

بسم الله الرحمن الرحيم

مدلسازی منطقه‌ای پارامترهای یونسفری حاصل از تلفیق تکنیک‌های ژئودتیک فضایی

سعید زارع

مقدمه



❖ ضرورت و انگیزه های پژوهش

❖ اهداف و سوالات

❖ مروری بر مطالعات صورت گرفته

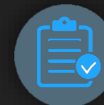
مبانی نظری پژوهش



پیاده سازی



ارزیابی و نتیجه گیری



پیشنهادهای و فعالیت های آتی



طیف گسترده تکنیک‌های ژئودتیک فضایی در کاربردهای تجاری و علمی



یونوسفر، بخش فوقانی جو زمین محیطی پاشنده برای امواج الکترومغناطیس



کاربرد مدل‌های یونوسفری در زمینه ناوبری، تعیین موقعیت، علوم رادیویی و مطالعات آب و هوا



مدلسازی پارامترهای یونوسفری در ابعاد مختلف





افزایش مشاهدات با استفاده از روش‌های مختلف ژئودتیک فضایی



افزایش دقت و برطرف نمودن نقایص موجود در هر روش همچون:

۱- توزیع ناهمگن مشاهدات و ایستگاه‌های مشاهداتی ۲- وجود گپ داده‌ای



کاربرد توابع پایه با ویژگی محلی‌سازی در مقابل توابع پایه با محمل جهانی



در نظر گرفتن تغییرات ارتفاعی یونوسفر با مدل‌سازی سه بعدی



نمایش مدل سه بعدی با استفاده از:

- مدلسازی منطقه‌ای چگالی الکترونی یونوسفر
- ترکیب تکنیک‌های مشاهداتی مختلف ژئودتیک فضایی

امکان ترکیب چه نوع داده‌ای برای مدلسازی یونوسفری وجود دارد؟



آیا امکان رسیدن به دقت‌های بالاتر پارامترهای یونوسفری وجود دارد؟

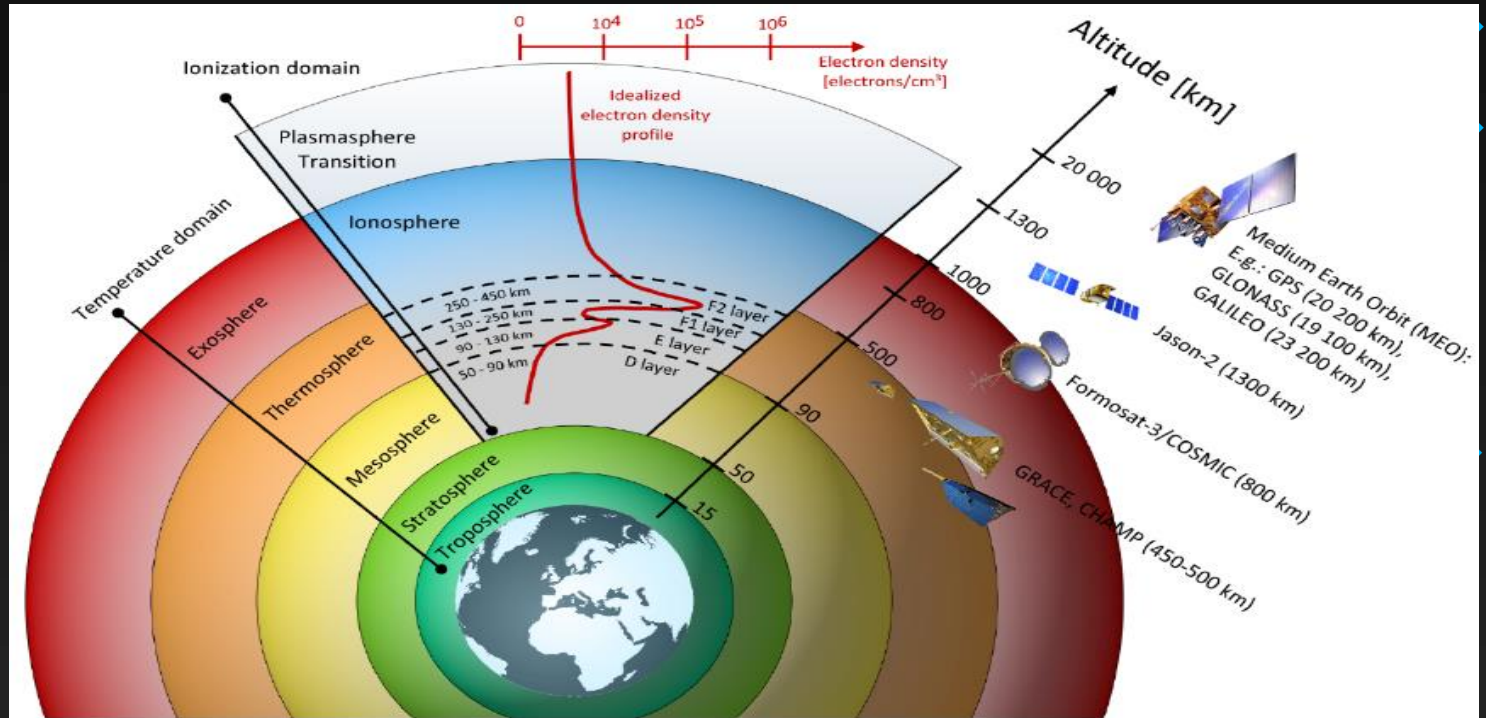


نحوه ترکیب تکنیک‌های مختلف و وزندهی به چه صورت است؟



محققین	سال	نتایج
Todorova و همکاران	۲۰۰۷	• تلفیق داده‌های GNSS و RA • مدلسازی جهانی با استفاده از توابع پایه هارمونیک کروی • دستاورد نهایی: مدل‌های دوبعدی یونوسفری جهانی VTEC
علیزاده و همکاران	۲۰۱۱	• تلفیق داده‌های GNSS و RO • مدلسازی جهانی با استفاده از توابع پایه هارمونیک کروی • دستاورد نهایی: مدل‌های دوبعدی یونوسفری جهانی VTEC
Dettmering و همکاران	۲۰۱۱ ۲۰۱۴	• تلفیق داده‌های GNSS ، VLBI و DORIS • مدلسازی منطقه‌ای با استفاده از توابع پایه بی-اسپیلاین • مدلسازی جهانی با استفاده از توابع پایه هارمونیک کروی • دستاورد نهایی: مدل‌های دوبعدی یونوسفری جهانی و منطقه‌ای VTEC
Schmidt	۲۰۰۶	• استفاده از تئوری موجک و توابع بی-اسپیلاین در مدلسازی محلی یونوسفر • مدلسازی منطقه‌ای با در نظر گرفتن مدل زمینه IRI

محققین	سال	نتایج
علیزاده	۲۰۱۳	• مدلسازی چندبعدی چگالی الکترونی یونوسفر • مدلسازی در ابعاد جهانی با استفاده از توابع پایه هارمونیک کروی • توصیف تغییرات ارتفاعی با استفاده از تابع فیزیکی چپمن • تلفیق تکنیک‌ها در سطح معادلات نرمال با وزندهی نسبی تجربی • دستاورد نهایی: مدل مکانی-زمانی چگالی الکترونی
عامریان	۱۳۹۱	• مدلسازی سه‌بعدی چگالی الکترونی یونوسفر • مدلسازی در ابعاد منطقه‌ای با استفاده از توابع پایه بی-اسپیلاین • توصیف تغییرات ارتفاعی با استفاده از توابع متعامد تجربی • دستاورد نهایی: مدل چندلایه مکانی چگالی الکترونی
Limberger	۲۰۱۵	• مدلسازی چندبعدی چگالی الکترونی یونوسفر • مدلسازی در ابعاد منطقه‌ای با استفاده از توابع پایه بی-اسپیلاین • توصیف تغییرات ارتفاعی با استفاده از تابع فیزیکی چپمن • تلفیق تکنیک‌ها در سطح معادلات نرمال با وزندهی به روش VCE • دستاورد نهایی: مدل مکانی-زمانی چگالی الکترونی



❖ لایه بندی عمودی یونوسفر و بالاتر:

D

E

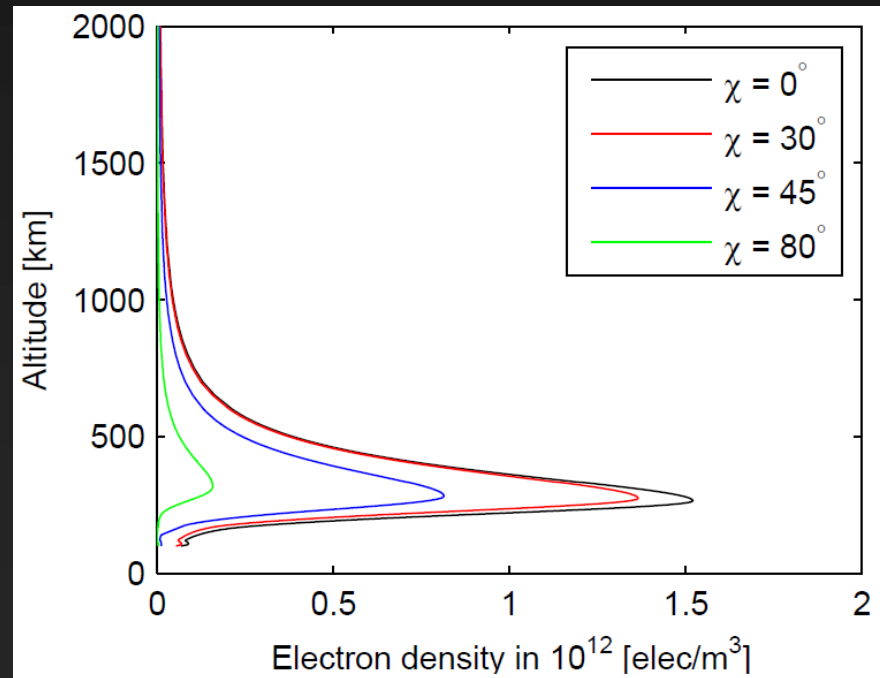
F1

F2

Plasmasphere
Transition

❖ رابطه تقریب تغییرات الکترون‌های آزاد در امتداد عمودی با توجه به موقعیت خورشید (چپمن ۱۹۳۱)

$$N_e(h, \chi) = N_{e_{\max}} \exp \left(\frac{1}{\frac{1}{2} \left(1 - \frac{h - h_{\max}}{H} - \frac{1}{\cos \chi} \exp \left(-\frac{h - h_{\max}}{H} \right) \right)} \right)$$



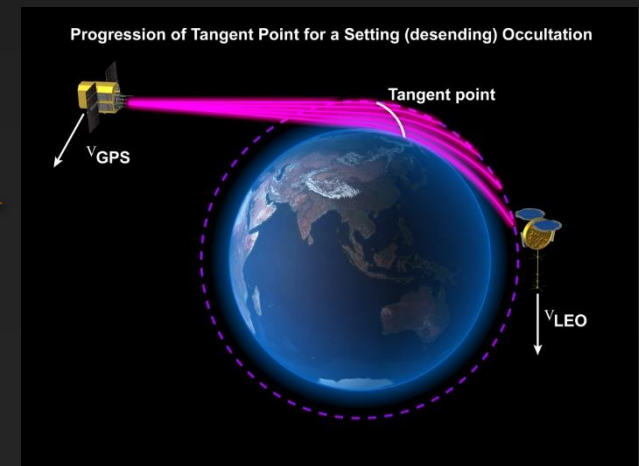
❖ تکنیک‌های مشاهداتی، ابزارهایی برای ایجاد پایگاه داده از مشاهدات یونوسفر

GNSS-VLBI-RA-RO-DORIS

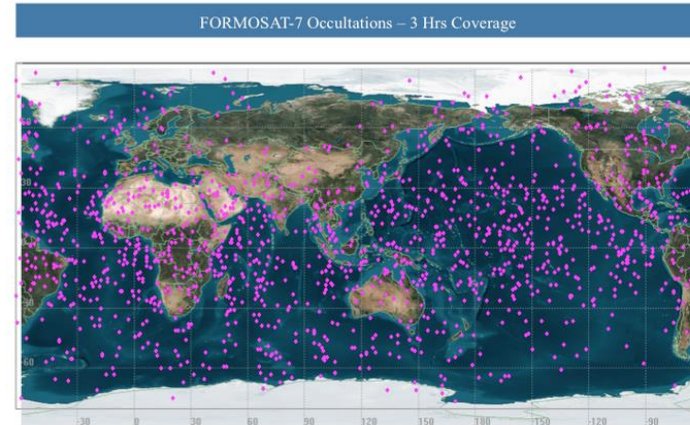
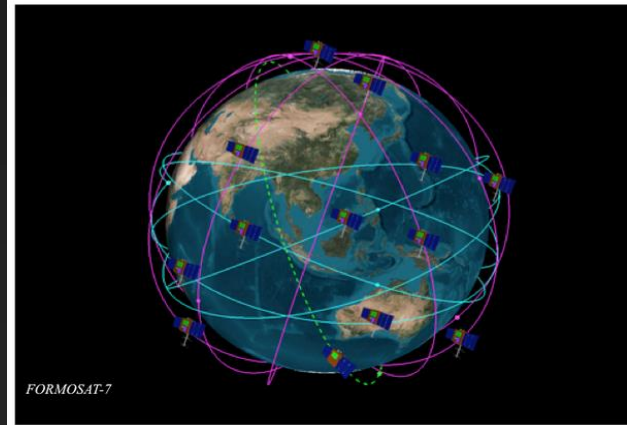
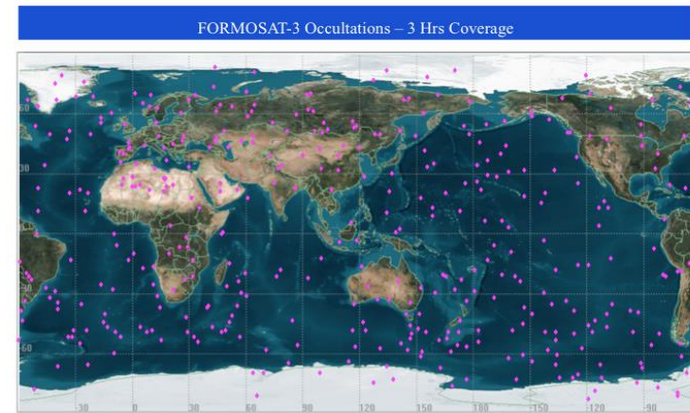
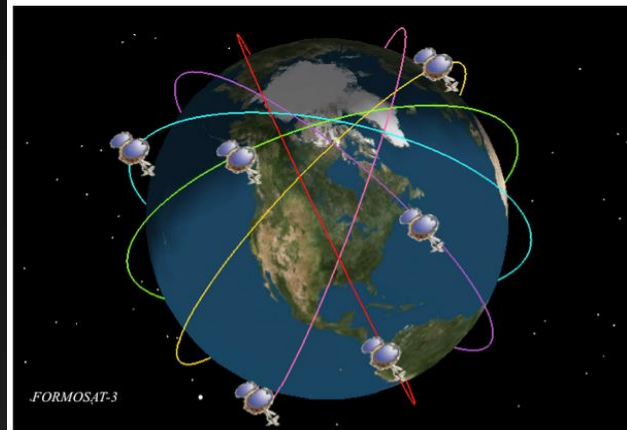


GPS: سیستم تعیین موقعیت جهانی
 فرکانس اسمی سیگنال‌ها: $f_0 = 10.23 \text{ MHz}$
 مشاهدات: اختلاف فاز حامل و شبه فواصل
 کد در چند باند فرکانسی

RO: اکولتیشن رادیویی
 مشاهدات بر اساس ردیابی سیگنال GNSS
 قرارگیری ماهواره LEO در زاویه ارتفاعی زیر صفر



❖ مأموریت Formosat-3/COSMIC و مأموریت آتی Formosat-7/COSMIC2





مدل‌های ریاضی

شبکه‌ای

غیر شبکه‌ای

مدل‌های تجربی

Klobuchar

IRI

Nequick

مدل‌های فیزیکی

GAIM

PIM

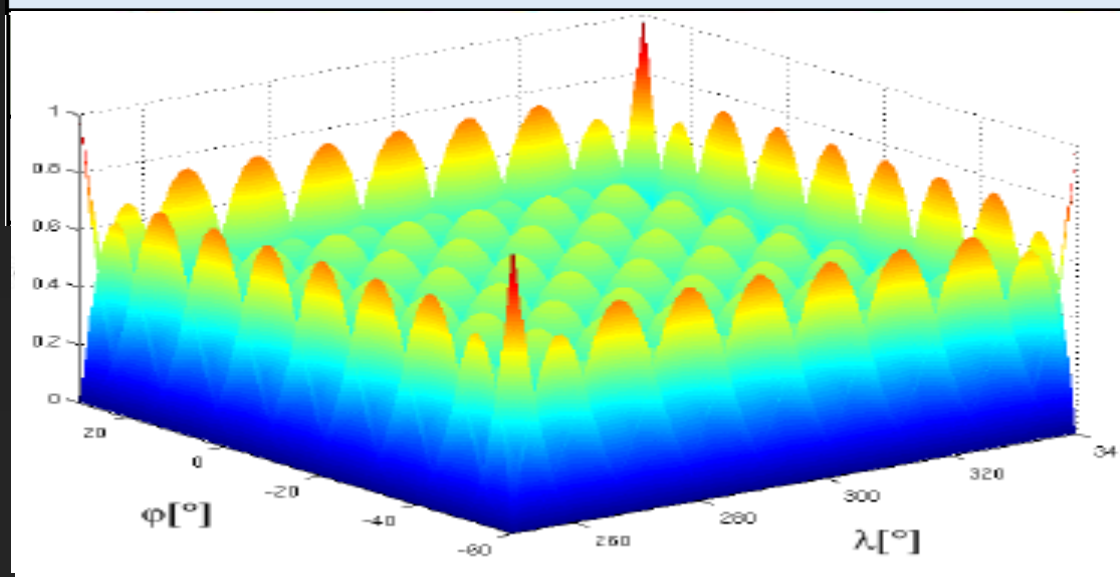
❖ روش‌های مدل‌سازی ریاضی یونوسفر

مدلسازی شبکه‌ای مبتنی بر سلول و المان حجمی

مدلسازی به روش هارمونیک‌های کروی

مدلسازی به روش بی-اسپیلاین‌ها

$$\sum_{k=1}^{K_{\phi}} N_{k,m}^{J_{\phi}}(x) = 1 \quad \text{where } x \in [0,1]$$





❖ مسأله کمترین مربعات:

- تشکیل معادلات مشاهدات
- تشکیل ماتریس طراحی
- تعریف مدل تصادفی مشاهدات

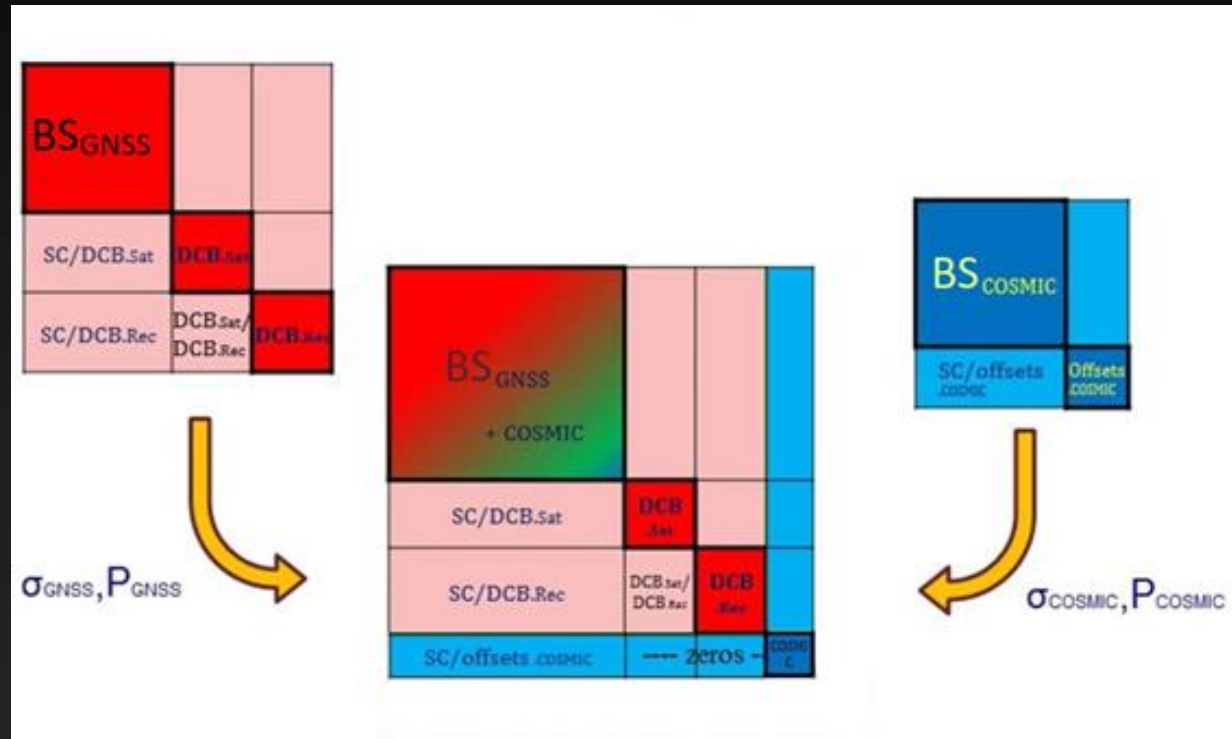
$$\underbrace{(A^T P A)}_N \delta x = (A^T P \delta l)$$

❖ اختصاص تابع پایه مناسب وابسته به:

- پارامتر انتخابی
- ابعاد مورد نیاز
- سطح پوشش

$$y_i + e_i = VTEC(\varphi, \lambda, t_i)_R = \sum_{k_1=1}^{K_1} \sum_{k_2=1}^{K_2} d_{k_1, k_2}^{J_1, J_2}(t_i) \phi_{k_1}^{J_1}(\varphi) \phi_{k_2}^{J_2}(\lambda)$$

❖ ترکیب در سطح معادلات نرمال:



❖ روش وزندهی با رویکرد:

تجربی

ریاضی

فیزیکی



مشاهدات

محتوای الکترونی کل مایل STEC

$$f_i(x) = \int_{x_r}^{x_s} N_e(NmF2, hmF2, HF2) ds$$

$$l_i + e_i - \int_{L_i}^{x_s} N_{e,i}(\kappa(x_0)) ds = \int_{x_r}^{x_s} \sum_{h=1}^H \left(\left[\frac{\partial N_e}{\partial \kappa_h} \right]_{\kappa(x_0)} \left[\frac{\partial \kappa_h}{\partial d_{\kappa_h}} \right]_{x_0} \right)^T \Delta d_{\kappa_h} ds$$

چگالی الکترونی Ne

$$f_i(x) = N_e(NmF2, hmF2, HF2)$$

$$l_i + e_i - N_{e,i}(\kappa(x_0)) = \sum_{h=1}^H \left(\left[\frac{\partial N_e}{\partial \kappa_h} \right]_{\kappa(x_0)} \left[\frac{\partial \kappa_h}{\partial d_{\kappa_h}} \right]_{x_0} \right)^T \Delta d_{\kappa_h}$$

Ray-tracing technique



❖ رویکرد برخورد با گپ داده‌ها:

- تغییر سطح تابع پایه و در نتیجه رزولوشن
- ثابت نگه داشتن رزولوشن و استفاده از اطلاعات زمینه

❖ تخمین پارامترهای مجهول:

$$N_e = NmF2 \exp \left(\frac{1}{2} \left(1 - \frac{h - hmF2}{HF2} - \exp \left(- \frac{h - hmF2}{HF2} \right) \right) \right)$$

NmF2

HmF2

(HmF2-50)/3





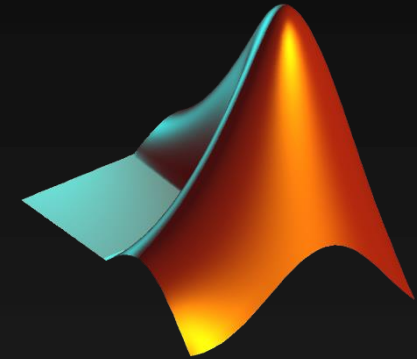
NCC

IRI-2012

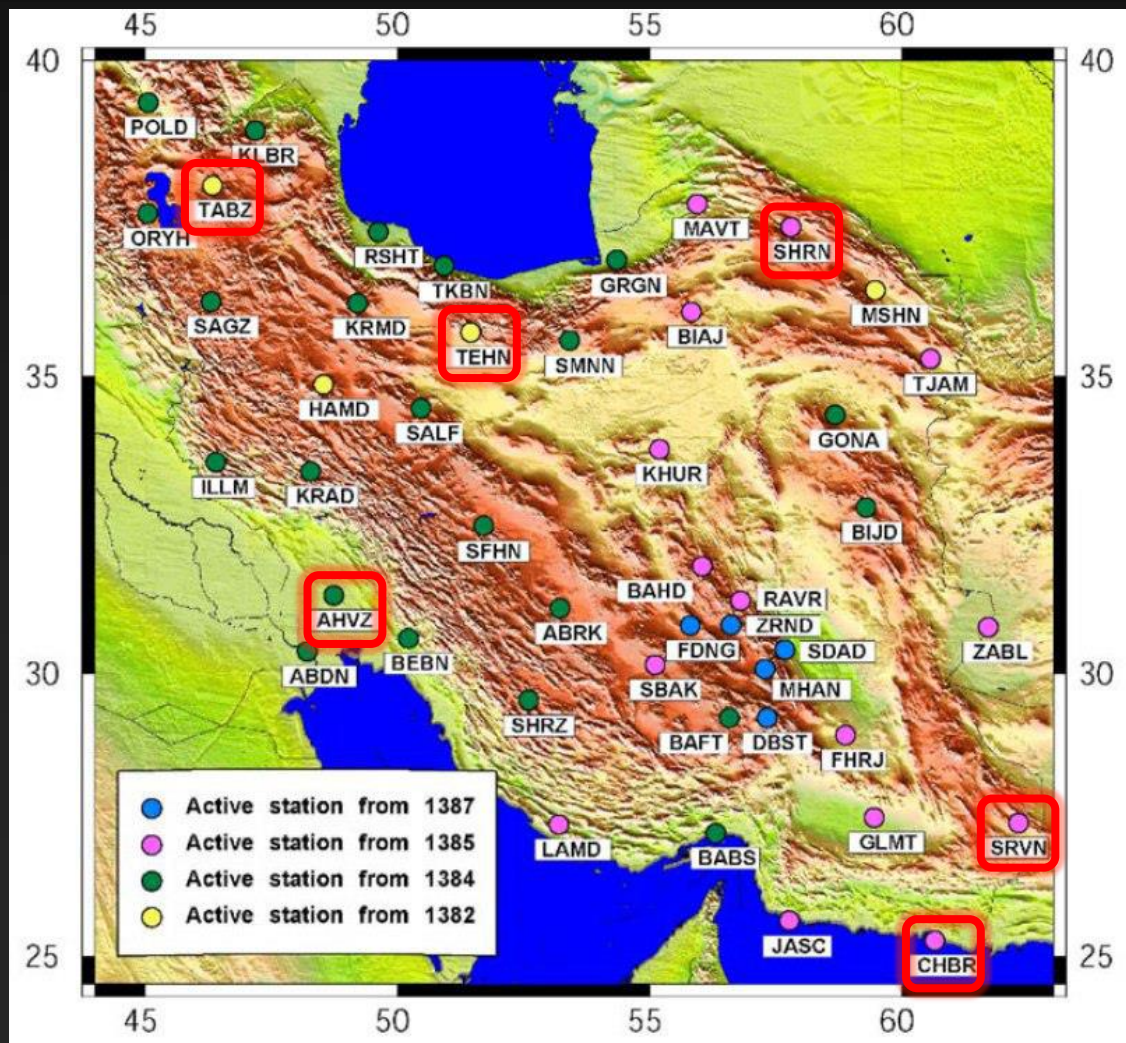
CODE

IGS

CDAAC

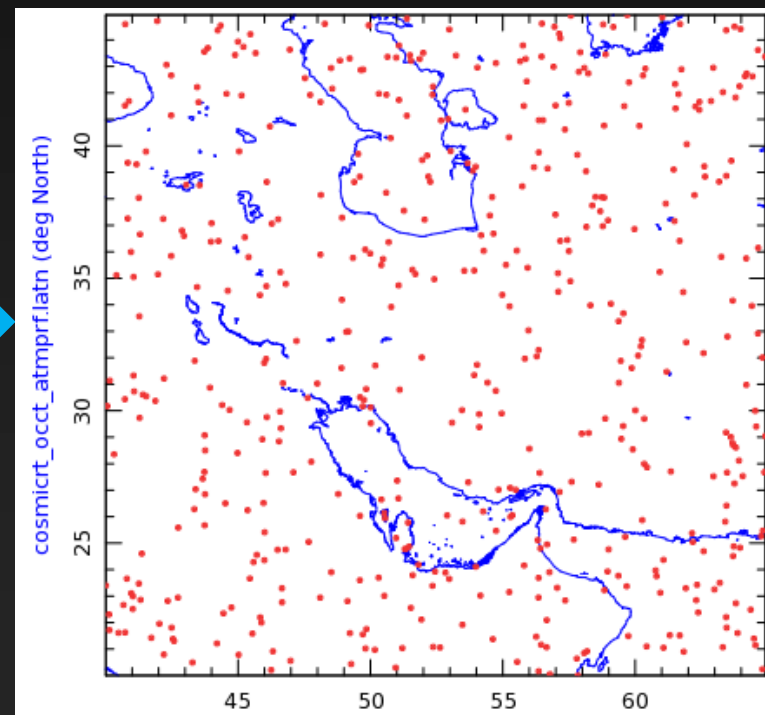
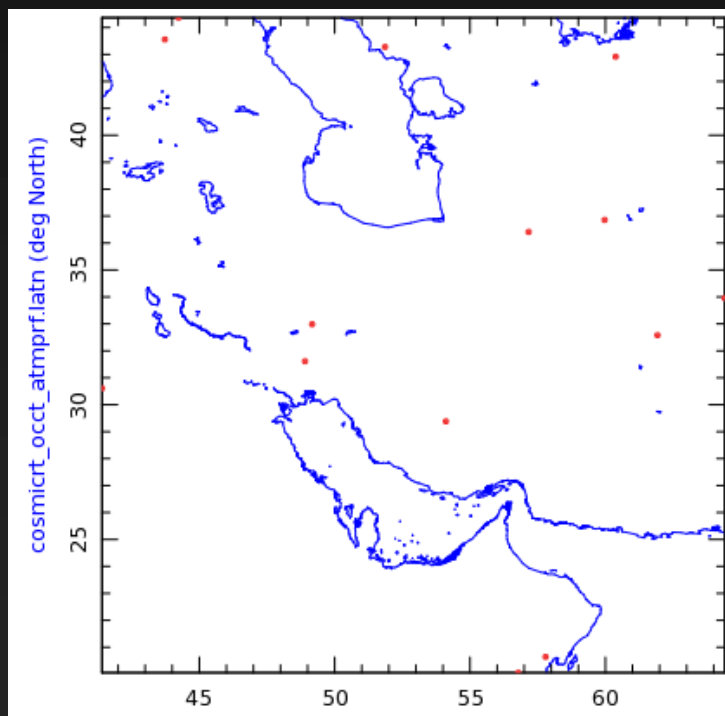


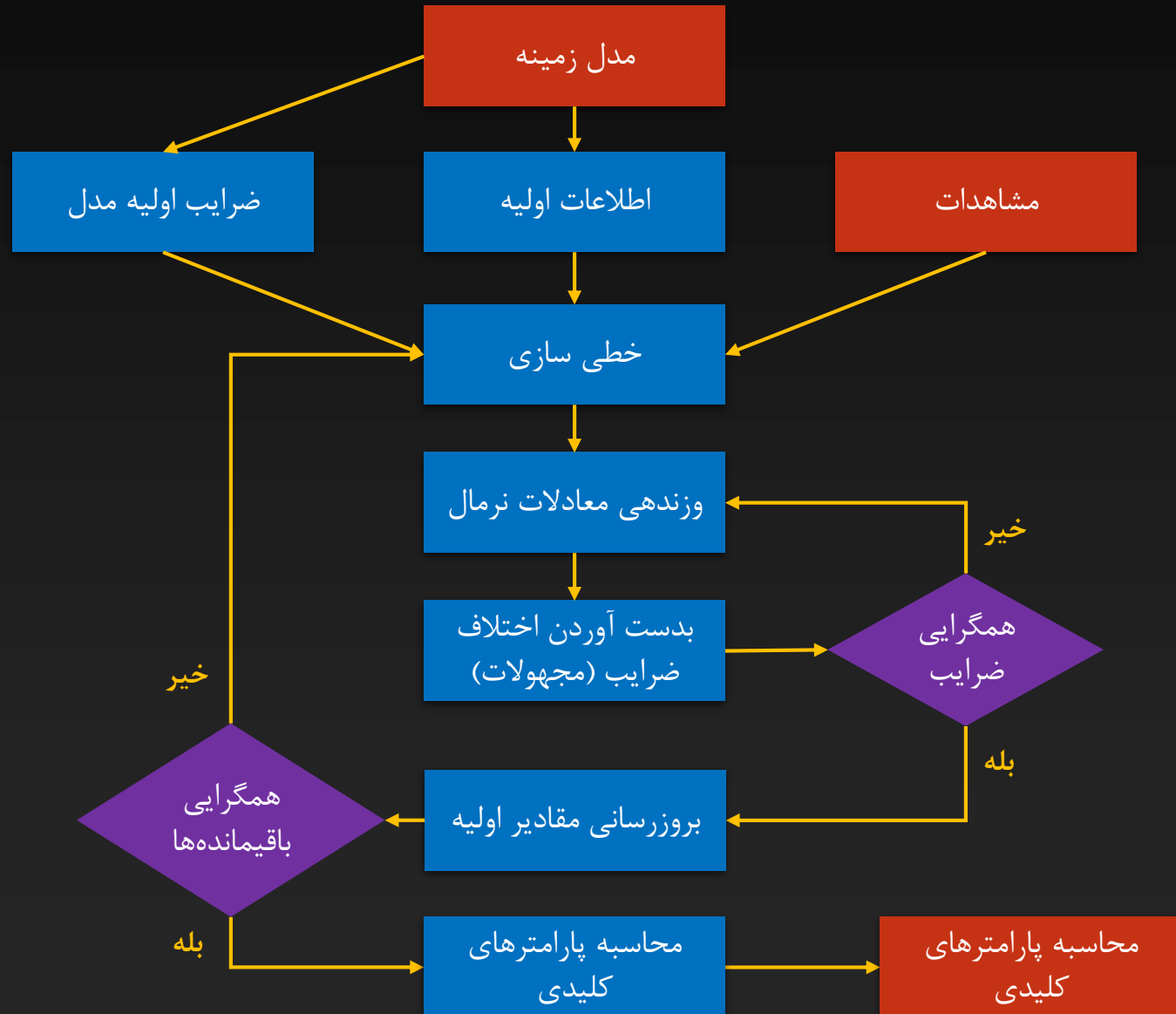
❖ منطقه مورد مطالعه: ناحیه ایران



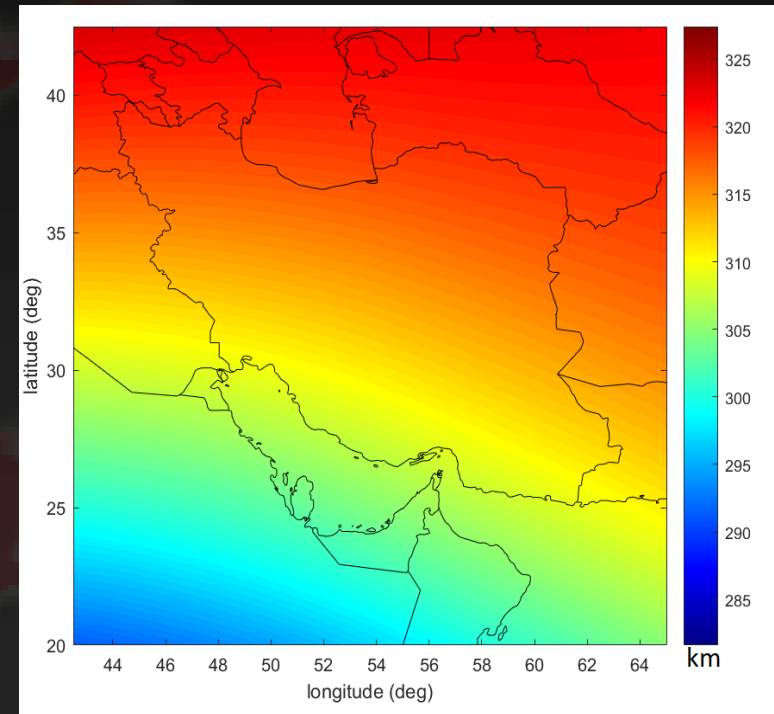
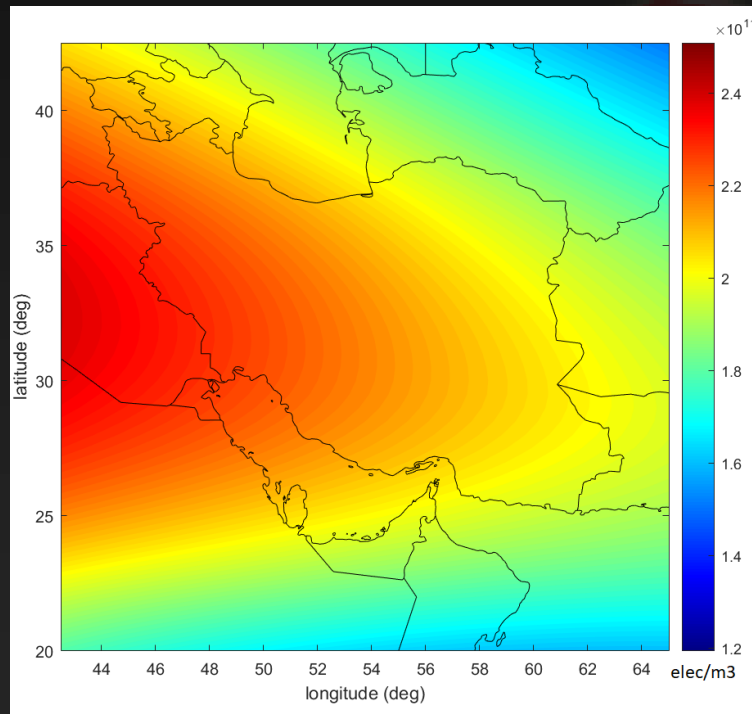
❖ استفاده از داده های F-3/C و شبیه سازی داده های F-7/C2

❖ انجام فرآیند Simulation برای افزایش داده های چگالی الکترونی



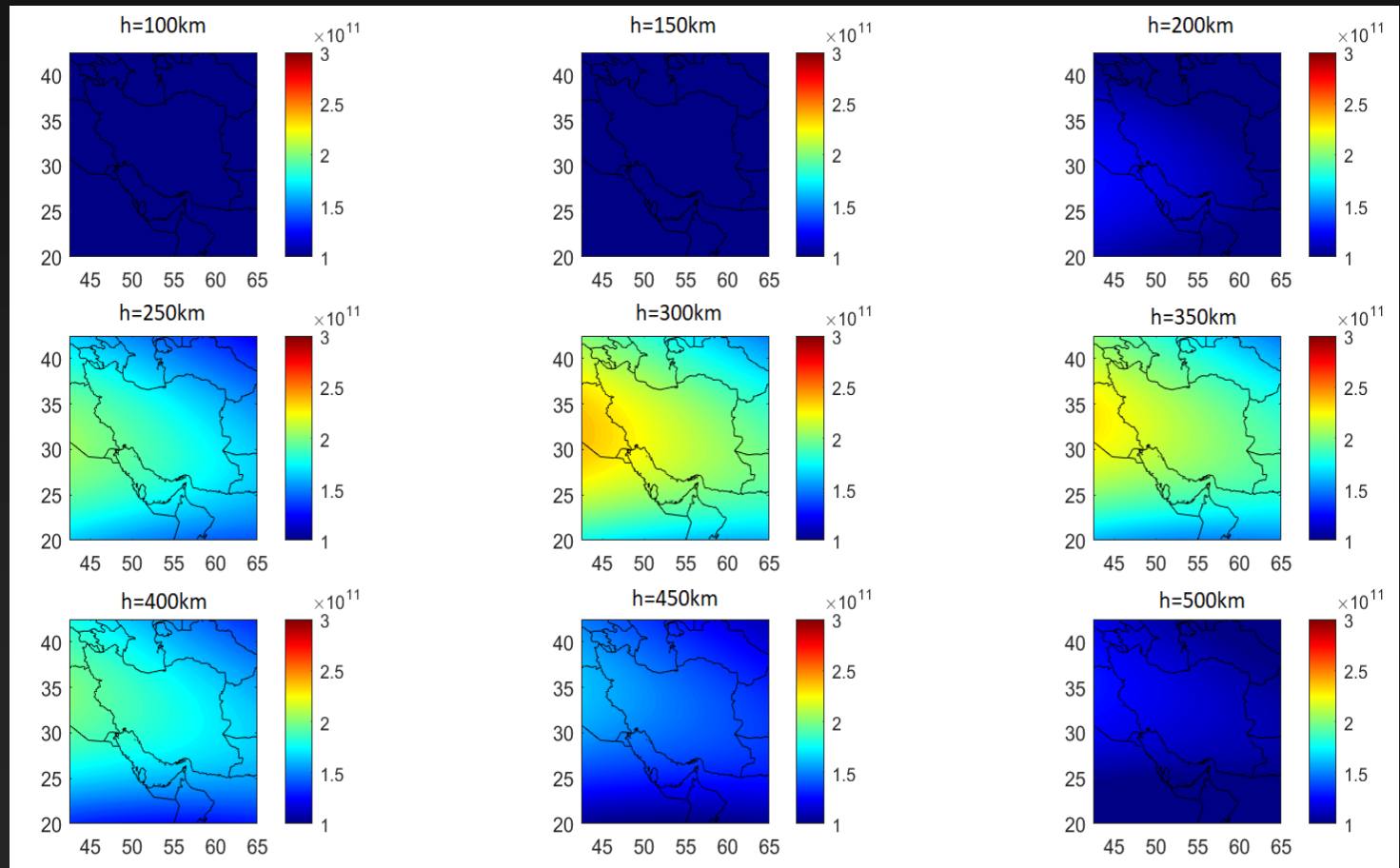


❖ مدل تغییرات دوبعدی NmF2 و hmF2 (GNSS-only)

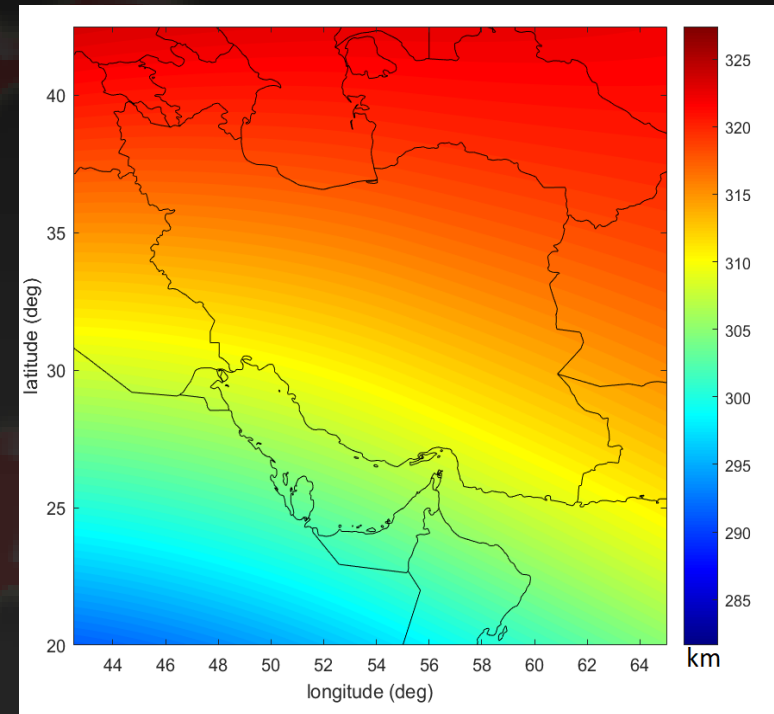
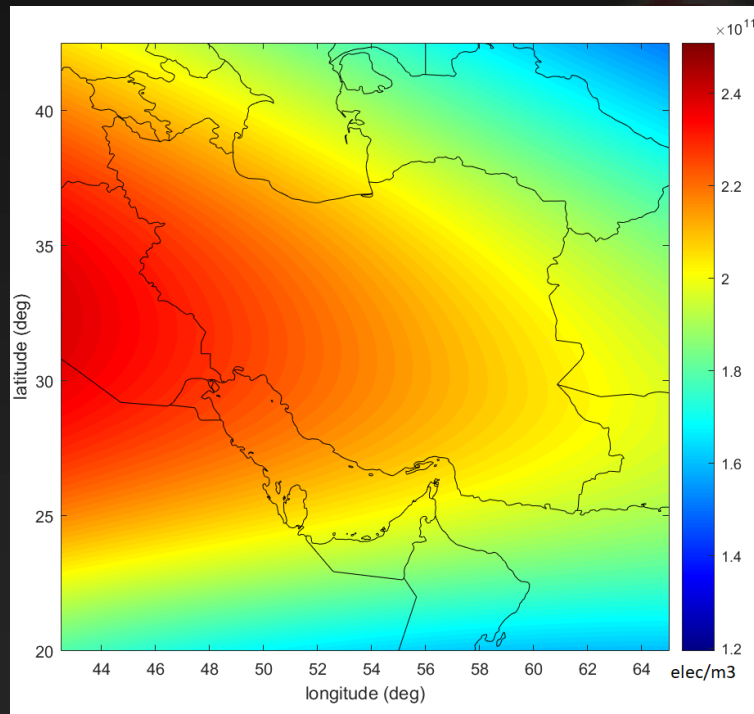


11UT 2013/03/01

❖ مدل چگالی الکترونی Ne در ارتفاع های مختلف (GNSS-only)

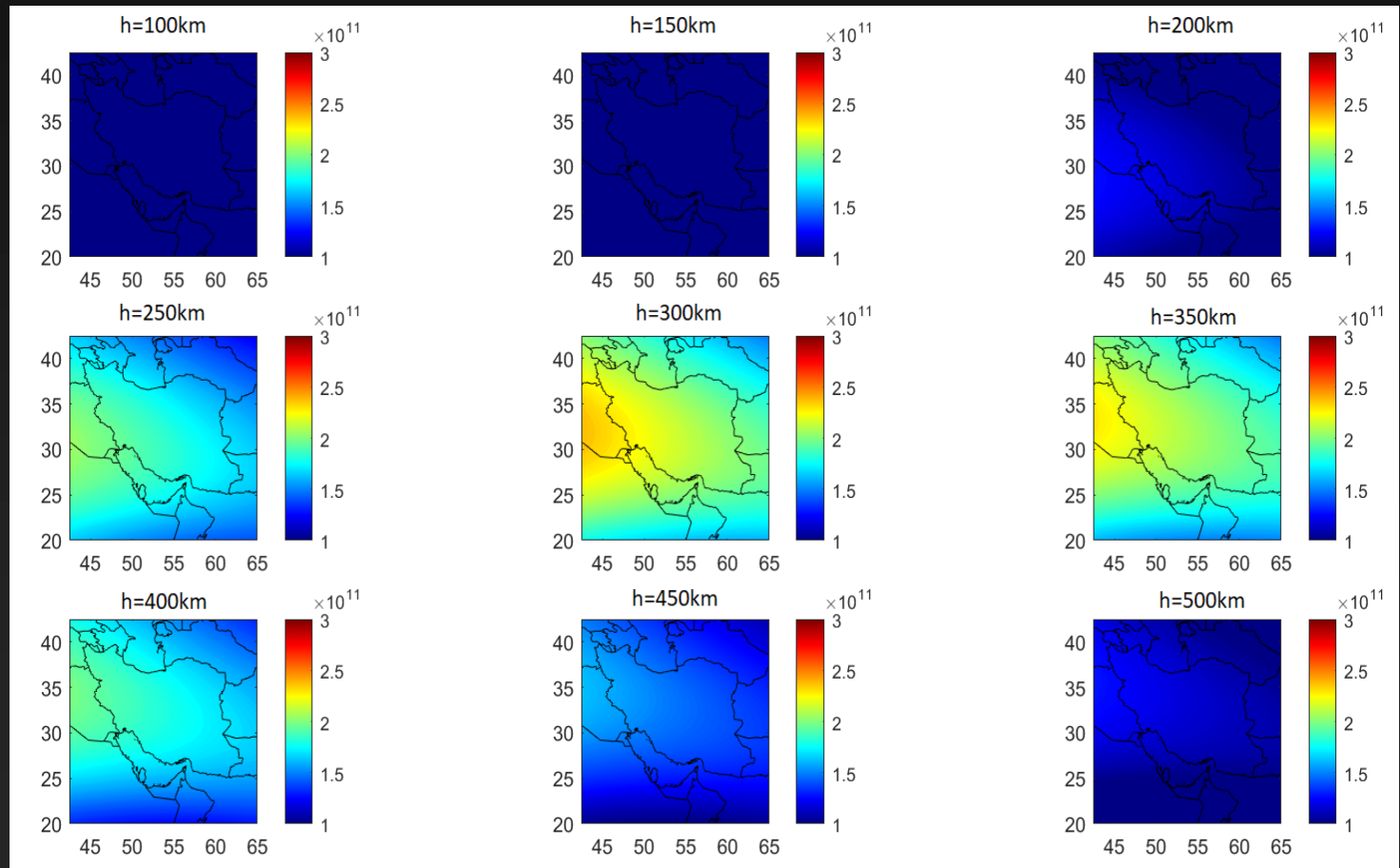


❖ مدل تغییرات دوبعدی $NmF2$ و $hmF2$ (GNSS+F/C)

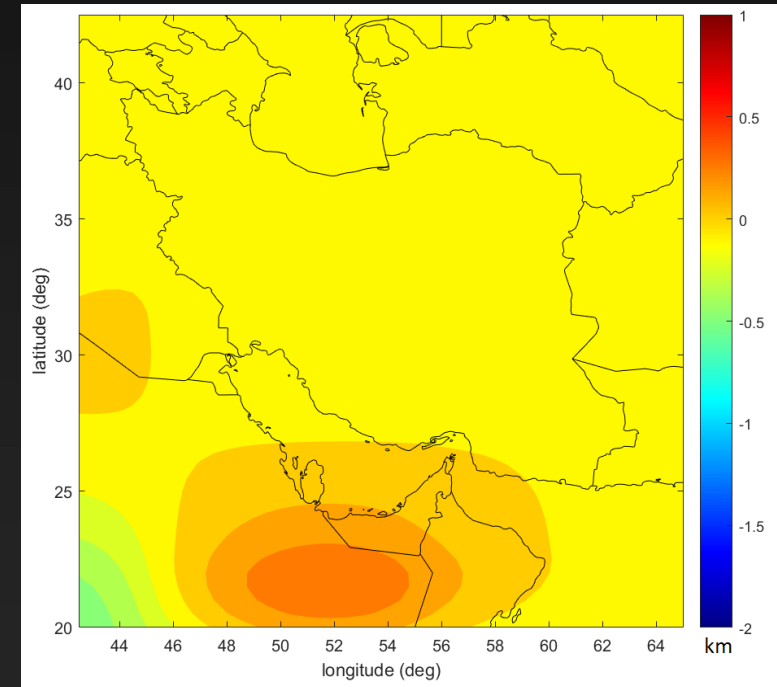
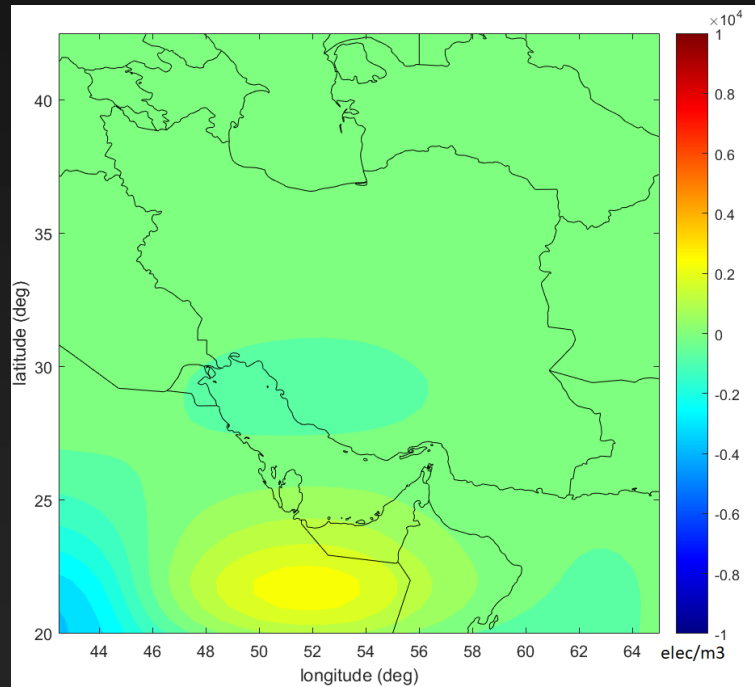


11UT 2013/03/01

❖ مدل چگالی الکترونی Ne در ارتفاعهای مختلف (GNSS+F/C)



❖ نقشه اختلاف NmF2 و hmF2 برای دو رویکرد GNSS-only و GNSS+F/C



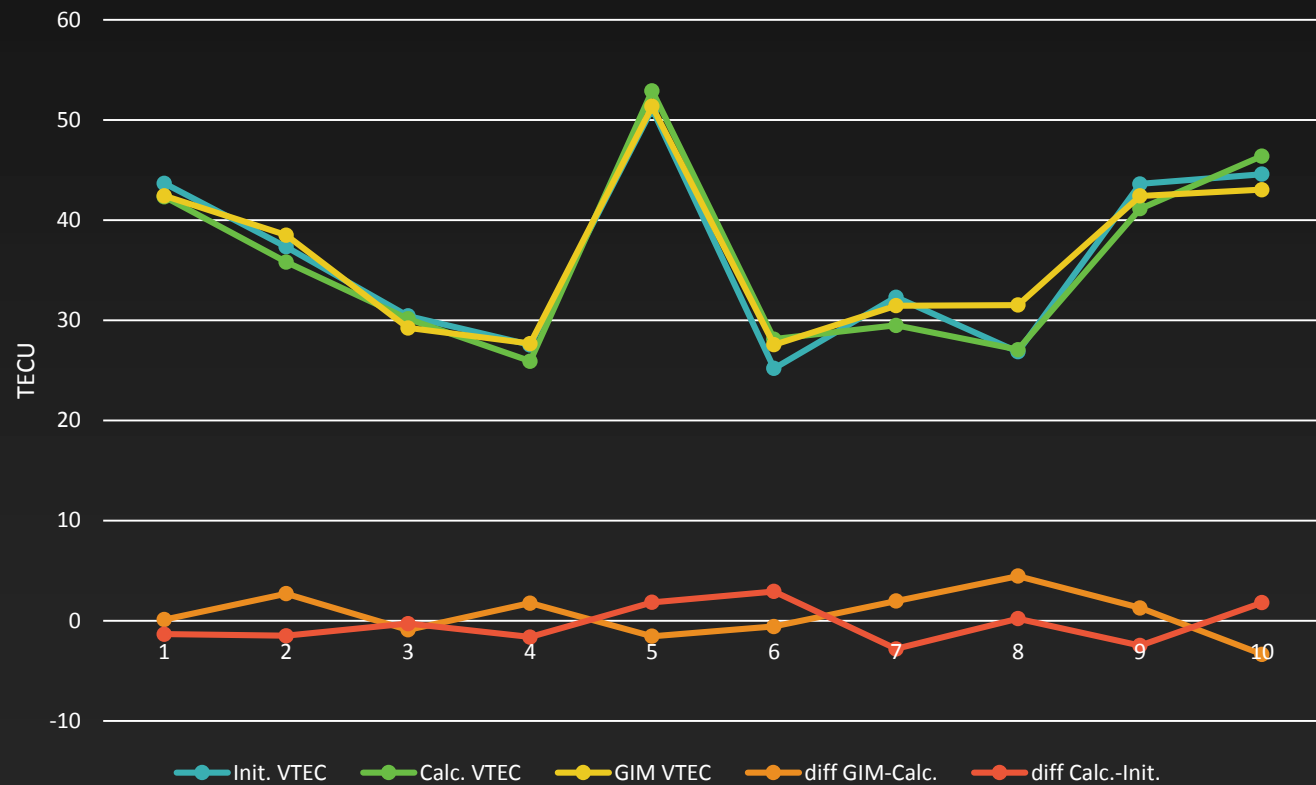
11UT 2013/03/01

❖ ارزیابی مدل با در نظر گرفتن نقاط کنترل تصادفی

10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	NO.
53.15	63.69	62.83	47.79	45.13	64.20	50.97	47.44	54.83	63.70	Lon
26.31	25.79	34.83	35.34	39.96	23.08	37.94	38.22	30.31	25.77	Lat
44.59	43.62	26.85	32.31	25.20	51.09	27.54	30.44	37.33	43.68	Initial VTEC
46.40	41.14	27.06	29.49	28.12	52.92	25.91	30.15	35.82	42.33	Calculated VTEC
43.04	42.41	31.52	31.46	27.55	51.36	27.67	29.24	38.51	42.44	IGS-GIM VTEC
-3.36	1.27	4.46	1.97	-0.57	-1.56	1.76	-0.91	2.69	0.11	Diff IGS-Calc.
1.81	-2.48	0.21	-2.82	2.92	1.83	-1.63	-0.29	-1.51	-1.35	Diff Calc.-Init.

❖ ارزیابی مدل با در نظر گرفتن نقاط کنترل تصادفی

نمودار مقایسه VTEC در نقاط کنترل





مدلسازی چگالی الکترونی یونوسفر به جای مدلسازی محتوای الکترونی کل امکان تفسیر یونوسفر در ابعاد مختلف را فراهم می آورد.



در نظر گرفتن تابع فیزیکی چپمن برای تفسیر تغییرات ارتفاعی و در نظر گرفتن توابع پایه ریاضی بی-اسپیلاین در توزیع چگالی الکترونی یونوسفر در ایجاد یک مدل هیبریدی.



ترکیب انواع تکنیک های مشاهداتی باعث بالا بردن دقت و صحت نتایج و همچنین پوشش ضعف هر روش می شود.



در نظر گرفتن مدل های تجربی به عنوان زمینه، ارتباط مدل های تجربی و مدل های مبتنی بر مشاهدات و فیزیک سنجش از دور را می تواند برقرار کند.



ایجاد بستری نرم افزاری برای مدلسازی پیوسته و مانیتورینگ تغییرات یونوسفر برای مطالعات بیشتر در این زمینه فراهم گردید.





- استفاد از توابع پایه دیگر و موجک جهت مدسازی یونسفر و همچنین روشهای شبکه‌ای مانند kriging و مقایسه نتایج با روش مربوطه
- وزندهی ریاضی مانند VCE برای وزندهی و مقایسه
- استفاده از مدل زمینه دیگری مانند Nequick و مقایسه نتایج با IRI
- استفاده از مشاهدات دیگر سیستم‌های ماهواره‌ای ناوبری جهانی مانند گالیلو و GLONASS، جهت افزایش تعداد مشاهدات و دستیابی به دقت بالاتر
- استفاده از تکنیک‌های دیگر مشاهداتی مانند DORIS دقت بالاتری را نتیجه خواهد داد
- امکان مدلسازی ۱۵ دقیقه‌ای در صورت اختیار داشتن تمام ایستگاه‌های کشور



- Combining various space geodetic techniques for regional modeling of ionospheric electron density over Iran – EGU2017
- Ionospheric parameters determination using integrated space geodetic data (case study: Iran) – IAG2017
- Ionospheric changes caused by solar eclipse August 21st 2017, as obtained by GPS observations – EGU2018

آنچه را که نمی دانی بگو، گرچه آنچه که می دانی اندک باشد.

نجم البلاغه، نامه ۳۱