

دانشکده مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی
گروه ژئودزی و هیدروگرافی

علی اکبر زرکوب

۸۱۰۳۰۲۰۶۵

درس ژئودزی فیزیکی پیشرفته
گزارش پروژه مستقل
مدلسازی آنومالی جاذبه با استفاده از مشاهدات آلتیمتری

استاد درس:

عبدالرضا صفری

صبح راموز

نیم سال دوم تحصیلی ۱۴۰۲ - ۱۴۰۳

۱.۲. مقدمه

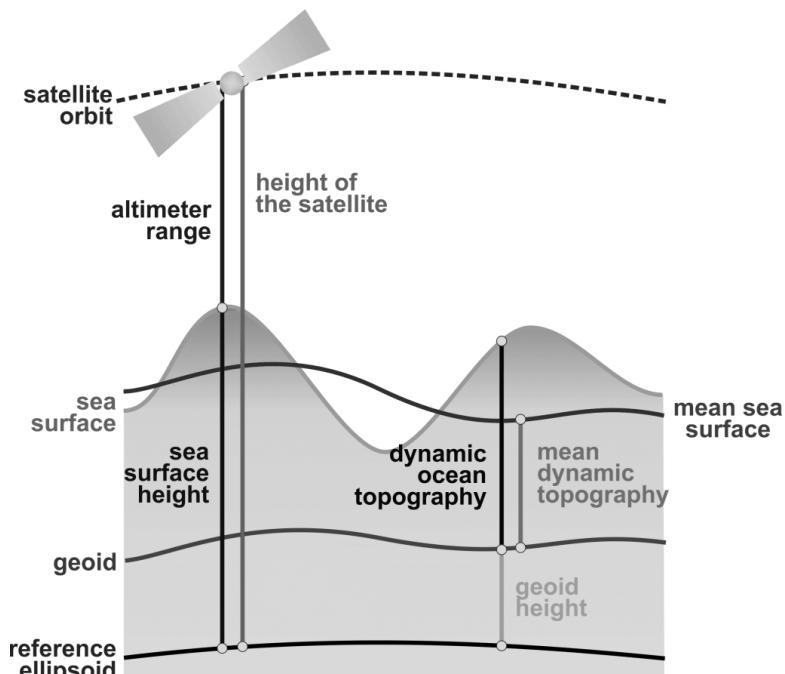
مدلسازی آنومالی به درک بهتر توزیع جرم درون زمین و شناسایی تغییرات تراکم مواد مختلف کمک می‌کند. در این راستا، استفاده از داده‌های آلتیمتری به عنوان یک منبع گسترده از اطلاعات ارتفاعی، به ویژه در مناطقی که دسترسی مستقیم به آن‌ها دشوار است، بسیار حائز اهمیت است.

آلتیمتری، که به طور عمدۀ از طریق ماهواره‌ها صورت می‌گیرد، اطلاعات دقیقی از ارتفاع سطح دریا و تغییرات آن در طول زمان ارائه می‌دهد. این داده‌ها نه تنها برای مطالعات اقیانوسی و تغییرات سطح دریا مفید هستند، بلکه به عنوان یک ابزار کمکی در مدلسازی آنومالی جاذبه نیز کاربرد دارند. همچنین امروزه مدل‌های جهانی ارتفاع ژئوئید نیز موجود می‌باشند که از مشاهدات آلتیمتری برای محاسبه آن‌ها استفاده شده. برای مثال مدل EGM2008 که یکی از جامع‌ترین مدل‌های ژئوئید است که از داده‌های آلتیمتری ماهواره‌ای، داده‌های گرانی‌سنگی زمینی و دریایی، و داده‌های لرزه‌ای برای محاسبه آن استفاده شده.

در این گزارش، به بررسی داده‌های آلتیمتری به منظور مدلسازی آنومالی جاذبه پرداخته می‌شود. ابتدا به جمع آوری داده و محاسبه ارتفاع ژئوئید از این محصولات و در نهایت به مدلسازی آنومالی جاذبه با استفاده از این داده‌ها و نتایج حاصل از آن اشاره خواهد شد.

۲.۲. جمع آوری داده و منطقه مورد بررسی

در این پروژه از دو محصول DOT^۱ و SSH^۲ برای محاسبه ارتفاع ژئوئید استفاده شده که ارتباط میان آن‌ها با توجه به شکل ۱.۲ توسط رابطه ۱.۲ برقرار می‌شود.



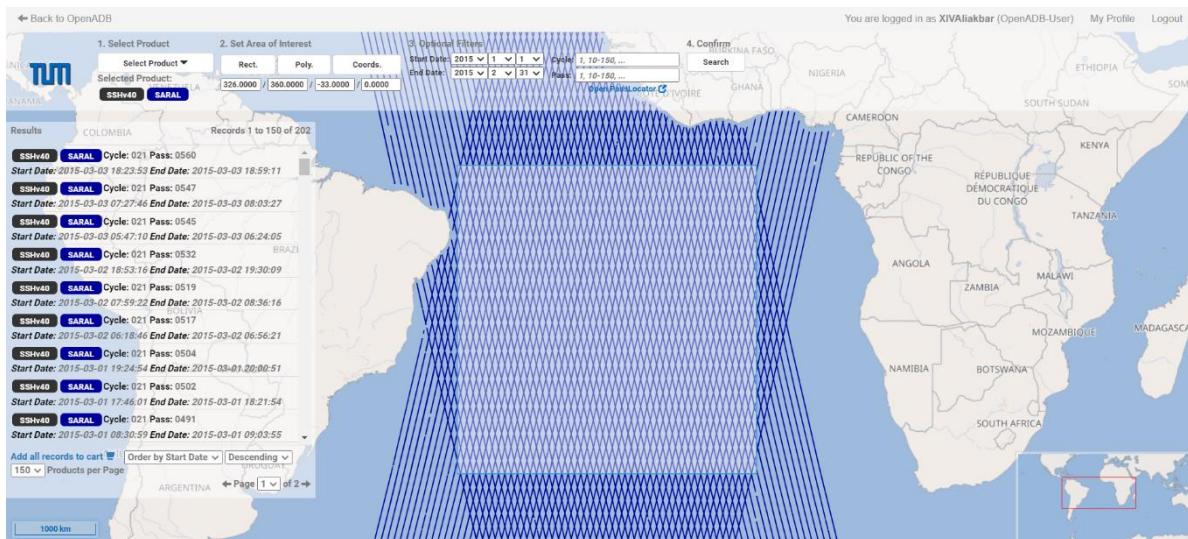
شکل ۱.۲. ارتباط میان دو پارامتر DOT و SSH

^۱ Dynamic Ocean Topography

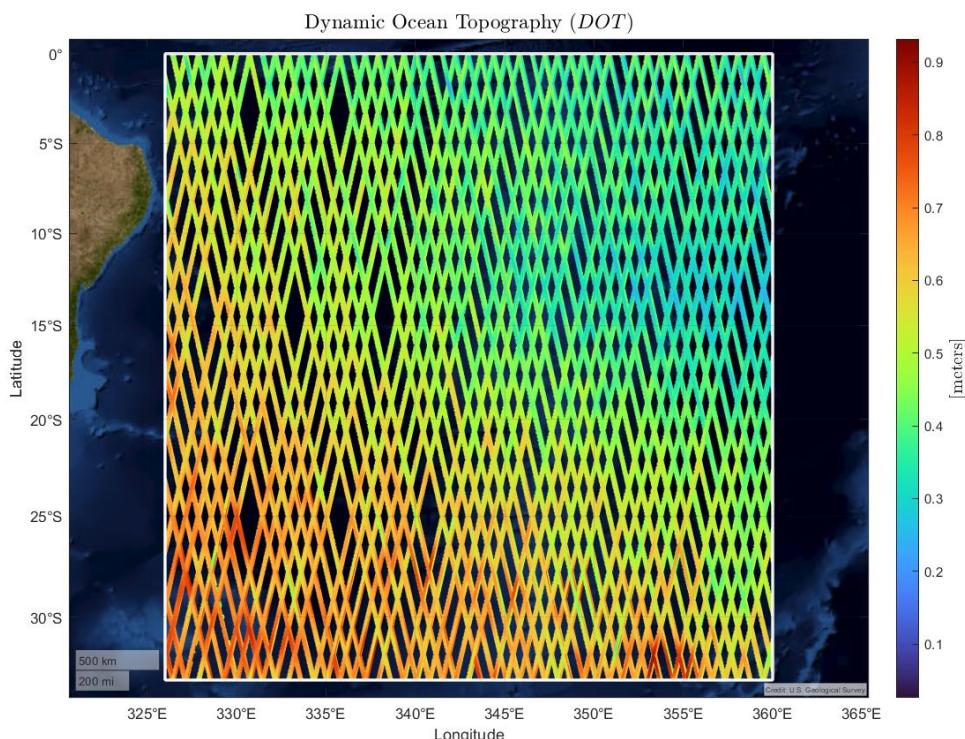
^۲ Sea Surface Height

$$N = SSH - DOT \quad \text{رابطه} \ 1.2.$$

برا جمع آوری دو محصول ذکر شده از سایت OpenADB^۳ استفاده شده است. محدوده مورد بررسی از طول جغرافیایی ۳۲۶ تا ۳۶۰ درجه و عرض جغرافیایی ۳۳° تا ۰ درجه می‌باشد. داده‌های مورد استفاده نیز برای دو ماه از سال ۲۰۱۵ مربوط به ماهواره SARAL می‌باشند. GT^۴ این ماهواره نیز برای بازه زمانی ذکر شده در شکل ۲.۱ قابل مشاهده است. داده‌های جمع آوری شده نیز در شکل‌های ۳.۲ و ۴.۲ قابل مشاهده‌اند.



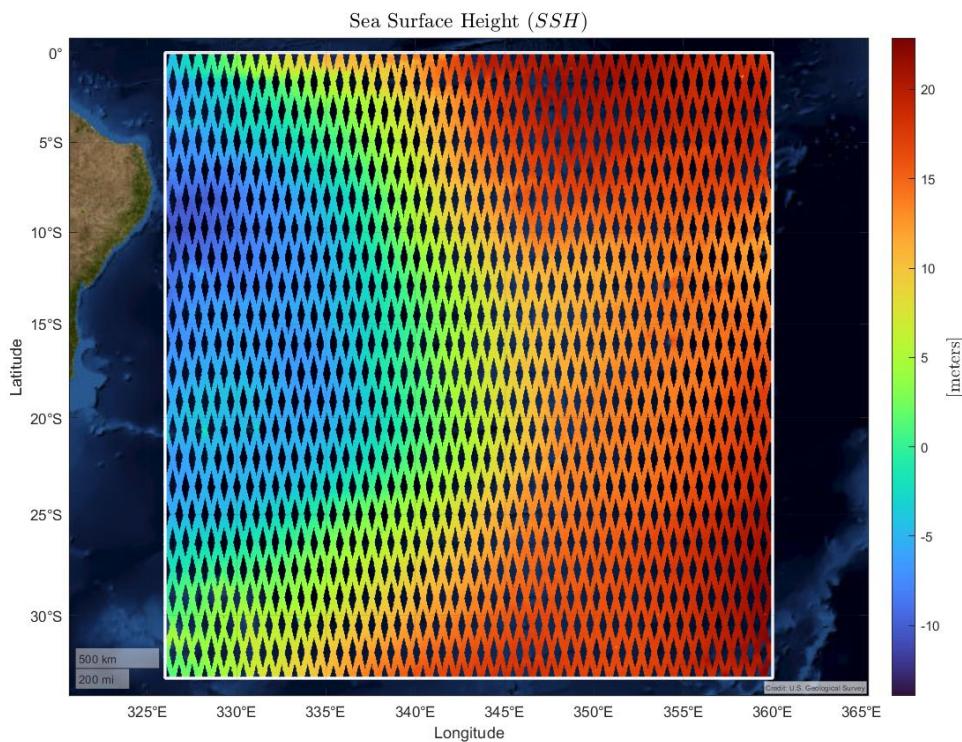
شکل ۲.۲. GT ماهواره SARAL برای دو ماه از سال ۲۰۱۵.



شکل ۳.۲. مقادیر DOT در بازه زمانی ذکر شده.

³ Open Altimeter Database

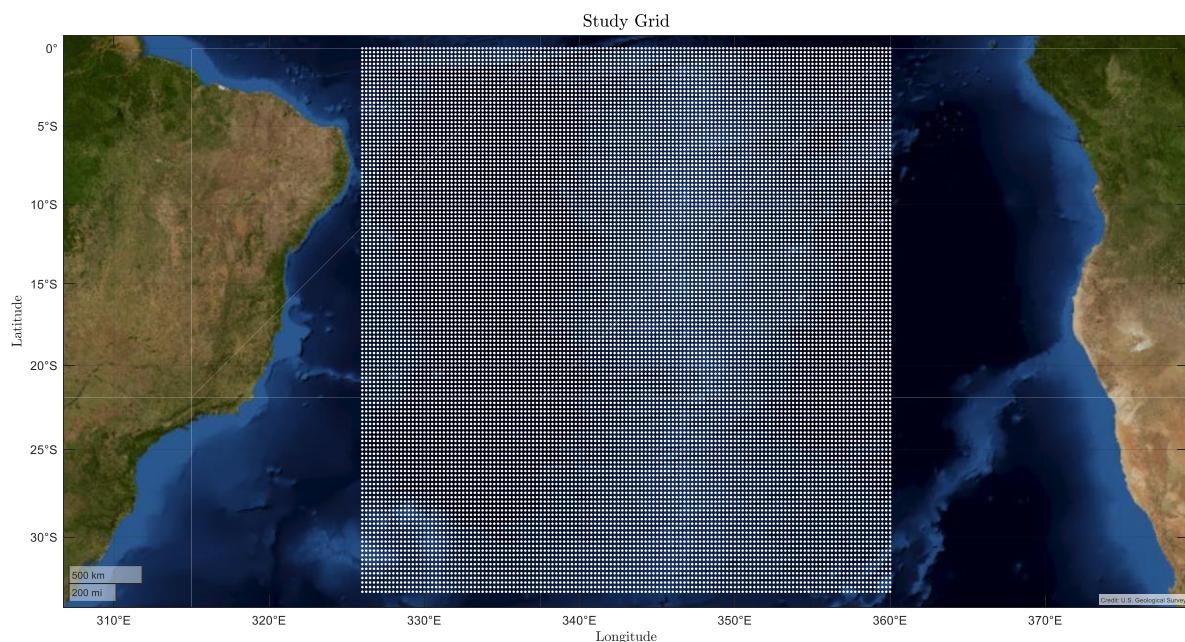
⁴ Ground Track



شکل ۴.۲. مقادیر SSH در بازه زمانی ذکر شده.

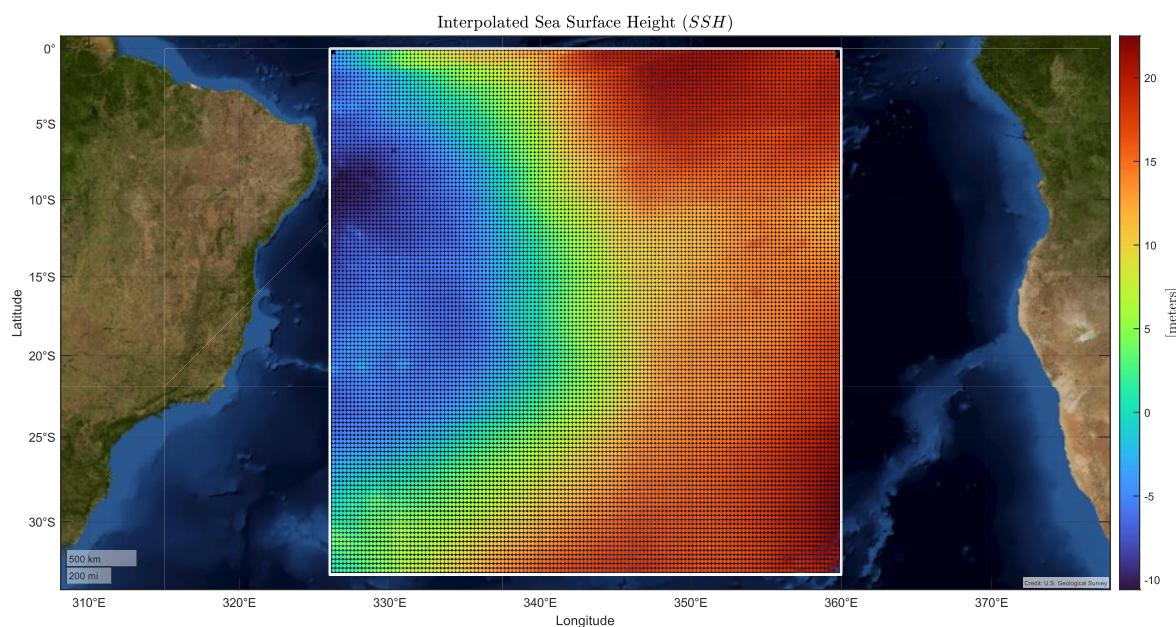
۳.۲. محاسبه ارتفاع ژئوئید

برای محاسبه ارتفاع ژئوئید مطابق رابطه ۱.۲، یک شبکه در این محدوده با فواصل 25° درجه در نظر گرفته شد تا مقادیر DOT و SSH در این نقاط درونیابی شده و با تفاضل گیری، ارتفاع ژئوئید حاصل شود. این شبکه در شکل ۵.۲. قابل مشاهده است.

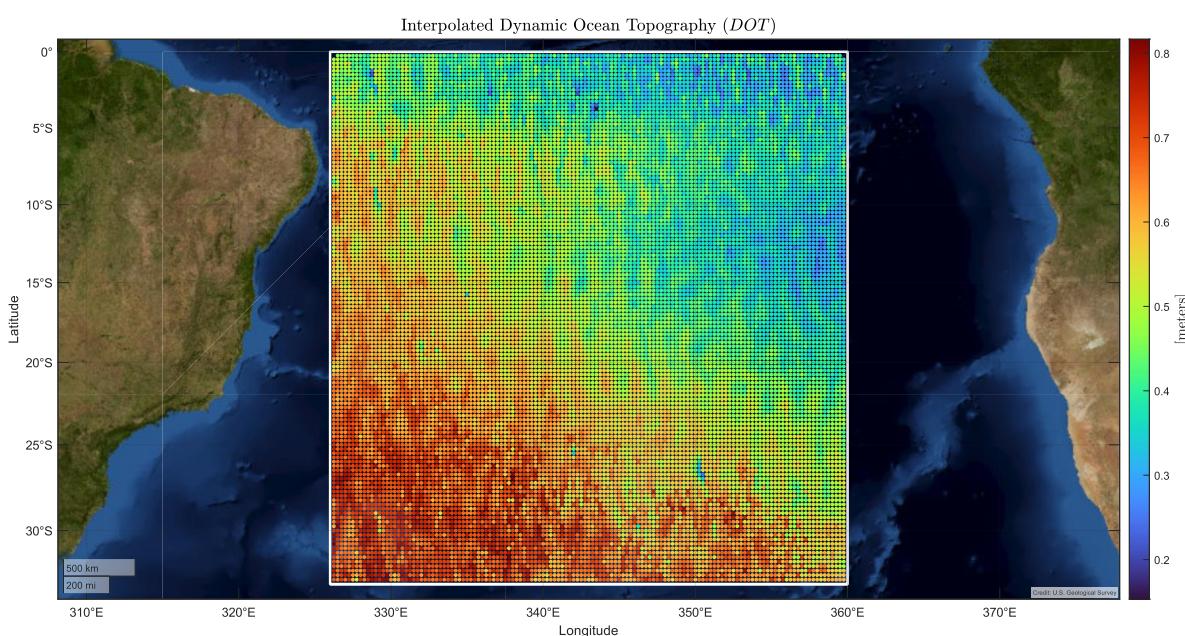


شکل ۵.۲. شبکه مورد استفاده برای درونیابی مقادیر DOT و SSH

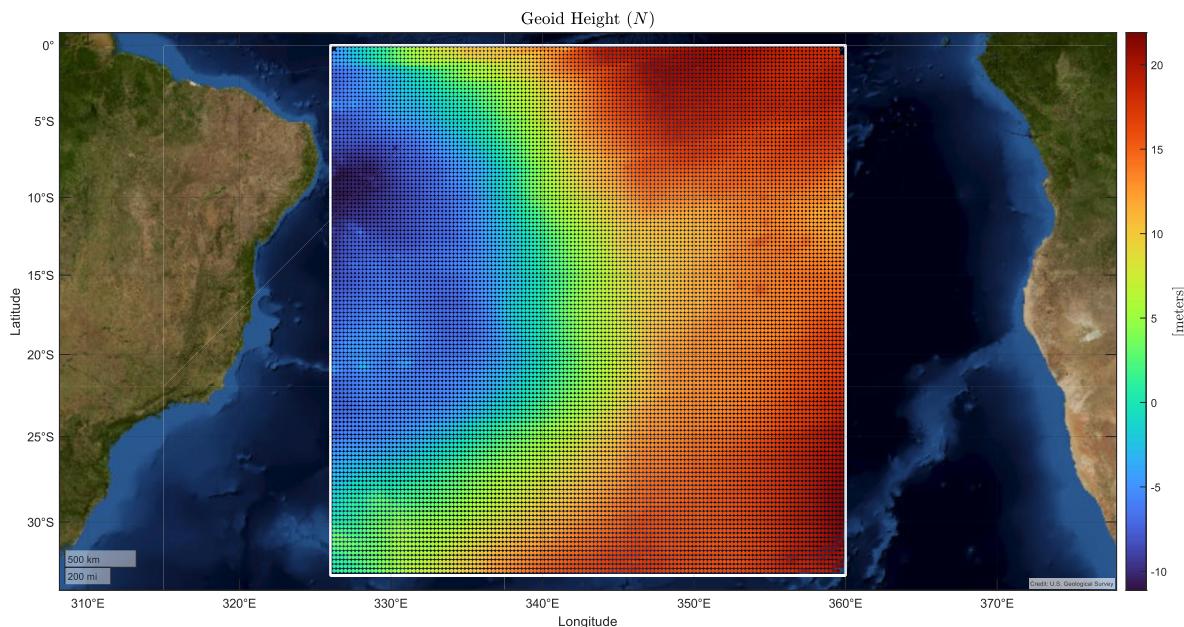
نتایج حاصل از درونیابی در شکل‌های ۶.۲ و ۷.۲ قابل مشاهده می‌باشند. همچنین ارتفاع ژئوئید محاسبه شده نیز مطابق شکل ۸.۲ می‌باشد.



شکل ۶.۲. مقادیر SSH درونیابی شده در شبکه مورد نظر.



شکل ۷.۲. مقادیر DOT درونیابی شده در شبکه مورد نظر.



شکل ۸.۲. مقادیر ارتفاع ژئوئید محاسبه شده در شبکه موردنظر.

۴.۲. محاسبه آنومالی جاذبه

برای محاسبه آنومالی از رابطهٔ معکوس استوکس (ISF^۵) استفاده شده است که مطابق رابطهٔ ۲.۲ می‌باشد.

$$\Delta g_p(\varphi_p, \lambda_p) = -\frac{\bar{\gamma}}{R} N_p - \frac{\bar{\gamma}}{16\pi R} \iint_{\sigma} \frac{N_q - N_p}{\sin^3\left(\frac{\psi}{2}\right)} \quad \text{رابطهٔ ۲.۲}$$

در این رابطه λ_p و φ_p طول و عرض جغرافیایی مربوط به نقاطی می‌باشند که در آن قرار است آنومالی جاذبه محاسبه شود. $\bar{\gamma}$ شتاب گرانش متوسط زمین می‌باشد که مقدار ۹۸۰۶۶۵ میلی‌گال در نظر گرفته شده است. R شعاع متوسط زمین می‌باشد. N_q و N_p نیز به ترتیب ارتفاع ژئوئید نقطه موردنظر و ارتفاع ژئوئید نقاط محدوده انتگرال‌گیری می‌باشند. $\sin^3\left(\frac{\psi}{2}\right)$ نیز با استفاده از رابطهٔ ۳.۲ قابل محاسبه است.

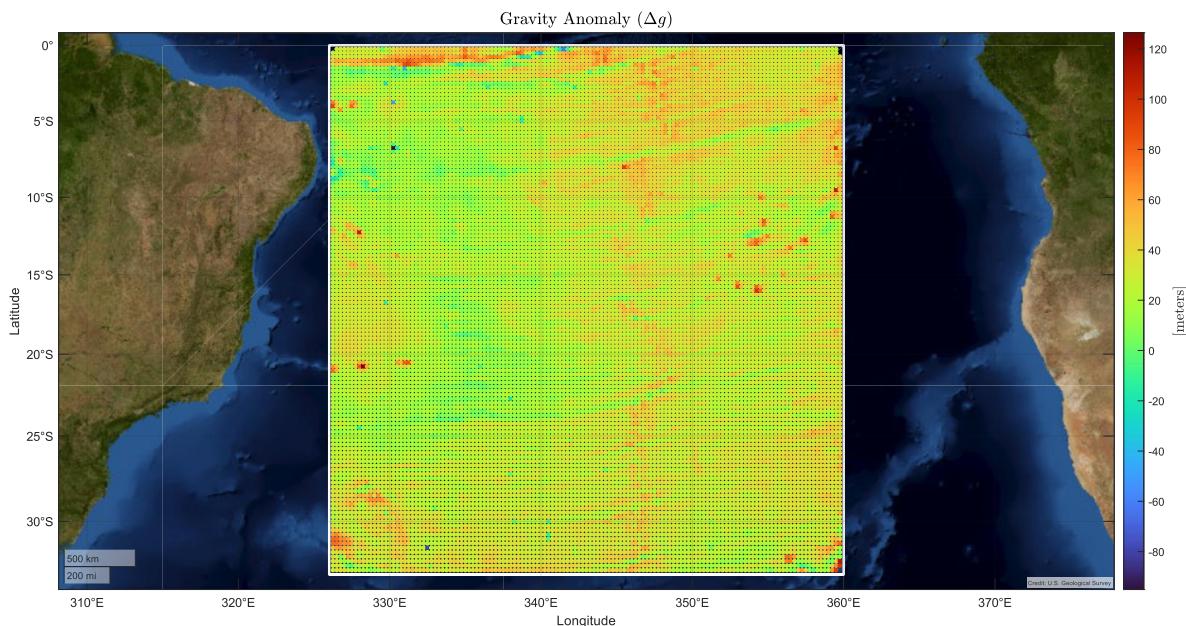
$$\sin^3\left(\frac{\psi}{2}\right) = \left(\sin^2\left(\frac{\varphi_p - \varphi_q}{2}\right) + \sin^2\left(\frac{\lambda_p - \lambda_q}{2}\right) \cos(\varphi_p) \cos(\varphi_q) \right)^{\frac{3}{2}} \quad \text{رابطهٔ ۳.۲}$$

فرم گسسته رابطهٔ معکوس استوکس نیز که در این پروژه استفاده شده مطابق رابطهٔ ۴.۲ می‌باشد.

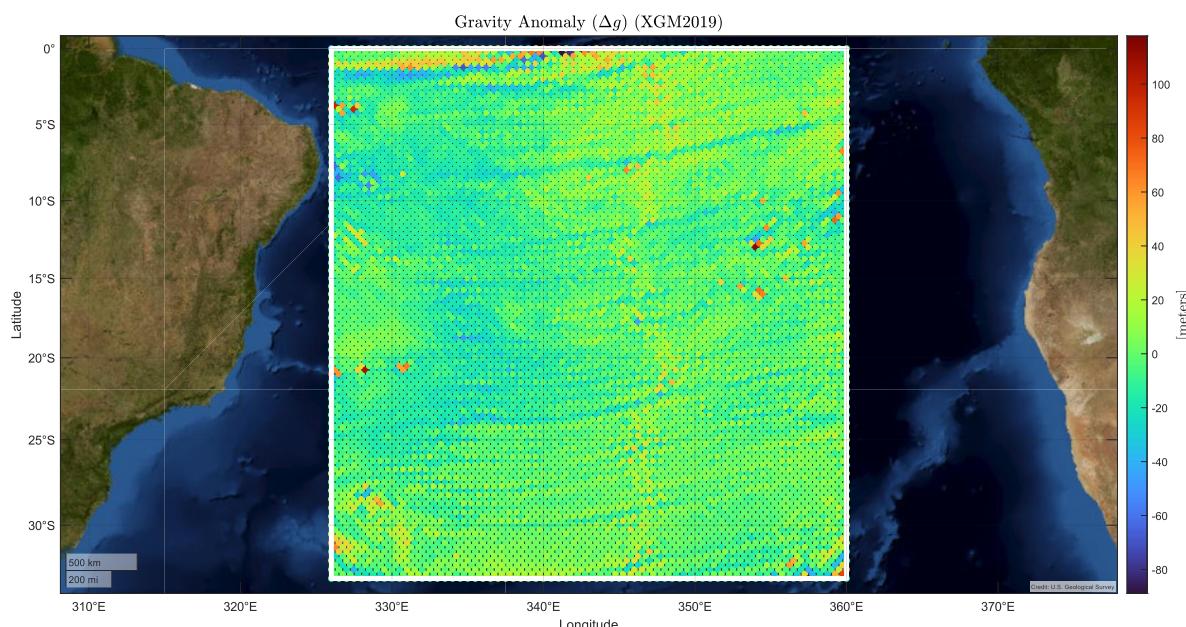
^۵ Inverse Stokes Formula

$$\Delta g_p(\varphi_p, \lambda_p) = -\frac{\bar{\gamma}}{R} N_p - \frac{\Delta\varphi\Delta\lambda}{16\pi R} \bar{\gamma} \sum_{\varphi_q=\varphi_1}^{\varphi_n} \sum_{\lambda_q=\lambda_1}^{\lambda_n} \frac{(N_q - N_p) \cos(\varphi_q)}{\sin^3\left(\frac{\psi}{2}\right)} \quad \text{رابطه ۹.۲.}$$

$\Delta\varphi$ و $\Delta\lambda$ به ترتیب فواصل نقاط شبکه در راستای طول و عرض جغرافیایی می‌باشند. نتایج حاصل و آنومالی جاذبه محاسبه شده در شکل ۹.۲ قابل مشاهده است. همچنین برای ارزیابی نتایج حاصل، از مدل XGM2019 استفاده شده که آنومالی جاذبه حاصل از آن در شکل ۱۰.۲ قابل مشاهده است.



شکل ۹.۲. مقادیر آنومالی جاذبه محاسبه شده در شبکه موردنظر.



شکل ۱۰.۲. مقادیر آنومالی جاذبه حاصل از مدل XGM2019

۵.۲. منابع

- [1] Yuan Fang et al. 2021: A Fast Method for Calculation of Marine Gravity Anomaly.
- [2] Open Altimeter Database (OpenADB): <https://openadb.dgfi.tum.de/en>
- [3] Global Geodetic Observing System (GGOS): <https://glos.org/item/ocean-topography-models>
- [4] International Centre for Global Earth Models (ICGEM): <https://icgem.gfz-potsdam.de/home>