

مرحله اول: برآورد تاخیر تروپوسفر با استفاده از داده های ERA 5

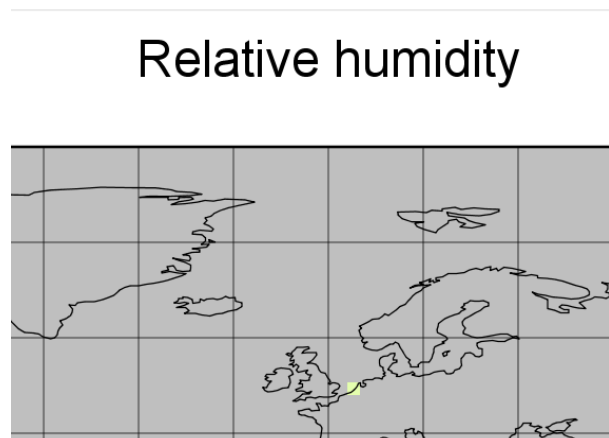
ابتدا دیتا های هواشناسی را با توجه به پارامتر های مورد نیاز نظیر دما، ژئوپتانسیل و رطوبت نسبی در زمان ۱۹-جولای-۲۰۱۸ و در طول و عرض جغرافیایی مشخص از سایت دانلود می کنیم.

سپس به کمک نرم افزار Panoply پارامتر های دما، رطوبت نسبی، ژئوپتانسیل و لایه های فشاری را از دیتا هواشناسی جدا می کنیم، داده ی ژئوپتانسیل باید به پارامتر ارتفاع تبدیل شود (تقسیم بر ۹,۸ می کنیم) [۱].

همچنین برای درون یابی نیاز به مختصات ایستگاه مورد نظر داریم برای تحقق این موضوع مختصات x, y آنرا از سایت بدست می آوریم و برای بدست آوردن ارتفاع ایستگاه ابتدا DEM منطقه ای که ایستگاه در آن قرار دارد به دست می آوریم و سپس با نرم افزار Global mapper ارتفاع نقطه را بدست می آوریم.

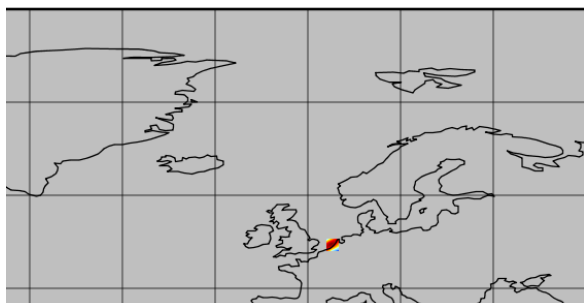
رسم پارامتر های خروجی در نرم افزار Panoply :

پارامتر رطوبت نسبی



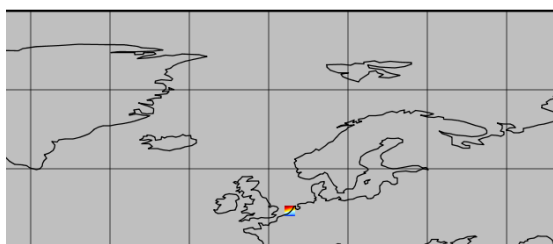
پارامتر دما

Temperature



پارامتر ژئوپتانسیل

Geopotential



هدف در این مرحله محاسبه ZTD می باشد که از فرمول های زیر میسر می شود [۲].

$$ZTD = 10^{-6} \int_s N(s) ds$$

$$ZTD = 10^{-6} \sum_{i=1}^n N_i(s) ds_i$$

$$N = k_1 \left(\frac{P_d}{T} \right) Z_d^{-1} + k_2 \left(\frac{P_w}{T} \right) Z_w^{-1} + k_3 \left(\frac{P_w}{T} \right) Z_w^{-1}$$

$$N_{dry} = k_1 \left(\frac{P_d}{T} \right) Z_d^{-1}$$

$$N_{wet} = k_2 \left(\frac{P_w}{T} \right) Z_w^{-1} + k_3 \left(\frac{P_w}{T} \right) Z_w^{-1}$$

$$k_1 = (77.604 \pm 0.014) k / mbar$$

$$k_2 = (64.79 \pm 0.08) k / mbar$$

$$k_3 = 10^5 (3.776 \pm 0.004) k / mbar$$

و P_d و P_w به ترتیب فشار هوای خشک و بخار آب در واحد میلی بار می باشند. Z_d و Z_w هم به ترتیب فاکتور های تراکم پذیری هوای خشک و بخار آب بوده و عموماً یک در نظر گرفته می شوند.

برای محاسبه ZTD در ابتدا به این دلیل که پارامتر های جوی بصورت شبکه های گرید در دسترس قرار می گیرند و نقطه مورد نظر ما دقیقاً بر روی این شبکه گرید قرار نمی گیرد نیاز داریم تا پارامتر های جوی را درونیابی کنیم. در این جا هم نیاز به درون یابی مسطحاتی و هم ارتفاعی داریم.

تروپوسفر دارای دوبخش تر و خشک می باشد به همین دلیل برای محاسبه تأخیر ضریب شکست بخش تر و خشک را جداگانه محاسبه می کنیم.

برای درونیابی نیاز داریم تا فشار بخار آب را محاسبه کنیم [۳، ۴].

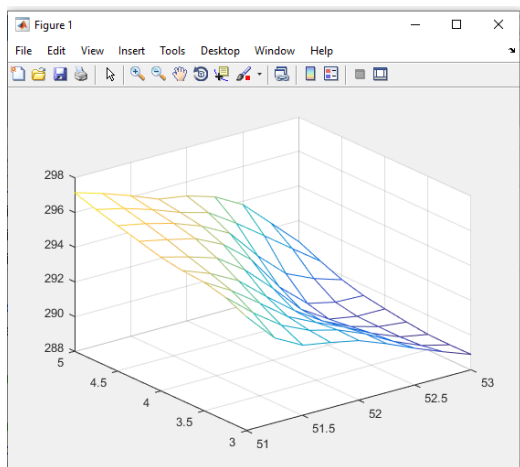
$$RH = 100 \times \frac{P}{P_s}$$

$$P_s = 6.11 \times 10^{\left(\frac{17.27T}{273.3+T} \right)}$$

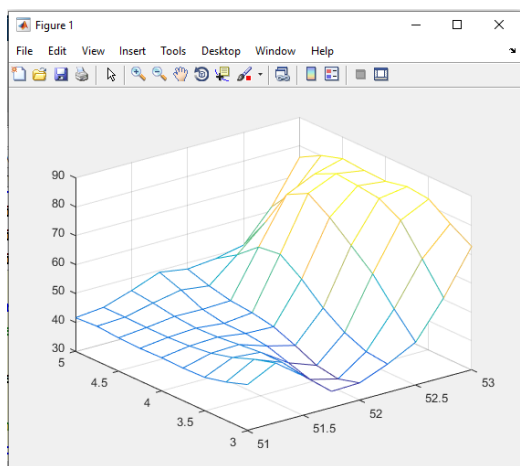
RH و T به ترتیب رطوبت نسبی و دما و همچنین P و P_s فشار بخار آب و فشار بخار اشباع هستند.

رسم شکل درون یابی شده ی پارامتر های جوی:

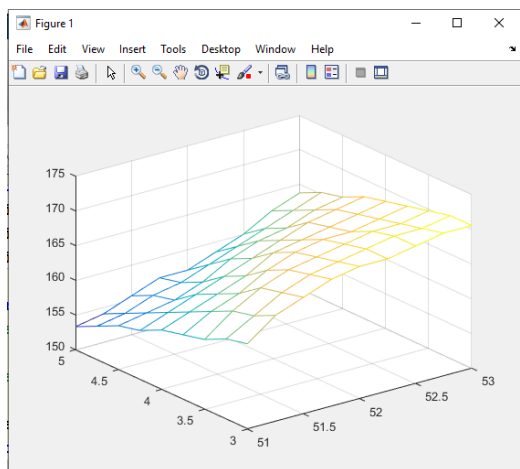
دما



رطوبت نسبی



ارتفاع



مرحله دوم: محاسبه تاخیر هیدرواستاتیکی تروپوسفر با استفاده از یک مدل تجربی (مدل

(Saastamoinen)

با استفاده از رابطه تجربی ساستاماینن تاخیر هیدرواستاتیکی تروپوسفر را محاسبه می کنیم [۵].

$$ZHD = \frac{0.002277 P_s}{(1 - 0.0026 \cos(2\varphi) - 0.00000028 H)}$$

در این روابط، P_s فشار هوای خشک در واحد میلی بار، φ و H به ترتیب عرض جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه در بالای سطح دریا در واحد کیلومتر می باشند.

مرحله سوم: محاسبه تاخیر تروپوسفری بخش تر

تأخیر تروپوسفری متشکل است از تأخیر تروپوسفری بخش خشک و بخش تر در نتیجه برای محاسبه تاخیر تروپوسفری بخش تر از فرمول زیر استفاده می کنیم.

$$ZWD = ZTD - ZHD$$

مرحله چهارم: محاسبه تاخیر تروپوسفری از محصولات IGS

دیتای تروپوسفری ایستگاه مورد نظر را از سایت IGS با توجه به زمان و مکان مورد نظر دانلود می کنیم و با توجه به زمان فایل آنرا با ZTD بدست آمده از برنامه متلب مقایسه می کنیم.

داده ی هواشناسی ما در روز ۱۹ جولای سال ۲۰۱۸ و در ساعت ۱۲ دانلود شده ،اما داده های تروپوسفری که از IGS دانلود کردیم مربوط به روز ۱۷۹۱۱۷۹ یعنی ۱۹ جولای ۲۰۱۸ میباشد که در آن داده ها در این روز و هر ۳۰۰ ثانیه یعنی هر ۵ دقیقه اندازه گیری شده اند. ما برای مقایسه ZTD بدست آمده از طریق برنامه نویسی و ZTD موجود در فایل IGS باید این دو مقیاس زمان را به هم تبدیل کنیم تا قابل مقایسه باشند.

برای همین در داده ایستگاه IGS باید ساعت ۱۲ را پیدا کنیم، ساعت مرجع برای ما ۰۰,۰۰ است و چون هر ساعت ۳۶۰۰ ثانیه است پس ساعت ۱۲ برابر است با ثانیه ۴۳۲۰۰م، در نتیجه در سطری که زمان آن ۴۳۲۰۰ است مربوط به همان داده ی هواشناسی در روز ۱۹ جولای ۲۰۱۸ و ساعت ۱۲ می باشد. پارامتر ZTD هم در ستون TROTOT قرار دارد.

مرحله پنجم: برآورد بخار آب بهینه (PWV)

برای محاسبه PWV از فرمول زیر استفاده می کنیم [۵، ۶].

$$PWV = \Pi . ZWD$$

$$\Pi = \frac{10^6}{\rho R_V [(k_3 / T_m) + k_2']}, \quad T_m = \frac{\int (\frac{P_V}{T}) dz}{\int (\frac{P_V}{T^2}) dz}, \quad k_2' = 24 \pm 11, \quad \rho = 997, \quad R_V = 461.5$$

در این فرمول ها ρ و R_V به ترتیب دانسیته آب و ثابت گاز مختص بخار آب و P_V و T_m به ترتیب فشار بخار آب و میانگین وزنی دمای جو هستند.

مراجع

۱. Green, J., *Atmospheric Dynamics*. Cambridge Atmospheric and Space Science Series. ۱۹۹۹, Cambridge: Cambridge University Press.
۲. Smith, E.K. and S. Weintraub, *The constants in the equation for atmospheric refractive index at radio frequencies*. Proceedings of the IRE, ۱۹۵۳. ۴۱(۸): p. ۱۰۳۷-۱۰۳۵

۲. Lawrence, M.G., *The relationship between relative humidity and the dewpoint temperature in moist air: A simple conversion and applications*. Bulletin of the American Meteorological Society, ۲۰۰۵. ۸۶(۲): p. ۲۳۴-۲۴۵
۴. Huang, J., *A Simple Accurate Formula for Calculating Saturation Vapor Pressure of Water and Ice*. Journal of Applied Meteorology and Climatology, ۲۰۱۸. ۵۷(۶): p. ۱۲۷۲-۱۲۷۵
۵. Tang, X., et al., *Precipitable water vapour retrieval from GPS precise point positioning and NCEP CFSv۲ dataset during typhoon events*. Sensors, ۲۰۱۸. ۱۸(۱۱): p. ۳۸۳۱
۶. Bevis, M., et al., *GPS meteorology: Mapping zenith wet delays onto precipitable water*. Journal of applied meteorology, ۱۹۹۴. ۳۳(۳): p. ۳۸۶-۳۷۹