

Uncertainty Analysis of Actual Evapotranspiration Estimations Using Satellite Data and Climate Databases (Case Study: Karkheh Basin)

ABUZAR GHAREHKHANI¹, NOZAR GHAHREMAN^{1*}, PARVIZ IRANNEJAD²

1. Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

2. Department of Space Physics, Geophysics Institute, University of Tehran, Tehran, Iran.

(Received: Dec. 7, 2019- Revised: Jan. 15, 2020- Accepted: Jan. 25, 2020)

ABSTRACT

Evapotranspiration is an important component of water balance and a key element in water resources management, especially in arid and semi-arid regions such as Iran. The purpose of this study is to investigate the uncertainty of actual evapotranspiration (ETa) estimates derived from a remote sensing-based model, i.e. Priestley–Taylor Model (PT-JPT), and two global climate datasets namely GLEAM and ERA-Interim in Karkheh basin southwest of Iran during the 2013-2017 period. The three cornered hat (TCH) method was used to analyze the uncertainty for each spatial cell (0.25× 0.25) in the basin. The results of uncertainty analysis showed that ET_{ERA-Interim}, ET_{GLEAM}, and ET_{PT-JPT} data have the lowest relative uncertainty in 38%, 12.6% and 49.4% of cells, respectively. The highest percentage of cells with lowest uncertainty in Seimare, South Karkhe and Gamasiab sub-basins was correspond to ETPT-JPT model (54.4%, 72.3%, and 50%, respectively). In Gharehsoo and Kashkan sub-basins the ETERA-Interim estimations were found as the method with least uncertainty, (55.5% and 53.4%, respectively). The highest number of cells with lowest relative uncertainty belongs to ET_{ERA-Interim}. Considering the lowest uncertainty, variation of actual evapotranspiration with elevation in Karkhe basin showed that the two databases and PT-JPT model perform well at 1400 to 1800 m above sea level. ET_{PT-JPT} model did a better job in warm dry climates. ET_{ERA-Interim} and ET_{GLEAM} data estimations were selected as the best methods in semi-humid temperate and hyper-humid-cold climates, respectively. In cells with farm-garden and forest land use, ET_{GLEAM} have the lowest uncertainty. Similarly, in rangelands, both ETPT-JPT and ET_{ERA-Interim} databases, and for drylands, ET_{ERA-Interim} data can be recommended. Further feasibility studies in other climates are required for more scrutiny.

Keywords: Evapotranspiration, Uncertainty, Land Use, Karkheh Basin, Iran.

تحلیل عدم قطعیت برآوردهای ماهواره‌ای و مبتنی بر پایگاه داده‌های اقلیمی تبخیر-تعرق واقعی (مطالعه موردی: حوضه کرخه)

ابوذر قره‌خانی^۱، نوذر قهرمان^{۱*}، پرویز ایران نژاد^۲

۱. گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۲. گروه فیزیک فضا، موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۹/۱۶ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۱۰/۲۵ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۱۱/۵)

چکیده

تبخیر-تعرق مولفه‌ای مهم در بیلان آبی و یک عنصر کلیدی در مدیریت منابع آب به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران است. هدف از این پژوهش، بررسی عدم قطعیت برآوردهای تبخیر-تعرق واقعی (ET_a) حاصل از یک مدل مبتنی بر سنجش از دور و دو پایگاه داده‌های اقلیمی است. برای این منظور مقادیر ET_a حاصل از مدل پریستلی-تیلور (PT-JPL) و دو پایگاه داده GLEAM و ERA-Interim برای حوضه کرخه در دوره زمانی ۲۰۱۷-۲۰۱۳ تهیه شد. جهت تحلیل عدم قطعیت برای هر یاخته مکانی (با تفکیک 0.25×0.25) در حوضه از روش کلاه سه‌گوشه (TCH) استفاده شد. نتایج تحلیل عدم قطعیت نشان داد که داده‌های $ET_{ERA-Interim}$ ، ET_{GLEAM} و ET_{PT-JPL} به ترتیب در ۳۸، ۱۳ و ۴۹ درصد یاخته‌ها دارای عدم قطعیت کمتری هستند. بیشترین درصد یاخته‌ها با کمترین عدم قطعیت در زیر حوضه‌های سیمره، کرخه جنوبی و گاماسیاب مربوط به مدل ET_{PT-JPL} به ترتیب ۵۴/۴، ۷۲/۳ و ۵۰ و در زیر حوضه‌های قره‌سو و کشگان متعلق به پایگاه داده $ET_{ERA-Interim}$ به ترتیب ۵۵/۵ و ۵۳/۴ درصد بود. بررسی تغییرات ارتفاعی ET_a حوضه کرخه نشان داد که بر مبنای کمترین عدم قطعیت، نتایج دو پایگاه داده و مدل PT-JPL در ارتفاع ۱۴۰۰ تا ۱۸۰۰ متر از سطح دریا عملکرد بهتری دارند. داده‌های ET_{PT-JPL} در اقلیم خشک گرم و داده‌های $ET_{ERA-Interim}$ در اقلیم نیمه مرطوب معتدل و داده‌های ET_{GLEAM} در اقلیم بسیار مرطوب سرد، منتخب می‌باشند. بر اساس الگوی کاربری اراضی و عدم قطعیت برآوردهای تبخیر-تعرق، در یاخته‌هایی با کاربری کشاورزی-باغ و جنگل داده‌های ET_{GLEAM} از عدم قطعیت کمتری برخوردار می‌باشند. در یاخته‌های با کاربری مراتع، داده‌های مدل PT-JPL و پایگاه $ET_{ERA-Interim}$ و در یاخته‌های با کاربری دیمزار، داده‌های $ET_{ERA-Interim}$ برگزیده شدند. امکان سنجی کاربست داده‌های مورد استفاده، نیازمند بررسی‌های بیشتر در سایر اقلیم‌ها است.

واژه‌های کلیدی: تبخیر-تعرق، عدم قطعیت، کاربری اراضی، کرخه.

مقدمه

تحقیقات زیادی محققین برای برآورد تبخیر-تعرق واقعی و توزیع زمانی و مکانی آن از داده‌های ماهواره‌ای استفاده نموده‌اند (Bastiaanssen, 2008; Choudhury et al., 1994). برآورد تبخیر-تعرق واقعی و پراکنش مکانی آن از مواردی است که به کمک سنجش از دور امکان پذیر بوده و برای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی در سطح کلان بسیار مهم است. هرچند از لحاظ بازه زمانی در روش سنجش از دور با محدودیت‌های بیشتری مواجه هستیم، اما در نهایت استفاده از این روش در سطوح وسیع از دقت قابل‌قبولی برخوردار بوده و به عنوان یک روش کاربردی پذیرفته شده است (Akbari et al., 2011). امروزه ارائه داده‌های اقلیمی توسط NCAR، GLEAM و ECMWF منابعی از داده‌های کارآمد هواشناسی را در اختیار پژوهشگران قرار داده است که میزان

تبخیر-تعرق مولفه‌ای مهم در چرخه آب‌شناسی و یک عنصر کلیدی مدیریت منابع آب، به خصوص در مناطق خشک و نیمه-خشک می‌باشد. روش‌های مرسوم اندازه‌گیری تبخیر-تعرق از سطح زمین (نسبت باون، همبستگی پیچکی و لایسیمتر) بسیار پر هزینه و وقت‌گیر هستند. همچنین این اندازه‌گیری‌ها نقطه‌ای بوده و به خاطر شرایط متغیر آب و هوایی و طبیعت پویای فرآیند انتقال آب-گرم، قابل تعمیم به حوضه‌های بزرگ نمی‌باشند (Gao et al., 2008). یکی از روش‌های نوین جهت بررسی و اندازه‌گیری در مقیاس‌های مکانی بزرگ‌تر روش‌های مبتنی بر سنجش از دور است. پیشرفت روزافزون تکنولوژی سنجش از دور، امکان برآورد تبخیر-تعرق واقعی در سطح وسیعی را فراهم نموده است. در

ماهواره‌ای برای محدود کردن عدم قطعیت استفاده شود. مقایسه مدل‌های مختلف برآورد تبخیر-تعرق و اندازه‌گیری عدم قطعیت آنها برای انتخاب مدل مناسب برای مدیریت آب و تحقیقات آینده در خصوص برآورد تبخیر-تعرق بسیار مهم است.

Sarfraz Khan *et al.* (2018) به بررسی عدم قطعیت داده‌های تبخیر-تعرق دو پایگاه داده GLEAM, GLDAS و محصول MOD16 پرداختند و بیان داشتند که تبخیر-تعرق پایگاه داده GLEAM (ET_{GLEAM}) در انواع پوشش گیاهی عملکرد بهتری دارد. همچنین Miralles *et al.* (2011) در مطالعه‌ای مشابه اعلام داشتند عملکرد بهتر ET_{GLEAM} به علت به حساب آوردن تلفات برگاب در پوشش‌های گیاهی کوتاه و بلند و استفاده گسترده از اندازه‌گیری‌های مبتنی بر میکروویو در شرایط ابری می‌باشد.

عدم وجود داده‌های بلند مدت تبخیر-تعرق قابل اطمینان، هزینه‌بر بودن استفاده از لایسیمترها و عدم وجود آنها در اکثر مناطق امکان مقایسه و واسنجی برآورد تبخیر-تعرق حاصل از سنجش از دور و داده‌های پایگاه اقلیمی با داده‌های اندازه‌گیری شده نمی‌باشد. به همین منظور لازم است که قابلیت اطمینان در محصولات تبخیر-تعرق مبتنی بر سنجش از دور در سطح منطقه مورد مطالعه بررسی گردد تا بتوان بر اساس میزان عدم قطعیت نتایج حاصله در مطالعات و برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای استفاده کرد. هدف از مطالعه حاضر بررسی عدم قطعیت تبخیر-تعرق واقعی (ET_C) با استفاده از مدل PT-JPL و داده‌های پایگاه اقلیمی در پنج زیر حوضه اصلی حوضه کرخه می‌باشد که انتظار می‌رود به بهبود برنامه‌ریزی‌های آبیاری و استفاده بهینه از آب در منطقه مورد مطالعه کمک کند.

مواد و روش‌ها

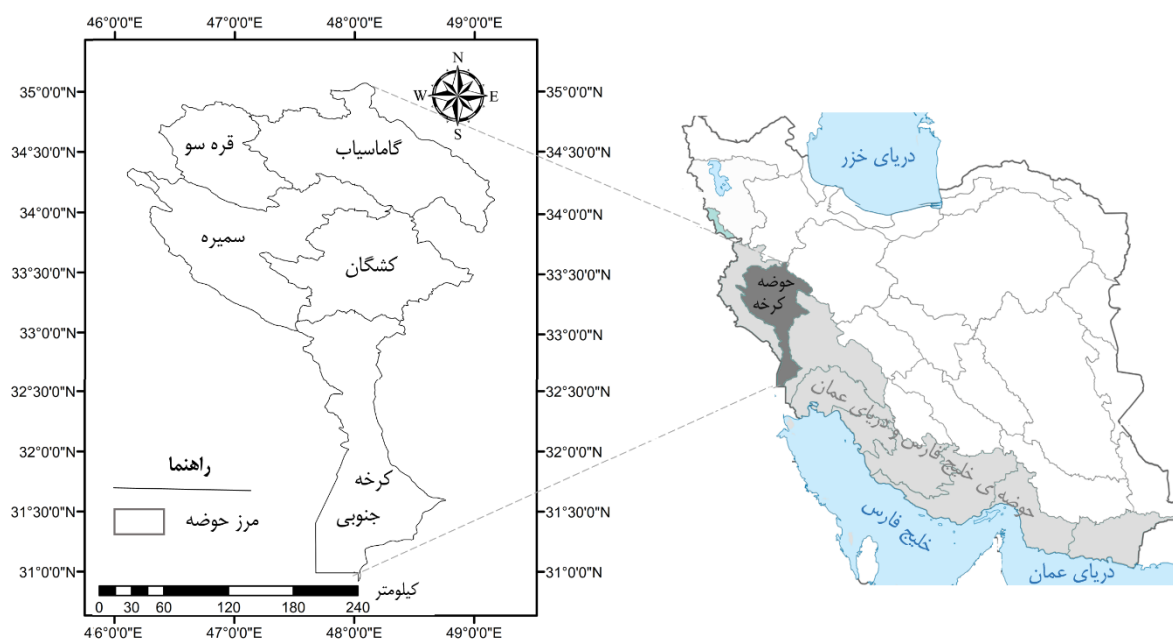
منطقه مطالعاتی

حوضه کرخه در غرب ایران و در مناطق میانی و جنوبی زاگرس قرار دارد که از شمال به حوضه‌های رودخانه‌های سیروان، سفیدرود و قره‌چای، از غرب به رودخانه‌های مرزی و غرب ایران و از شرق به رودخانه دز محدود می‌شود و دارای مساحتی بالغ بر ۵۰۷۶۸ کیلومتر مربع است. حوضه کرخه شامل پنج زیر حوضه گاماسیاب، قره سو، کشگان، سیمره و کرخه جنوبی است. متوسط بارش سالانه حوضه کرخه ۴۶۰ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه ۱۵/۱۴ درجه سلسیوس است. خصوصیات اقلیمی زیر حوضه‌های حوضه کرخه در جدول (۱) آمده است. همچنین محدوده جغرافیایی حوضه کرخه و زیر حوضه‌های آن در شکل (۱) نشان داده شده است.

خطای آن در مقایسه با داده‌های ایستگاه‌های زمینی در بسیاری از نقاط جهان اندک و قابل چشم‌پوشی است و به همین علت می‌توان از این داده‌ها در کنار داده‌های زمینی در مناطق بدون ایستگاه استفاده کرد (Raziei and Sotoudeh., 2017). امروزه پیشرفت‌های زیادی برای بازیابی پارامترهای هواشناسی و متغیرهای سطح زمین به صورت کمی با استفاده از داده‌های سنجش از دور انجام شده است اما دقت اندازه‌گیری برخی از متغیرها مانند شاخص سطح برگ، کسر پوشش گیاهی و ارتفاع بوته باید بهبود یابند. علاوه بر این ساختار پوشش گیاهی عامل موثر در محاسبه دمای سطح می‌باشد که این عوامل باعث ایجاد عدم قطعیت در برآوردهای تبخیر-تعرق می‌شوند. در مدل‌سازی تبخیر-تعرق پارامترهای زیادی از جمله عوامل بیولوژیکی مانند رطوبت خاک، فیزیولوژی گیاهی و خواص خاک و عوامل هواشناسی بر این فرایند طبیعی تاثیرگذار هستند و باعث می‌شوند برآوردهای تبخیر-تعرق همواره با عدم قطعیت‌هایی همراه باشد (Niyogi *et al.*, 2009 ;).

Feizolahpour *et al.* (2018) به ارزیابی و تحلیل عدم قطعیت برآورد تبخیر-تعرق گیاه مرجع با استفاده از برنامه‌ریزی ژنتیک در چهار ایستگاه اصفهان، یزد، کرج و بجنورد پرداختند. در این تحقیق ضمن بررسی کارایی روش برنامه‌ریزی ژنتیک، مدل‌هایی جهت برآورد تبخیر-تعرق با استفاده از کمترین متغیرهای هواشناسی استفاده گردید. در مطالعه صورت گرفته، از روش فائو پنمن-مانتیت به عنوان یک روش استاندارد برای ارزیابی کارایی مدل‌های برنامه‌ریزی ژنتیک و مدل‌های تجربی استفاده شده است. نتایج به دست آمده نشان دادند مدل‌های برنامه‌ریزی ژنتیک دارای دقت بالاتری نسبت به روش‌های تجربی هستند. نتایج حاکی از آن بود که در همه ایستگاه‌ها، مدل ترکیبی شاخص‌های آماری مربوط به برآورد تبخیر-تعرق مرجع را به نحو مطلوبی بهبود بخشیدند.

Liu *et al.* (2015) به تحلیل عدم قطعیت داده‌های تبخیر-تعرق حاصل از پایگاه داده‌های GLEAM^۱ و NCEP و تصاویر ماهواره‌ای در منطقه اوراسیا پرداختند و اظهار داشتند که عدم اطمینان در برآوردهای تبخیر-تعرق NCEP (ET_{NCEP}) کمتر می‌باشد و مجموعه داده‌های تبخیر-تعرق مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای عدم قطعیت قابل توجهی در منطقه اوراسیا دارند. Long *et al.*, 2014 با استفاده از روش کلاه سه گوشه ۲ (TCH) به بررسی عدم قطعیت نتایج تبخیر-تعرق مدل سازی سطح زمین، سنجش از دور مبتنی بر ماهواره GRACE پرداختند و بیان داشتند که برآورد تبخیر-تعرق در آینده باید با در نظر گرفتن یک رویکرد ترکیبی باشد که نقاط قوت را ادغام کنند و از داده‌های



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه کرخه و زیر حوضه‌های آن

جدول ۱- مشخصات اقلیمی زیر حوضه‌های کرخه

نام زیر حوضه	مساحت (km ²)	حداکثر ارتفاع (m)	حداقل ارتفاع (m)	متوسط سالانه دما (C)	متوسط سالانه بارش (mm)	متوسط سالانه رطوبت نسبی (%)	متوسط سالانه سرعت باد (m/s)
گاماسیاب	۱۱۶۹۰	۳۵۸۰	۱۲۴۲	۱۰/۹	۴۸۹	۴۳	۳/۱
قره سو	۵۶۳۵	۳۳۵۷	۱۲۴۳	۱۲/۲	۵۰۴	۴۲	۲/۷
سمیره	۱۵۷۳۵	۳۴۹۹	۹۰	۱۴/۶	۴۷۹	۴۵	۲/۴
کشگان	۹۵۶۰	۳۶۰۰	۵۰۰	۱۳/۵	۵۱۰	۳۹	۲/۴
کرخه جنوبی	۸۱۴۸	۴۰۰	۳	۲۴/۵	۳۱۰	۴۰	۲/۱

داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش از داده‌های تبخیر-تعرق واقعی دو پایگاه GLEAM و ERA-Interim و همچنین تبخیر-تعرق واقعی حاصل از مدل PT-JPL (ET_{PT-JPL}) استفاده شده است که در ادامه به شرح آنها پرداخته خواهد شد. در مطالعه حاضر جهت بررسی سطح متناظر یاخته‌ها از داده‌های کاربری اراضی و داده‌های مدل رقومی ارتفاع (DEM^۱) استفاده شد. داده‌های مربوط به کاربری

اراضی از سازمان جهاد کشاورزی دریافت گردید و هفت طبقه برای کاربری اراضی شامل باغ-کشاورزی، باغ، کشاورزی، دیم، مرتع، جنگل و متفرقه تهیه شد. برای بررسی توپوگرافی منطقه از طبقه‌بندی ارایه شده توسط Makhdom, (2014) که شامل ۸ طبقه ارتفاعی برای محدوده سیمای زاگرس می‌باشد استفاده شد که مقادیر آن در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول ۲- حدود طبقات ارتفاعی مدل مخدوم در منطقه زاگرس

طبقه ارتفاعی	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
ارتفاع از سطح دریا (متر)	کمتر از ۱۰۰۰	۱۰۰۰ تا ۱۲۰۰	۱۲۰۰ تا ۱۴۰۰	۱۴۰۰ تا ۱۸۰۰	۱۸۰۰ تا ۲۱۰۰	۲۱۰۰ تا ۲۴۰۰	۲۴۰۰ تا ۲۶۰۰	بیش از ۲۶۰۰

پایگاه داده GLEAM^۲

پایگاه داده GLEAM مجموعه‌ای از الگوریتم‌های اختصاص داده

شده به برآورد تبخیر از زمین و رطوبت خاک با استفاده از داده-های ماهواره‌ای است. از زمان توسعه آن در سال ۲۰۱۱، این مدل

2015; Sahoo et al., 2011; Vinukollu et al., 2011; Fisher et al., 2008). ویژگی کلیدی این مدل استفاده از خواص بیو-فیزیولوژیکی برای کاهش تبخیر پتانسیل سطح زمین با روش پریستلی-تیلور و برآورد مقادیر واقعی تبخیر است (McCabe et al., 2016). این مدل به خوبی برای داده‌های سنسور از دور مناسب است و برآورد روزانه تبخیر-تعرق از این مدل امکان پذیر است و برآوردهای مستقیم را در مقایسه با مدل‌های ترازمندی انرژی ارائه می‌دهد. مدل PT-JPL مدلی سه بخشی است. که در آن تبخیر-تعرق واقعی (ET) به تبخیر از سطح خاک (ETs)، تعرق از سطح کانوپی (ETc) و تبخیر از سطح کانوپی مرطوب (I) تقسیم می‌شود که مطابق با روابط ۱ الی ۹ میزان تبخیر-تعرق محاسبه می‌شود (Fisher et al., 2008).

$$ET = ET_t + ET_s + I \quad \text{رابطه (۱)}$$

رابطه (۲)

$$ET_t = (1 - f_{wet}) f_g f_T f_M \alpha \frac{\Delta}{\lambda(\Delta + \gamma)} Rn^c \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$ET_s = (f_{wet} + f_{sm}(1 - f_{wet})) \alpha \frac{\Delta}{\lambda(\Delta + \gamma)} (Rn^s - G) \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$I = f_{wet} \alpha \frac{\Delta}{\lambda(\Delta + \gamma)} Rn^c \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$f_{wet} = RH^4 \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$f_g = \frac{fAPAR}{fIPAR} \quad \text{رابطه (۷)}$$

$$f_M = \frac{fAPAR}{fAPAR_{max}} \quad \text{رابطه (۸)}$$

$$f_{sm} = RH^{VPD} \quad \text{رابطه (۹)}$$

$$f_T = e^{\left(\frac{T_a - T_{opt}}{T_{opt}}\right)^2}$$

که f_g کسر کانوپی سبز، f_T قید دمای گیاه، f_M قید رطوبت نسبی گیاه، f_{sm} قید رطوبت خاک، f_{wet} قید رطوبت نسبی می‌باشد. این مدل تابش خالص خورشید را به تابش روی کانوپی و خاک تقسیم می‌کند. سپس مجموعه‌ای از ضرایب برای نشان دادن اثرات پوشش گیاهی، رطوبت نسبی کانوپی، دمای هوا، کمبود آب خاک و کمبود آب گیاه در محاسبه تبخیر تعیین می‌کند. در این تحقیق از محصول MOD07 سنجنده MODIS که مربوط به محصول بازتاب سطحی در ۷ باند طیفی و محصول MOD11A1 مربوط به دمای سطح با تفکیک مکانی ۵ کیلومتر و گام زمانی روزانه از سایت <https://search.earthdata.nasa.gov> دریافت

به طور منظم با هدف بهینه‌سازی متغیرهای ژئوفیزیکی تجدید نظر شده و باعث بهبود فرایندهای فیزیکی گردیده است. از ویژگی‌های این پایگاه داده می‌توان به استفاده از معادله پریستلی-تیلور اشاره کرد که با داده‌های سنسور از دور مطابقت دارد و برای مناطقی که محدودیت اطلاعات اندازه‌گیری شده در سطح زمین وجود دارد قابل استفاده می‌باشد و با در نظر گرفتن رطوبت خاک مشتق شده از امواج میکروویو، دمای سطح و تراکم پوشش گیاهی، و همچنین جزئیات ارزیابی هدررفت بارندگی (که نمی‌توان با ماهواره‌ها مشاهده کرد) دقت برآورد تبخیر-تعرق واقعی را بیشتر می‌کند (Miralles et al., 2011). اساس این روش مجموعه‌ای از الگوریتم‌های طراحی شده برای برآورد تبخیر-تعرق واقعی با استفاده از مشاهدات ماهواره‌ای می‌باشد. هر یاخته شامل چهار نوع پوشش سطح زمین شامل خاک لخت، پوشش گیاهی چمنی (با ارتفاع کم)، پوشش گیاهی با ارتفاع بلند (مانند درختان) و سطح آزاد آب می‌باشد. شار تبخیری برای هر یک از بخش‌ها به صورت جداگانه محاسبه و سپس تجمیع می‌شوند (Fisher et al., 2008). در این پژوهش داده‌های تبخیر-تعرق پایگاه داده GLEAM (ET_{GLEAM}) در مقیاس زمانی روزانه و در بازه زمانی ۲۰۱۳-۲۰۱۷ نسخه (v3) با تفکیک ۰/۲۵ × ۰/۲۵ درجه جغرافیایی برای حوضه مورد مطالعه از پایگاه داده <https://www.gleam.eu> دریافت و مورد استفاده قرار گرفت.

پایگاه داده ECMWF

پایگاه اقلیمی مرکز پیش‌بینی میان‌مدت جوی اروپایی (ECMWF) داده‌های ERA-Interim را عرضه کرده است. داده‌های ERA-Interim نتیجه پیش‌بینی این مرکز بوده و سپس با داده‌های زمینی و ماهواره‌ای ترکیب شده است و انتظار می‌رود که بیشترین هماهنگی را با داده‌های ایستگاهی داشته باشد. البته دقت این داده‌ها در نقاطی که تراکم ایستگاه‌ها زیاد بوده و از این ایستگاه‌ها در تولید داده‌ها استفاده شده بیشتر است (Balsamo et al., 2015، Dee et al., 2011). در این پژوهش از داده‌های تبخیر نسخه ERA-Interim با تفکیک ۰/۲۵ × ۰/۲۵ درجه جغرافیایی در مقیاس زمانی روزانه در بازه زمانی ۲۰۱۳-۲۰۱۷ برای حوضه‌های مورد مطالعه از پایگاه داده <http://apps.ecmwf.int> دریافت و مورد استفاده قرار گرفت.

برآورد تبخیر-تعرق واقعی با استفاده از مدل (PT-JPL)

مدل پریستلی-تیلور به صورت قابل توجهی دقیق می‌باشد و برای برآورد تبخیر-تعرق از لحاظ نظری قوی است. در مطالعات مختلفی برای برآورد شار منطقه‌ای و جهانی تبخیر از این مدل و داده‌های سنسور از دور استفاده می‌شود (Badgley et al., 2011).

$$\sigma_{ei}^2 = \frac{1}{2}(\sigma_{ij}^2 + \sigma_{ik}^2 - \sigma_{jk}^2) \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

برای دیگر زوج‌های (i, k) و (j, k) نیز رابطه واریانس منحصر به فرد به صورت روابط زیر محاسبه می‌شود.

$$\sigma_{ej}^2 = \frac{1}{2}(\sigma_{ij}^2 + \sigma_{jk}^2 - \sigma_{ik}^2) \quad \text{رابطه (۱۴)}$$

$$\sigma_{ek}^2 = \frac{1}{2}(\sigma_{ik}^2 + \sigma_{jk}^2 - \sigma_{ij}^2) \quad \text{رابطه (۱۵)}$$

در روش کلاه سه گوشه هر کدام از واریانس‌ها به صفر نزدیک‌تر باشد از عدم قطعیت کمتری برخوردار و نتایج آن مدل قابل قبول‌تر است.

طبقه‌بندی اقلیمی

بررسی سه بعدی دما در گستره ایران نشان داده است که پارامترهای دمایی در ایران حسب طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ارتفاع متغیر است (Khalili et al., 1992). چون طبقه‌بندی اقلیمی دوما رتن گسترش یافته خود تابعی از دمای هوا می‌باشد طبیعی بنظر می‌رسد که این عامل نیز تابع مختصات جغرافیایی باشد. برای پهنه‌بندی اقلیمی به روش دوما رتن گسترش یافته با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های موجود در حوضه کرخه و طول جغرافیایی Lon، عرض جغرافیایی Lat و ارتفاع Ele رابطه رگرسیونی به شکل زیر تهیه گردید.

$$y = a_0 + a_1 Lat + a_2 Lon + a_3 Ele + \varepsilon \quad \text{رابطه (۱۶)}$$

که در آن a_0 تا a_3 پارامترهای معادله و ε مقدار خطا یا اختلاف مقادیر مشاهده شده و محاسبه شده است. در نهایت و پس از تعیین قانونمندی پهنه‌بندی اقلیمی دوما رتن گسترش یافته با مشخصات جغرافیایی، نقشه‌های پهنه‌بندی اقلیمی ترسیم گردید و سپس بر اساس نتایج حاصل از تحلیل عدم قطعیت برای هر یاخته به بررسی اقلیم و عدم قطعیت پرداخته می‌شود.

نتایج و بحث

تحلیل عدم قطعیت

مقادیر تبخیر-تعرق واقعی با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS و مدل PT-JPT محاسبه شد. در این پژوهش از محصولات آماده MODIS استفاده نگردید، زیرا تاریخ این محصولات با یکدیگر متفاوت است و زمان مشترک آنها در طول دوره مطالعه اندک می‌باشد. به همین دلیل با استفاده از محصولات MOD07 و MOD11A1 و انجام تصحیحات هندسی و رادیومتریک بر روی تصاویر پارامترهای مورد نیاز معادلات دریافت و محاسبات انجام شد. لازم به ذکر است معیار انتخاب تصاویر درصد پوشش ابری

گردید. پس از دانلود تصاویر ماهواره‌ای و انجام تصحیحات لازم بر اساس معادله‌های ذکر شده میزان تبخیر-تعرق واقعی بر اساس مدل PT-JPL (ET-PT-JPL) در پنج زیرحوضه کرخه برآورد می‌گردد. هدف این پژوهش بررسی روش‌شناسی این مدل نمی‌باشد. برای رعایت ایجاز، خواننده می‌تواند محاسبات را در Fisher et al., 2008 مطالعه نماید.

تحلیل عدم قطعیت

مسائل مرتبط با طبیعت همواره شامل دامنه‌ای گسترده از متغیرها و پارامترهای نامعلوم و تصادفی هستند. معمولاً در برآورد و اندازه‌گیری این نوع متغیرها خطاهای زیادی وجود دارد که باعث ایجاد عدم اطمینان در نتایج تحقیقات می‌شوند. مدل کلاه سه گوشه برای تعیین عدم قطعیت نسبی در روش‌های مختلف بدون دانش پیشین از تبخیر-تعرق واقعی هنگامی که حداقل سه مجموعه مختلف از داده‌ها در دسترس باشند استفاده می‌شود. در این پژوهش نتایج حاصل از سنجش از دور مبتنی بر مدل PT-JPT و داده‌های پایگاه اقلیمی GLEAM و ECMWF جهت بررسی عدم قطعیت در دسترس می‌باشند. از آنجا که داده‌های مربوط به دو پایگاه داده و مدل PT-JPL برآورد تبخیر-تعرق در روش کلاه سه گوشه به علت ورودی‌های مشابه می‌تواند همبستگی داشته باشند بایستی همبستگی متقابل بین این سه در نظر گرفته شود و لازم نیست که منابع داده کاملاً مستقل باشند (Tavella and Premoli, 1991). در روش TCH فرض می‌شود که خطاهای مشاهداتی به طور نرمال توزیع می‌شوند و مستقل از یکدیگر هستند (Tavella and Premoli, 1994). مجموعه داده‌های مشاهداتی (Obsi) شامل دو جزء مقدار واقعی (X) و خطای مربوط به اندازه‌گیری (ei) می‌باشند که به صورت رابطه زیر است:

$$\text{Obs}_i = X + e_i \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

با توجه به مجموعه‌ای از سه جفت مشاهدات (i, j, k) متناظر با سه مجموعه داده مورد استفاده در این مطالعه در هر یاخته تفاوت بین دو به دوی مشاهدات بدست می‌آید. به عنوان نمونه تفاوت بین مشاهدات (i, j) به صورت زیر می‌باشد:

$$\text{Obs}_i - \text{Obs}_j = X + e_i - (X + e_j) = e_i - e_j \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

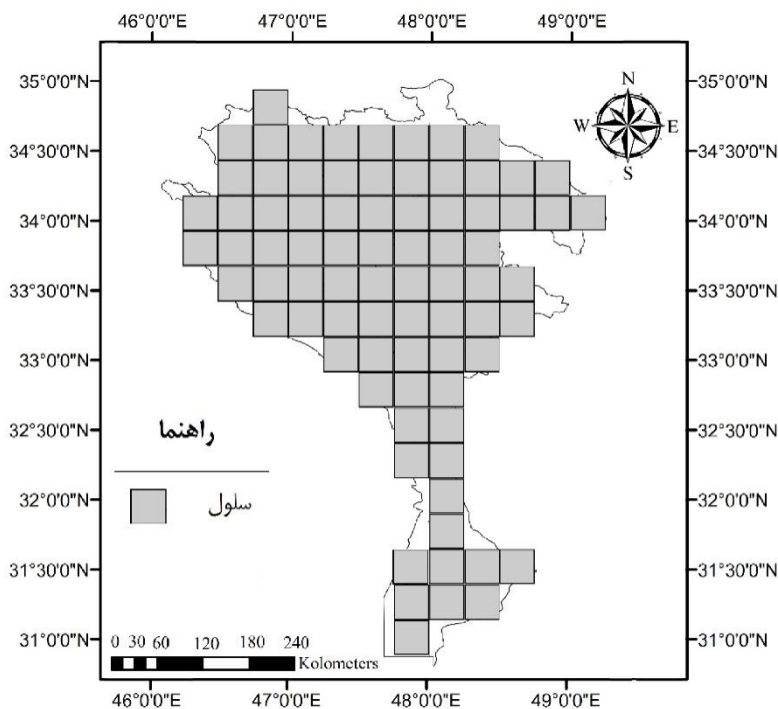
در معادله ۱۲، X مقدار واقعی در هر یاخته معین و e_i و e_j خطاهای مربوط به اندازه‌گیری می‌باشد. همچنین واریانس مربوط به تفاضل به صورت زیر می‌باشد:

$$\sigma_{ij}^2 = \sigma_{ei}^2 + \sigma_{ej}^2 - 2\text{cov}(e_i, e_j) \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

اگر خطا بین برآوردهای (i, j) مستقل باشند مقدار کورایانس صفر می‌شود و در نهایت واریانس منحصر به فرد σ_{ei}^2 به صورت زیر می‌باشد.

یاخته‌هایی که در داخل حوضه کرخه قرار دارند جدا گردیدند. سپس برای دو پایگاه داده، شبکه یاخته‌های درون حوضه کرخه با تفکیک مکانی ۰/۲۵ درجه مبتنی بر روش میانگین‌گیری آماده گردید. حوضه کرخه ۷۹ یاخته را در بر گرفته است که توزیع جغرافیایی یاخته‌ها در شکل (۲) نشان داده شده است.

کمتر از ۲۵ درصد در سطح منطقه مورد مطالعه است. با توجه به اینکه محدوده مورد مطالعه در دو تصویر سنجنده قرار می‌گرفت تعداد ۹۸ روز در بازه زمانی مورد مطالعه انتخاب شد و همچنین داده‌های تبخیر- تعرق در تاریخ‌های مورد بررسی از پایگاه‌های داده ERA-Interim و GLEAM نیز دریافت گردید. در گام بعد،

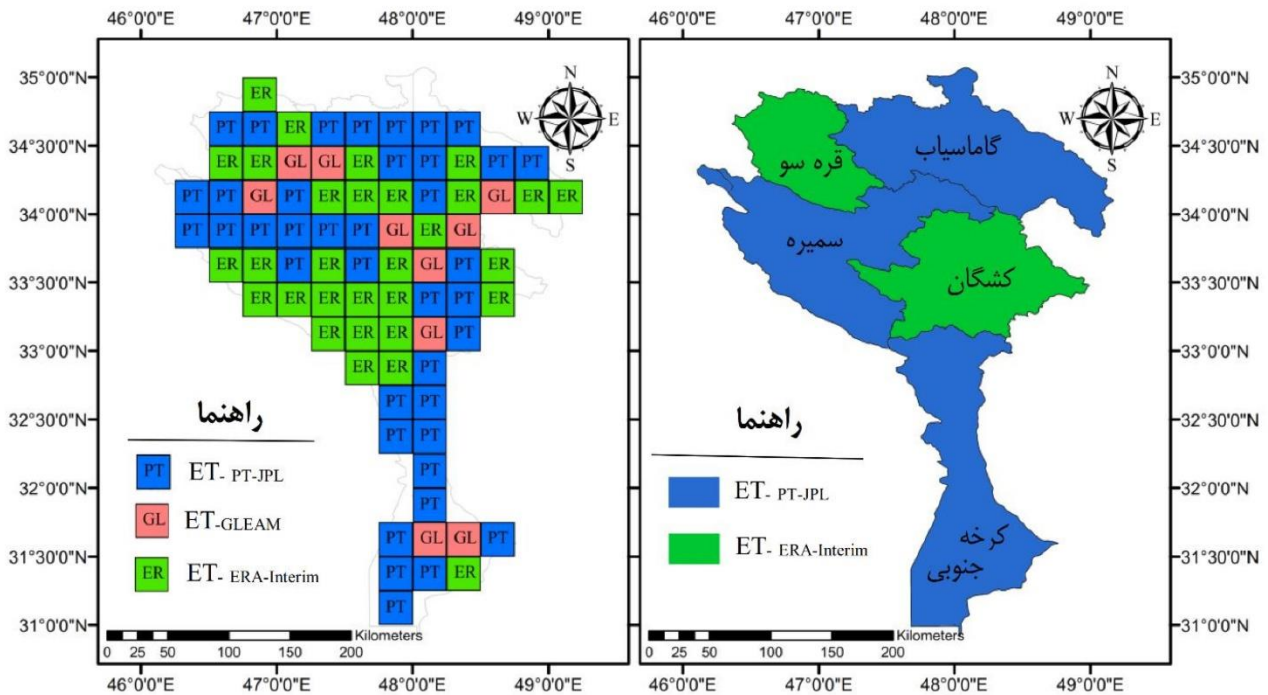


شکل ۲- توزیع جغرافیایی یاخته‌های قرارگرفته داخل حوضه کرخه

نشان داده شده است. با توجه به جدول (۳) در زیرحوضه سیمره در هیچ یاخته‌ای ET_{GLEAM} با توجه به روش کلاه سه‌گوشه منتخب نشده است. به‌طور کلی با توجه به کمترین عدم قطعیت ET_{GLEAM} در هر زیرحوضه درصد کمتری از یاخته‌ها را نسبت به $ET_{ERA-Interim}$ و ET_{PT-JPL} دارد. برای زیرحوضه‌های سیمره، کرخه جنوبی و گاماسیاب به ترتیب ۵۴/۴، ۷۲/۳ و ۵۰ درصد یاخته‌ها ET_{PT-JPL} و برای زیرحوضه‌های قره‌سو و کشگان به ترتیب ۵۵/۵ و ۵۳/۴ درصد یاخته‌ها $ET_{ERA-Interim}$ با توجه به روش کلاه سه‌گوشه بیشترین یاخته را به خود اختصاص داده‌اند که در شکل (۳) نیز نشان داده شده است.

برای تمام یاخته‌های قرارگرفته در حوضه کرخه سری‌های زمانی تبخیر- تعرق واقعی مبتنی بر مدل PT-JPL (ET_{PT-JPL}) و همچنین دو پایگاه داده GLEAM (ET_{GLEAM}) و ERA-Interim ($ET_{ERA-Interim}$) تهیه گردید. سپس با توجه به سری‌های زمانی مستخرج برای هر یاخته با روش کلاه سه‌گوشه عدم قطعیت محاسبه شد که نتایج در شکل (۳) نشان داده شده است. بر این اساس از ۷۹ یاخته موجود در حوضه کرخه ۳۹، ۱۰ و ۳۰ یاخته به ترتیب با روش سنجنش از دور مبتنی بر مدل PT-JPL (ET_{PT-JPL}) و دو پایگاه داده GLEAM (ET_{GLEAM}) و ERA-Interim ($ET_{ERA-Interim}$) منتخب گردید.

درصد یاخته‌های منتخب در هر زیرحوضه در جدول (۳)



شکل ۳- نقشه تحلیل عدم قطعیت با روش کلاه سه گوشه برای یاخته‌های حوضه و زیرحوضه‌های کرخه

جدول ۳- درصد یاخته مدل منتخب با روش کلاه سه گوشه برای حوضه و زیرحوضه‌های کرخه

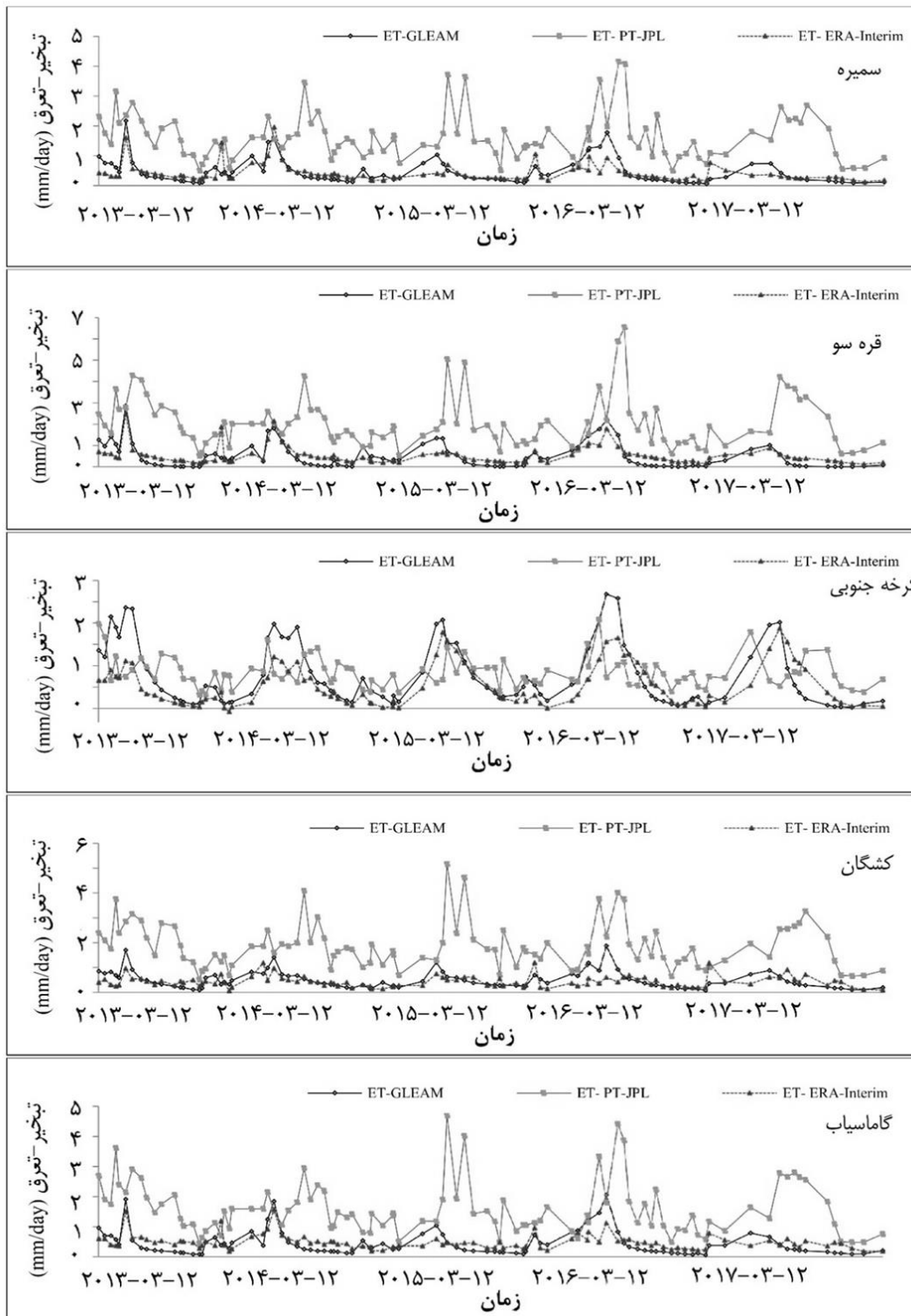
پایگاه داده			زیرحوضه
ET-PT-JPL	ET-GLEAM	ET-ERA-Interim	
۵۲/۴	۰	۴۷/۶	سیمره
۲۲/۲۵	۲۲/۲۵	۵۵/۵	قره سو
۷۲/۳	۱۱/۱	۱۶/۶	کرخه جنوبی
۲۶/۶	۲۰	۵۳/۴	کشگان
۵۰	۱۲/۵	۳۷/۵	گاماسیاب

استفاده شد. شکل (۶) نتایج مربوط به ماتریس همبستگی در زیرحوضه‌های کرخه را نشان می‌دهد. نتایج تحلیل همبستگی نشان داد که همبستگی بین ET_{PT-JPL} ، ET_{GLEAM} و $ET_{ERA-Interim}$ برای سه روش همبستگی در تمام زوج داده‌ها برای زیرحوضه‌ها در سطح ۵ درصد معنی‌دار بوده به جز همبستگی پیرسون بین داده‌های ET_{PT-JPL} و $ET_{ERA-Interim}$ برای زیرحوضه‌های سیمره و گاماسیاب که مقدار همبستگی به ترتیب برابر با ۰/۱۶ و ۰/۱۴ می‌باشد. بیشترین همبستگی‌ها در زیرحوضه‌های سیمره، قره سو، کرخه جنوبی و گاماسیاب مربوط به داده‌های ET_{GLEAM} ، $ET_{ERA-Interim}$ و ET_{PT-JPL} مربوط به همبستگی پیرسون بوده و به ترتیب برابر با ۰/۷۱، ۰/۷۹، ۰/۸۲ و ۰/۷۰ بوده است. به طور کلی برای پایگاه داده‌ها به جز حوضه کشگان که مقدار همبستگی اسپیرمن برابر با ۰/۵۵ (غیرخطی) و بیشتر از همبستگی پیرسون (خطی) برابر با ۰/۴۸ بوده است که نشان‌دهنده وجود یک رابطه

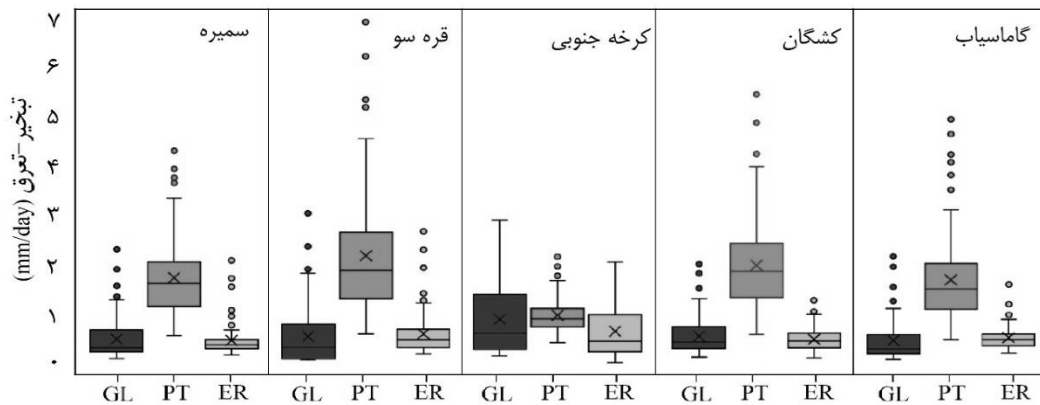
پس از محاسبه عدم قطعیت برای هر یاخته، یاخته‌های قرار گرفته در هر زیرحوضه برای سه روش مورد نظر متوسط‌گیری شده و سری زمانی آنها مطابق شکل (۴) محاسبه شد. مقادیر میانگین و میانه برای هر زیرحوضه در شکل (۵) نشان داده شده است. به طور کلی نتایج نشان می‌دهد که مقادیر ET_{PT-JPL} همواره از ET_{GLEAM} و $ET_{ERA-Interim}$ بیشتر بوده است. کمترین انحراف از میانگین تبخیر-تعرق واقعی مربوط به زیرحوضه کرخه جنوبی با مقدار میانگین ET_{GLEAM} ، ET_{PT-JPL} ، $ET_{ERA-Interim}$ به ترتیب ۰/۷۶، ۰/۸۴ و ۰/۵۳ میلیمتر در روز و بیشترین انحراف از میانگین مقدار تبخیر-تعرق مربوط به زیرحوضه قره سو با مقدار میانگین ET_{GLEAM} ، ET_{PT-JPL} ، $ET_{ERA-Interim}$ به ترتیب ۰/۴۶، ۰/۵۲ و ۰/۵۲ میلیمتر در روز است. جهت سنجیدن شدت رابطه بین ET_{GLEAM} ، ET_{PT-JPL} و $ET_{ERA-Interim}$ از تحلیل همبستگی با سه روش همبستگی پیرسون (خطی)، اسپیرمن و کندال (غیرخطی)

زیرحوضه‌های سیمره، قره‌سو، کرخه جنوبی، کشگان و گاماسیاب برابر با ۰/۴۶، ۰/۳۱، ۰/۳۰، ۰/۴۶، ۰/۲۹ و ۰/۳۸ و همبستگی بین ET_{PT-JPL} و ET_{GLEAM} برابر با ۰/۳۸، ۰/۵۳، ۰/۳۶، ۰/۴۲ و ۰/۳۱ بوده است.

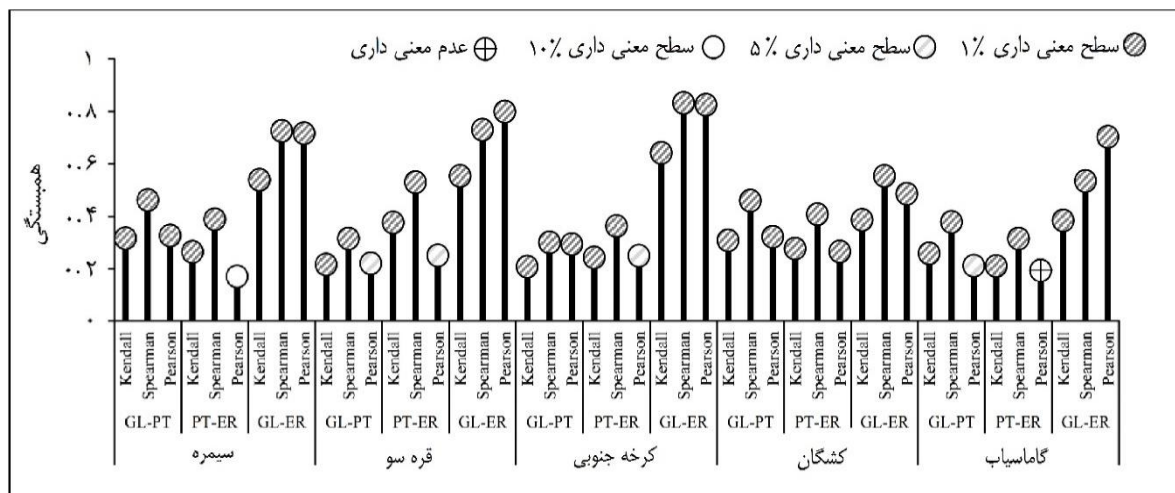
خطی بین این دو پایگاه داده است. همبستگی بین داده‌های ET_{PT-JPL} با ET_{GLEAM} و ET_{ERA-Interim} برای همبستگی اسپیرمن بیشتر از دو روش دیگر بوده و نشان‌دهنده وجود یک رابطه غیرخطی بین داده‌های مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای و پایگاه‌های اقلیمی است. مقادیر همبستگی بین ET_{PT-JPL} و ET_{GLEAM} برای



شکل ۴- نمودار سری زمانی متوسط تبخیر-تعرق زیر حوضه‌های کرخه



شکل ۵- نمودار جعبه‌ای (PT:ET_{PT-JPL}, GL:ET_{GLEAM}ER:ET_{ERA-Interim}) زیر حوضه‌های کرخه



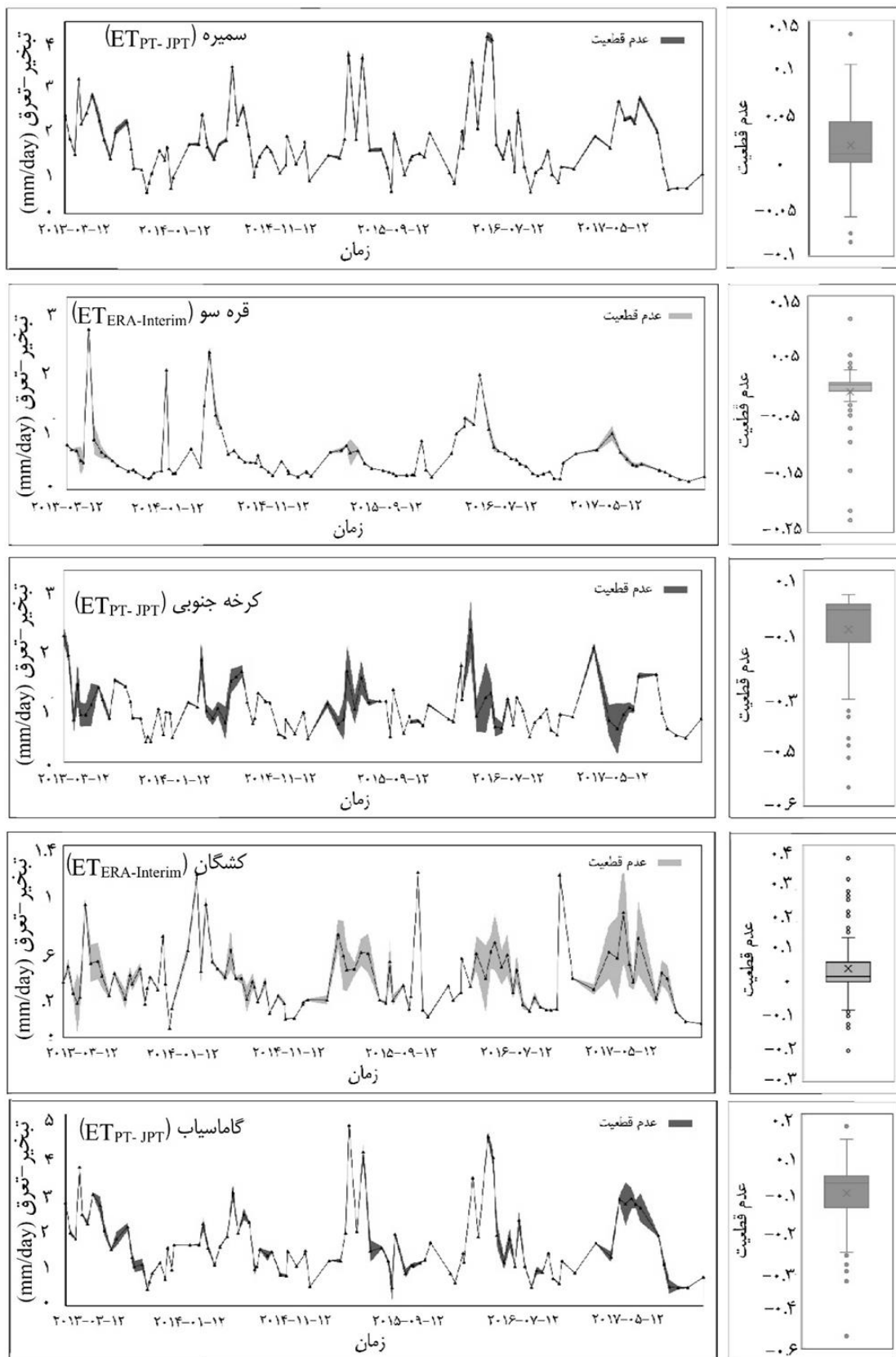
شکل ۶- نمودار همبستگی (PT:ET_{PT-JPL}, GL:ET_{GLEAM}ER:ET_{ERA-Interim}) در زیر حوضه‌های کرخه

های شمال حوضه و کاربری اراضی ترکیبی کشاورزی-باغ با ۲۴/۹ درصد در یاخته‌های کل حوضه مشاهده شده است. برای یاخته های کل حوضه کاربری اراضی مرتع با ۳۱/۵ درصد قابل مشاهده است. کاربری اراضی جنگلی با ۱۸/۹ درصد برای یاخته‌های مرکز و غرب حوضه کرخه قابل مشاهده است. کاربری‌های اراضی متفرقه با ۴/۵ درصد در اکثر یاخته‌ها و مناطق مختلف حوضه کرخه دیده می‌شود. در گام بعد، به بررسی سطوح یاخته‌ها با توجه به طبقه‌بندی‌های صورت‌گرفته از نقشه‌های کاربری اراضی و توپوگرافی پرداخته شد. ابتدا مقادیر کاربری اراضی در هفت طبقه جداسازی شد و در مرحله بعد مقادیر ارتفاعی نیز در هشت طبقه برای تمام سطوح یاخته‌ها استخراج گردید. همچنین بر اساس شماره یاخته‌ها برای تمامی یاخته‌ها درصد طبقات کاربری اراضی و همچنین طبقات ارتفاعی استخراج گردید. برای نمونه و براساس تحلیل عدم قطعیت سه یاخته ۵، ۲۲ و ۵۲ که به ترتیب مدل مبتنی بر سنجش از دور، پایگاه‌های داده GLEAM و ERA-Interim منتخب گردیده بودند در شکل (۸) نشان داده شده است.

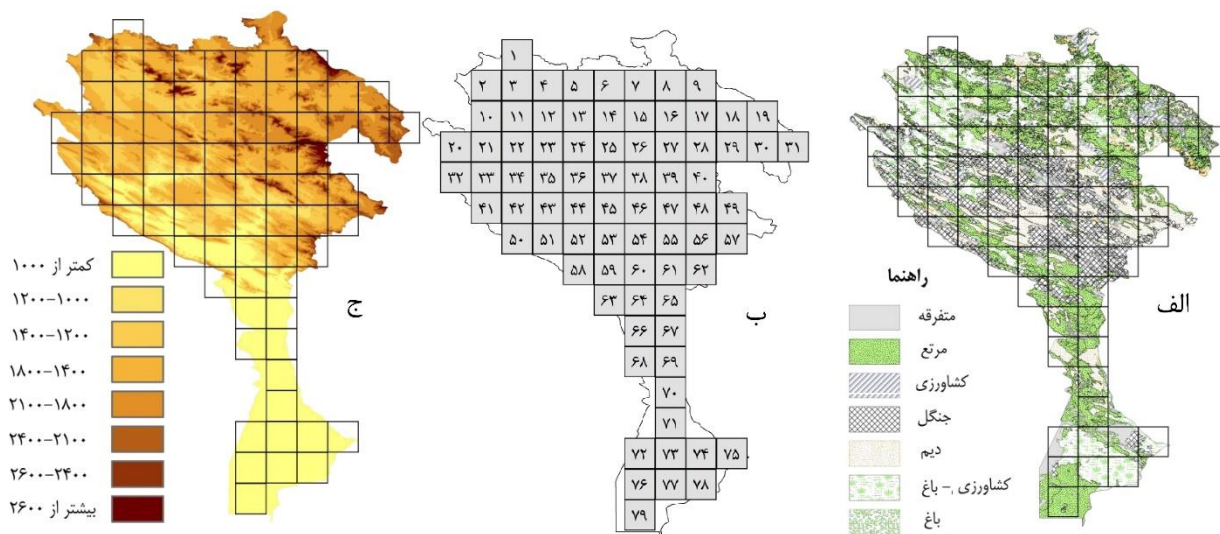
سری زمانی همراه با بازه عدم قطعیت و نمودار جعبه‌ای عدم قطعیت برای زیر حوضه‌های کرخه در شکل (۷) نشان داده شده است. با توجه به شکل (۷)، ET_{PT-JPL} برای زیرحوضه‌های سیمیره، کرخه جنوبی و گاماسیاب و ET_{ERA-Interim} برای زیرحوضه های قره‌سو و کشگان مناسب می‌باشند. کمترین عدم قطعیت مربوط به سیمیره و بیشترین عدم قطعیت مربوط به کشگان به ترتیب با دامنه ۰/۲۵ و ۰/۵۸ میلیمتر در روز بوده است.

کاربری اراضی و تغییرات ارتفاعی

بعد از انتخاب پایگاه داده مبتنی بر تحلیل عدم قطعیت برای هر یاخته و هر زیرحوضه به بررسی تاثیرات کاربری اراضی بر عدم قطعیت پرداخته شد. برای این منظور ابتدا از نقشه کاربری اراضی تهیه‌شده، هفت طبقه‌بندی برای کاربری اراضی شامل باغ-کشاورزی، باغ، کشاورزی، دیم، مرتع، جنگل و متفرقه تهیه شد. برای هر یاخته درصد کاربری اراضی مختلف محاسبه گردید که کاربری اراضی کشاورزی با ۲/۵ درصد و باغ با ۰/۵ درصد در یاخته



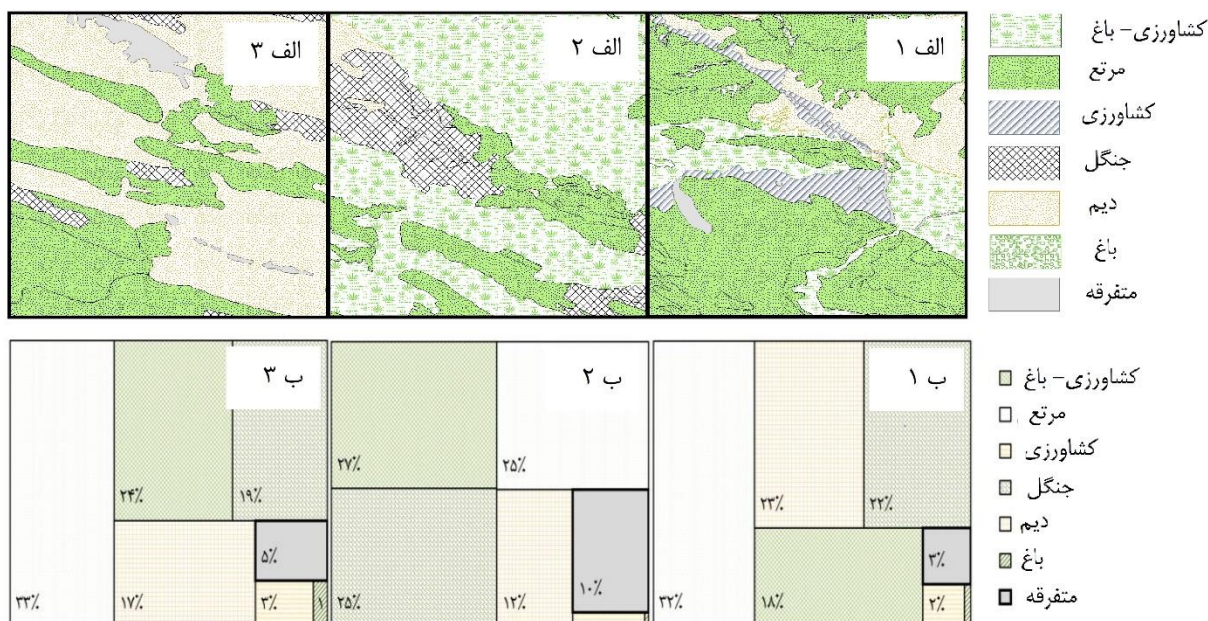
شکل ۷- نمودارهای جعبه‌ای عدم قطعیت و سری زمانی روزانه تبخیر-تعرق در زیرحوضه‌های کرخه



شکل ۸- الف: نقشه کاربری، ب: یاخته‌ها، ج: توپوگرافی حوضه کرخه

این یاخته در حدود یک درصد بوده است و بیشترین سهم از کاربری اراضی به ترتیب برای کشاورزی-باغ، مراتع و جنگل برابر با ۲۷، ۲۵، ۲۵ درصد و سهم کاربری اراضی دیم و متفرقه نیز به ترتیب برابر با ۱۲ و ۱۰ درصد بوده است. با توجه به شکل (۹) برای یاخته شماره ۵۲ بر اساس تحلیل عدم قطعیت داده‌های ERA-Interim توصیه شده است که سهم مراتع، دیم و جنگل بیشتر از دیگر کاربری اراضی بوده و به ترتیب در حدود ۳۲، ۲۳ و ۲۲ درصد بوده است. سهم کاربری اراضی کشاورزی-باغ در حدود ۱۸ درصد و مابقی طبقات در مجموع برای یاخته شماره ۵۲ در حدود ۵ درصد بوده است.

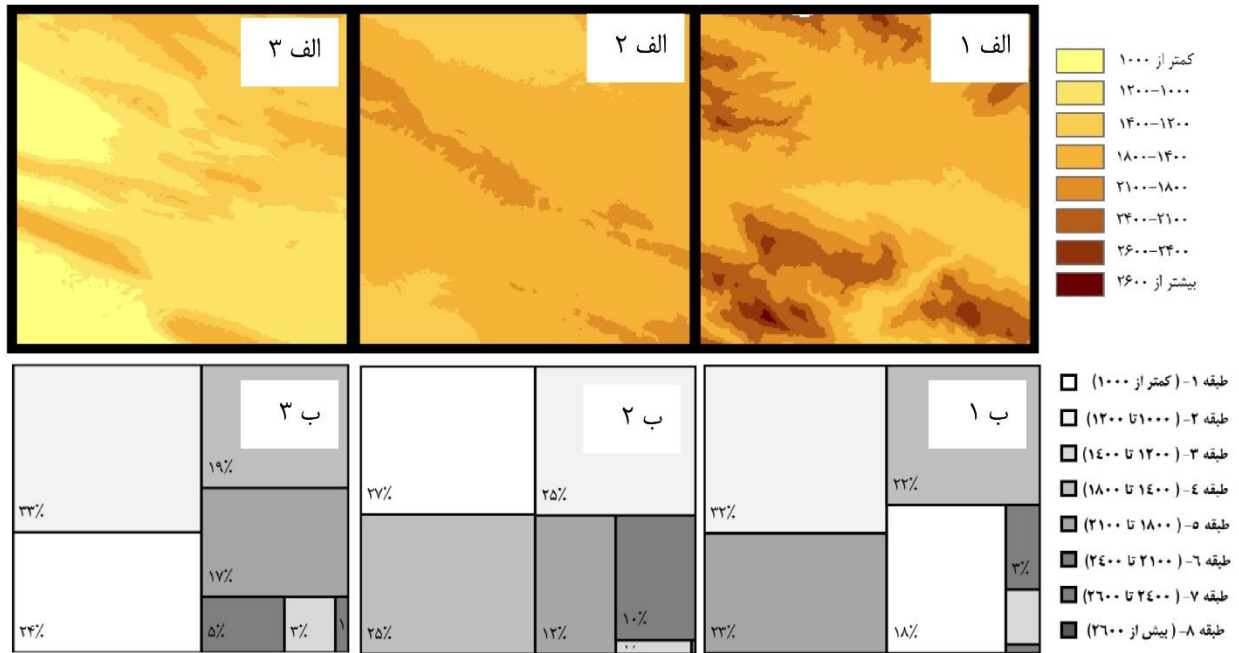
برای بررسی هر یاخته ابتدا با توجه به شماره یاخته‌ها سطح کاربری اراضی که با یاخته مذکور همپوشانی دارد جدا گردید و درصد تشکیل‌دهنده هر طبقه مشخص شد. شکل (۹) نتایج حاصل برای یاخته‌های شماره ۲۲، ۵ و ۵۲ در حوضه کرخه را نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۹) یاخته شماره ۵ پوشیده شده از ۳۳ درصد مرتع، ۲۴ درصد کشاورزی-باغ، ۱۹ درصد جنگل، ۱۷ درصد دیم، ۳ درصد کشاورزی، یک درصد باغ و همچنین ۵ درصد کاربری اراضی متفرقه است که در این یاخته مدل مبتنی بر ماهواره از عدم قطعیت کمتری برخوردار بوده است. برای یاخته شماره ۲۲ پایگاه داده GLEAM بر اساس تحلیل عدم قطعیت پذیرفته شد که فاقد کاربری اراضی باغ بوده و سهم کشاورزی در



شکل ۹- نقشه طبقه‌بندی کاربری اراضی و درصد طبقات متناظر با یاخته‌ها ۵۲ (الف ۱-ب)، ۲۲ (الف ۲-ب) و ۵ (الف ۳-ب) (۳)

۳۱ و ۳۳ درصد از کل پوشش می‌باشند که این مقدار پوشش برای یاخته شماره ۲۲ نیز با ۲۰ و ۳۱ درصد پوشش کل یاخته است. به‌طور کلی طبقه‌های ارتفاعی ۴، ۷ و ۸ برای هر سه یاخته مورد بررسی تقریباً کمتر از ۱۰ درصد بوده و طبقه ۵ نیز سهمی در حدود ۱۵ درصد از این سه یاخته را دارا است.

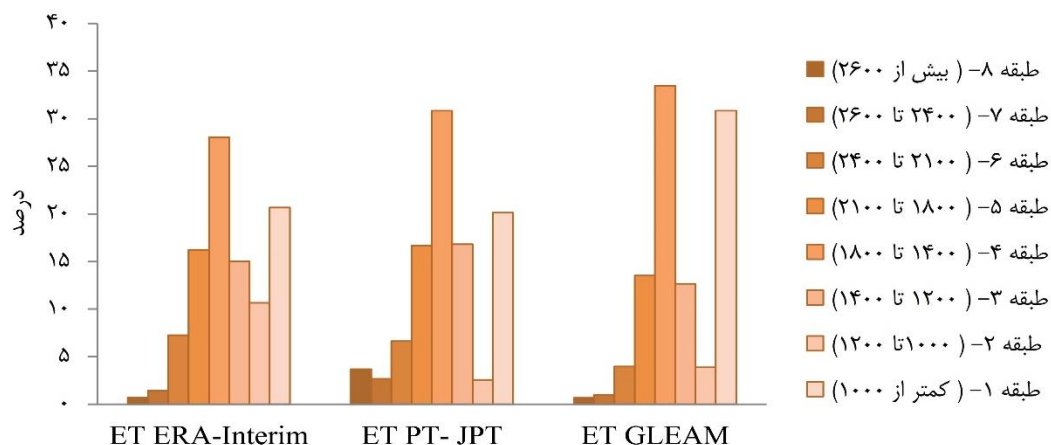
مراحل بررسی توپوگرافی در یاخته‌ها همانند بررسی آن در کاربری اراضی می‌باشد. شکل (۱۰) نتایج مربوط به بررسی توپوگرافی برای یاخته‌های منتخب (۲۲، ۵، ۵۲) را نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۱۰)، در یاخته شماره ۵ بیش از نیمی از پوشش یاخته در طبقه ارتفاعی یک و چهار قرار دارد که به ترتیب برابر با



شکل ۱۰- توپوگرافی و درصد طبقات مناظر با یاخته‌های ۵۲ (الف-۱ ب) و ۲۲ (الف-۲ ب)، ۵ (الف-۳ ب) حوضه کرخه

هایی که مدل PT-JPL برگزیده شده‌اند در طبقه ارتفاعی ۷ (۲۴۰۰ تا ۲۶۰۰ متر) قرار گرفته‌اند و موقعیت آنها در قسمت شرقی منطقه مورد مطالعه می‌باشد. درصد برگزیدگی داده‌های پایگاه ERA-Interim و مدل PT-JPL در طبقات ارتفاعی مختلف حوضه کرخه در شکل (۱۲) نشان داده شده است.

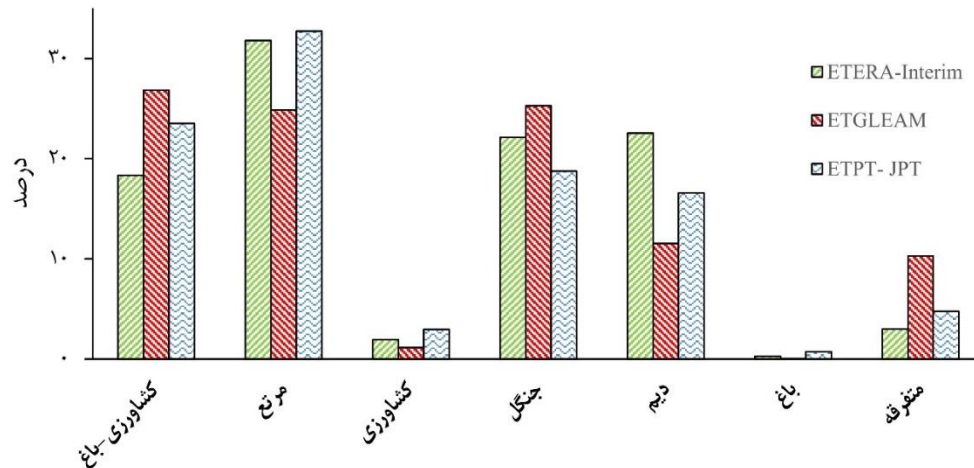
با توجه به شکل (۱۱) به‌طور کلی هر دو پایگاه داده و مدل سنجش از دور در طبقات ارتفاعی ۴ و ۱ عملکرد بهتری نشان داده‌اند که پراکنش محلی این طبقه ارتفاعی در قسمت غرب و جنوب حوضه کرخه موقعیت دارد. یاخته‌هایی که داده‌های پایگاه ERA-Interim و GLEAM منتخب شده‌اند عملکرد ضعیف تری در طبقه ارتفاعی ۸ یعنی ارتفاع بیشتر از ۲۶۰۰ متر و یاخته



شکل ۱۱- درصد برگزیدگی داده‌های پایگاه (ET_{ERA-Interim}, ET_{GLEAM}) و مدل PT-JPL در طبقات ارتفاعی مختلف حوضه کرخه

مراعات ET_{PT-JPL} و در کاربری دیوم $ET_{ERA-Interim}$ از عدم قطعیت کمتری برخوردار بودند. درصد برگزیدگی داده‌های دو پایگاه $(ET_{ERA-Interim}, ET_{GLEAM})$ و مدل $PT-JPL$ در کاربری اراضی مختلف حوضه کرخه در شکل (۱۲) نشان داده شده است.

همچنین برای هر کاربری در سطح کل حوضه کرخه درصد یاخته‌هایی که مدل $PT-JPL$ و دو پایگاه داده اقلیمی بر اساس تحلیل عدم قطعیت برگزیده شده‌اند بیانگر این است که در کاربری کشاورزی-باغ و جنگل داده‌های ET_{GLEAM} و در کاربری



شکل ۱۲- درصد برگزیدگی داده‌های دو پایگاه $ERA-Interim$, $GLEAM$ و مدل $PT-JPL$ در کاربری اراضی مختلف حوضه کرخه

گرم، $17/7$ درصد در اقلیم خشک گرم، $12/7$ درصد در اقلیم مدیترانه‌ای گرم و همچنین اقلیم‌های نیمه‌مرطوب گرم و بسیار مرطوب سرد نیز $1/3$ درصد از یاخته‌ها را به خود اختصاص داده‌اند. درصد طبقات اقلیمی یاخته‌های قرارگرفته در حوضه کرخه به روش دومارتن گسترش‌یافته در جدول (۴) آمده است.

طبقه‌بندی اقلیمی

نتایج حاصل از طبقه‌بندی اقلیمی به روش دومارتن گسترش‌یافته برای هر یاخته نشان داد که از 32 طبقه اقلیمی موجود در این روش 9 طبقه اقلیمی وجود دارد. بررسی نتایج برای 79 یاخته نشان داد که $46/8$ درصد از تعداد کل یاخته‌ها دارای اقلیم نیمه‌خشک

جدول ۴. درصد طبقات اقلیمی یاخته‌های قرارگرفته در حوضه کرخه به روش دومارتن گسترش‌یافته

اقلیم	درصد	اقلیم	درصد
خشک گرم	$17/7$	نیمه مرطوب گرم	$1/3$
نیمه خشک گرم	$46/8$	مرطوب معتدل	$7/6$
مدیترانه‌ای معتدل	$6/3$	بسیار مرطوب سرد	$1/3$
مدیترانه‌ای گرم	$12/7$	بسیار مرطوب معتدل	$2/5$
نیمه مرطوب معتدل	$3/8$		

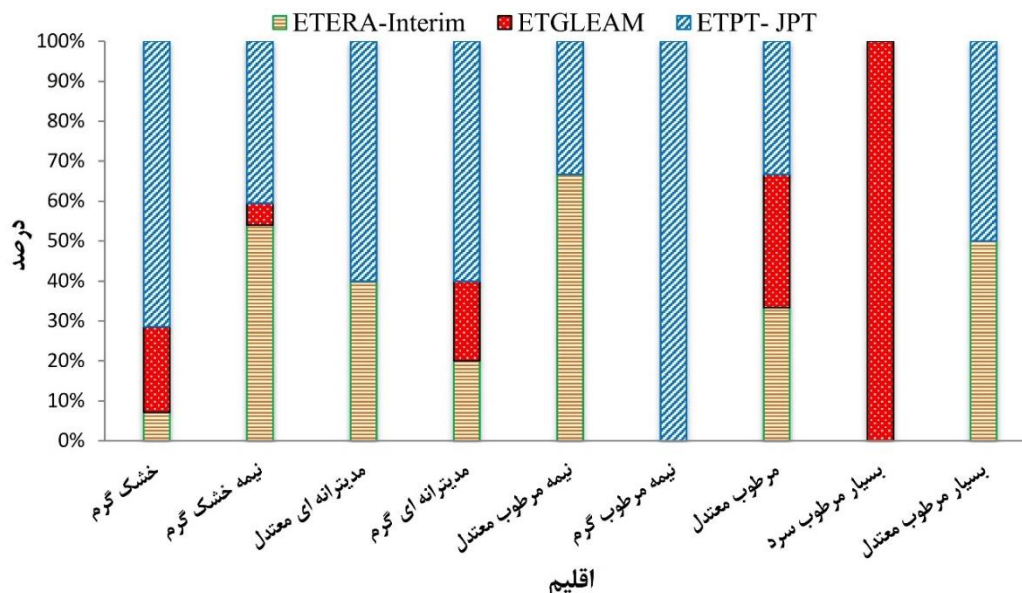
منتخب شده 5 طبقه اقلیمی از 9 طبقه اقلیمی موجود در حوضه کرخه مشاهده گردید. در طبقات اقلیمی خشک گرم، مدیترانه‌ای معتدل و مدیترانه‌ای گرم به ترتیب 71 ، 60 و 60 درصد از یاخته‌ها مدل سنجش از دور مبتنی بر مدل $PT-JPL$ منتخب شده بود. همچنین در طبقات اقلیمی نیمه‌مرطوب معتدل و نیمه‌خشک گرم به ترتیب در 67 و 54 درصد از یاخته‌ها روش $ERA-Interim$ برگزیده شده بود. یاخته‌هایی که دارای طبقه اقلیمی مرطوب معتدل می‌باشند هر دو پایگاه داده و روش مبتنی بر سنجش از دور سهم برابری معادل $33/33$ درصد را به خود اختصاص داده و برای طبقه اقلیمی بسیار مرطوب معتدل سهم پایگاه داده $ERA-Interim$ و مدل سنجش از دور مبتنی بر $PT-JPL$ برابر و معادل

بعد از طبقه‌بندی اقلیمی برای هر یاخته به بررسی درصد برگزیدگی داده‌های ET_{GLEAM} ، $ET_{ERA-Interim}$ و مدل $PT-JPL$ در اقلیم‌های حوضه کرخه پرداخته شد.

با توجه به شکل‌های (۳) و (۱۳) نتایج نشان داد که با توجه به کمترین عدم قطعیت برای یاخته‌هایی که با مدل $PT-JPL$ منتخب گردیده بودند طبقه اقلیمی بسیار مرطوب سرد مشاهده نگردید و همچنین تمام یاخته‌هایی که در اقلیم نیمه مرطوب گرم قرار گرفته‌اند این مدل از عدم قطعیت کمتری برخوردار بوده است. تمامی یاخته‌هایی که در اقلیم بسیار مرطوب سرد قرار گرفته‌اند مربوط به یاخته‌هایی هستند که پایگاه داده $GLEAM$ منتخب شده است. برای یاخته‌هایی که پایگاه داده $GLEAM$

شکل (۱۳) آمده است.

با ۵۰ درصد می‌باشد. درصد برگزیدگی داده‌های GLEAM و ERA-Interim و مدل PT-JPL در اقلیم‌های حوضه کرخه در



شکل ۱۳- درصد برگزیدگی داده‌های دو پایگاه GLEAM و ERA-Interim و مدل PT-JPL در اقلیم‌های حوضه کرخه

نتیجه‌گیری کلی

قطعیت‌ها و عوامل تاثیرگذار بر آن به بررسی کاربری اراضی و ارتفاع از سطح دریا برای هر یاخته با تفکیک مکانی ۱۰۰۰ متر پرداخته شد. بررسی تغییرات ارتفاعی تبخیر- تعرق واقعی حوضه کرخه نشان داد که بر مبنای کمترین عدم قطعیت، نتایج دو پایگاه داده و مدل PT-JPL در ارتفاع ۱۴۰۰ تا ۱۸۰۰ متر از سطح دریا عملکرد بهتری دارند و در ارتفاع بالاتر از ۲۶۰۰ متر از سطح دریا که در قسمت شرق حوضه کرخه قرار دارد عملکرد ضعیف‌تری داشته‌اند. نتایج حاصل از طبقه بندی اقلیمی به روش دو مارتن گسترش یافته نشان داد که از ۳۲ اقلیم موجود در روش دومارتن گسترش یافته ۹ طبقه اقلیمی در حوضه کرخه وجود دارد داده-های ETPT-JPL در اقلیم خشک گرم و داده‌های ETERA-Interim در اقلیم نیمه مرطوب معتدل و داده‌های ETGLEAM در اقلیم بسیار مرطوب سرد، منتخب می‌باشند. بر اساس الگوی کاربری اراضی و عدم قطعیت برآوردهای تبخیرتعرق، در یاخته‌هایی با کاربری کشاورزی-باغ و جنگل داده‌های ETGLEAM از عدم قطعیت کمتری برخوردار می‌باشد. در یاخته‌هایی با کاربری مراتع، داده-های مدل ETPT-JPL و پایگاه ETERA-Interim و در یاخته‌های با کاربری دیمزار، داده‌های ETERA-Interim برگزیده شدند که با نتایج Sarfraz Khan *et al.* (2018) مطابقت دارد و دلیل عملکرد بهتر داده‌های ETGLEAM در این کاربری‌ها منظور کردن تلفات برگاب در پوشش‌های گیاهی کوتاه و بلند و استفاده از امواج میکروویو در شرایط ابری می‌باشد. در یاخته‌های با کاربری مرتع داده‌های

استفاده بهینه از داده‌های تبخیر- تعرق پایگاه‌های داده اقلیمی در مقیاس‌های مختلف مکانی برای انواع پارامترهای هیدرو هواشناسی و برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای نیاز به توصیف عدم قطعیت‌های آنها دارد. این مطالعه به بررسی عدم قطعیت دو پایگاه داده GLEAM و ERA-Interim و نتایج حاصل از مدل PT-JPL پرداخته است. نتایج این پژوهش نشان داد که پایگاه داده GLEAM و ERA-Interim دارای همبستگی بالایی بوده و اختلاف میانگین پایینی دارند، اما داده‌های سنجش از دور مبتنی بر مدل PT-JPL دارای مقداری عددی بالاتری نسبت به دو پایگاه داده اقلیمی بوده و به تبع آن اختلاف میانگین بالاتری نسبت به دو پایگاه داده GLEAM و ERA-Interim دارد. تحلیل عدم قطعیت نشان داد که متوسط مقادیر عدم قطعیت برای یاخته‌ها و تبع آن برای متوسط هر زیرحوضه در نزدیکی صفر بوده است. به‌طور کلی برای انتخاب تبخیر-تعرق واقعی مبتنی بر عدم قطعیت از ۷۹ یاخته واقع شده در حوضه کرخه ۳۹، ۳۰ و ۱۰ یاخته با روش‌های ETPT-JPL، ETERA-Interim و ETGLEAM با توجه به کمترین عدم قطعیت انتخاب شدند. بررسی مکانی نشان می‌دهد یاخته‌هایی که مدل ETPT-JPL منتخب شده‌اند مربوط به مناطق جنوبی و غربی حوضه کرخه و یاخته‌هایی که داده‌های پایگاه ETERA-Interim منتخب شده‌اند مربوط به نواحی مرکزی و به سمت غرب حوضه کرخه بوده است. در این پژوهش برای بررسی و درک بهتر عدم

و مدل PT-JPL در مقیاس منطقه‌ای را نشان می‌دهد که به‌طور بالقوه می‌تواند توسط جامعه آب و هواشناسی، تصمیم‌گیرندگان و مدیران آب منطقه‌ای برای مدیریت کارآمد منابع آب و تجزیه و تحلیل خشکسالی مورد استفاده قرار گیرد و رویکرد گسترده استفاده از داده‌های تبخیر- تعرق پایگاه اقلیمی به همراه بررسی عدم قطعیت آن‌ها به منظور ترویج محصولات یکپارچه و بزرگ مقیاس داده‌های تبخیر- تعرق در برنامه‌ریزی‌های هیدرولوژیکی در مناطقی که دسترسی به این پارامتر کمیاب می‌باشد مورد توجه قرار گیرد.

ET_{PT-JPL} و ET_{ERA-Interim} و در یاخته‌های با کاربری دیمزار از درصد برگ‌زیدگی بالاتری برخوردار می‌باشد. تنوع کاربری اراضی و پوشش گیاهی سطح زمین در منطقه مورد مطالعه نشان داد که الگوهای عدم قطعیت داده‌های تبخیر- تعرق دو پایگاه GLEAM و ERA-Interim و نتایج حاصل از مدل PT-JPL به شدت تحت تأثیر ویژگی‌های پوشش گیاهی سطح زمین می‌باشد که با نتایج Badlger *et al.*, (2015) مطابقت دارد. به طور کلی ارزیابی عدم قطعیت، بینش عمیق‌تری به کیفیت و پویایی داده‌های پایگاه‌های GLEAM و ERA-Interim

REFERENCES

- Akbari, M. Z., Seif, Z. and Abyane, H. (2011). Estimation of Evapotranspiration by Remote Sensing Technique under Different Climate Condition. *Journal of Water and Soil*, 25, 835-844. (In Farsi)
- Badgley, G., Fisher, J., Jimenez, C., Tu, K. P. and Vinukollu, R. (2015). On uncertainty in global terrestrial evapotranspiration estimates from choice of input forcing datasets, *J. Hydrometeorol*, 16, 1449-1455.
- Balsamo, G. Albergel, C. Beljaars, A. Boussetta, S. Brun, E. Cloke, H. Dee, D. Dutra, E. Munoz-Sabater, J. Pappenberger, F. de Rosnay, P. Stockdale, T. and Vitart, F. (2015). ERA-Interim/Land: a global land surface reanalysis data set, *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 19, 389-407.
- Bastiaanssen, W. (2000). SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. *Journal of hydrology*, 229, 87-100.
- Choudhury, J., Ahmed N.U., Idso, S.B., Reginato, R.J. and Daughtry, C.S.T. (1994). Relations between evaporation coefficients and vegetation indices studied by model simulations. *Remote Sensing of Environment*, 50, 1-17.
- Dee, D., Uppala, S., Simmons, A., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., Andrae, U., Balmaseda, M., Balsamo, G., Bauer, P., Bechtold, P. and Beljaars, P. (2011). The ERA-Interim reanalysis, configuration and performance of the data assimilation system, *Q. J. R. Meteorol.* 137, 553-597.
- Feizolahpour, F. Delavar, M and Afshar, H. (2018). Evaluation and Uncertainty Analysis of Reference Crop Evapotranspiration Estimation Using Genetic Programming. *Journal of Water and Soil*, 27, 135-147. (In Farsi)
- Fisher, J. B., Tu, K. P. and Baldocchi, D. (2008). Global estimates of the land-atmosphere water flux based on monthly AVHRR and ISLSCP-II data, validated at 16 FLUXNET sites, *Remote Sens. Environ.* 112, 901-919.
- Gao, Y., Long, D. and Li, Z. (2008). Estimation of daily evapotranspiration from remotely sensed data under complex terrain over the upper Chao river basin in north China. *International Journal of Remote Sensing*, 29(11), 3295-3315.
- Khalili, A., Hajam, S. and Irannejad, P. (1992). Integrated water plan of Iran, 4, 1964-1984.
- Liu, Y., Qianlai, Z., Diego, M., Zhihua, P., Kicklighter, D., Zhu, Q., He, Y., Andrey, T. and Melillo, J. (2015). Evapotranspiration in Northern Eurasia: Impact of forcing uncertainties on terrestrial ecosystem model estimates. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 10, 23-65.
- Long, D., Longuevergne, L., Bridget, A. and Scanlon, R. (2014). Uncertainty in evapotranspiration from land surface modeling, remote sensing, and GRACE satellites. *Water Resources Research*, 14, 121-133.
- Makhdom, M. R. (2014). *Fundamental of Land Use Planning* (14th Ed). University of Tehran Press.
- McCabe, M A. Ershadi, C. Jimenez, D. G. Miralles, D. Michel, E. and Wood, E. F. (2016). The GEWEX LandFlux project: evaluation of model evaporation using tower-based and globally gridded forcing data. *Geosci. Model Dev*, 9, 283-305.
- Miralles, D.G. Holmes, T. De Jeu, R. Gash, J. Meesters, A. and Dolman, A. (2011). Global land-surface evaporation estimated from satellite-based observations. *Hydrol. Earth Syst.* 2, 453-469.
- Niyogi, D. Alapaty, K. Raman, S. and Chen, F. (2009). Development and evaluation of a coupled photosynthesis-based Gas Exchange Evapotranspiration Model (GEM) for mesoscale weather forecasting applications, *J. Appl. Meteorol. Climatol.* 48, 349-368.
- Raziei, T. and Sotoudeh, F. (2017). Investigation of the accuracy of the European Center for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF) in forecasting observed precipitation in different climates of Iran. *Journal of the Earth and Space Physics*, 43.1- 10. (In Farsi)
- Sahoo, A. K. Pan, M. Troy, T. Vinukollu, R. Sheffield, J. and Wood, E. (2011). Reconciling the global terrestrial water budget using satellite remote sensing, *Remote Sens. Environ.*, 115, 1850-1865.
- Sarfraz khan, M. Waqas, U. Baik, J. and Choi, M. (2018). Stand-alone uncertainty characterization of GLEAM, GLDAS and MOD16 evapotranspiration products using an extended triple collocation approach. *Agricultural and*

Forest Meteorology 252, 256–268.

Tavella, P. and Premoli, A. (1991). Characterization of frequency standard instability by estimation of their covariance matrix, paper presented at the 23rd Annual Precise Time and Time Interval (PTTI) Applications and Planning Meeting, U.S. Naval Observatory, Pasadena. 3–5.

Tavella, P. and Premoli, A. (1994). Estimating the

instabilities of N-Clocks by measuring differences of their readings, Metrologia, 30, 479– 486.

Vinukollu, R. K. Sheffield, J. Wood, E. F. Bosilovich, M. G. and Mocko, D. (2011). Multimodel Analysis of Energy and Water Fluxes: Intercomparisons between Operational Analyses, a Land Surface Model, and Remote Sensing, J. Hydrometeorol., 13, 3–26.