربوط به روش :Parker**
   - TxxParker_file_name = "TxxParker.csv"
   - TxyParker_file_name = "TxyParker.csv"
   - TxzParker_file_name = "TxzParker.csv"
   - TyyParker_file_name = "TyyParker.csv"

- TyzParker_file_name = "TyzParker.csv"
- TzzParker_file_name = "TzzParker.csv"
- allTparker_file_name = "Gravity Gradient Parker.csv"
- **فایل‌های مربوط به مدل :EGM96**
- TxxEGM96_file_name = "TxxEGM96.csv"
- TxyEGM96_file_name = "TxyEGM96.csv"
- TxzEGM96_file_name = "TxzEGM96.csv"
- TyyEGM96_file_name = "TyyEGM96.csv"
- TyzEGM96_file_name = "TyzEGM96.csv"
- TzzEGM96_file_name = "TzzEGM96.csv"
- allTEGM96_file_name = "Gravity Gradient EGM96.csv"
- **فایل‌های نهایی که ترکیب شده‌اند :**
- TxxTOTAL_file_name = "TxxTOTAL.csv"
- TxyTOTAL_file_name = "TxyTOTAL.csv"
- TxzTOTAL_file_name = "TxzTOTAL.csv"
- TyyTOTAL_file_name = "TyyTOTAL.csv"
- TyzTOTAL_file_name = "TyzTOTAL.csv"
- TzzTOTAL_file_name = "TzzTOTAL.csv"
- allTTOTAL_file_name = "Gravity Gradient TOTAL.csv"

این ساختار **مدیریت مسیر فایل‌ها** را ساده‌تر می‌کند و به کدهای اصلی اجازه می‌دهد بدون سخت‌کد کردن مسیرها، از داده‌های پردازش‌شده استفاده کنند.

### جمع‌بندی

دایرکتوری utils شامل ماژول‌هایی برای **مدیریت مسیر فایل‌ها و متغیرهای کمکی** است. این دایرکتوری نقش مهمی در ساختار پروژه دارد زیرا به جای هاردکد کردن مسیرها در اسکریپت‌های مختلف، از متغیرهای تعریف‌شده در files_paths.py برای خواندن و نوشتن داده‌ها استفاده می‌شود.

## فایل requirements.txt و اهمیت آن در پروژه

فایل **requirements.txt** شامل لیستی از **پکیج‌های مورد نیاز** برای اجرای پروژه است. این فایل به‌عنوان یک **مستند فنی مهم** در هر پروژه پایتونی استفاده می‌شود و به دیگران کمک می‌کند که محیط لازم برای اجرای پروژه را **دقیقاً مشابه** محیط توسعه ایجاد کنند.

### 1 .توضیح پکیج‌های استفاده‌شده در پروژه

📌این فایل شامل **پکیج‌های اصلی و وابستگی‌های آن‌ها** است که در فرآیند **محاسبات، پردازش داده، ترسیم نمودار و مدیریت سرور** نقش دارند. برخی از مهم‌ترین کتابخانه‌های موجود در این فایل عبارتند از:

📌 **پکیج‌های مربوط به توسعه وب وAPI**

- fastapi==0.115.8 → فریم‌ورک اصلی برای توسعه API
- fastapi-cli==0.0.7 → ابزار کمکی CLI برای FastAPI
- httpx==0.28.1 → برای ارسال درخواست‌های HTTP در FastAPI
- orjson==3.10.15 → یک جایگزین سریع‌تر برای json در FastAPI
- python-multipart==0.0.20 → برای مدیریت درخواست‌های **آپلود فایل** در FastAPI
- watchfiles==1.0.4 → برای **ریلود خودکار** در هنگام تغییر کد

📌 **پکیج‌های مرتبط با پردازش داده و محاسبات عددی**

- numpy==1.x.x → محاسبات عددی و ماتریسی
- scipy==1.13.1 → ابزارهای تحلیل داده و محاسبات علمی
- pandas==2.2.2 → پردازش و تحلیل داده‌های جدولی
- openpyxl==3.1.5 → برای کار با فایل‌های **اکسل (.xlsx).**

📌 **پکیج‌های مرتبط با گرافیک و ترسیم نمودار**

- matplotlib==3.9.2 → برای ترسیم نمودارهای علمی
- kivymd==1.2.0 → برای طراحی **رابط کاربری گرافیکی** در پایتون
- pywebview==5.4 → برای نمایش **رابط وب** در یک پنجره GUI
- pyside6==6.8.2 → برای توسعه **رابط کاربری دسکتاپ** بر پایه Qt

📌 **پکیج‌های مرتبط با بهینه‌سازی و پروفایلینگ**

- numba==0.60.0 → برای **بهینه‌سازی محاسبات سنگین** و افزایش سرعت پردازش
- line-profiler==4.1.3 → برای **تحلیل عملکرد کد** و شناسایی بخش‌های کند
- py-spy==0.3.14 → برای **پروفایل کردن مصرف پردازنده** در کد پایتون

📌 **پکیج‌های مرتبط با پردازش داده‌های مکانی**

- rasterio==1.4.2 → برای پردازش داده‌های **GIS و تصاویر ماهواره‌ای**

**نحوه استفاده از requirements.txt برای نصب پکیج‌ها**

برای بازسازی محیط توسعه در سیستم‌های دیگر، می‌توان از دستور زیر استفاده کرد :

```
pip install -r requirements.txt
```

این دستور تمامی پکیج‌های مورد نیاز را نصب کرده و **محیطی مشابه محیط توسعه** را برای اجرا فراهم می‌کند.

## ارزیابی و مقایسه نتایج محاسباتی Python و Mathematica

در این بخش، نتایج محاسباتی حاصل از اجرای الگوریتم در محیط **Python** با نتایج متناظر در **Mathematica** مورد ارزیابی و مقایسه قرار می‌گیرد. هدف از این تحلیل، بررسی تفاوت‌های احتمالی در مقادیر خروجی، کارایی محاسباتی و دقت مدل‌های مورد استفاده در هر دو محیط است.

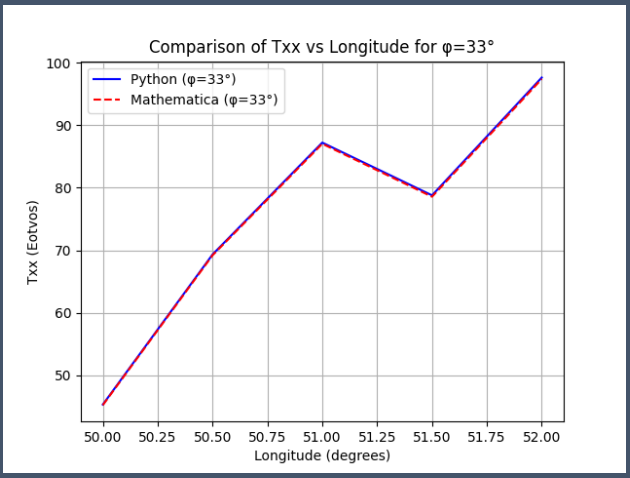
### روش مقایسه

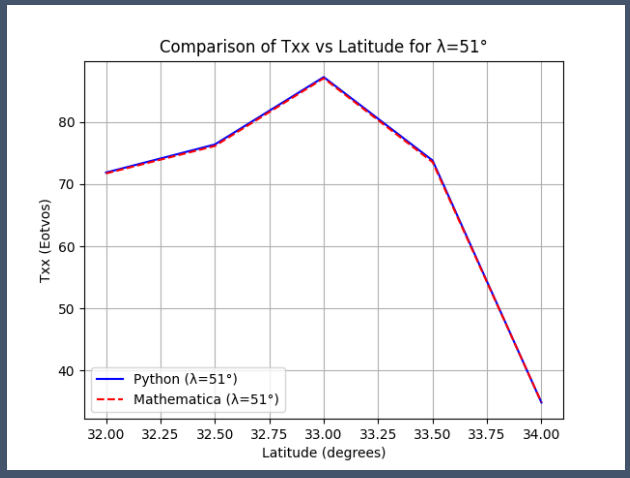
برای بررسی تطابق داده‌ها، از دو مجموعه خروجی محاسباتی استفاده شده است:

- **خروجی محاسبات Python** از فایل TxxTOTAL.csv
- **خروجی محاسباتMathematica** از فایل MTxxTOTAL.csv

در این مقایسه، دو نوع نمودار بررسی شده است:

1. **نمودار تغییرات مقدار Txx بر حسب طول جغرافیایی در عرض جغرافیایی ثابت (phi = 33)**
2. **نمودار تغییرات مقدار Txx بر حسب عرض جغرافیایی در طول جغرافیایی ثابت(lambda = 51)**




**اطلاعات مربوط به بازه‌های جغرافیایی و رزولوشن:**

- بازه طول جغرافیایی : 50-52
- بازه عرض جغرافیایی : 32-34
- رزولوشن طول و عرض : 0.5

## نتایج و تحلیل

1. مقایسه **Txx** بر حسب طول جغرافیایی در عرض ثابت **phi = 33**

در این تحلیل، مقدار **Txx** از هر دو فایل استخراج شده و در یک نمودار نمایش داده شده است. خطوط نشان‌دهنده مقادیر محاسبه‌شده در هر دو نرم‌افزار به شرح زیر است:

- **Python** : نمایش داده شده با خط آبی ممتد
- **Mathematica** : نمایش داده شده با خط قرمز چین‌دار

نتایج نشان می‌دهند که تغییرات کلی داده‌ها در هر دو روش مشابه است، اما در برخی نقاط تفاوت‌های جزئی در مقدار **Txx** مشاهده می‌شود. این تفاوت می‌تواند ناشی از تفاوت در روش‌های عددی مورد استفاده در هر دو پلتفرم باشد.

2. مقایسه **Txx** بر حسب عرض جغرافیایی در طول ثابت **lambda = 51**

در این حالت نیز مقدار **Txx** در هر دو فایل استخراج و رسم شده است. نتایج این مقایسه نشان می‌دهند که:

- الگوی تغییرات در هر دو نرم‌افزار مشابه است.
- در برخی نواحی اختلاف مقادیر خروجی بین دو روش وجود دارد که احتمالاً به دلیل دقت عددی محاسبات در هر دو روش است.

تحلیل اختلافات و بررسی عوامل مؤثر

- دقت عددی: یکی از مهم‌ترین عوامل ایجاد اختلاف، دقت عددی در محاسبات است. روش‌های عددی مورد استفاده در **Python** و **Mathematica** می‌توانند متفاوت باشند و این موضوع بر روی خروجی نهایی تأثیرگذار است.
- روش‌های انتگرال‌گیری و تقریب: در برخی مراحل، استفاده از توابع ویژه و روش‌های انتگرال‌گیری عددی می‌تواند نتایج متفاوتی ایجاد کند.
- ساختار داده‌ها و نحوه پردازش آن‌ها : تفاوت در ساختار داده‌های ورودی، روش‌های درونیابی و فیلترهای به‌کاررفته نیز می‌تواند از دیگر عوامل ایجاد اختلاف باشد.