



اداره کل ژئودزی و نقشه برداری زمینی
اداره ژئودزی و ژئودینامیک

معرفی

مبنای مسطحاتی جدید ایران تحت عنوان IRGD2017

The new Iranian geodetic datum IRGD2017

و بروزرسانی

مبنای مسطحاتی قبل IRGD2010

خرداد ماه ۱۳۹۶

۱- تاریخچه:

یکی از مهمترین وظایف سازمان نقشه‌برداری کشور به عنوان نهاد سیاستگذار در امر تهیه نقشه و اطلاعات مکانی، ایجاد، حفظ و گسترش شبکه‌های مبنایی بعنوان نقاط چارچوب مرجع ملی به منظور تهیه نقشه عمومی منطقه یا کشور، انجام پروژه‌های نقشه‌برداری، عمرانی، اکتشافی و ... است. از اینرو سازمان نقشه‌برداری از گذشته اقدام به ایجاد و گسترش شبکه‌های مبنایی ژئودزی، ترازبایی دقیق و گرانی‌سنجی با دقت و درجات مختلف در سطح کشور نموده، بطوریکه تمامی نقشه‌ها و پروژه‌های نقشه‌برداری کشور با اتصال به این نقاط مبنایی تهیه می‌گردد.

در گذشته برای تعیین مختصات ایستگاهها در شبکه‌های مبنایی ژئودزی از روش‌های کلاسیک استفاده می‌گردید. در ابتدا اداره جغرافیایی ارتش از سال ۱۳۳۳ تا سال ۱۳۵۷ مسئول انجام عملیات بنیادی ژئودزی و ترازبایی در سطح کشور بود که یکسری عملیات ژئودزی با شرکت پرسنل فنی خود و همکاری سازمان نقشه‌برداری (AMS: Army Map Service) انجام داده است. برای این منظور ابتدا یک شبکه زنجیره‌ای مثلث‌بندی و چندضلعی با مشخصات شبکه درجه ۱ به طول تقریبی ۲۰۰۰ کیلومتر شامل ۱۲۰ ایستگاه از مرز ترکیه تا مرز پاکستان در امتداد رشته کوه‌های زاگرس و بر روی قله‌های بلند مشاهده و اندازه‌گیری شد. طول اضلاع این زنجیره در حدود ۲۵ تا ۶۰ کیلومتر بوده و اندازه‌گیری‌های آن در سالهای ۱۳۳۵ تا ۱۳۳۷ انجام گرفته است [۱].

این شبکه در سال ۱۳۳۷ بوسیله AMS بدون در نظر گرفتن جدایی ژئوئید از بیضوی (Geoid Separation) بر روی بیضوی بین‌المللی (هایفورد ۱۹۲۴ با مشخصات $a=6378388.000$ و $f=297.000$) محاسبه و به نام اجسمنت ۱۹۵۸ معروف می‌باشد. مبنای مختصات مسطحاتی این شبکه از نقطه‌ای بنام پوتسدام در آلمان از طریق بسط شبکه ژئودزی اروپایی از ترکیه به ایران منتقل شد. سپس شبکه مذکور با دو زنجیره دیگر با همان مشخصات فنی یکی در امتداد کرمان- بندرعباس و دیگری در امتداد اصفهان- شیراز و خلیج فارس تکمیل گردید. پس از اتمام اندازه‌گیری دو زنجیره فوق‌الذکر و با در نظر گرفتن یک پروفیل ژئوئید دومین اجسمنت در سال ۱۳۴۷ (۱۹۶۸) انجام شد. تا سال ۱۳۵۶ عملیات دیگری بصورت شبکه پیمایش مشتمل بر ۱۰۵ نقطه واقع در شمال و شمال شرق کشور به انجام رسید. سومین محاسبه شبکه ژئودزی درجه یک شامل ۴۱۸ ایستگاه که بنام اجسمنت ۱۹۷۷ معروف است در سال ۱۳۵۶ توسط Defense Mapping Agency Topographic Center (DMATC) انجام شد.

پس از پیروزی انقلاب اسلامی در سال ۱۳۵۸ طبق ماده واحده مصوب شورای انقلاب اسلامی فعالیت‌های بنیادی ژئودزی به سازمان نقشه‌برداری کشور واگذار گردید. در این راستا سازمان نقشه‌برداری کشور با تشکیل جلسات تخصصی با حضور کارشناسان مرتبط اقدام به تهیه استاندارد و دستورالعمل ایجاد شبکه ژئودزی درجه یک و شبکه ترازبایی دقیق کشور نمود و اندازه‌گیری‌های مربوطه به روش کلاسیک از سال ۱۳۶۳ تا سال ۱۳۶۹ بر روی شبکه‌های مدنظر آغاز گردید.

بعدها با ظهور ماهواره‌های تعیین موقعیت GPS و فراگیر شدن آنها، در سال ۱۳۶۶ سازمان نقشه‌برداری کشور به سه دستگاه گیرنده ماهواره‌ای WM101 تجهیز گردید. پس از انجام تست‌های اولیه، اندازه‌گیری چند شبکه با طولهای متفاوت و پردازش داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از نرم‌افزار POPS مربوط به گیرنده، نتایج به دست آمده حاکی از سهولت کار، سرعت و دقت بالاتر نتایج نسبت به روش کلاسیک قبل بود. لذا مسئولین وقت بر آن

شدند که اولویت بالاتری به این سیستم نسبت به روشهای کلاسیک قبل دهند. از این رو شبکه‌ای متشکل از مثلث‌های تقریباً متساوی‌الاضلاع به طول متوسط ۱۰۰ کیلومتر در سطح کشور طراحی گردید که اندازه‌گیری‌های مربوط به آن از شهریور ۱۳۶۷ آغاز و تا اواخر پاییز ۱۳۶۹ ادامه داشت. در شبکه طراحی شده تعدادی از ایستگاه‌های شبکه ماهواره‌ای (در حدود ۱۵ ایستگاه) با شبکه ژئودزی کلاسیک قبل مشترک بوده است. شکل ۱ شبکه ژئودزی ماهواره‌ای درجه ۱ کشور را که در سالهای ۱۳۶۷-۱۳۶۹ اندازه‌گیری شده است، نشان می‌دهد.



شکل ۱- شبکه ژئودزی ماهواره‌ای درجه ۱ اندازه‌گیری شده در سالهای ۱۳۶۷-۱۳۶۹ توسط سازمان نقشه‌برداری کشور

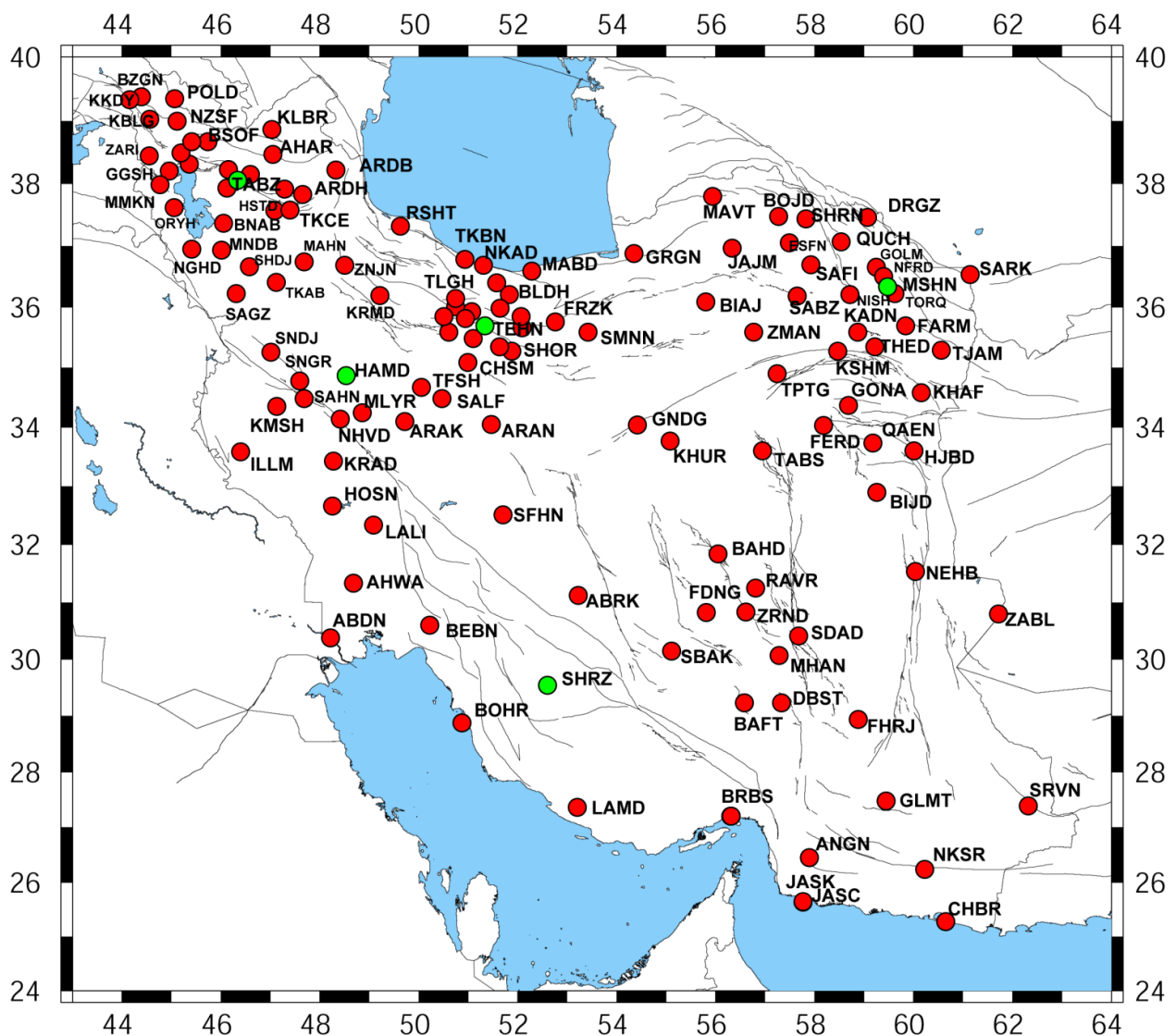
در سال ۱۳۷۰ اولین سرشکنی یکپارچه شبکه با استفاده از نرم‌افزار TRAV10 به روش کمترین مربعات انجام و مختصات نقاط شبکه تعیین گردید. در این محاسبات از مختصات ۵ ایستگاه مشهد، تبریز، اهواز، سفیدآبه (واقع در جنوب غربی شبکه) و اصفهان با توزیع یکنواخت در کشور که مختصات مطلق آنها به روش نقطه‌ای (Single Point Positioning) با دقت $\pm 5m$ تعیین شده بود، استفاده گردید. در نهایت مختصات نقاط شبکه ژئودزی ماهواره‌ای درجه یک ایران در سیستم مختصات WGS84 محاسبه و به عنوان نقاط چارچوب مبنایی تهیه نقشه در کشور

استفاده شد. سیستم مختصات WGS84 در واقع یک سیستم مختصات زمین مرجع جهانی بوده که توسط وزارت دفاع آمریکا برای ماهواره‌های تعیین موقعیت GPS طراحی شده است.

با توجه به اینکه مختصات نقاط در شبکه کلاسیک قدیم بر روی بیضوی هایفورد ۱۹۲۴ محاسبه شده بود، جهت برقراری ارتباط بین این دو شبکه، با ثابت فرض کردن مختصات ایستگاه چپ‌لو نزدیک مرز ترکیه و مختصات تقریبی ۴ ایستگاه در داخل کشور که قبلاً بر روی آنها اندازه‌گیریهای داپلر انجام شده بود (گزارش سرشکنی مختصات سال ۱۹۷۷ با دقت $\pm 1m$)، مختصات نقاط شبکه ژئودزی ماهواره‌ای بر روی بیضوی بین‌المللی هایفورد ۱۹۲۴ نیز محاسبه گردید. سپس پارامترهای ترانسفورماسیون بین بیضوی هایفورد و WGS84 محاسبه و در اختیار کاربران قرار گرفت. عبارت دیگر عملاً چارچوب مختصات کشور از سال ۱۳۷۰ به بعد بر روی نسخه اولیه بیضوی WGS84 که تحت عنوان G730 شناخته می‌شود، انتقال یافت. در نهایت از طرف تیم محاسبات پیشنهاد گردید بیضوی مبنای کشور از هایفورد ۱۹۲۴ به WGS84 (G730) تغییر یابد که با تصویب شورای عالی نقشه‌برداری تمامی نقشه‌های 1:25,000 کشور بر روی این بیضوی تهیه شده است.

با پیشرفت تکنولوژی و افزایش پوشش ماهواره‌های تعیین موقعیت، ایجاد شبکه ایستگاههای دائمی در کشورهای مختلف گسترش یافت. در این راستا شبکه ایستگاههای دائمی ژئودینامیک و GNSS سازمان نقشه‌برداری کشور در سال ۱۳۸۳ ایجاد و فاز اول آن شامل ۱۰۶ ایستگاه در اوایل دی ماه ۱۳۸۵ به بهره‌برداری رسید و گزارش مربوط به پردازش اولیه داده‌ها ارائه و مختصات نقاط این شبکه با استفاده از نرم‌افزارهای علمی GAMIT/GLOBK در چارچوب مختصات مرجع ITRF2000 محاسبه و پارامترهای ترانسفورماسیون بین این چارچوب مختصات مرجع و WGS84 (G730) ارائه گردید [۲]. چارچوب مختصات مرجع ITRF (International Terrestrial Reference Frame) در واقع تحقق عملی سیستم مختصات مرجع ITRS (International Terrestrial Reference System) بوده که مختصات نقاط در آن با مختصات نقاط در سیستم مختصات WGS84 متفاوت است. بطوریکه مختصات نقاط در چارچوب مختصات مرجع ITRF91 با نسخه اولیه WGS84 (G730) که مختصات نقاط شبکه‌های مبنایی کشور در آن تعیین شده دارای اختلافی در حدود 70cm می‌باشد و لازم است پارامترهای ترانسفورماسیون بین این دو سیستم مختصات تعیین گردد.

در ادامه سازمان نقشه‌برداری کشور با افزایش تعداد ایستگاههای شبکه و جمع‌آوری داده‌های طولانی مدت، پردازش مجددی در سال ۱۳۸۹ انجام داد و مختصات ۱۱۳ ایستگاه شبکه را در چارچوب مختصات مرجع محاسباتی ITRF2005 محاسبه نمود و با اعمال پارامترهای ترانسفورماسیون مختصات ایستگاههای دائمی ژئودینامیک و GNSS (مختصات مندرج در کارتهای شناسایی) در سیستم مختصات WGS84 (G730) به کاربران ارائه گردید [۳] که این مختصات بعنوان مبنای مسطحاتی کشور IRGD2010 (Iranian Geodetic Datum 2010) شناخته می‌شود. در نهایت در سال ۱۳۹۲ با خرید گیرنده‌های جدید و نوسازی ناوگان تعیین موقعیت سازمان نقشه‌برداری کشور، فاز دوم تکمیل شبکه ایستگاههای دائمی تکمیل و گزارش مربوط به نتیجه پردازش داده‌های ۱۲۵ ایستگاههای این شبکه در چارچوب مختصات مرجع ITRF2014 ارائه گردید [۴]. در شکل ۲ پراکندگی ایستگاههای دائمی ژئودینامیک ایران نشان داده شده است.



شکل ۲: پراکندگی شبکه ایستگاههای دائمی ژئودینامیک و GNSS ایران

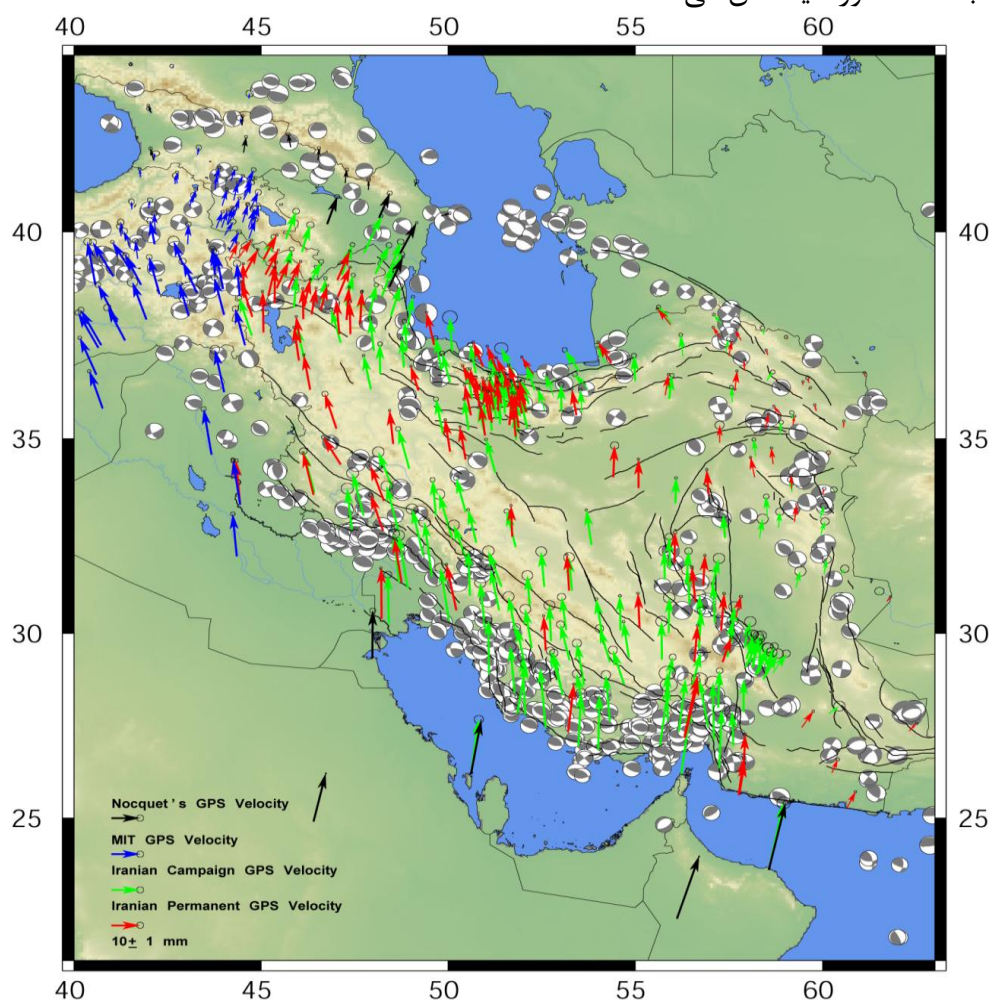
نکته‌ای که باید در خصوص مبنای مسطحاتی کشور مورد توجه قرار گیرد این است که با جمع‌آوری داده‌های پیوسته در سال‌های اخیر و افزایش تعداد ایستگاههای کنترل زمینی، نسخه‌های بروز ITRF (فضای محاسباتی) و به تبعیت آن نسخه‌های مختلف WGS84 (فضای مشاهداتی) ارائه شده و به مرور زمان اختلاف بین آنها نیز کاهش یافته است به طوریکه در حال حاضر اختلاف بین آخرین نسخه ITRF (ITRF2014) و نسخه اخیر WGS84 (G1762) در حدود 1cm می‌باشد. البته باید در نظر داشت در این سال‌ها مختصات نقاط شبکه ایستگاههای دائمی نیز به مرور زمان و با توجه به تغییرات پوسته زمین ناشی از حرکات تکتونیکی، زلزله، پدیده فرونشست و ... دستخوش تغییر شده و پایش پیوسته این حرکات از ملزومات اصلی حفظ و کنترل شبکه‌های مبنایی است که این امر لزوم بروزرسانی مبنای مسطحاتی کشور را با توجه به تغییرات اشاره شده آشکار می‌سازد. در ادامه با توجه به محاسبات جدید انجام شده در اداره ژئودزی و ژئودینامیک، مبنای مسطحاتی جدید با عنوان IRGD2017 ارائه شده و نحوه بروزرسانی مبنای مسطحاتی قبل که در این گزارش بنام IRGD2010_rev2017 معرفی می‌گردد، توضیح داده می‌شود.

۲- تعیین مختصات نقاط:

بطور کلی مختصات ایستگاههای شبکه‌های مبنایی را می‌توان به دو صورت در چارچوب مختصات جهانی (Global Reference Frame) و یا در در مبنای مسطحاتی ملی (National Geodetic Datum) اندازه‌گیری و ارائه نمود. در چارچوب مختصات جهانی با توجه به قرار گرفتن ایستگاههای شبکه‌های مبنایی بر روی صفحات تکتونیکی و تغییرات این صفحات نسبت به هم، مختصات نقاط چندین سانتی‌متر در سال تغییر می‌یابد که این مختصات متغیر در زمان جهت استفاده در پروژه‌های اجرایی مناسب نمی‌باشد. برای رفع وابستگی به زمان مختصات نقاط معمولاً از مبنای مسطحاتی ملی یا منطقه‌ای استفاده می‌گردد.

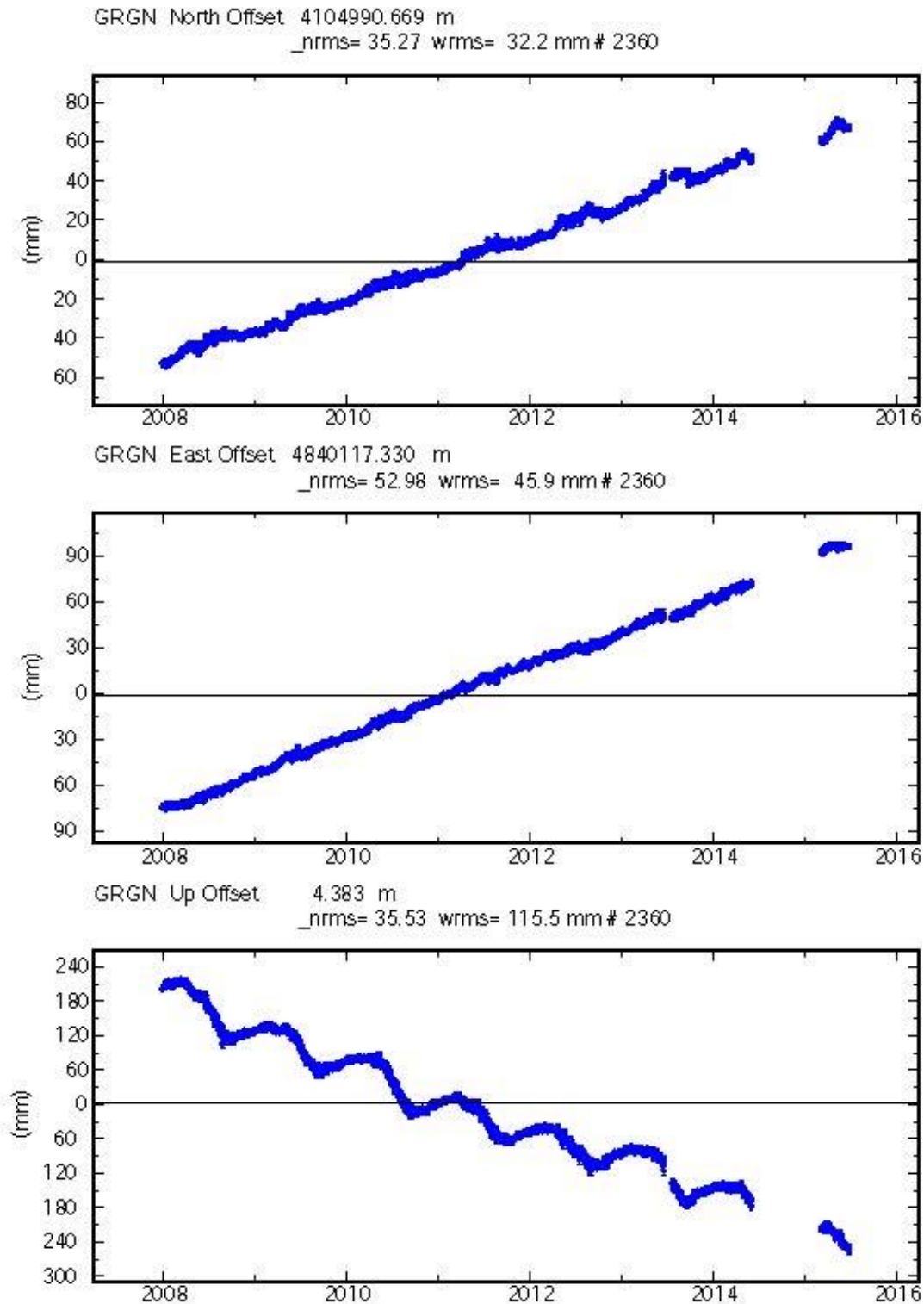
۲-۱- موقعیت نقاط در چارچوب مختصات جهانی

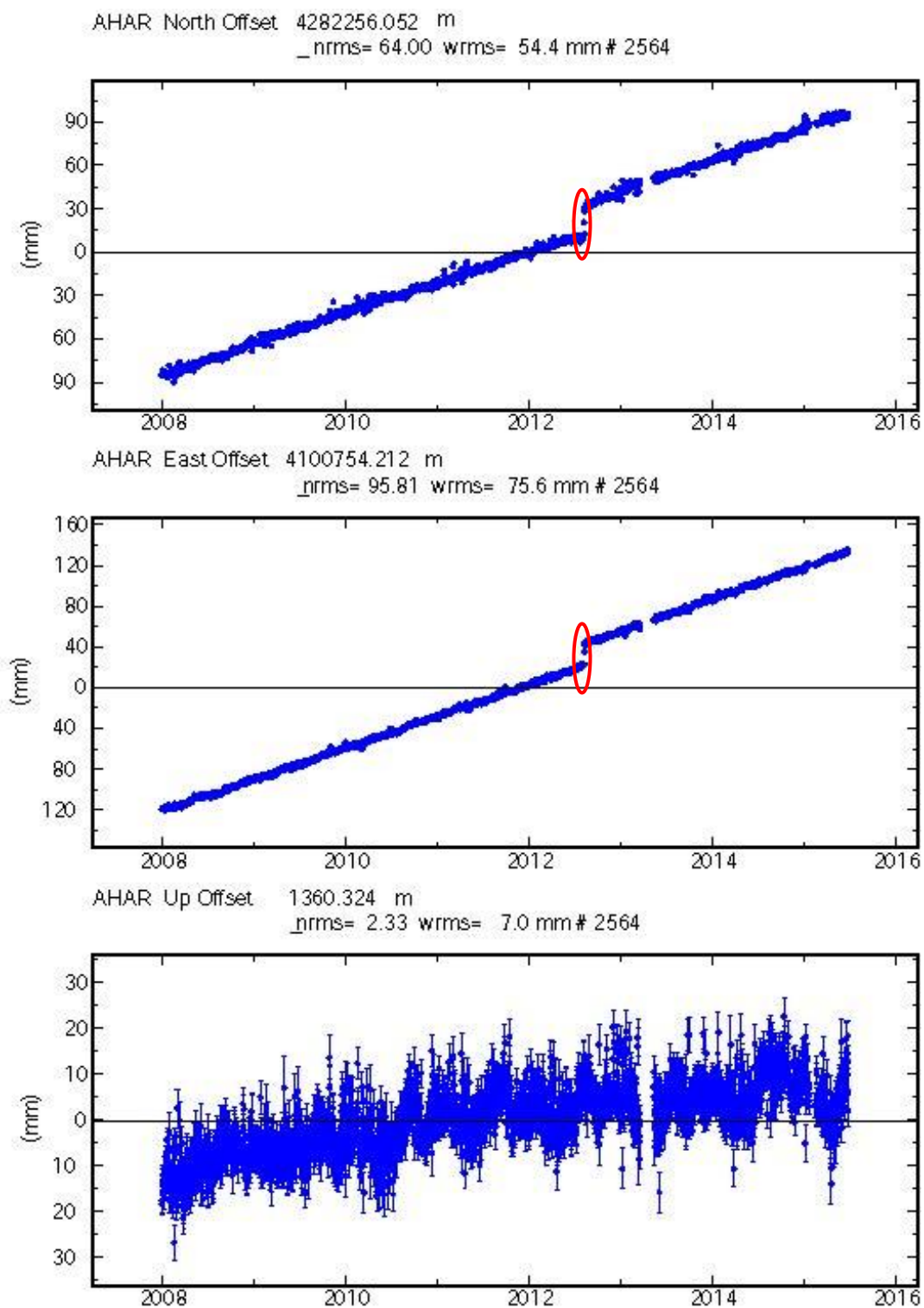
در حالت کلی مختصات نقاط شبکه با توجه تغییرات پوسته زمین ناشی از حرکات تکتونیکی، تغییرات فصلی، زلزله، فرونشست، فرورانش، پدیده آتشفشانی و ... تغییر می‌یابد که این تغییرات با استفاده از نرم‌افزارهای علمی نظیر GAMIT یا Bernese با تعریف استراتژی‌های مناسب در چارچوب مختصات مرجع ITRF با اتصال به شبکه جهانی IGS قابل محاسبه و تعیین است. شکل ۳ میدان سرعت یکپارچه شبکه ایستگاهها دائمی ژئودینامیک ایران را نسبت به صفحه اوراسیا نشان می‌دهد.



شکل ۳: میدان سرعت یکپارچه شبکه ایستگاههای دائمی ژئودینامیک ایران نسبت به صفحه اوراسیا

به عنوان نمونه شکل ۴ سری زمانی تغییرات مختصات ایستگاه گرگان را در طول بازه زمانی سال ۲۰۰۸ تا سال ۲۰۱۵ نشان می‌دهد که در مولفه ارتفاعی مقدار فرونشست ایستگاه و تغییرات فصلی به وضوح قابل مشاهده است. همچنین در شکل ۵ تغییر مختصات ایستگاه دائمی اهر پس از زلزله مورخ ۲۰۱۲/۰۸/۱۱ اهر- ورزقان مشخص است.





2016 Nov 02 09:58:27

p: 4

شکل ۵: سری زمانی ایستگاه اهر

۲-۲- موقعیت نقاط در مبنای مسطحاتی ملی

در این حالت موقعیت نقاط نسبت به مختصات ایستگاههای مبنایی که در یک اپک مشخص (Reference epoch) محاسبه شده است، بدست می‌آید. در این صورت مختصات نقاط شبکه وابسته به زمان نبوده ولی با توجه به تغییرات پوسته‌زمین شاهد جابجایی موقعیت نقاط به مرور زمان خواهیم بود که این امر لزوم پایش پیوسته مختصات ایستگاههای شبکه مبنایی و بروزرسانی آنها در بازه‌های زمانی مشخص را آشکار می‌سازد. برای این منظور در کشورهای مختلف مبنای مسطحاتی استاتیک (Static)، شبه‌دینامیک (Semi-Dynamic) و دینامیک (Dynamic) استفاده می‌گردد.

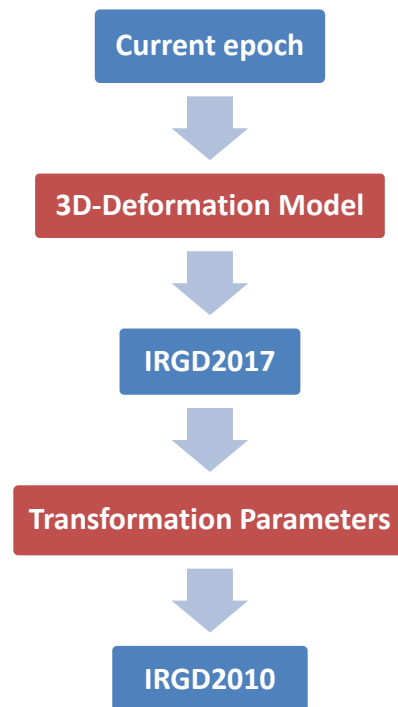
با توجه به اینکه مختصات ارائه شده در مبنای مسطحاتی IRGD2010، مربوط به اپک مرجع 2010.01.01 و نسخه اولیه سیستم مختصات WGS84 (G730) بوده و این مختصات با توجه به ارائه نسخه‌های بروز سیستم مختصات WGS84 (G1762) و تغییرات پوسته زمین، دستخوش تغییر شده است از اینرو مبنای مسطحاتی جدید تحت عنوان IRGD2017 با اپک مرجع 2017.01.01 ارائه می‌گردد. از آنجا که نسخه اخیر سیستم مختصات WGS دارای اختلاف اندکی (کمتر از 1cm) با چارچوب مختصات مرجع ITRF است، فضای محاسباتی در چارچوب مختصات جهانی با فضای مشاهداتی اندازه‌گیری شده توسط ماهواره‌های GNSS انطباق بیشتری خواهد داشت. مهم‌ترین حُسن این مبنای مسطحاتی جدید در آن است که در آینده با توجه به گسترش روزافزون و بهبود دقت روش‌های تعیین موقعیت نقطه‌ای PPP، مختصات نقاط شبکه ایستگاههای دائمی با فضای مشاهدات (WGS84) انطباق بیشتری خواهند داشت. البته از آنجا که اکثر نقشه‌های موجود کشور در مبنای مسطحاتی IRGD2010 تهیه شده است، ارتباط بین مبنای مسطحاتی جدید و قدیم با استفاده از مدل‌های تغییر شکل مناسب و پارامترهای ترانسفورماسیون برقرار شده و مختصات مندرج در کارت‌های شناسایی ایستگاهها بروز می‌گردد که این مختصات بورز شده در گزارش پیشرو تحت عنوان IRGD2010_rev2017 شناخته می‌شود.

❖ روند کار:

- تعیین مختصات نقاط شبکه ایستگاههای دائمی در آخرین نسخه چارچوب مختصات مرجع جهانی ITRF و سیستم مختصات WGS84
- تعیین بردار سرعت ایستگاهها و مدل تغییر شکل منطقه
- مشخص کردن یک اپک مرجع بعنوان مثال 2017.01.01 و محاسبه مختصات نقاط در این اپک و تعریف مبنای مسطحاتی جدید تحت عنوان IRGD2017
- تعیین پارامترهای ترانسفورماسیون بین مبنای مسطحاتی قبل IRGD2010 و مختصات در مبنای مسطحاتی جدید IRGD2017
- بروزرسانی مختصات نقاط در مبنای مسطحاتی قبل با اعمال پارامترهای ترانسفورماسیون محاسبه شده تحت عنوان IRGD2010_rev2017

- درج مختصات نقاط در دو مبنای مسطحاتی به همراه پارامترهای ترانسفورماسیون در کارت‌های شناسایی ایستگاههای دائمی

در شکل ۶ فلوچارت تعیین مختصات نقاط در هر یک از مبناهای مسطحاتی ارائه شده است.



شکل ۶: فلوچارت تعیین مختصات نقاط در مبنای مسطحاتی کشور

❖ نکات مدنظر در تعریف مبنای مسطحاتی جدید IRGD2017:

- یکسان شدن مختصات کارت‌های شناسایی با مختصات چارچوب مختصات مرجع جهانی و نسخه‌های اخیر سیستم مختصات WGS84 ارائه شده در اپک مرجع
- یکسان شدن فضای مشاهداتی اندازه‌گیری شده توسط ماهواره‌های GNSS (WGS84) با فضای محاسبات مختصات نقاط (ITRF)
- انطباق مختصات شناسنامه نقاط با مختصات حاصل از روش تعیین موقعیت دقیق نقطه‌ای PPP در اپک مرجع
- اختلاف متوسط در حدود 80cm در مختصات نقاط در مبنای محاسباتی جدید IRGD2017 نسبت به مختصات قدیم مندرج در کارت‌های شناسایی ایستگاهها که برای رفع آن می‌توان از مختصات IRGD2010_rev2017 که با اعمال پارامترهای ترانسفورماسیون به مختصات جدید محاسبه شده است، استفاده نمود. در این صورت اختلاف مختصات مسطحاتی کمتر از 5 cm بوده، ضمن آنکه مقدار فرونشست ایستگاهها نیز در نظر گرفته خواهد شد.
- نیاز به تعیین دقیق و اعمال پارامترهای ترانسفورماسیون جهت انطباق مختصات در مبنای مسطحاتی جدید نسبت به مختصات نقشه‌های قدیم

- نیاز به تعیین مدل تغییرشکل منطقه جهت انتقال مختصات جاری (current epoch) به مبنای مسطحاتی IRGD2017 در اپک مرجع که برای این منظور می‌توان در هر منطقه از بردارهای سرعت ایستگاه‌های مجاور جهت مدلسازی استفاده نمود.
- وجود خطای مدل تغییرشکل و پارامترهای ترانسفورماسیون در مختصات نقاط که به منظور کاهش خطای مدلسازی، افزایش ایستگاه‌های دائمی در مناطقی که پوسته زمین دارای تغییرات شکل است و پایش پیوسته مختصات ایستگاه‌های دائمی و تغییر اپک مرجع در بازه‌های مشخص (پنج یا ده سال) پیشنهاد می‌گردد.

۲- مبنای مسطحاتی جدید IRGD2017

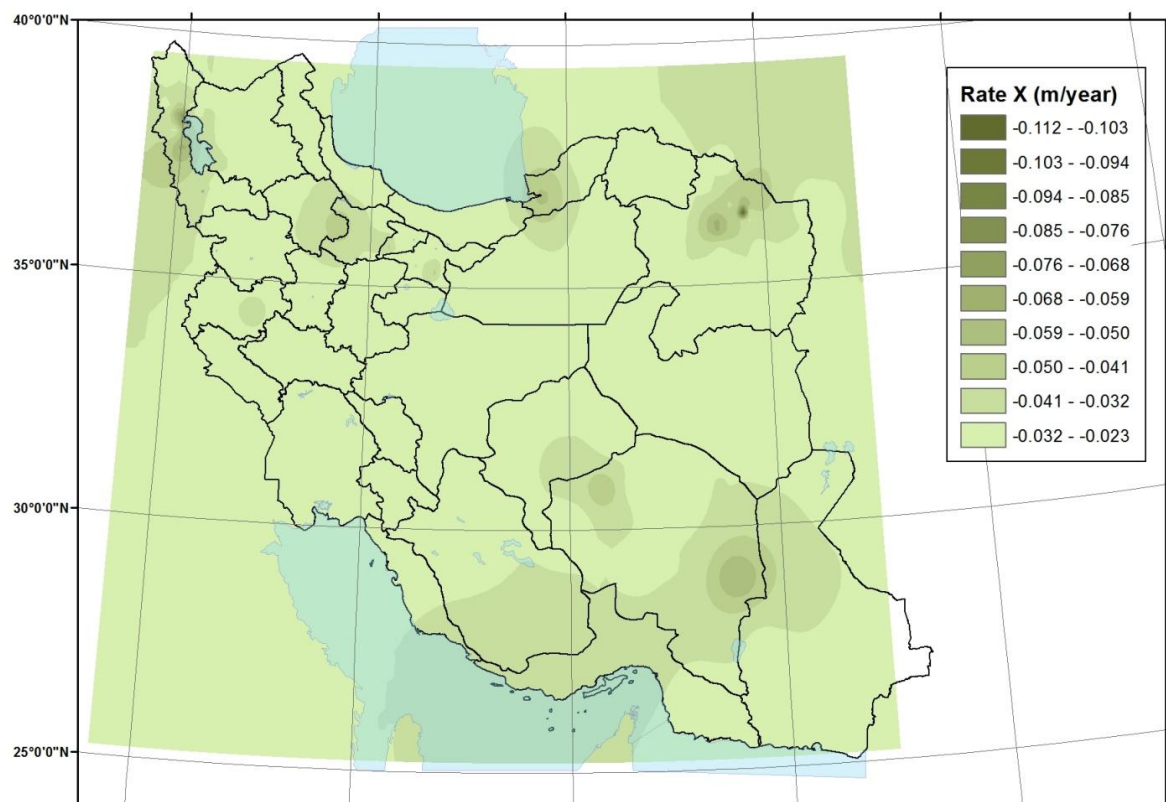
فرآیند تعیین مبنای مسطحاتی جدید IRGD2017 به قرار زیر می‌باشد:

- داده‌های شبکه ایستگاه‌های دائمی ژئودینامیک در چارچوب مختصات مرجع ITRF2014 پردازش شده و مختصات نقاط در اپک محاسباتی (Calculation epoch) به همراه بردار سرعت ایستگاه‌ها (Rate) تعیین می‌گردد. در جدول ۱ خلاصه نتایج پردازش‌های مربوطه ارائه شده است.

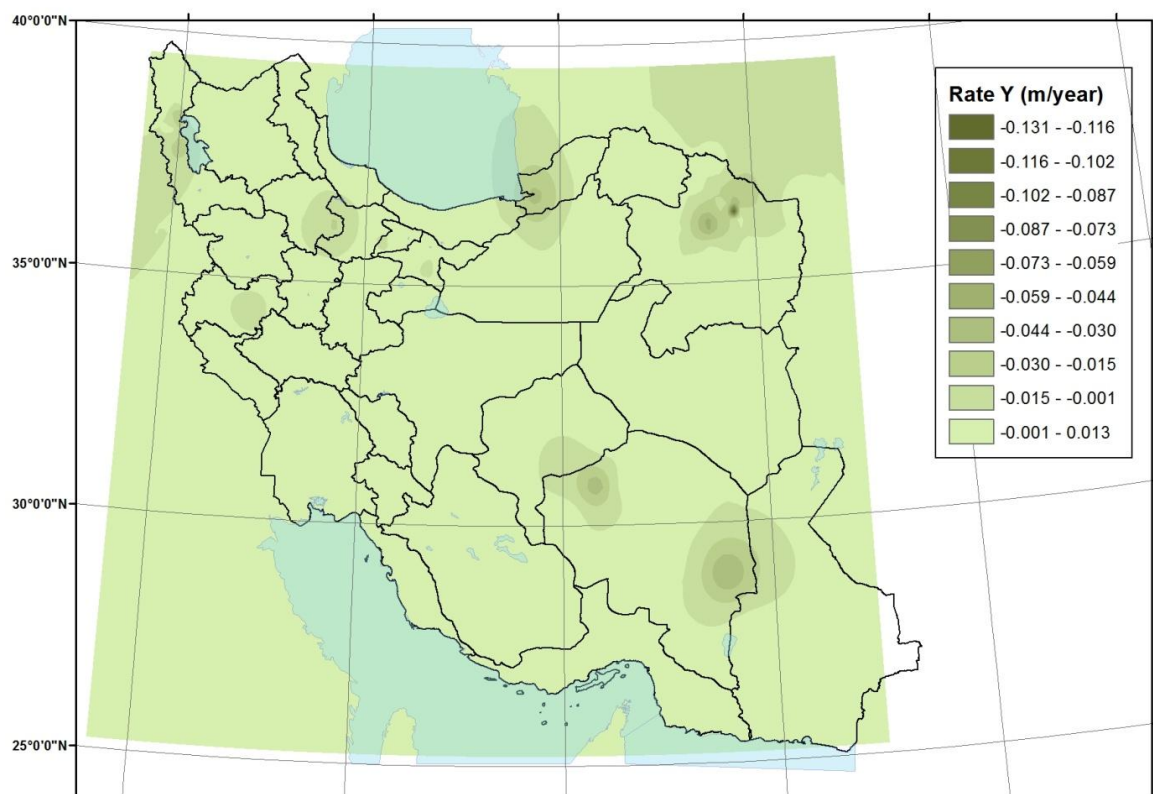
جدول ۱- خلاصه نتایج پردازش

Par.	Sig X	Sig Y	Sig Z	Cal. Epoch	Duration (year)	X_rate (m/yr)	Y_rate (m/yr)	Z_rate (m/yr)	Sig_X rate	Sig_Y rate	Sig_Z rate
Min	0.0002	0.0003	0.0002	2009.4310	0.3900	-0.1125	-0.1314	-0.1251	0.0002	0.0003	0.0002
Mean	0.0007	0.0009	0.0008	2014.3195	5.9609	-0.0313	0.0034	0.0104	0.0005	0.0006	0.0005
Max	0.0038	0.0038	0.0055	2014.9350	7.0000	-0.0231	0.0139	0.0261	0.0014	0.0016	0.0017
STD	0.0006	0.0007	0.0008	0.9723	1.7007	0.0114	0.0167	0.0166	0.0002	0.0003	0.0003

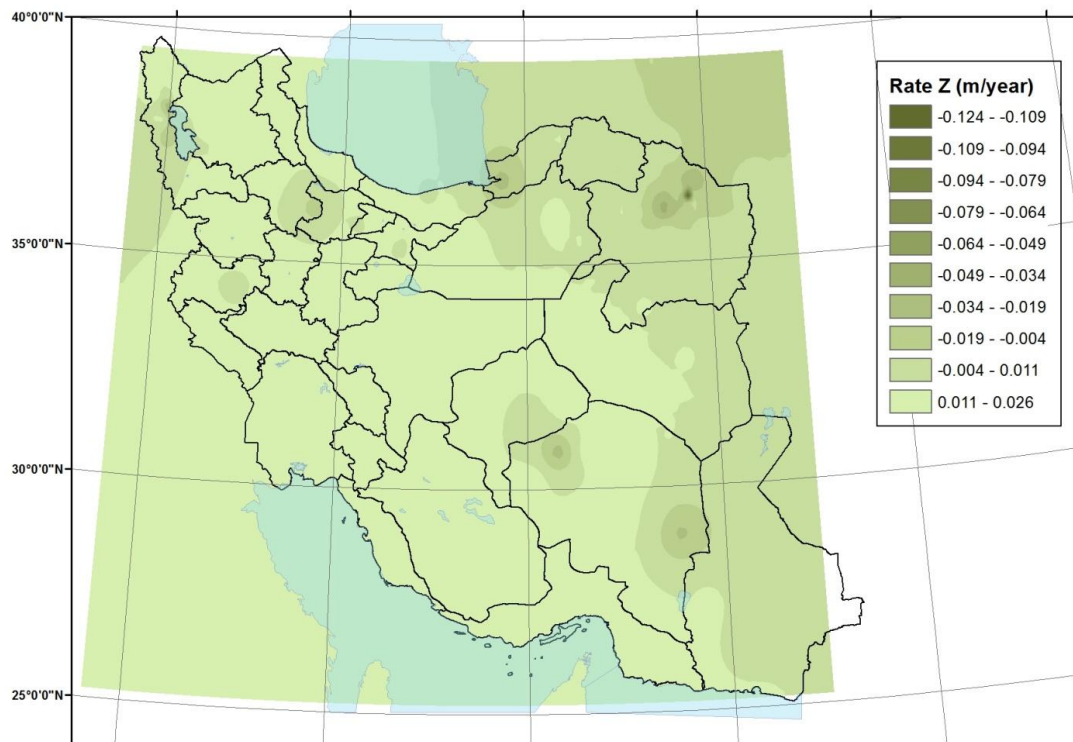
- بر اساس پردازش‌های انجام شده بردار سرعت ایستگاه‌ها تعیین گردید در شکل ۷، ۸ و ۹ نرخ بردار سرعت ایستگاه‌ها در چارچوب مختصات مرجع ITRF نشان داده شده است.



شکل ۷: نرخ X بردار سرعت ایستگاهها در چارچوب مختصات مرجع ITRF

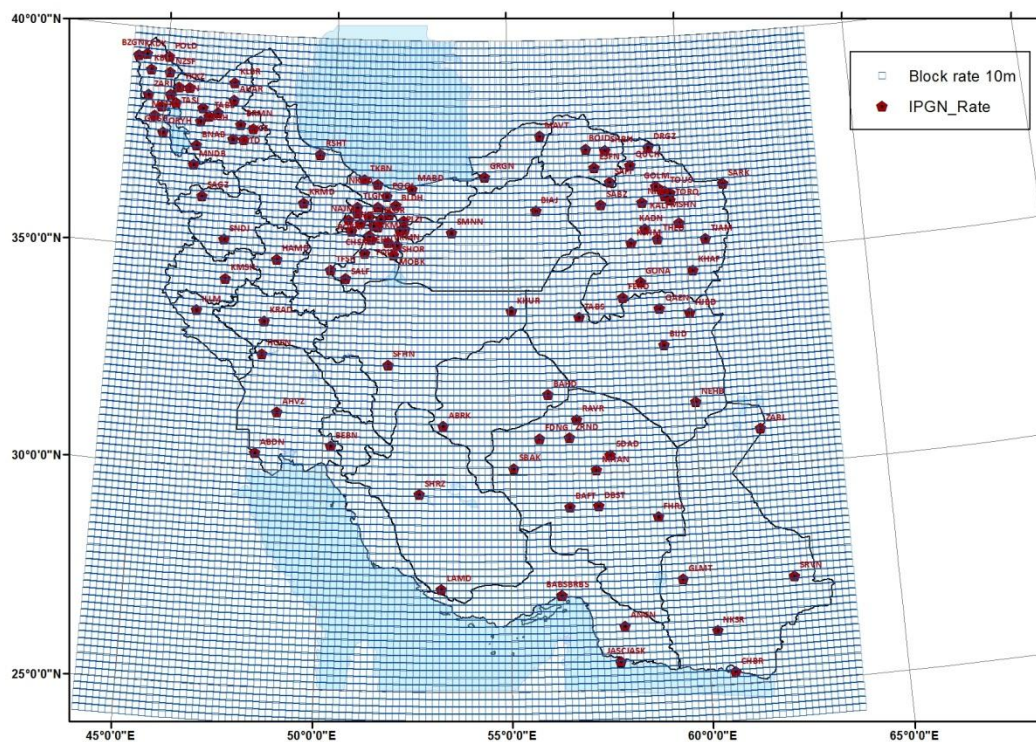


شکل ۸: نرخ Y بردار سرعت ایستگاهها در چارچوب مختصات مرجع ITRF



شکل ۹: نرخ Z بردار سرعت ایستگاهها در چارچوب مختصات مرجع ITRF

به منظور مدلسازی تغییر شکل منطقه کشور ایران به بلوک‌های $10' \times 10'$ تفکیک شده و نرخ سرعت هر بلوک در چارچوب مختصات مرجع ITRF به روش درونیابی با وزن معکوس فاصله (Inverse Distance) محاسبه شده است.



شکل ۱۰: بلوک بندی ایران به منظور مدلسازی تغییر شکل منطقه

- اپک 2017.01.01 بعنوان اپک مرجع t_0 انتخاب شده و مختصات نقاط در این اپک با خطی فرض کردن نرخ سرعت ایستگاهها محاسبه می گردد. مختصات ارائه تحت عنوان مبنای مسطحاتی جدید IRGD2017 معرفی می شود.

$$X_i^{IRGD2017} = X_i(t) + RateX_i \times (t - t_0) \quad (1)$$

- پارامترهای ترانسفورماسیون بین مبنای مسطحاتی جدید IRGD2017 و مبنای مسطحاتی قبل IRGD2010 مندرج در کارت های شناسایی تعیین می گردد. در این محاسبات از مدل ترانسفورماسیون مالدنسکی-بادکاس (Molodensky-Badekas) استفاده شده است:

$$\begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{bmatrix}_{IRGD2010} = \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k & e_z & -e_y \\ -e_z & k & e_x \\ e_y & -e_x & k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 - X_0 \\ Y_1 - Y_0 \\ Z_1 - Z_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} \quad (2)$$

که در آن $[X_1 \ Y_1 \ Y_1]^T$ مختصات در مبنای مسطحاتی جدید IRGD2017 و $[X_2 \ Y_2 \ Y_2]^T$ مختصات در مبنای مسطحاتی IRGD2010، t_x ، t_y و t_z پارامترهای انتقال، ε_x ، ε_y و ε_z پارامترهای دوران و k ضریب مقیاس است. در این محاسبات به منظور غلبه بر غیرقابل تشخیص بودن زوایای کوچک ایجاد شده نسبت به طول های بلند، مرکز دوران از مرکز ثقل زمین به مرکز شبکه ثقل شبکه $[X_0 \ Y_0 \ Y_0]^T$ منتقل می گردد. در محاسبات پیشرو مرکز ثقل شبکه در ایران برابر $(\varphi = 32^\circ, \lambda = 54^\circ, \bar{h} = 1200m)$ در نظر گرفته شده است.

با بررسی های انجام شده از ۱۱۳ ایستگاه دائمی که دارای مختصات در هر دو مبنای مختصاتی هستند سه ایستگاه رباط کریم، انگرهران و نیک شهر حذف گردید و فرآیند تعیین پارامترهای ترانسفورماسیون با ۱۱۰ ایستگاه باقیمانده انجام شد. در جدول ۲ لیست ایستگاههای مورد استفاده درج شده است.

جدول ۲- لیست ایستگاههای مورد استفاده در تعیین پارامترهای ترانسفورماسیون

No	Code	Name	No	Code	Name	No	Code	Name
1	ABDN	آبادان	38	GTCL	قله توچال	75	QUCH	قوچان
2	ABRK	ابرکوه	39	HAMD	همدان	76	RAVR	راور
3	ABSD	آبسر	40	HSGD	هشتگرد	77	RSHT	رشت
4	AHAR	اهر	41	HSTD	هشترود	78	SABZ	سبزوار
5	AHVZ	هوا شناسی اهواز	42	ILLM	ایلام	79	SAFI	صفی آباد
6	AKHT	اختر آباد	43	JASC	جاسک	80	SAGZ	سقز
7	AMND	امند	44	KADN	کدکن	81	SALF	سلف چگان
8	ARDH	اردها	45	KALT	کلات	82	SARK	سرخس
9	ARNG	ارنگه	46	KAND	کندوان	83	SBAK	شهر بابک

10	BABS	بندر عباس	47	KBLG	قرخ بلاغ	84	SDAD	شهداد
11	BAFT	بافت	48	KHJE	خواجه	85	SFHN	اصفهان
12	BAHD	بهاباد	49	KHUR	خور	86	SHOR	شور قاضی
13	BEBN	بهبهان	50	KKDY	کلیسا کندی	87	SHRN	شیروان
14	BIAJ	بیارجمند	51	KLBR	کلیبر	88	SHRZ	شیراز
15	BIJD	بیرجند	52	KRAD	خرم آباد	89	SKOH	اسکوه
16	BLDH	بلده	53	KRMD	خرمدره	90	SMNN	سمنان
17	BNAB	بناب	54	KSHM	کاشمر	91	SNDJ	سنندج
18	BOJD	بجنورد	55	LAMD	لامرد	92	SRVN	سراوان
19	BRMN	بهرمان	56	MABD	محمودآباد	93	TABS	طیس
20	BSOF	بابره سفلی	57	MAVT	مراوه تپه	94	TABZ	تبریز
21	BZGN	بازرگان	58	MHAN	ماهان	95	TASJ	تسوج
22	CHBR	چابهار	59	MMKN	ممکان	96	TEHN	تهران
23	CHSM	چشمه شور	60	MNDB	میاندوآب	97	TFSH	تفرش
24	DBST	درب بهشت	61	MOBK	مبارکیه	98	THED	تربت حیدریه
25	ESFN	اسفراین	62	MSHN	مشهد	99	TJAM	تربت جام
26	FARM	فریمان	63	NAJM	نجم آباد	100	TKBN	تنکابن
27	FDNG	فردوسیة نوق	64	NEHB	نهبندان	101	TKCE	ترکمنچای
28	FERD	فردوس	65	NFRD	نیروگاه فردوس	102	TLGN	طالقان
29	FHRJ	فهرج	66	NISH	نیشابور	103	TORQ	طرقه
30	FOIM	فرودگاه امام	67	NKAD	نمک آبرود	104	VLDN	ولدیان
31	FOPM	فرودگاه پیام	68	NZSF	نازک سفلی	105	VRMN	ورامین
32	GARM	گرمابدر	69	ORYH	ارومیه	106	YKKZ	یکان کهریز
33	GGSH	قره قشلاق	70	PLOR	پلور	107	ZABL	زابل
34	GLMT	گلمورتی	71	PLZI	پژوهشگاه زلزله	108	ZARI	زری
35	GOLM	گلمکان	72	POLD	پلدشت	109	ZRND	زرنند
36	GONA	گناباد	73	POOL	پول	110	TOUS	طوس
37	GRGN	گرگان	74	QAEN	قائن			

در این محاسبات ایستگاههایی که دارای خطای باقیمانده XYZ بیشتر از 3 cm بودند از لیست پردازش حذف گردید (ایستگاههای زرد رنگ در جدول ۲) و محاسبات مجدداً جهت تعیین پارامترهای ترانسفورماسیون تکرار شده است. در نهایت ۶۵ ایستگاه جهت تعیین پارامترهای ترانسفورماسیون انتخاب گردید که نتایج محاسبات به قرار جدول ۳ می باشد:

جدول ۳- پارامترهای ترانسفورماسیون محاسبه شده

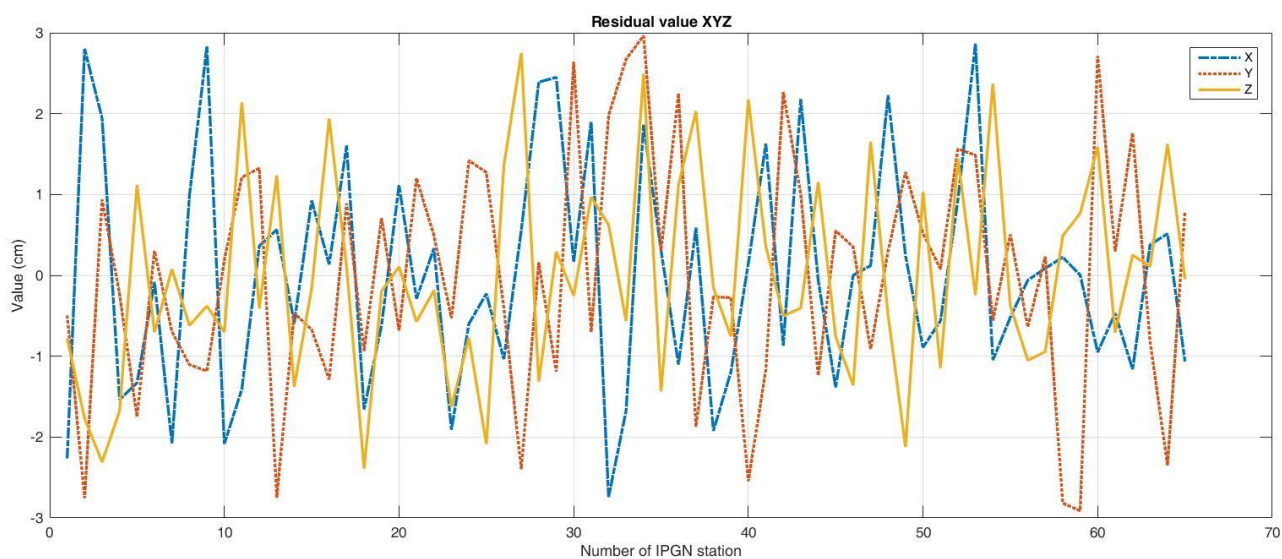
Molodensky-Badekas transformation model							
Number of stations: 65							
Parameters from IRGD2017 to IRGD2010:							
Parameter	$t_x(m)$	$t_y(m)$	$t_z(m)$	$\varepsilon_x(^{\circ})$	$\varepsilon_y(^{\circ})$	$\varepsilon_z(^{\circ})$	$k(ppm)$
Value	0.729	-0.416	-0.921	-0.005836	-0.007477	-0.002842	0.014070
STD	0.003	0.004	0.003	0.001519	0.001567	0.000862	0.003584

جدول ۴- اطلاعات آماری مقادیر بردار باقیمانده‌ها در سیستم مختصات کارتزین

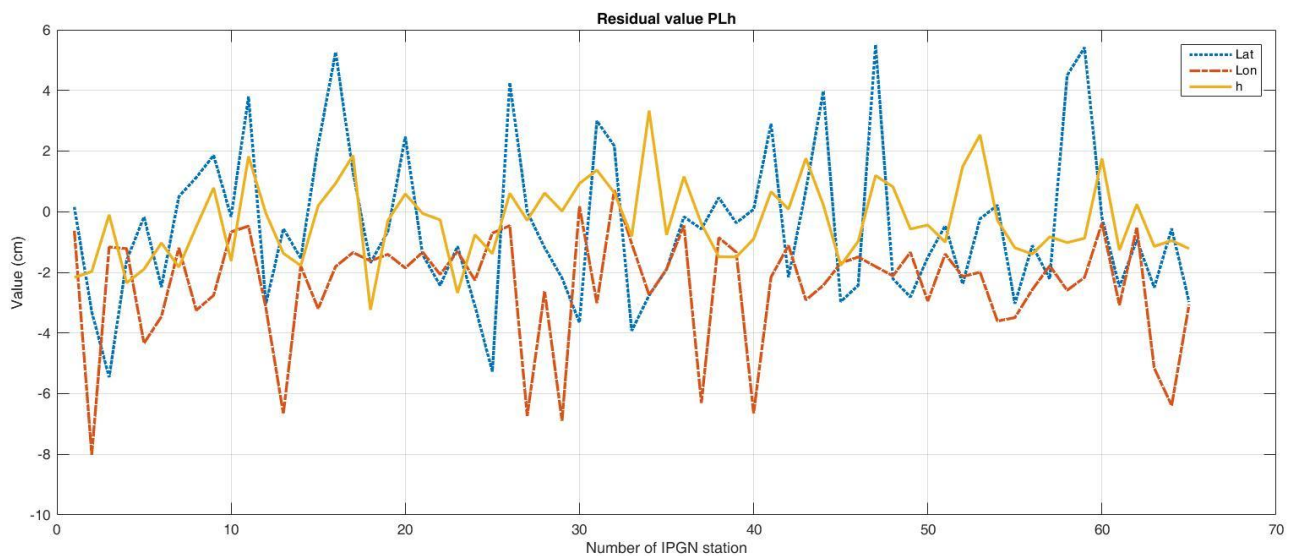
Parameter	Min(m)	Mean(m)	Max(m)	STD(m)
Res. X	-0.027	0.000	0.029	0.014
Res. Y	-0.029	0.000	0.030	0.015
Res. Z	-0.024	-0.000	0.027	0.013

جدول ۵- اطلاعات آماری مقادیر بردار باقیمانده‌ها در سیستم مختصات جغرافیایی

Parameter	Min(m)	Mean(m)	Max(m)	STD(m)
Res. Lat	-0.055	-0.005	0.055	0.026
Res. Lon	-0.080	-0.024	0.007	0.019
Res. h	-0.032	-0.003	0.033	0.013



شکل ۱۱: نمودار بردار باقیمانده‌ها در سیستم مختصات کارتزین



شکل ۱۲: نمودار بردار باقیمانده‌ها در سیستم مختصات جغرافیایی

- در نهایت پارامترهای ترانسفورماسیون به مختصات تعیین شده در مبنای مسطحاتی جدید IRGD2017 اعمال شده و مختصات بروز شده در مبنای مسطحاتی قدیم تحت عنوان IRGD2010_rev2017 محاسبه می‌گردد. در جدول ۶ اختلاف مختصات محاسبه شده بین مبنای مسطحاتی قدیم IRGD2010 و مبنای مسطحاتی جدید IRGD2017 و مبنای مسطحاتی قدیم بروز شده IRGD2010_rev2017 ارائه شده است. در این جدول ایستگاههای به رنگ قرمز مربوط به ایستگاههای است که در تعیین پارامتر ترانسفورماسیون دارای خطای بیش از 3 cm بوده است.

جدول ۶- اختلاف مختصات محاسبه شده بین مبنای مسطحاتی IRGD2010_rev2017 و مبنای مسطحاتی IRGD2010 و IRGD2017

rev2017-IRGD2017			rev2017-IRGD2010			Name
Diff_Lat	Diff_Lon	Diff_h	Diff_Lat	Diff_Lon	Diff_h	
-0.916	-0.816	-0.321	0.048	0.029	0.017	آبادان
-0.851	-0.825	-0.388	0.030	0.023	-0.046	ابركوه
-0.824	-0.848	-0.442	-0.003	-0.015	0.019	آبسر
-0.864	-0.855	-0.430	0.014	0.039	0.012	اهر
-0.903	-0.822	-0.342	0.031	0.009	-0.005	هواشناسی اهواز
-0.844	-0.846	-0.425	0.008	-0.010	0.019	اختر آباد
-0.878	-0.851	-0.418	-0.021	0.002	0.010	امند
-0.862	-0.853	-0.427	0.007	-0.002	0.003	اردها
-0.835	-0.848	-0.435	-0.011	-0.012	0.015	ارنگه
-0.847	-0.805	-0.365	0.095	0.084	-0.009	بندر عباس
-0.827	-0.815	-0.399	0.041	0.047	0.012	بافت
-0.810	-0.829	-0.431	0.077	0.109	0.000	بهباد
-0.891	-0.820	-0.347	0.046	0.009	0.004	بهبهان

-0.772	-0.851	-0.488	0.003	0.014	0.007	بیارجمند
-0.761	-0.832	-0.481	0.006	0.030	-0.002	بیرجند
-0.822	-0.850	-0.447	-0.001	-0.017	0.013	بلده
-0.887	-0.847	-0.404	-0.026	-0.015	-0.094	بناب
-0.738	-0.858	-0.522	-0.015	-0.019	-0.015	بجنورد
-0.866	-0.852	-0.425	0.011	-0.006	-0.007	بهرمان
-0.879	-0.852	-0.420	-0.019	0.023	0.004	بابره سفلی
-0.891	-0.852	-0.417	-0.055	0.018	-0.014	بازرگان
-0.816	-0.791	-0.387	-0.005	0.084	0.001	چابهار
-0.843	-0.844	-0.422	0.008	-0.002	0.014	چشمه شور
-0.818	-0.815	-0.407	0.017	0.064	-0.007	درب بهشت
-0.740	-0.855	-0.519	0.002	0.011	0.002	اسفراین
-0.724	-0.846	-0.526	-0.021	0.007	-0.002	فریمان
-0.822	-0.824	-0.413	-0.041	-0.027	-0.451	فردوسیه نوق
-0.763	-0.839	-0.485	0.009	0.009	-0.014	فردوس
-0.803	-0.812	-0.421	0.007	0.047	-0.467	فهرج
-0.838	-0.846	-0.429	0.013	-0.005	-0.127	فرودگاه امام
-0.839	-0.847	-0.430	0.009	-0.007	0.029	فرودگاه پیام
-0.827	-0.849	-0.442	0.003	-0.009	0.000	گرمابدر
-0.894	-0.848	-0.405	0.000	0.015	-0.654	قره قشلاقی
-0.810	-0.804	-0.406	-0.009	0.076	0.018	گلمورتی
-0.723	-0.851	-0.531	-0.005	0.020	-0.101	گلمکان
-0.753	-0.841	-0.495	0.000	0.012	-0.001	گناباد
-0.783	-0.855	-0.483	0.005	-0.033	-0.400	گرگان
-0.830	-0.848	-0.438	0.010	-0.010	-0.003	قله توچال
-0.876	-0.839	-0.393	0.005	0.000	-0.004	همدان
-0.838	-0.848	-0.433	0.005	-0.011	0.023	هشتگرد
-0.871	-0.850	-0.418	0.011	-0.014	0.000	هشترود
-0.914	-0.828	-0.350	0.023	-0.011	0.005	ایلام
-0.844	-0.796	-0.359	0.030	0.072	0.018	جاسک
-0.738	-0.847	-0.514	-0.015	-0.007	-0.001	کدکن
-0.719	-0.850	-0.533	-0.025	0.002	-0.010	کلات
-0.829	-0.850	-0.441	0.018	-0.004	-0.046	کندوان
-0.891	-0.851	-0.413	-0.029	0.021	-0.007	قرخ بلاغ
-0.873	-0.852	-0.421	-0.048	-0.006	-0.018	خواجه
-0.804	-0.839	-0.448	0.020	0.019	-0.005	خور
-0.894	-0.851	-0.414	-0.068	0.003	-0.009	کلیسا کندی
-0.860	-0.857	-0.436	0.003	0.026	-0.008	کلیبر
-0.892	-0.831	-0.368	0.015	-0.016	-0.016	خرم آباد
-0.856	-0.847	-0.419	-0.013	-0.018	-0.295	خرمدره

-0.746	-0.845	-0.505	-0.005	0.019	-0.009	کاشمر
-0.881	-0.806	-0.331	0.059	0.068	-0.031	لامرد
-0.813	-0.853	-0.458	-0.018	-0.028	-0.059	محمودآباد
-0.752	-0.860	-0.513	-0.004	-0.034	-0.005	مراوه تپه
-0.811	-0.819	-0.419	0.052	0.045	0.003	ماهان
-0.898	-0.846	-0.400	0.010	-0.031	-0.002	ممکان
-0.891	-0.844	-0.397	0.001	-0.008	-0.043	میاندوآب
-0.834	-0.845	-0.430	0.015	0.000	0.005	مبارکیه
-0.722	-0.850	-0.530	-0.031	0.007	-0.006	مشهد
-0.843	-0.847	-0.428	0.026	0.018	-0.202	نجم آباد
-0.765	-0.824	-0.471	0.018	0.055	-0.011	نهندان
-0.722	-0.850	-0.531	0.007	0.026	-0.382	نیروگاه فردوس
-0.732	-0.850	-0.522	0.005	0.006	-0.635	نیشابور
-0.825	-0.853	-0.449	-0.002	-0.023	-0.015	نمک آبرود
-0.885	-0.852	-0.418	-0.021	0.017	-0.005	نازک سفلی
-0.897	-0.845	-0.397	0.019	-0.016	-0.360	ارومیه
-0.822	-0.849	-0.445	-0.007	-0.014	0.012	پلور
-0.826	-0.848	-0.441	0.001	-0.007	0.012	پژوهشگاه زلزله
-0.882	-0.854	-0.423	-0.027	0.019	-0.001	پلدشت
-0.824	-0.851	-0.447	-0.001	-0.025	0.034	پول
-0.753	-0.837	-0.492	-0.003	0.020	-0.001	قائن
-0.726	-0.854	-0.530	-0.027	0.000	-0.018	قوچان
-0.806	-0.826	-0.431	0.029	0.036	-0.010	راور
-0.841	-0.854	-0.440	0.012	-0.022	-0.006	رشت
-0.747	-0.851	-0.509	0.016	0.013	-0.014	سبزوار
-0.738	-0.853	-0.519	-0.015	0.006	0.002	صفی آباد
-0.893	-0.842	-0.389	0.003	-0.014	0.009	سقز
-0.855	-0.840	-0.408	0.013	-0.003	0.005	سلف چگان
-0.698	-0.848	-0.550	-0.017	0.005	-0.003	سرخس
-0.836	-0.821	-0.395	0.030	0.031	-0.034	شهر بابک
-0.804	-0.821	-0.428	0.008	0.047	-0.004	شهداد
-0.857	-0.831	-0.392	0.014	0.015	-0.011	اصفهان
-0.830	-0.846	-0.435	0.025	-0.006	0.003	شور قاضی
-0.732	-0.857	-0.527	-0.003	-0.015	-0.077	شیروان
-0.871	-0.817	-0.358	0.022	0.031	-0.032	شیراز
-0.881	-0.850	-0.413	-0.009	-0.010	-0.004	اسکوه
-0.808	-0.848	-0.456	0.008	-0.005	0.009	سمنان
-0.892	-0.838	-0.382	-0.001	-0.004	-0.023	سنندج
-0.779	-0.799	-0.438	-0.070	0.103	0.053	سراوان
-0.782	-0.838	-0.466	0.018	0.015	-0.023	طبس

-0.877	-0.851	-0.417	-0.025	-0.004	-0.005	تبریز
-0.887	-0.850	-0.411	0.004	-0.007	0.002	تسوج
-0.833	-0.847	-0.435	0.006	0.003	0.011	تهران
-0.859	-0.841	-0.406	0.009	-0.001	0.004	تفرش
-0.736	-0.845	-0.514	-0.017	0.016	0.016	ترت حیدریه
-0.719	-0.843	-0.528	-0.020	0.015	0.016	ترت جام
-0.829	-0.853	-0.446	-0.003	-0.025	-0.022	تنکابن
-0.867	-0.851	-0.421	0.005	-0.005	0.005	ترکمنچای
-0.837	-0.849	-0.435	0.002	-0.021	-0.006	طالقان
-0.721	-0.849	-0.530	-0.034	0.014	-0.011	طرقبه
-0.888	-0.850	-0.412	-0.002	0.008	0.002	ولدیان
-0.833	-0.846	-0.433	0.022	0.017	-0.239	ورامین
-0.884	-0.852	-0.417	-0.020	0.020	0.000	یکان کهریز
-0.752	-0.818	-0.480	-0.013	0.045	0.008	زابل
-0.897	-0.848	-0.404	-0.001	-0.013	0.002	زری
-0.813	-0.824	-0.422	0.041	0.022	0.000	زرند
-0.721	-0.850	-0.532	-0.080	0.024	-1.471	طوس
-0.916	-0.860	-0.550	-0.080	-0.034	-1.471	Min
-0.823	-0.841	-0.439	0.002	0.010	-0.056	Mean
-0.698	-0.791	-0.321	0.095	0.109	0.053	Max
0.058	0.015	0.051	0.026	0.028	0.186	STD

- در نهایت مختصات نقاط در مبنای مسطحاتی جدید IRGD2017 و مبنای مسطحاتی قدیم بروز شده IRGD2010_rev2017 قابل درج بر روی کارت شناسایی مطابق شکل ۱۳ و ارائه به کاربر می‌باشد.
- همچنین به منظور رابرای این تبدیلات یک بسته نرم افزاری مطابق شکل ۱۴ و ۱۵ تهیه شده است.



N. C. C.

شناسنامه ایستگاه دائمی ژئودینامیک و GNSS

Description Form of Permanent Geodynamic and GNSS Station

مشخصات:																																	
نام ایستگاه: تهران			کد استاندارد: TEHN			استان: تهران																											
Station Name: Tehran			Standard code: TEHN			Province: Tehran																											
شهرستان: تهران			تاریخ راه اندازی: ۱۳۸۳/۱۰/۱۲			سایر اطلاعات: داخل سازمان نقشه برداری کشور																											
Town: Tehran			Date of Installation: 2005/01/01			Further Information: In NCC																											
مختصات:																																	
توضیحات	بیضوی مرجع	تاریخ محاسبه	ارتفاع بیضوی	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	مبنای مختصاتی ملی																											
Descriptions	Reference Ellipsoid	Date of Calculation	Ellipsoidal Height (m)	Longitude	Latitude	Iranian Geodetic Datum																											
Transformed from ITRF2005	WGS84 (G730)	2010.01.01	1194.1284	27.1285	35.41	IRGD2010																											
ITRF2014	WGS84 (G1762)	2017.01.01	1194.5738	27.4685	35.41	IRGD2017																											
Transformed from IRGD2017	WGS84 (G730)	2017.06.12	1194.1396	27.1301	35.41	IRGD2010_rev2017																											
تجهیزات مستقر در ایستگاه																																	
گیرنده	آنتن	ارتفاع آنتن	Phase center offset(vertical)		مدت استقرار																												
Receiver	Antenna	Height of antenna	L2	L1	Duration																												
ASHTECH UZ-12	ASH701945B_M	0.000	0.08990	0.11950	2005(001) - 2016(144)																												
TRIMBLE NETR9	TRM57971.00	0.000	0.06677	0.05779	2016(145) - up to now																												
داده‌ها بصورت ۲۴ ساعته و با نرخ ۳۰ ثانیه و با استفاده از پارامترهای مداری دقیق (IGS) پردازش شده است. پارامترهای ترانسفورماسیون: Molodensky-Badekas transformation parameters from IRGD2017 to IRGD2010 with center point ($\varphi = 32^\circ, \lambda = 54^\circ, h = 1200m$) <table border="1"> <thead> <tr> <th>Parameter</th> <th>Value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$t_x(m)$</td> <td>0.729</td> </tr> <tr> <td>$t_y(m)$</td> <td>-0.415</td> </tr> <tr> <td>$t_z(m)$</td> <td>-0.921</td> </tr> <tr> <td>$\epsilon_x(^{\circ})$</td> <td>-0.005875</td> </tr> <tr> <td>$\epsilon_y(^{\circ})$</td> <td>-0.007422</td> </tr> <tr> <td>$\epsilon_z(^{\circ})$</td> <td>-0.002849</td> </tr> <tr> <td>$k(ppm)$</td> <td>0.014194</td> </tr> </tbody> </table> نرخ سرعت ایستگاه: <table border="1"> <thead> <tr> <th>Cal. Epoch</th> <th>X_rate</th> <th>Y_rate</th> <th>Z_rate</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2014.915</td> <td>-0.02801</td> <td>0.00824</td> <td>0.01591</td> </tr> </tbody> </table>										Parameter	Value	$t_x(m)$	0.729	$t_y(m)$	-0.415	$t_z(m)$	-0.921	$\epsilon_x(^{\circ})$	-0.005875	$\epsilon_y(^{\circ})$	-0.007422	$\epsilon_z(^{\circ})$	-0.002849	$k(ppm)$	0.014194	Cal. Epoch	X_rate	Y_rate	Z_rate	2014.915	-0.02801	0.00824	0.01591
Parameter	Value																																
$t_x(m)$	0.729																																
$t_y(m)$	-0.415																																
$t_z(m)$	-0.921																																
$\epsilon_x(^{\circ})$	-0.005875																																
$\epsilon_y(^{\circ})$	-0.007422																																
$\epsilon_z(^{\circ})$	-0.002849																																
$k(ppm)$	0.014194																																
Cal. Epoch	X_rate	Y_rate	Z_rate																														
2014.915	-0.02801	0.00824	0.01591																														

شکل ۱۳: نمونه شناسنامه پیشنهادی برای ایستگاههای دائمی ژئودینامیک

شکل ۱۴: بسته نرم‌افزاری تهیه شده جهت انجام محاسبات

شکل ۱۵: معرفی پارامترهای ترانسفورماسیون در بسته نرم‌افزاری تهیه شده

منابع:

- ۱- گزارش پردازش شبکه ژئودزی ماهواره‌ای ایران، عمومی، ۱۳۷۰
- ۲- Transformation from ITRF2000 to WGS84 (Case Study: Iranian Permanent GPS Network, IPGN), A. Aghamohammadi, H.R. Nankali, Y. Djamour,
- ۳- محاسبات شبکه ژئودینامیک دائم کشور، سازمان نقشه‌برداری کشور، اداره‌کل نقشه‌برداری زمینی، اداره ژئودزی و ژئودینامیک، مهر ماه ۱۳۸۹
- ۴- پردازش داده‌های شبکه ایستگاه‌های دائمی ژئودینامیک و GNSS ایران، سازمان نقشه‌برداری کشور، اداره‌کل ژئودزی و نقشه‌برداری زمینی، اداره ژئودزی و ژئودینامیک، اردیبهشت ماه ۱۳۹۶