

# بررسی امکان استفاده از اطلاعات ماهواره توپکس - پوزایدون در تهیه DTM خشکی ها مطالعه خاص: DTM ایران

علیرضا آزموده اردلان

دانشیار گروه مهندسی نقشه برداری - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

مرضیه جعفری

فارغ التحصیل کارشناسی ارشد ژئودزی - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۸۲/۲/۳۱، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۸۲/۱۰/۶، تاریخ تصویب ۸۲/۱۱/۱۸)

## چکیده

در این مقاله امکان استفاده از مشاهدات ماهواره ارتفاع سنجی توپکس - پوزایدون در تهیه DTM خشکی ها مورد مطالعه قرار گرفته است. منطقه جغرافیایی ایران به عنوان نمونه برای این منظور انتخاب و DTM حاصل از ماهواره توپکس-پوزایدون با دو DTM موجود از این منطقه مقایسه گردیده است. بر اساس مطالعات انجام گرفته مشاهدات ماهواره توپکس-پوزایدون می تواند منبع خوبی برای افزایش دقت DTM های موجود و یا افزایش تراکم آنها باشد بر اساس استراتژی بکار برده شده دقت ۰/۵ متر در مقایسه DTM های موجود حاصل گردیده است. جزئیات تئوری و نتایج مطالعه خاص ارائه خواهد شد.

**واژه های کلیدی:** ماهواره ارتفاع سنجی توپکس - پوزایدون، مدل رقومی زمین (DTM)، تراکم

## مقدمه

ماهواره توپکس - پوزایدون<sup>۱</sup> از جمله ماهواره های ارتفاع سنجی است که برای مطالعه جریانها و تغییرات ارتفاعی آبهای جهان طراحی و بکار گرفته شده است. امروزه پس از ۱۱ سال از آغاز بکار این ماهواره پوشش غنی و جامعی از اطلاعات این ماهواره برای کل جهان در اختیار است.

خوشبختانه این اطلاعات را NASA<sup>۲</sup> به رایگان در اختیار پژوهشگران و محققین قرار می دهد. وجود این اطلاعات ما را بر آن داشت که امکان استفاده از اطلاعات این ماهواره را در تهیه و یا غنی نمودن DTM<sup>۳</sup> های موجود از مناطق خشکی (افزایش تراکم DTM در مناطقی که دقت ارتفاعی حاصل از مشاهدات ماهواره مناسب است) مورد بررسی قرار دهیم. برای این منظور ابتدا مروری خواهیم داشت بر تعریف DTM، نحوه تولید و کاربرد های آن. سپس انواع ماهواره های ارتفاع سنجی موجود بالاخص توپکس - پوزایدون معرفی خواهد شد. پس از این محاسبات و نتایج حاصله به صورت محاسبه DTM از اطلاعات ماهواره توپکس-پوزایدون ارائه خواهد شد و نهایتاً به بحث و نتیجه گیری از نتایج مطالعه خواهیم پرداخت.

## مدل رقومی زمین (DTM)

نمایش سه بعدی و نقطه ای ناهمواری های سطح زمین را بصورت رقومی "مدل رقومی زمین یا DTM" می نامیم. این اطلاعات رقومی می تواند در قالب مختصات کارتزین ژئو سنتریک  $\{X, Y, Z\}$  یا مختصات منحنی الخط بیضوی  $\{\lambda, \phi, h\}$  یا در سیستم تصویر  $\{E, N, h\}$  بیان شوند. در حال حاضر بر مبنای تراکم<sup>۴</sup> نقاط مدل رقومی زمین برای DTM سه تراکم، "بالا" (با فواصل تقریبی بین نقاط در حد چند متر)، "متوسط" (با فواصل تقریبی بین نقاط در حد ۱۰۰ - ۲۰ متر) و "کم" (با فواصل تقریبی بین نقاط در حد کیلو متر) در نظر گرفت.

روشهایی که برای تهیه مدل های رقومی زمین

بکار می روند عبارتند از:

- رقومی کردن نقشه های دارای خطوط منحنی میزان
- اندازه گیری های استرنوسکوپیک از عکسهای هوایی
- اندازه گیری های استرنوسکوپیک از تصاویر ماهواره ای (مانند SPOT)
- اطلاعات ماهواره ای راداری<sup>۵</sup>
- اندازه گیری بوسیله لیزر<sup>۶</sup>

در رابطه (۱)  $t$  زمان رفت و بازگشت و  $c$  سرعت امواج راداری است.

یکی از ماهواره های ارتفاع سنجی، ماهواره توپکس - پوزایدون است که مشترکاً توسط سازمان هوایی و فضایی آمریکا (NASA) و آژانس فضایی فرانسه (CNES) اداره می شود. این ماهواره در آگوست ۱۹۹۲ به فضا پرتاب گردیده و از آن زمان تاکنون بطور مستمر به جمع آوری اطلاعات ارتفاعی از سطح زمین مشغول است.

با توجه به اینکه در این تحقیق هدف ما بررسی امکان استفاده از ماهواره توپکس - پوزایدون برای تعیین DTM در خشکی ها است. لذا به مرور مختصری در خصوص این ماهواره خواهیم پرداخت.

الف) اهداف ماهواره توپکس-پوزایدون

۱- اندازه گیری هایی از سطح دریا که امکان مطالعه دینامیک اقیانوسها، (شامل محاسبه سطح متوسط دریا و تغییرات ناشی از جزر و مد اقیانوسها) را فراهم می کند.

۲- پردازش و توزیع رفتار سری زمانی اطلاعات همراه با دیگر اطلاعات ژئوفیزیکی جهت انجام تحقیقات علمی.

۳- راه اندازی یک برنامه پیوسته جهت انجام مشاهدات طولانی مدت از جریانات اقیانوسی و تغییرات آن.

اهداف علمی و مأموریت های مذکور توسط ۶ سنسور، ۴ جزء از NASA و ۲ جزء از CNES انجام می شود. سنسورها به دو دسته عملیاتی و آزمایشی تقسیم می شوند:

(۱) سنسورهای عملیاتی

- رادار آلتی متری دوفرکانسه در باند KU/C از NASA (NRA)<sup>۸</sup>

- رادیومتر سه فرکانسه مایکروویو TOPEX از NASA (TMR)<sup>۹</sup>

- (LRA)<sup>۱۰</sup> از NASA

- گیرنده دو فرکانسه داپلر (DORIS) از CNES

(۲) سنسورهای آزمایشی

- سنسور تک فرکانسه باند KU (SALT) از CNES

- گیرنده GPS از NASA

مشخصات مداری ماهواره در جدول (۲) و (۳) ذکر شده

است.

• اندازه گیری های زمینی

مدل رقومی زمین کار برد های گوناگون داشته است که از جمله می توان به موارد ذیل اشاره نمود:

### ۱- کاربردهای مهندسی

DTM جزء اطلاعات پایه برای فعالیتهای مهندسی از جمله طراحی راه، راه آهن، هدایت آب و کانالها است. از کاربردهای مهم دیگر آن در طراحی آنتنهای مخابراتی است که امروزه با گسترش شبکه های اینترنتی بی سیم و شبکه تلفن همراه از توجه و اهمیت ویژه ای برخوردار است.

### ۲- کاربردهای علوم زمینی

DTM، در تمام مطالعات مربوط به علوم زمین در مواردی که اطلاع از رویه سه بعدی مورد نیاز باشد بکار می رود. به عنوان مثال:

- ژئودزی: محاسبه و تهیه نقشه های ژئوئید

- ژئومورفولوژی: نقشه های ژئومورفولوژی، مدلسازی و تشخیص نمونه های تشکیل دهنده زمین و...

- هوا شناسی: محاسبه و پیش بینی دما و...

- هیدرولوژی: محاسبه حوزه های رسوبی و...

- ژئولوژی و خاکشناسی: شناسایی سازه های ژئولوژی و تکتونیکی، نقشه های ژئولوژی و خاکشناسی و...

- جغرافیای گیاهی و جانوری و...

به علاوه DTM از ارکان اصلی سیستم اطلاعات مکانی و جغرافیایی (LIS, GIS) است.

### ماهواره های ارتفاع سنجی

با توجه به اهمیتی که ماهواره های ارتفاع سنجی در مطالعات سطح آب دریا و جریانهای دریایی دارند در سالهای اخیر ماهواره های فراوانی به فضا فرستاده شده و مورد استفاد قرار گرفته اند: جدول (۱) معرفی کننده ماهواره های ارتفاع سنجی از سال ۱۹۷۳ تا ۱۹۹۶ است.

ارتفاع سنجی از طریق ماهواره دارای تئوری ساده بوده و بر اساس زمان رفت و بازگشت یک پالس راداری استوار می باشد.

$$d = \frac{1}{2} c \cdot t$$

(۱)

جدول ۱: مشخصات ماهواره ارتفاع سنجی از سال ۱۹۷۳ تا ۱۹۹۶.

Satellite	Date of Operation	Period(min)	Altitude (km)	Inclination (deg)	Repeat Period(days)
Skylab	05/73-02/74	93.10	435.00	50.00	variable
Goes-3	04/75-12/78	100.6	845.00	115.00	variable
Seosat	06/78-10/78	100.80	800.00	108.00	3,17,Variable
Geosat	03/85-09/89	101.70	785.00	108.10	17.05
ERS-1	06/91-present	101.70	785.00	98.50	3,35,176
Topex/Poseidon	06/91-present	112.47	1336.00	66.00	10.00
ERS-2	09/92-present	100.48	781.36	98.54	35.00
Geosat FollowOn	09/96-09/2006	100.90	800.00	108.00	17.00

جدول ۲: المانهای متوسط مداری ماهواره توپکس - پوزایدون.

قطر بزرگ	۷۷۱۴/۴۳ Km
خروج از مرکز	۰/۰۰۰۰۹۵
زاویه میل	۶۶/۰۴ deg
انامولی متوسط	۲۵۳/۱۳ deg

جدول ۳: اطلاعات جانبی ماهواره توپکس - پوزایدون.

ارتفاع مدار روی استوا	۱۳۳۶ Km
پریود نودال	۶۷۴۵/۷۲ Sec
پریود تکرار	۹/۹۱۵۶ Days
تعداد دوران در هر سیکل	۱۲۷
فاصله عرضی بین مدارهای حرکت روی استوا	۳۱۵ Km
فاصله عرضی بین مسیرهای هر سیکل روی زمین	+۱ Km
سرعت حرکت مداری	۷/۲ km/s
سرعت حرکت روی زمین	۵/۸ km/s

دریافت، پردازش و ارسال می شوند. مراکز پردازش دیتا PO.DAAC و AVISO<sup>۱۲</sup> به ترتیب وظیفه پردازش اطلاعات علمی، تأیید آنها و سپس تعیین مدار دقیق با استفاده از اطلاعات NASA و CNES رابه عهده دارند. دیتاهای پردازش شده جهت انتشار برای استفاده کنندگان علمی توسط PO.DAAC تحت عنوان MGDR<sup>۱۳</sup> آرشیو می شود.

مهمترین اطلاعات MGDR فواصل آلتی متری است. فاصله ای که گزارش می شود تصحیح اثرات

مأموریت ماهواره توپکس - پوزایدون طی دو فاز انجام می شود:

(۱) اولین فاز، فاز کالیبراسیون، هنگامی شروع می شود که ماهواره در مدار گردشی خود قرار می گیرد و سنسور و ماهواره به طور نرمال عمل می کنند.

(۲) پس از فاز کالیبراسیون نوبت فاز مشاهداتی است. این مرحله که به مدت ۳ سال پس از قرار گرفتن ماهواره در مدار خود ادامه دارد اما در واقع این مأموریت تا کنون ادامه دارد. اطلاعات جمع آوری شده از گیرنده های ویژه

اطلاعات مورد استفاده مشاهدات ۱۱ ساله ماموریت این ماهواره بود که از طریق JPL<sup>۱۴</sup> در یکصدویست CD در اختیار گروه مهندسی نقشه برداری دانشگاه تهران قرار گرفته است. با توجه به دوران زمین و سرعت دوران ماهواره بدور زمین در هر ۱۰ روز ماهواره توپکس - پوزایدون عبور خود از یک نقطه زمینی را با تقریب  $\pm 1$  km تکرار می کند.

مراحل انجام محاسبات را می توان بصورت ذیل

خلاصه نمود:

۱- اعمال تصحیحات ذیل:

- تصحیح یونسفری
  - تصحیحات تروپوسفری خشک و مرطوب
  - تصحیح بایاس الکترو مغناطیسی
  - تصحیح جزرومد
  - تصحیح شیب توپوگرافی
- ۲- استخراج مختصات منحنی الخط بیضوی  $\{\lambda, \phi, h\}$  طبق رابطه (۳).
- ۳- تبدیل ارتفاع بیضوی به ارتفاع اورتومتريک برای امکان مقایسه ارتفاعات محاسبه شده با DTM موجود ایران. برای این منظور از ژئوئید جدید که توسط دکتر اردلان برای منطقه جغرافیایی ایران محاسبه گردیده است استفاده شد [۶].
- ۴- تکرار مراحل ۱-۳ برای عبور های متوالی ماهواره
- ۵- تشکیل توده ای از نقاط در عبور های متوالی در امتداد عبور ماهواره
- ۶- انتخاب پنجره ای برای محاسبه میانگین و واریانس ارتفاعات در اطراف هر نقطه
- ۷- مشخص نمودن ارتفاعات اشتباه با اعمال آزمون آماری
- ۸- ایجاد یک رویه پیوسته در امتداد مسیر عبور ماهواره
- ۹- مقایسه ارتفاعات حاصل از مرحله ۷ با DTM های موجود از منطقه جغرافیایی ایران
- شکل های (۱) و (۲) نشان دهنده دو DTM بکار برده شده جهت مقایسه DTM حاصل از روش فوق الذکر است. شکل (۳) مشخص کننده DTM حاصل از ماهواره توپکس - پوزایدون با استفاده از اطلاعات یک عبور ماهواره از منطقه جغرافیایی ایران می باشد.

دستگاهی را دارد. این تصحیح بصورت جداگانه فرستاده می شود. برای اعمال اثرات اتمسفر نیز این تصحیحات باید به فاصله گزارش شده اضافه شود.

$$\text{Correct\_Range} = \text{Range} + \text{TC}_{\text{wet}} + \text{TC}_{\text{dry}} + \text{EMB} \quad (2)$$

ارتفاعات سطح زمین ( $h$ )، نسبت به بیضوی مبنا با استفاده از مشاهدات تصحیح شده بصورت زیر بدست می آید.

$$h = \text{Altitude} - \text{Correct\_Range} \quad (3)$$

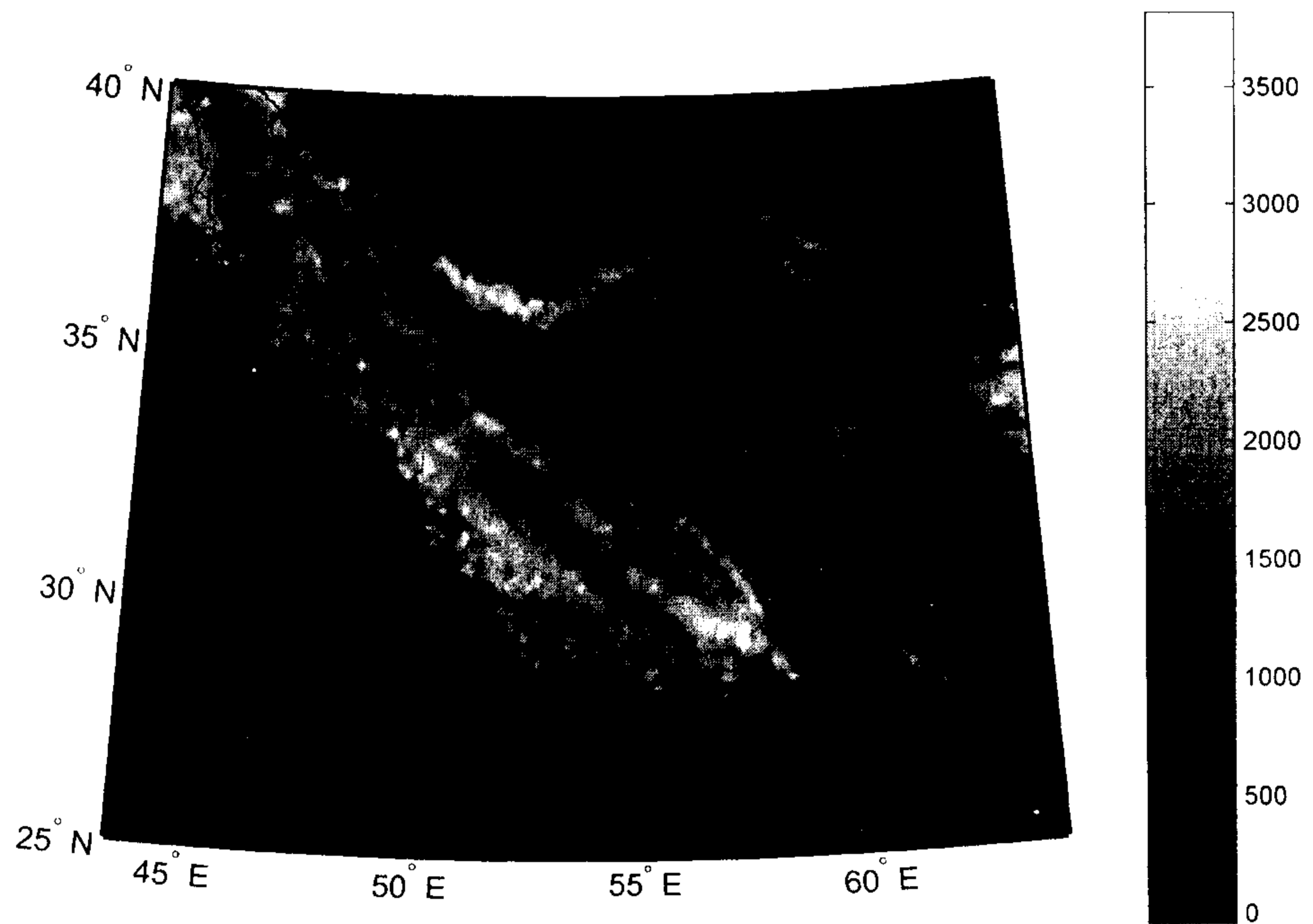
از جمله عوامل دیگری که اثر زیادی در محاسبه ارتفاع سطح زمین دارد جزرومد است. چندین عامل مهم که سهمی در اثرات جزرومدی دارند عبارتند از: جزر و مد سطح دریا، جزر و مد سطح جامد زمین، جزر و مد قطب. اثرات کلی جزر و مد در ارتفاع سطح دریا جمع سه مقدار بدست آمده از MGDR اساس:

$$\text{TideEffect} = \text{OceanTide} + \text{SolidEarth Tide} + \text{PoleTide} \quad (4)$$

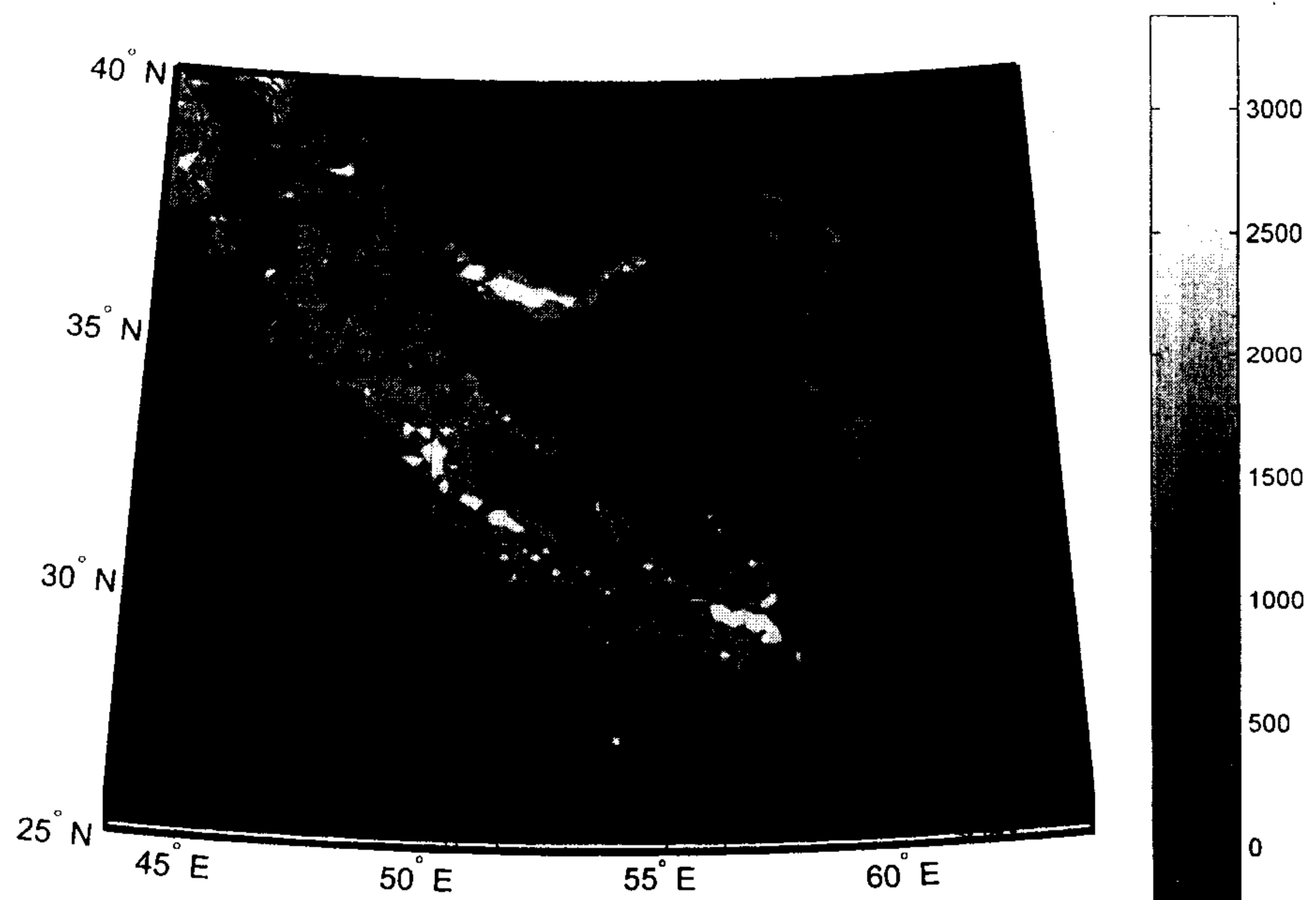
درخصوص عوامل جزرومدی مهم در محاسبه ارتفاع، جزرومد سطح جامد زمین و جزرومد قطب است. برای اطلاعات بیشتر از این ماهواره به [۱] و [۲] مراجعه کنید.

## محاسبات و نتایج حاصل از تعیین DTM با استفاده از مشاهدات ماهواره توپکس - پوزایدون

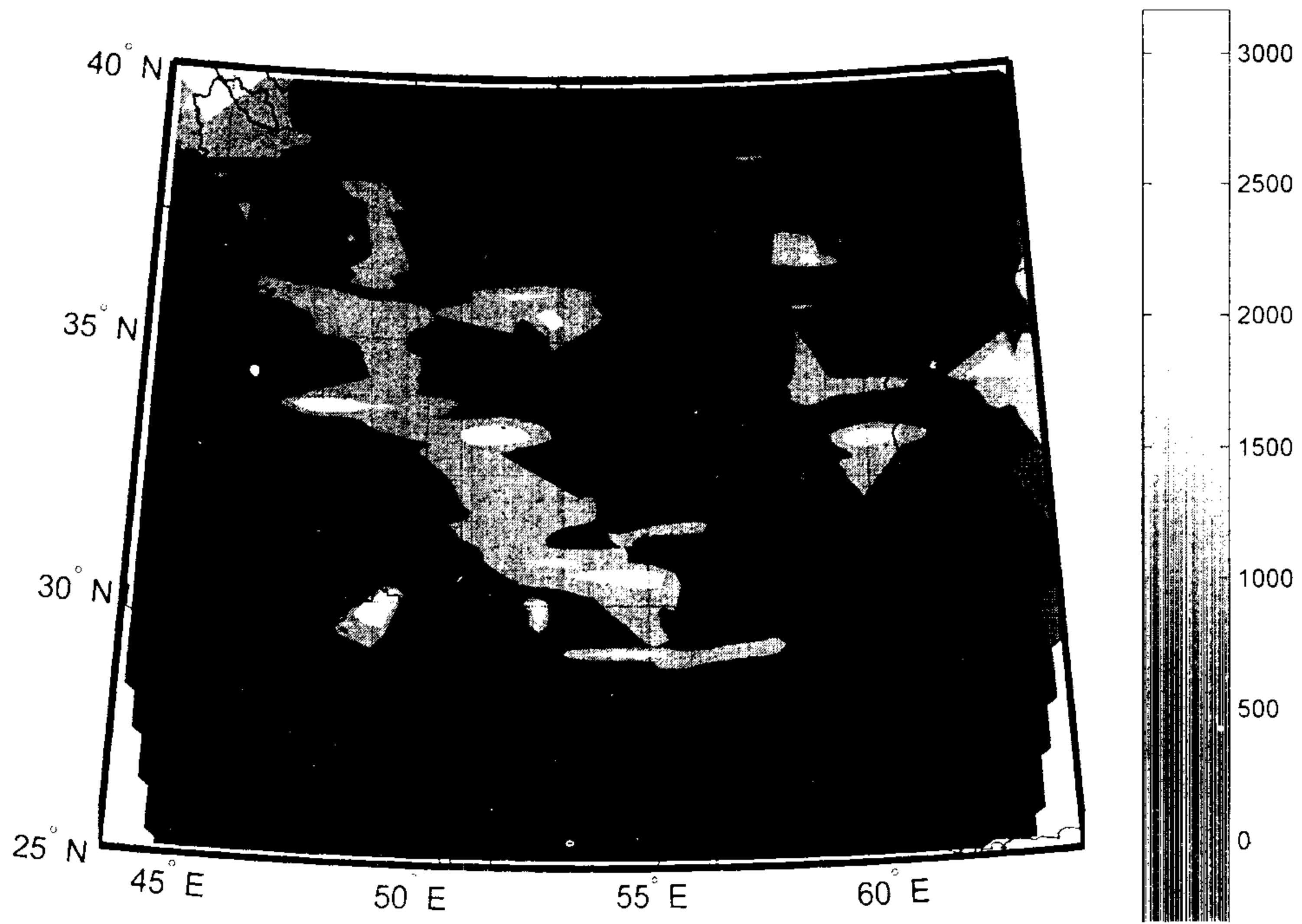
همانطور که در بخشهای قبل ذکر شد ماموریت اصلی ماهواره توپکس-پوزایدون مطالعه تغییرات زمانی سطح آب دریاها و جریانهای دریایی است. با این وجود این ماهواره در تمامی مسیر دوران خود بدور زمین به طور پیوسته به ارتفاع سنجی راداری ادامه می دهد. تنها مشکل ارتفاعات بدست آمده در مناطق خشکی کم دقتی آن است. برای بررسی امکان استخراج DTM مناطق خشکی زمین از طریق این ماهواره در تحقیق حاضر اقدام به تهیه DTM از منطقه جغرافیایی ایران گردید که در این بخش به جزئیات محاسبه و نتایج حاصله از این بررسی خواهیم پرداخت.



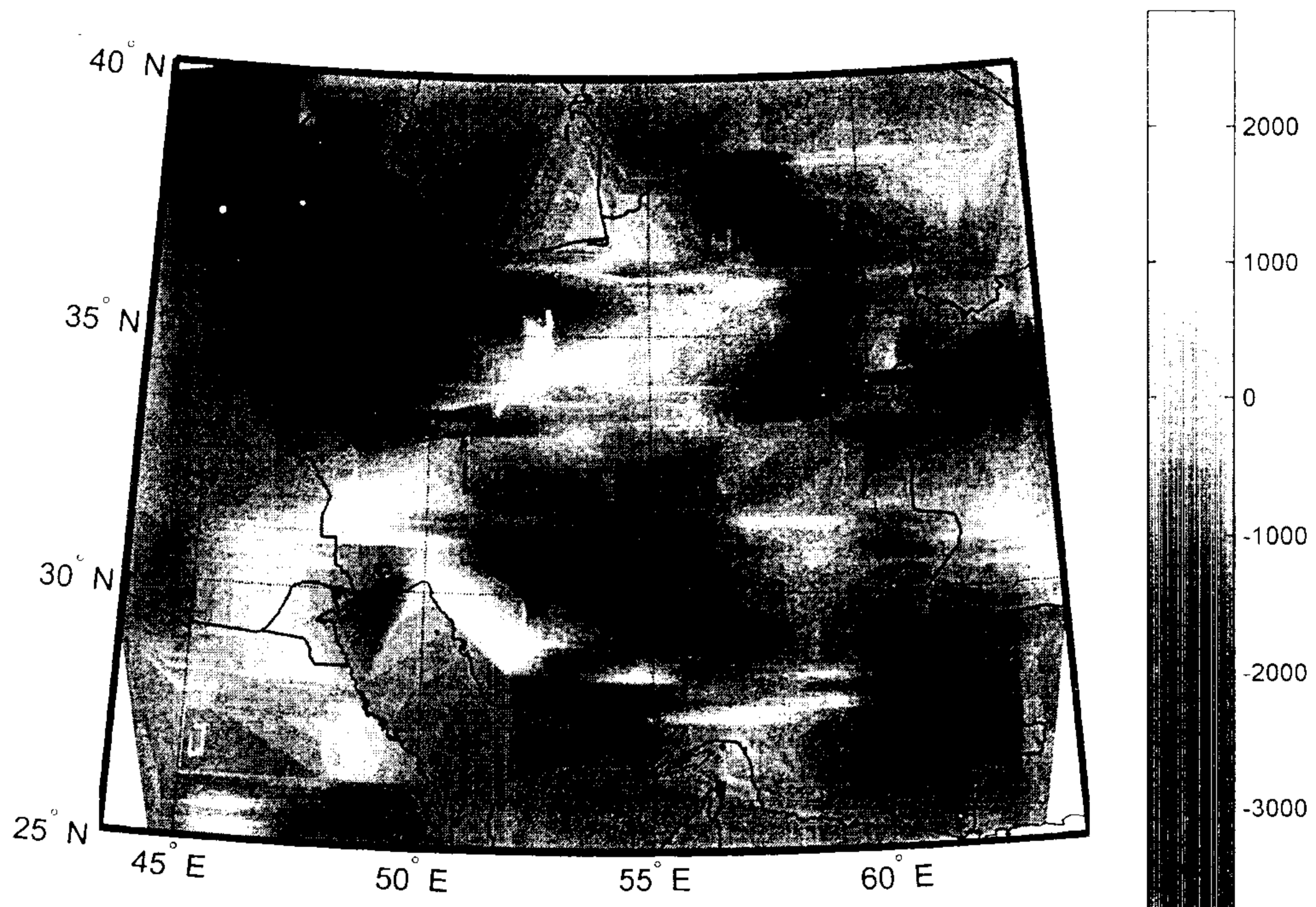
شکل ۱: شبکه DTM (۳۰"× ۳۰") محاسبه شده توسط NIMA برای منطقه خشکی های ایران.

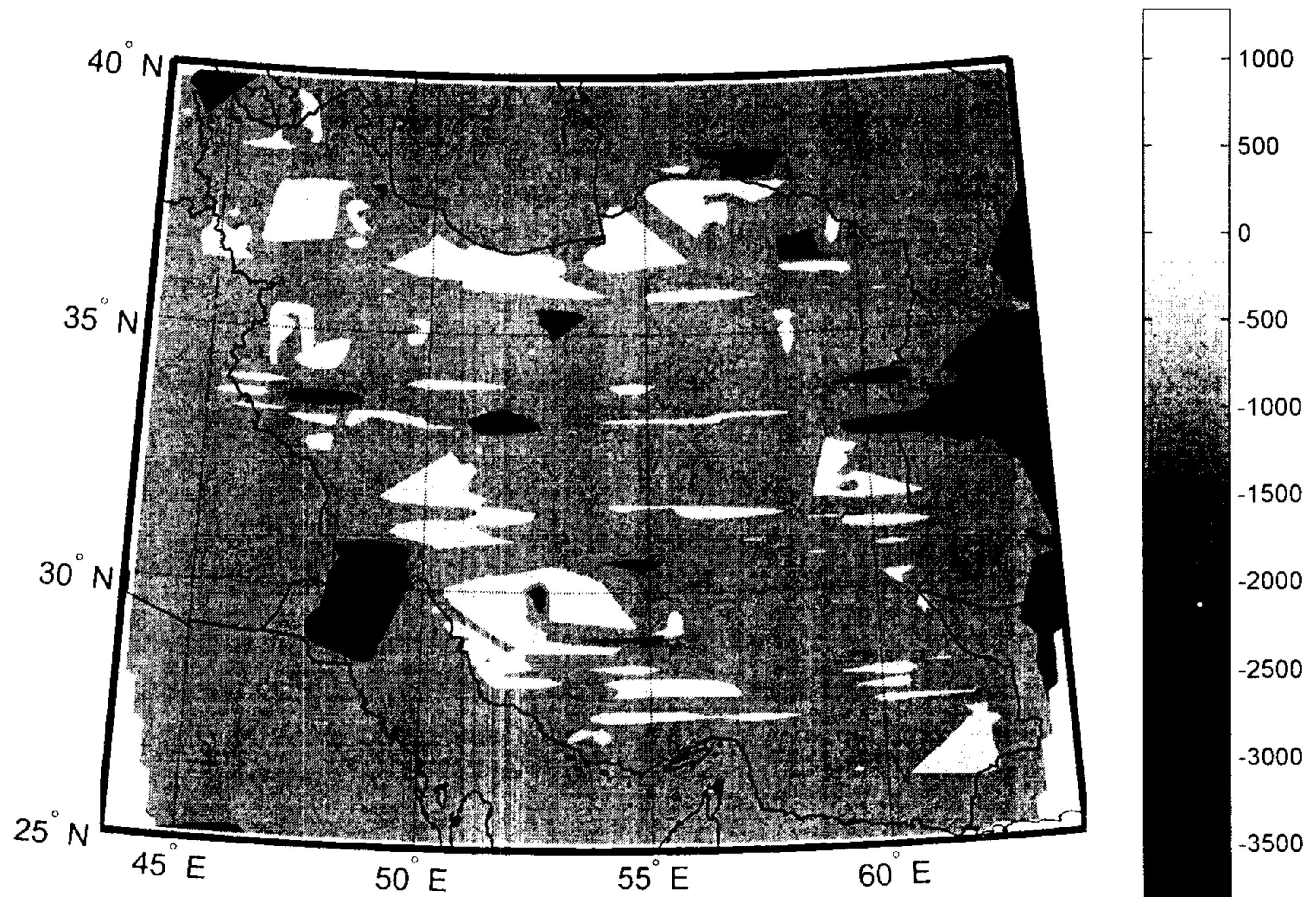


شکل ۲: نمایش DTM بدست آمده از داده های ارتفاعی سازمان نقشه برداری برای منطقه خشکی های ایران.

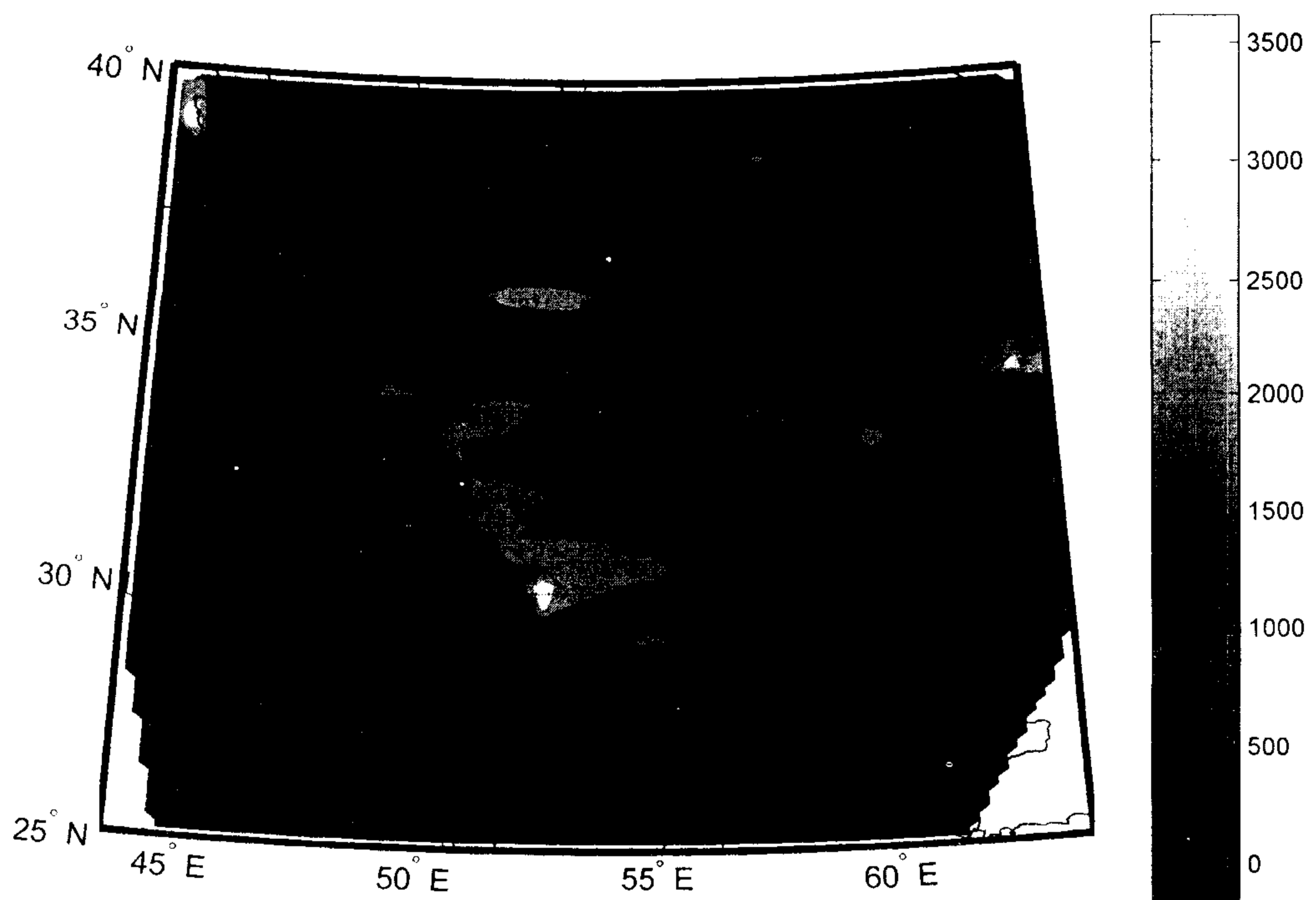


شکل ۳: نقشه DTM با استفاده از مشاهدات یک عبور ماهواره از منطقه جغرافیایی ایران.

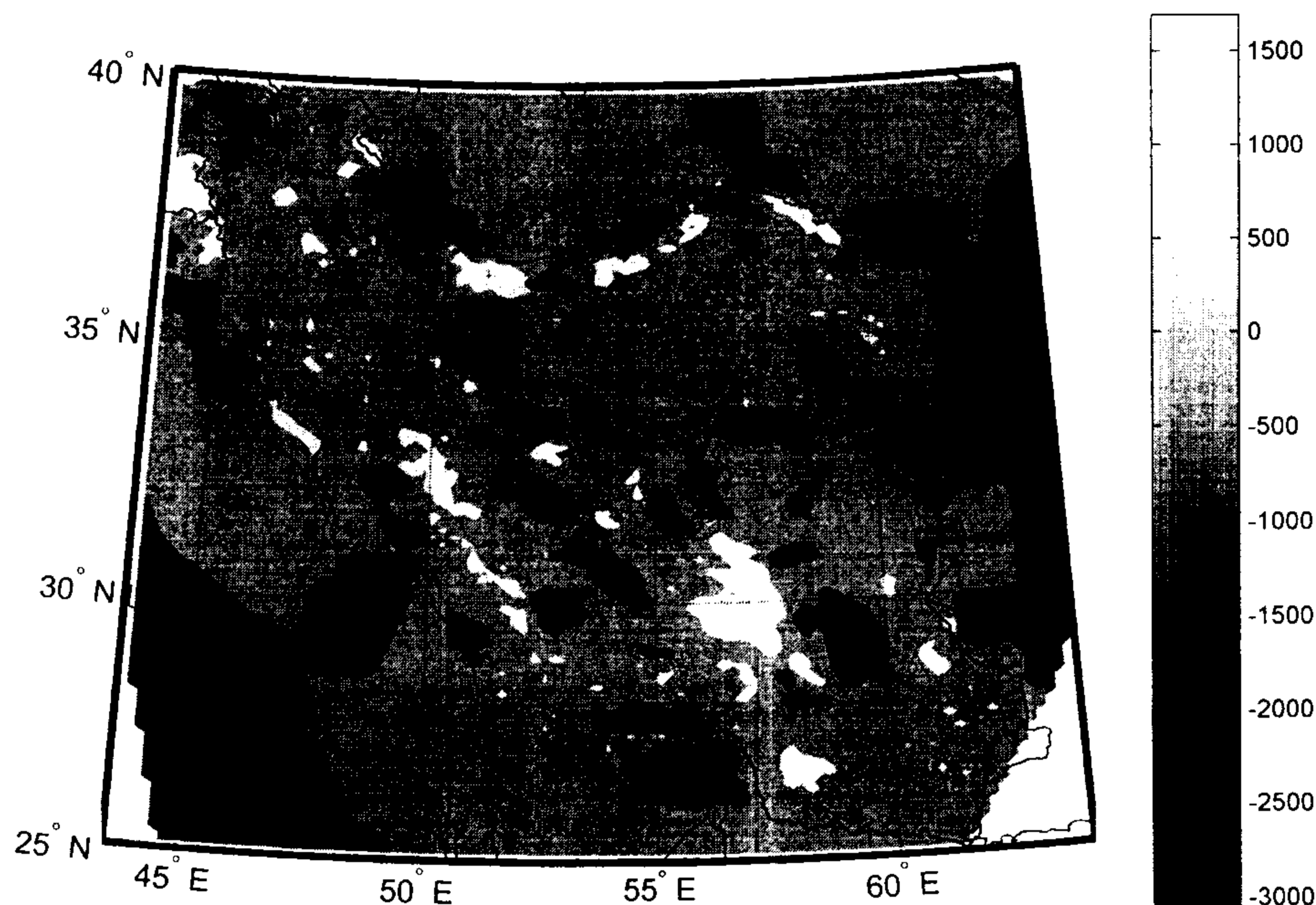




شکل ۴: نقشه اختلاف DTM بدست آمده از مشاهدات یک عبور ماهواره از منطقه جغرافیایی ایران و DTM های موجود.  
 الف - نقشه اختلاف از DTM محاسبه شده توسط NIMA بر حسب متر. ب - نقشه اختلاف از DTM محاسبه شده توسط سازمان نقشه برداری کشور بر حسب متر.



شکل ۵: نقشه DTM با استفاده از مشاهدات سه عبور متوالی ماهواره از منطقه جغرافیایی ایران.



شکل ۶: نقشه اختلاف DTM با استفاده از مشاهدات سه عبور متوالی ماهواره از منطقه جغرافیایی ایران.

عبور های بیشتر باعث افزایش دقت و اطمینان DTM حاصله خواهد شد.

### بحث و نتیجه گیری

با توجه به محاسبات انجام شده می توان به نتایج ذیل رسید:

۱- دقت ارتفاعی ماهواره توپکس - پوزایدون در یک عبور برای تهیه DTM به هیچ عنوان کافی نبوده و میتواند خطای تا چند کیلومتر را بوجود آورد.

۲- استفاده از مشاهدات عبور های متوالی می تواند باعث مشخص نمودن مشاهدات اشتباه گردد.

۳- پس از حذف مشاهدات اشتباه دقت DTM حاصل کاملاً جوابگوی تولید DTM متوسط یا با تراکم بالا خواهد بود.

۴- با توجه به فاصله زیاد بین عبور های متوالی این ماهواره ادغام این اطلاعات با DTM های موجود را به عنوان روشی جهت اغنا و افزایش دقت پیشنهاد می نمائیم.

۵- نحوه ادغام بهینه خود نیازمند تحقیق می باشد.

این DTM در شکل (۴) با دو DTM موجود از منطقه جغرافیایی ایران (DTM محاسبه شده توسط NIMA و DTM سازمان نقشه برداری) مقایسه گردیده است. همانگونه که در این دو شکل ملاحظه می گردد از ارتفاع حاصل از ماهواره توپکس - پوزایدون در بعضی از نقاط به مقدار بسیار زیادی از ارتفاع DTM های موجود متفاوت است. این مسئله نشان گر خطاهای ارتفاع سنجی ماهواره توپکس - پوزایدون در مناطق خشکی بوده و بدین خاطر اقدام به تکرار محاسبه DTM در عبورهای بعدی ماهواره بر طبق مراحل ۴ تا ۷ در روند فوق الذکر گردید.

شکل (۶) اختلاف بین DTM حاصله با دو DTM موجود برای ارتفاعات حاصل از سه عبور متوالی ماهواره توپکس - پوزایدون پس از حذف ارتفاعات اشتباه (ارتفاعات با خطای بسیار زیاد) را نشان می دهد.

نهایتاً جداول (۴) و (۵) به ترتیب خلاصه اطلاعات آماری مقایسه DTM حاصل از یک عبور و سه عبور متوالی پیش از حذف ارتفاعات اشتباه را نشان می دهد.

با توجه به std ارائه شده در جدول (۴) و (۵) بر اساس استراتژی بکار برده شده دقت ۰/۵ متر با مقایسه DTM های موجود حاصل گردیده است. بدیهی است استفاده از



**تشکر و قدردانی**

معاونت پژوهشی دانشگاه به خاطر این حمایت مالی تشکر و قدردانی می نمایند.

این مقاله حاصل از طرح پژوهشی دانشگاهی، دانشگاه تهران می باشد. بدینوسیله نویسندگان مقاله از

جدول ۴: نتایج آماری اختلاف DTM بدست آمده از مشاهدات یک عبور ماهواره از منطقه جغرافیایی ایران و DTM محاسبه شده توسط NIMA و سازمان نقشه برداری کشور.

اختلاف از DTM سازمان نقشه برداری کشور	اختلاف از DTM محاسبه شده توسط NIMA	روش انتریولاسیون / اختلاف از DTM های موجود
۰/۰۰۸۰	۰/۰۱۹۰	Min
۰/۹۷۸۰	۰/۹۹۶۰	Max
۰/۱۷۶۹	۰/۱۷۸۸	Mean
۰/۵۲۲۸	۰/۴۲۲۸	std

جدول ۵: نتایج آماری اختلاف DTM نقطه ای از طریق میانگین گیری از مشاهدات سه عبور متوالی ماهواره از منطقه جغرافیایی ایران و DTM سازمان نقشه برداری کشور.

اختلاف از DTM سازمان نقشه برداری کشور	روش انتریولاسیون / اختلاف از DTM های موجود
۰/۰۱۷۸	Min
۰/۸۸۴۶	Max
۰/۰۶۱۱	Mean
۰/۵۳۷۲	std

**مراجع**

- 1 -Topex/Poseidon: The Ocean Topography Experiment - mission to monitor global ocean circulation, discover the tie between the oceans and atmosphere, and improve global climate predictions. topex-www.jpl.nasa.gov.
- 2 -The MIT TOPEX/POSEIDON Altimetric Data Set - The MIT TOPEX/POSEIDON Altimetric Data Set. Introduction. An overview of the French-US altimetric TOPEX/POSEIDON mission (hereafter T/P) is given by Fu et al. puddle.mit.edu/~detlef/alt\_data/alt\_data.html
- 3 -Satellite Remote Sensing: Radar Altimetry Homepage, www.ae.utexas.edu/courses/ase389/sensors/alt/alt.html
- 4 -Satellite Radar Altimetry - Introduction to the principles of operation of a satellite radar altimeter and their uses over ice sheets. cires.colorado.edu/steffen/classes/geog6181/Bamber/summary.html
- 5 -TRIANET | DTM - Digital Terrain Model - DTM - Digital Terrain Model. nibis. ni. schule. De /~ trianet / dtm /dtm.htm
- 6 -A. Ardalan, A. (2003) "The Role of Reference Equipotential Surfaces in the Geoid Computation Problems." Under review Journal of Surveying Engineering, American Society of Civil Engineers.

---

## واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- 1 - Topex/Poseidon
  - 2 - NASA
  - 3 - DTM
  - 4 - Resolution
  - 5 - RADAR Satellite
  - 6 - LASER Scanning
  - 7 - Centre National d'Etudes Spatiales(CNES)
  - 8 - NASA Radar Altimeter(NRA)
  - 9 - Topex Microwave Radiometer Radiomete
  - 10 - Laser retro Reflector Arrey
  - 11 - Physical Distributed Active Archive Center
  - 12 - Archivage, Validation et Interpretation des donnes des Satellites
  - 13 - Merged Geophysical Data Records
  - 14 - Jet Propulsion Laboratory
-