



## بر آورد میزان تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از الگوریتم سبال کوهستانی بر پایه گیاه نخود (مطالعه‌ی موردی: نیمه‌ی شمالی استان اردبیل)

مهدی اسدی<sup>۱</sup>، خلیل ولیزاده کامران<sup>۲\*</sup>، محمد باعقیده<sup>۳</sup>، حامد ادب<sup>۴</sup>

۱- دکتری آب و هواشناسی کشاورزی، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

۲- دانشیار گروه سنجش از دور، برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۳- دانشیار اقلیم شناسی، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

۴- استادیار گروه سنجش از دور، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

وصول مقاله: ۱۳۹۷/۰۸/۰۷      تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۹/۰۲/۱۷

### چکیده

نظارت بر تبخیر و تعرق پیامدهای مهمی را برای مدیریت منابع آبی در سطح جهانی و منطقه‌ای دارا می‌باشد. لذا در این تحقیق با توجه به اینکه نیمه‌ی شمالی استان اردبیل یکی از قطب‌های مهم کشاورزی کشور است، با استفاده از تصاویر لندست ۸ مربوط به تاریخ ۲۰۱۸/۷/۱ و روش‌های سبال و سبال کوهستانی میزان تبخیر و تعرق برآورد گردیده و با روش پنمن مانیتث مقایسه شد. در ادامه با استفاده از طبقه‌بندی شیء‌گرا با ضریب کاپای ۰/۹۴۵ و دقت کلی ۰/۹۵۶ سطوح مختلف کاربری اراضی در سطح منطقه استخراج گردید. بر اساس نتایج حاصله، سطوح آبی با مقدار ۹/۶۱ و ۹/۵۰ میلی‌متر در روز دارای بیشترین و اراضی شهری و بایر با مقدار میانگین ۲/۸۴۵ و ۲/۰۸ میلی‌متر در روز به ترتیب در روش‌های سبال و سبال کوهستانی دارای کمترین میزان تبخیر و تعرق واقعی ۲۴ ساعته می‌باشند. همچنین میزان نیاز آبی محصول نخود نیز به ترتیب ۷/۱۴ و ۶/۷۰ میلی‌متر در روز برای روش‌های سبال و سبال کوهستانی برآورد گردید و با روش پنمن مانیتث با مقدار ۶/۳۲ میلی‌متر در روز مقایسه شد که دارای میانگین تفاضل مطلق (MAD) ۰/۶۰ می‌باشد. در ادامه مساحت هر یک از اراضی استخراج شد که اراضی تحت کشت نخود با مساحت ۱۲۰۲/۶۲ هکتار کمترین مقدار را دارا بود و با میزان مساحت (۱۱۴۷/۲۵ هکتار) اعلام شده از سوی جهاد کشاورزی استان اردبیل حدود ۴/۶ درصد اختلاف داشت که به نظر قابل قبول می‌رسد.

**کلمات کلیدی:** سبال کوهستانی، پنمن مانیتث، طبقه‌بندی شیء‌گرا، گیاه نخود، اردبیل

#### ۱- مقدمه

علاوه بر بارش و رواناب، تبخیر و تعرق نیز یکی از اجزای اصلی چرخه‌ی هیدرولوژیکی است که در میان خاک، گیاه و اتمسفر تحت تأثیر دو فرآیند بیوفیزیکی و محیطی قرار دارد (بودیکو<sup>۱</sup>، ۱۹۷۴: ۲؛ بوور و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۰۸: ۶۷۰). نظارت بر تبخیر و تعرق پیامدهای مهمی را برای مدل‌سازی آب و هوا در سطح جهانی و منطقه‌ای دارا می‌باشد، همچنین در شناخت چرخه هیدرولوژیکی و ارزیابی استرس‌های زیست‌محیطی که بر روی جنگل‌ها و اکوسیستم‌های کشاورزی تأثیر می‌گذارد، مفید است (کاستاس و نورمن<sup>۳</sup>، ۱۹۹۶: ۴۹۶). زیرا تبخیر و تعرق یکی از فرایندهایی است که تحت تأثیر عناصر اقلیمی همچون بارش، ابرناکی، رطوبت، توزیع باد و غلظت گاز اتمسفر قرار می‌گیرد (فلانگین و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۰۹: ۵۴۹؛ مایر و چن<sup>۵</sup>، ۲۰۰۶: ۳۴).

ثابت بودن بارش و حتی در برخی موارد کاهش بارش و در مقابل افزایش تبخیر و تعرق باعث شده بیشتر نیازهای انسانی، کشاورزی و طبیعی با کمبود آب در دسترس رو به رو باشند (میلر و همکاران<sup>۶</sup>، ۲۰۰۷: ۱۰۶۷). در نتیجه روش‌های تعادل هیدرولوژیکی مانند مدل‌سازی تبخیر و تعرق به‌طور گسترده‌ای در تلاش برای تخمین اثرات تغییر اقلیم در نیاز آبی محصولات و گیاهان است (مک‌کنی و روزنبرگ<sup>۷</sup>، ۱۹۹۳: ۸۲). از جمله روش‌های تخمین تبخیر و تعرق روش‌های سبال (برای مناطق مسطح) و سبال کوهستانی (برای مناطق کوهستانی) می‌باشد که دارای مزیت‌هایی همچون داده‌های میدانی کم، قابلیت کاربرد برای اقلیم‌های مختلف، عدم دخالت داده‌های مدل‌های هیدرولوژی و لایه‌ی مرزی سیاره‌ای و غیره

۱- Budyko

۲- Bouwer et al.,

۳- Kustas and Norman

۴- Iannigan et al.,

۵- Maayar and Chen

۶- Miller et al.,

۷- McKenney and Rosenberg

است (مباشری، ۲۰۰۷: ۹۰). بدین منظور تحقیقات زیادی با استفاده از روش سبال در سطح جهان و ایران برای برآورد میزان تبخیر و تعرق صورت گرفته که در ادامه به چند مورد از آن‌ها اشاره خواهد شد. دو همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۳) به برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از تصاویر مودیس و الگوریتم سبال در دشت سانجیانگ کشور چین پرداختند. در این پژوهش میزان تبخیر و تعرق برای کاربری‌های مختلف به صورت فصلی محاسبه گردید که در آن میزان میانگین تبخیر و تعرق زمین‌های خشک ۴۹۱، مزارع شالیکاری ۵۲۲، زمین‌های مرطوب ۵۸۶ و دریاچه‌ی سانجیانگ نیز ۸۲۳ میلی‌متر تخمین زده شد. یانگ و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۸) در شمال غرب چین به ارزیابی راندمان ذخیره آب با استفاده از الگوریتم سبال پرداختند. نتایج بیانگر آن بود که بهترین راه مدیریت آب در مناطق خشک کشور چین افزایش بهره‌وری آب و همچنین کنترل و محدودسازی احیا بی‌رویه مزارع کشاورزی است. سیلوا و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۸) به برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از روش سبال و تصاویر لندست ۸ پرداختند. در این پژوهش مقادیر برآوردی تبخیر و تعرق از روش سبال با روش پنمن مانیتیت فائو مقایسه شد که میزان اختلاف آن‌ها کمتر از ۱ میلی‌متر در روز بود. از سایر کارهای انجام یافته در خارج از کشور در این زمینه می‌توان به ولف و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۱۸؛ کروسو و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۱۸؛ آتاسور و اوزکان<sup>۶</sup>، ۲۰۱۸ و غیره... اشاره نمود. در داخل کشور نیز پژوهش‌هایی در این زمینه صورت پذیرفته که به چند مورد از آن‌ها اشاره می‌گردد. ولیزاده و همکاران (۲۰۱۲) به برآورد تبخیر و تعرق و ارتباط آن با کاربری‌های زمین در محیط GIS پرداختند. بعد از تحلیل‌های صورت گرفته مشخص گردید که بیشترین مقدار تبخیر و تعرق واقعی در مراتع خوب و کمترین مقدار آن در اراضی مسکونی اتفاق می‌افتد. مشتاق و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی کاربرد مدل سبال با استفاده از داده‌های سنجنده TM برای تخمین تبخیر و تعرق پرداختند.

---

۱- Du et al.,

۲- Yang

۳- Silva et al.,

۴- Wolff et al.,

۵- Grosso et al.,

۶- Atasever and Ozkan

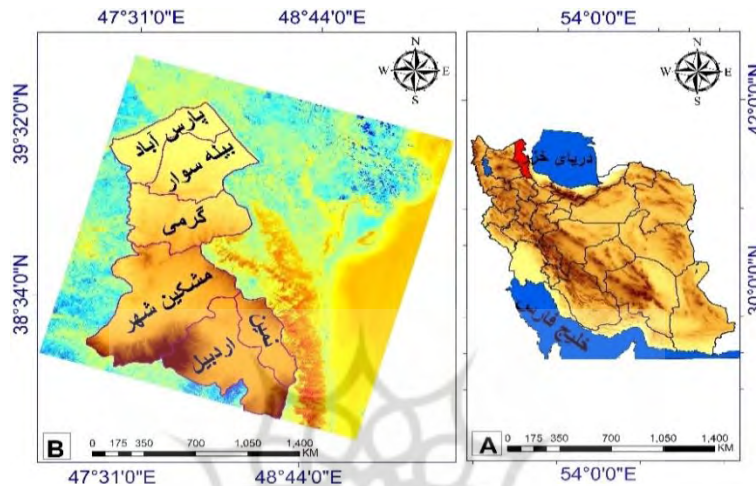
نتایج پژوهش بیانگر آن بود که مقدار تبخیر و تعرق در اراضی کشاورزی ۷/۲ و که بر اساس روش پنمن مانیتیت مقدار آن ۶/۹۹ میلی‌متر است که قابل قبول می‌باشد. نوری و فرامرزی (۲۰۱۷) به بررسی تبخیر و تعرق در کاربری‌های مختلف با استفاده از الگوریتم سبال پرداختند. ایشان که در این پژوهش از تصاویر مودیس و لندست ۸ بهره بردند، به این نتیجه رسیدند که بیشترین میزان تبخیر و تعرق مربوط به کاربری‌های زراعت آبی و دیم و کمترین تبخیر و تعرق مربوط به کاربری‌های نواحی مسکونی است. از دیگر کارهای انجام شده در این زمینه انجام می‌توان به رضایی بنفشه و همکاران، ۲۰۱۴؛ خوشنواز و همکاران، ۲۰۱۶؛ قمرنیا و همکاران، ۲۰۱۷ و غیره... اشاره نمود.

با توجه به سوابق پژوهش و پیامدهای مهمی که تغییرات تبخیر و تعرق کاربری‌ها و محصولات در چرخه هیدرولوژی و در چرخه زندگی انسان دارا می‌باشند، لذا هدف اصلی این پژوهش برآورد میزان تبخیر و تعرق سطوح مختلف کاربری اراضی با استفاده از الگوریتم سبال کوهستانی و مقایسه آن با سبال و روش پنمن مانیتیت فائو در نیمه شمالی استان اردبیل است که یکی از قطب‌های مهم کشاورزی می‌باشد.

## ۲- مواد و روش

### - منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد بررسی در این تحقیق نیمه‌ی شمالی استان اردبیل شامل شهرستان‌های اردبیل، بیله‌سوار، گرمی، مشکین‌شهر، نمین و پارس‌آباد می‌باشد که با مساحتی بالغ بر ۱۲۵۷۱/۳۳ کیلومترمربع در شمال غرب ایران قرار گرفته است. این استان از لحاظ جغرافیایی بین عرض شمالی ۳۷ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۴۲ دقیقه و طول شرقی ۴۷ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۵۵ دقیقه قرار گرفته است. حداکثر و حداقل ارتفاعات در این محدوده به ترتیب ۴۷۳۲ و ۳۶ متر از سطح دریا است و مهم‌ترین شهر واقع در این منطقه، شهر اردبیل می‌باشد (شکل ۱).



شکل (۱) منطقه‌ی مورد مطالعه

Fig (1) The study area

در این تحقیق برای بررسی میزان تبخیر و تعرق کاربری‌های اراضی مختلف با استفاده از روش‌های سبال و سبال کوهستانی از تصویر لندست ۸ مربوط به تاریخ ۲۰۱۸/۷/۱ و داده‌های هواشناسی (دمای حداقل، دمای حداکثر، دمای نقطه شبنم، سرعت باد و ساعات آفتابی) مربوط به همان روز برای مقایسه‌ی میزان تبخیر و تعرق بدست آمده با روش پنمن مانیت استفاده گردید. همچنین برای پردازش تصاویر و پیاده‌سازی الگوریتم‌های سبال، سبال کوهستانی و پنمن مانیت از نرم‌افزار ENVI 4.8، ERDAS، RefET و برای طبقه‌بندی کاربری اراضی به روش شیء‌گرا از نرم‌افزار eCognition استفاده گردید. الگوریتم سبال<sup>۱</sup> (الگوریتم توازن انرژی برای سطح زمین) و الگوریتم سبال کوهستانی هر دو بر پایه‌ی بیلان انرژی در سطح تعیین می‌گردند (تنها اختلاف آن‌ها در بخش تابش رسیده به سطح می‌باشد) به عبارتی دیگر انرژی صرف شده برای تبخیر و تعرق به‌صورت باقی مانده‌ی معادله‌ی شار

۱- Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL)

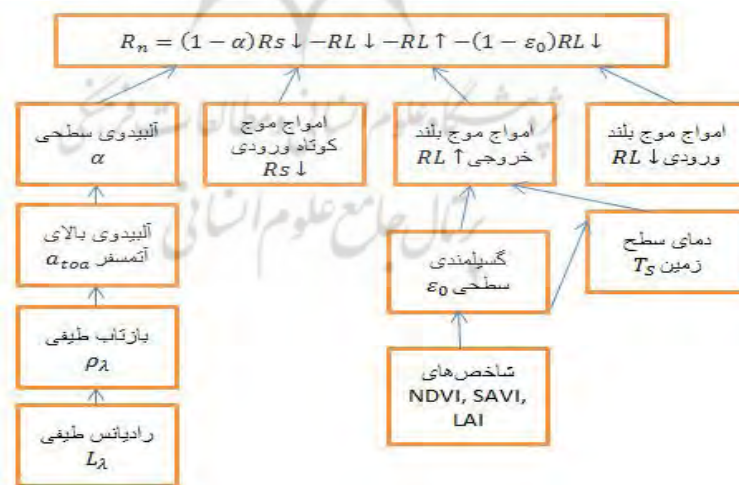
انرژی جریان سطحی از طریق رابطه‌ی زیر محاسبه می‌گردد (باستیانسن و همکاران<sup>۱</sup>، ۱۹۹۸):  
(۱۹۹)

$$\lambda ET = R_n - G - H \quad (1)$$

که در آن:  $\lambda ET$  مقدار لحظه‌ای تبخیر و تعرق برای زمان گذر ماهواره،  $R_n$  شار تابش خورشیدی،  $G$  شار گرمای خاک و  $H$  شار گرمای محسوس، که همگی بر حسب وات بر مترمربع می‌باشند. مقدار  $R_n$  از طریق رابطه‌ی (۲) محاسبه می‌گردد.

$$R_n = (1 - \alpha)Rs \downarrow - RL \downarrow - RL \uparrow - (1 - \varepsilon_0)RL \downarrow \quad (2)$$

که در آن:  $\alpha$  آلبیدوی سطحی،  $Rs \downarrow$  تابش موج کوتاه فرودی ( $w/m^2$ )،  $RL \downarrow$  تابش موج بلند فرودی ( $w/m^2$ )،  $RL \uparrow$  تابش موج بلند خروجی ( $w/m^2$ ) و  $\varepsilon_0$  گسیلمندی سطحی می‌باشد. بنابراین شار تابش خالص عبارت از اختلاف بین جریان تابش خروجی و فرودی بوده و معیاری از مقدار انرژی موجود در سطح زمین به شمار می‌رود. شکل (۲) به‌طور کلی مراحل محاسبه شار تابش خالص را نشان می‌دهد (باستیانسن و همکاران، ۱۹۹۸).



۱- Bastiaanssen et al.,

شکل (۲) مراحل انجام شار تابش خالص  
Fig (2) The step implementation of Net radiation flux

مقدار شار گرمای خاک از طریق رابطه‌ی (۳) که توسط باستیانسن و همکاران (۱۹۹۸) ارائه شده است.

$$\frac{G}{R_n} = \frac{T_s}{\alpha} (0.0038\alpha + 0.007\alpha^2)(1 - 0.98NDVI^4) \quad (3)$$

که در آن:  $T_s$  دمای سطحی برحسب ( $^{\circ}C$ )،  $\alpha$  آلبیدوی سطحی،  $NDVI$  شاخص تفاضل نرمال شده گیاهی است. سپس باید مقدار شار گرمای محسوس محاسبه گردد (رابطه‌ی ۴).

$$H = \frac{\rho C_p dT}{r_{ah}} \quad (4)$$

که در آن:  $H$  تابعی از گرادیان دما، زبری سطح و سرعت باد،  $\rho$  چگالی هوا برحسب ( $kg/m^3$ )،  $C_p$  گرمای ویژه هوا بر حسب ( $1004 J/kg/K$ )،  $dT$  اختلاف دمای ( $T_1 - T_2$ ) بین دو ارتفاع ( $z_1$  و  $z_2$ ) بر حسب درجه کلونین ( $K$ )،  $r_{ah}$  مقاومت آئرودینامیکی هوا برای انتقال گرماست که بر حسب ( $s/m$ ) می‌باشد.

مهم‌ترین و اصلی‌ترین بخش روش سبال تعیین پیکسل‌های سرد و گرم است که بسیار مهم و حساس می‌باشد و به تخصص و دقت بالا نیاز دارد چرا که نتیجه نهایی محاسبات بر اساس همین دو پیکسل سرد و گرم انجام می‌گردد. همچنین مقدار  $dT$  از طریق همین پیکسل‌های سرد و گرم به صورت ضرایب  $a$  و  $b$  در یک فرایند تکراری محاسبه می‌گردد (رابطه‌ی ۵).

$$dT = a + bT_s \quad (5)$$

که در آن: مقادیر  $a$  و  $b$  ضرایب‌های همبستگی می‌باشند. بعد از آوردن مقدار شار گرمای نهان (رابطه‌ی ۱) مقدار لحظه‌ای تبخیر و تعرق از رابطه‌ی (۶) به صورت عمق تبخیر محاسبه می‌شود:

$$ET_{inst} = 3600 \frac{\lambda ET}{\lambda} \quad (6)$$

که در آن:  $ET_{inst}$  تبخیر-تعرق لحظه‌ای ( $mm/hr$ )، عدد ۳۶۰۰ برای تبدیل زمان از ثانیه به ساعت و  $\lambda$  گرمای نهان بخار آب ( $J/kg$ ) است که از رابطه‌ی (۷) بدست می‌آید.

$$\lambda = (2.501 - 0.0023 \times T_{air}) \times 10^6 \quad (7)$$

که در آن:  $T_{air}$  دمای هوا بر حسب کلوین است. در نهایت مقدار تبخیر و تعرق ۲۴ ساعته از طریق رابطه‌ی (۸) محاسبه می‌گردد.

$$ET_{24} = ET_r F \times ET_{r-24} \quad (8)$$

که در آن:  $ET_{r-24}$ ، مجموع  $ET_r$  در طی ۲۴ ساعت برای همان روز تصویر می‌باشد.

#### - سبال کوهستانی

الگوریتم سبال و سبال کوهستانی تنها در بخش محاسبه زاویه فرودی خورشید با یکدیگر اختلاف دارند که در الگوریتم سبال کوهستانی از رابطه‌ی (۹) استفاده می‌گردد (آلن و همکاران، ۲۰۰۷: ۳۸۲).

$$\begin{aligned} \cos \theta_{rel} = & \sin \delta \sin \phi \cos s - \sin \delta \cos \phi \sin s \cos \gamma \\ & + \cos \delta \cos \phi \cos s \cos \omega \\ & + \cos \delta \sin \phi \sin s \cos \gamma \cos \omega \\ & + \cos \delta \sin \gamma \sin s \sin \omega \end{aligned} \quad (9)$$

که در آن:  $\delta$  زاویه تمایل،  $\phi$  عرض جغرافیایی،  $\omega$  زاویه ساعتی،  $s$  و  $\gamma$  به ترتیب شیب و جهات شیب می‌باشند که برای محاسبه آن‌ها از DEM ASTER در نرم‌افزار ERDAS استفاده گردید.

- محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل به روش فائو-پنمن-مانتیت



معادله‌ی پنمن - مانتیث توسط سازمان فائو به‌عنوان روش استاندارد برای تعیین  $ET_0$  و مقایسه سایر روش‌ها توصیه شده است (آلن و همکاران، ۱۹۹۸؛ ۱۵۱؛ ۱۹۹۴: ۲۴). در این تحقیق به‌عنوان مبنای ارزیابی استفاده شده است. این معادله به‌صورت رابطه‌ی زیر است:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta R_n + \gamma \frac{900}{T_a + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (10)$$

در رابطه‌ی فوق،  $ET_0$ : تبخیر و تعرق گیاه مرجع ( $\text{mm d}^{-1}$ )،  $T_a$ : دمای هوا ( $^{\circ}\text{C}$ )،  $U_2$ : سرعت باد در ارتفاع ۲ متری ( $\text{ms}^{-1}$ )،  $R_n$ : تابش خالص در سطح زمین ( $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ )،  $e_s - e_a$ : کمبود فشار بخار اشباع هوا ( $\text{Kpa}$ )،  $\Delta$ : شیب منحنی فشار بخار اشباع با دما ( $\text{KpaC}^{-1}$ ) و  $\gamma$ : ثابت سایکرومتر ( $\text{KpaC}^{-1}$ ) می‌باشند (کرمی و اسدی، ۲۰۱۶: ۲۱۲).

در نهایت برای محاسبه‌ی تفاضل و میانگین تفاضل مطلق مقادیر نیاز آبی سطوح مختلف کاربری اراضی بین روش‌های مورد بررسی از روابط ۱۱ و ۱۲ استفاده گردید:

$$AD = X - Y \quad (11)$$

$$MAD = \sum \frac{|x_i - \bar{x}|}{n} \quad (12)$$

که در آن‌ها:  $X$  و  $x_i$  مقادیر محاسبه شده،  $Y$  مقدار پیش‌بینی شده،  $\bar{x}$  مجموع مقادیر محاسبه شده و  $n$  تعداد داده‌های مورد بررسی است.

#### - طبقه‌بندی شیء‌گرا

طبقه‌بندی شیء‌گرا فرایندی است که کلاس‌های پوشش اراضی را به اشیاء تصویری ارتباط می‌دهد. پس از فرایند طبقه‌بندی، هریک از اشیاء تصویری به یک یا هیچ‌کدام از کلاس‌ها اختصاص می‌یابند. این نوع از طبقه‌بندی بر اساس منطق فازی استوار است و ارزش عوارض را به ارزش فازی با درجه عضویت معین برای هر کلاس تبدیل می‌کند. در این فرایند پیکسل‌ها با درجه عضویت متفاوت در بیش از یک کلاس طبقه‌بندی می‌شوند و بر اساس درجه عضویت نسبت به هر کلاس، طبقه‌بندی بر اساس الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه انجام می‌شوند (فیضی‌زاده، ۲۰۱۷: ۲۹). مراحل طبقه‌بندی شیء‌گرا به شرح زیر است:

#### - سگمنت سازی

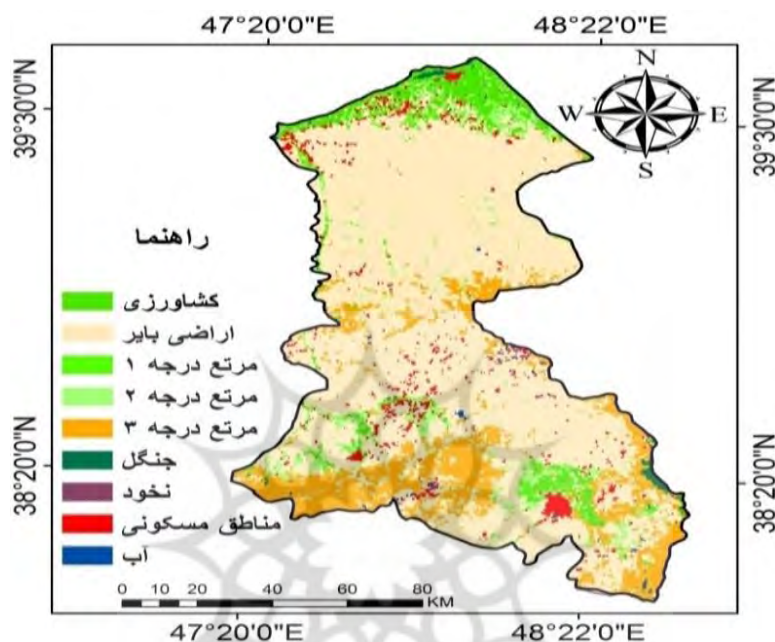
سگمنت به معنی گروهی از پیکسل‌های همسایه در داخل یک ناحیه است که شباهت (نظیر ارزش عددی و بافت) مهم‌ترین معیار مشترک آن‌هاست. شیء‌های تصویری حاصل از فرآیند سگمنت سازی، مبنای طبقه‌بندی هستند و آن‌ها دارای حجم زیادی از مشخصات و خصیصه-های پدیده‌های زمینی متناظرشان در سطح تصویر می‌باشند و هر چه قدر این فرآیند با دقت بیشتری انجام گیرد مستقیماً در کیفیت طبقه‌بندی شیء‌گرا تاثیر خواهد گذاشت (فیضی‌زاده و هلالی، ۲۰۱۰: ۷۸).

#### - شیء‌های نمونه آموزشی

طبقه‌بندی شیء‌گرا نیازمند نمونه آموزشی است که این نمونه‌ها در نرم‌افزار eCognition با شیء‌های تصویری نمونه مشخص می‌گردد.

#### - طبقه‌بندی تصویر

این فرایند طبقه‌بندی تکرارپذیر است و تا حصول بالاترین درجه عضویت برای هر یک از کلاس‌ها ادامه می‌یابد.



شکل (۳) نقشه‌ی کاربری اراضی مستخرج از الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه در روش طبقه‌بندی شیء‌گرا  
Fig (3) The land use map extracted of nearest neighbors algorithm in the object classification method

### ۳- بحث و نتایج

برای برآورد میزان تبخیر و تعرق واقعی کاربری‌های مختلف اراضی و همچنین محصول نخود، بعد از آماده‌سازی تصاویر و انجام پردازش‌ها و محاسبات مربوط به الگوریتم‌های سبال و سبال کوهستانی (جدول ۱)، ابتدا نقشه‌ی کاربری اراضی در نه کلاس (کشاورزی، اراضی بایر، مرتع درجه ۱، مرتع درجه ۲، مرتع درجه ۳، جنگل، نخود، مناطق مسکونی و سطوح آبی) با استفاده از روش طبقه‌بندی شیء‌گرا با ضریب کاپای ۰/۹۴۵ و دقت کلی ۰/۹۵۶ برای منطقه-ی مورد بررسی تهیه گردید (شکل ۳). همچنین دقت هر یک از کاربری‌های مورد بررسی براساس دقت تولید‌کننده و استفاده‌کننده در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول (۱) مقادیر محاسباتی پارامترهای اصلی در روش‌های سبال و سبال کوهستانی

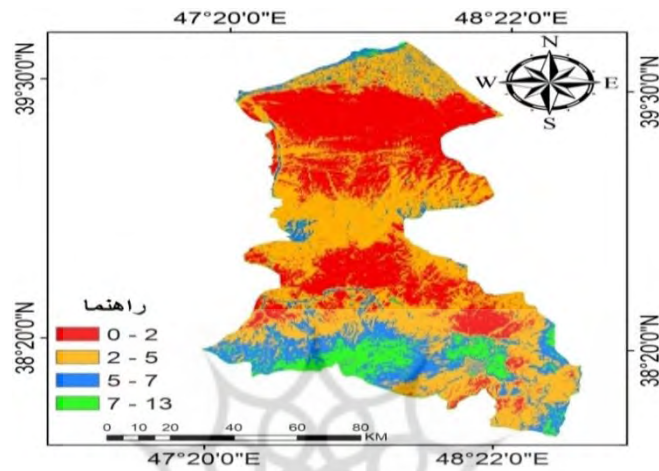
Tab (1) Computational Values of Main Parameters in SEBAL and Mountain SEBAL Methods

سبال کوهستانی		سبال		پارامتر مورد بررسی
حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	
۶۹۳/۵۳	۲۶۴/۷۳	۶۷۸/۹۳	۲۷۷/۶۲	شار تابش خالص ( $w/m^2$ )
۱۲۶/۶۸	۴/۸۹	۱۳۰/۹۱	۳۹/۵۶	شار گرمای خاک ( $w/m^2$ )
۱۸۹/۱۶	۹/۱۴	۳۱۴/۸۷	۳۳/۲۴	شار گرمای محسوس ( $w/m^2$ )

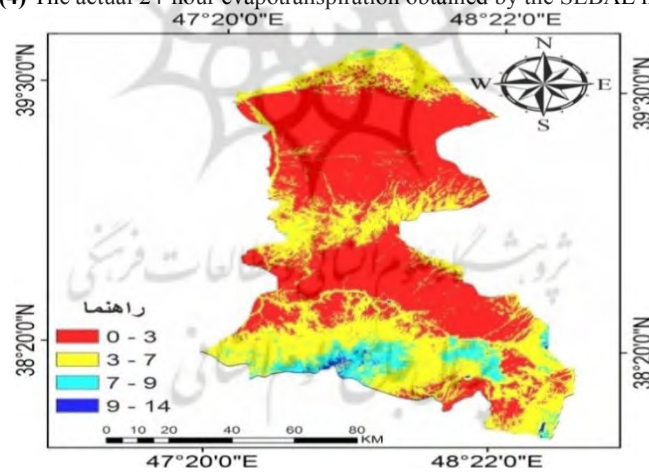
جدول (۲) دقت کاربری‌های مورد بررسی براساس تولیدکننده و استفاده‌کننده  
Tab (2) Accuracy of the investigated land uses based on manufacturer and user

دقت استفاده‌کننده	دقت تولیدکننده	سطوح کاربری
۰/۷۶۸	۰/۹۸۱	اراضی کشاورزی
۰/۹۴۹	۰/۹۶۸	اراضی بایر
۰/۹۷۸	۰/۵۵۶	مرتع درجه ۱
۰/۹۴۵	۰/۶۶۷	مرتع درجه ۲
۰/۹۵۶	۰/۸۲۵	مرتع درجه ۳
۰/۹۸۳	۱	جنگل
۰/۹۴۷	۰/۹۸۲	نخود
۰/۹۵۱	۰/۹۹۷	مناطق مسکونی
۰/۹۷۳	۰/۹۷۴	سطوح آبی

در نهایت با توجه به نقشه‌ی کاربری اراضی مقادیر تبخیر و تعرق ۲۴ ساعته بر اساس روش‌های سبال و سبال کوهستانی برای هر یک از کاربری‌ها به صورت جداگانه استخراج و محاسبه گردید (شکل‌های ۴ و ۵).



شکل (۴) تبخیر و تعرق واقعی ۲۴ ساعته حاصل از روش سبال  
Fig (4) The actual 24-hour evapotranspiration obtained by the SEBAL method



شکل (۵) تبخیر و تعرق واقعی ۲۴ ساعته حاصل از روش سبال کوهستانی  
Fig (5) The actual 24-hour evapotranspiration obtained by the mountain SEBAL method

در این بین سطوح آبی با مقدار ۹/۶۱ و ۹/۵۰ میلی‌متر در روز به ترتیب در روش‌های سبال و سبال کوهستانی دارای بیشترین میزان تبخیر و تعرق واقعی ۲۴ ساعته و اراضی شهری و بایر با مقدار میانگین ۲/۸۴۵ و ۲/۰۸ میلی‌متر در روز به ترتیب در روش‌های سبال

و سبال کوهستانی دارای کمترین میزان تبخیر و تعرق واقعی ۲۴ ساعته می‌باشند. همچنین مساحت هر یک از کاربری‌های اراضی مورد بررسی در این تحقیق استخراج گردید که در آن اراضی بایر با ۸۴۷۹۸۵/۱۰ هکتار و اراضی تحت کشت نخود با ۱۲۰۲/۶۲ هکتار به ترتیب بیشترین و کمترین میزان مساحت را در بین سطوح مورد بررسی دارا بودند (جدول ۳).

جدول (۳) تبخیر و تعرق واقعی بر آوردی در کاربری‌های مختلف بر اساس روش‌های سبال و سبال کوهستانی

Tab (3) Estimated actual evapotranspiration in different land uses based on mountain SEBAL and SEBAL methods

نوع کاربری	مساحت (هکتار)	تبخیر و تعرق به روش سبال (میلی‌متر)	تبخیر و تعرق به روش سبال کوهستانی (میلی‌متر)
کشاورزی	۷۵۷۱۰/۷۲	۵/۱۸	۴/۹۳
اراضی بایر	۸۴۷۹۸۵/۱۰	۲/۳۹	۱/۲۴
مرتع درجه ۱	۱۲۶۲۴/۱۴	۵/۱۵	۴/۵۲
مرتع درجه ۲	۶۸۱۸۰/۶۶	۴/۶۶	۳/۶۶
مرتع درجه ۳	۱۸۸۷۶۶/۵۶	۳/۸۱	۲/۱۲
جنگل	۶۷۸۴/۰۱	۶/۸۷	۶/۱۸
نخود	۱۲۰۲/۶۲	۷/۱۴	۶/۷۰
مناطق مسکونی	۴۱۴۹۷/۳۸	۳/۳۰	۲/۹۲
سطوح آبی	۵۸۸۳/۷۹	۹/۶۱	۹/۵۰
مجموع	۱۲۴۸۶۳۴/۹۸		

در ادامه میزان تبخیر و تعرق محصول نخود نیز با استفاده از روش‌های سبال و سبال کوهستانی تخمین زده شد و به دلیل نبود لایسیمتر در منطقه مورد مطالعه با روش پنمن مانیتث مورد مقایسه قرار گرفت که بر اساس آن میزان تبخیر و تعرق برآوردی برای محصول نخود در هر یک از روش‌های سبال، سبال کوهستانی و پنمن مانیتث به ترتیب حدود ۷/۱۴، ۶/۷۰ و ۶/۳۲ میلی‌متر تخمین زده شد. همچنین براساس طبقه‌بندی شیء‌گرا مساحت سطح زیر کشت محصول نخود ۱۲۰۲/۶۲ هکتار تعیین گردید که با آمار ارائه شده از طرف

جهاد کشاورزی استان اردبیل (۱۱۴۷/۲۵ هکتار) ۵۵/۳۷ هکتار یا به عبارتی ۴/۶۰ درصد اختلاف دارد که با پژوهش رحیم‌زادگان و پورغلام (۲۰۱۷) که با اختلاف ۵ درصد سطح زیرکشت گیاه زعفران را با استفاده از تصاویر لندست در شهرستان تربت‌حیدریه تعیین نمودند، همخوانی دارد (جدول ۴).

جدول (۴) تخمین سطح زیر کشت و مقایسه نیاز آبی نخود بر اساس روش‌های سبال، سبال کوهستانی و پنمن مانتیث

**Tab (4)** Estimation of Cultivation Area and Comparison of Chickpea Water Requirement Based on SEBAL, mountain SEBAL, and Penman-Monteith Methods

پنمن مانتیث (میلی‌متر)	سبال کوهستانی (میلی‌متر)	سبال (میلی‌متر)	مساحت زیر کشت (هکتار)		نوع محصول
			بر اساس اداره جهاد کشاورزی اردبیل	بر اساس طبقه‌بندی شیء‌گرا	
۶/۳۲	۶/۷۰	۷/۱۴	۱۱۴۷/۲۵	۱۲۰۲/۶۲	نخود

#### ۴- نتیجه‌گیری

مدل سبال در برآورد میزان تبخیر و تعرق واقعی مناطق مسطح کشاورزی از دقت بالایی برخوردار می‌باشد اما به دلیل تأثیر عواملی مانند شیب و ارتفاع و جهت شیب بر روی میزان تبخیر و تعرق مدل جدیدی به نام سبال کوهستانی ارائه گردید تا بتواند ضمن دخالت دادن عوامل مذکور در روند محاسبات خطاهای حاصل از نادیده‌گیری عوامل مذکور را نیز تصحیح نماید (رضایی‌بنفشه و همکاران، ۱۳۹۲: ۲۵۸). لذا در پژوهش حاضر از دو روش سبال و سبال کوهستانی برای برآورد میزان تبخیر و تعرق واقعی اراضی مختلف کاربری استفاده گردید. همچنین میزان نیاز آبی اراضی تحت کشت نخود نیز با مقادیر ۷/۱۴ و ۶/۷۰ به ترتیب برای روش‌های سبال و سبال کوهستانی برآورد گردید و به دلیل نبود لایسیمتر در منطقه‌ی مطالعاتی و گسترده بودن منطقه با روش پنمن مانتیث فائو با مقدار ۶/۳۲ میلی‌متر در روز مقایسه گردید. بر این اساس روش‌های مذکور با روش پنمن مانتیث در برآورد نیاز آبی محصول نخود به ترتیب دارای تفاضل مطلق (AD) ۰/۸۲ و ۰/۳۸ و میانگین تفاضل

مطلق (MAD) ۰/۶۰ بوده و با نتایج کار اکبری و همکاران (۲۰۱۱) با میانگین خطای ۰/۶۷، کریمی و همکاران (۲۰۱۲) با میانگین خطای ۰/۵۳ و سهیلی فر و همکاران (۲۰۱۳) با میانگین خطای ۰/۶۶ تطابق نسبتاً بالایی دارد. لذا با توجه به اینکه میزان نیاز آبی محصول نخود بدست آمده از روش سبال کوهستانی با روش پنمن مانیتث ۰/۳۸ اختلاف دارد می توان روش مذکور را نسبت به روش سبال (۰/۸۲ اختلاف با روش پنمن مانیتث) برای برآورد نیاز آبی محصول نخود در استان اردبیل کاربردی تر دانست. همچنین برای تفکیک کاربری اراضی از روش شیء‌گرا با الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه استفاده گردید که بر اساس آن اراضی بایر با مساحت ۸۴۷۹۸۵/۱۰ هکتار بیشترین و اراضی تحت کشت نخود با مساحت ۱۲۰۲/۶۲ هکتار کمترین مقدار را در بین اراضی مورد بررسی در منطقه‌ی مورد مطالعه دارا می‌باشند. همچنین مساحت اراضی تحت کشت نخود با میزان مساحت (۱۱۴۷/۲۵ هکتار) اعلام شده از سوی جهاد کشاورزی استان اردبیل مورد مقایسه قرار گرفت که حدود ۴/۶ درصد اختلاف داشتند و به نظر قابل قبول می‌رسد.



## ۵- منابع

- Akbari, M., Seif, Z., & ZareAbyane, H. (2011). Estimation of Evapotranspiration by Remote Sensing Technique under Different Climate Condition, *Journal of Water and Soil*, 25(4), 835-844.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. & Smith, M. (1998). *Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements*, FAO, Irrigation and Drainage Paper 56, Rome, Italy.
- Allen, R.G., Smith, M., Perrier, A. & Pereira, L.S., (1994). An Update for Definition of Reference Evapotranspiration, *ICID Bull*, 43(2), 1-35.
- Allen, R.G., Tasumi, M., & Trezza, R. (2007). Satellite-Based Energy Balance for Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration (METRIC)—Model, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 133(4), 380-394.
- Atasever, U.H., & Ozkan, C. (2018). A New SEBAL Approach Modified with Backtracking Search Algorithm for Actual Evapotranspiration Mapping and On-Site Application. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 46(8), 1213-1222.
- Bastiaanssen, W.G., Menenti, M., Feddes, R.A., & Holtslag, A.A.M. (1998). A Remote Sensing Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL). 1. Formulation, *Journal of Hydrology*, 212, 198-212.
- Bouwer, L., Biggs, T., & Aerts, C. (2008). Estimates of Spatial Variation in Evaporation Using Satellite-Derived Surface Temperature and a Water Balance Model, *Hydrological Processes*, 22(5), 670-682.
- Budyko, M. (1974). *Climate and Life*, Orlando: Academic Press.
- Du, J., Song, K., Wang, Z., Zhang, B., & Liu, D. (2013). Evapotranspiration Estimation Based on MODIS Products and Surface Energy Balance Algorithms for Land (SEBAL) Model in Sanjiang Plain, Northeast China, *Chinese Geographical Science*, 23(1), 73-91.
- Feizizadeh, B. (2017). Modeling the Trends of the Land Use/Cover Change and Its Impacts on the Erosion System of the Allavian Dam Based on the Remote Sensing and GIS Techniques. *Hydrogeomorphology*, 3(11), 21-38.
- Feizizadeh, B., & Helali, H. (2010). Comparison Pixel-Based, Object-Oriented Methods and Effective Parameters in Classification Land Cover/ Land Use

of West Province Azerbaijan, *Physical Geography Research Quarterly*, 42(71), 73-84.

- Flannigan, M., Stocks, B., & Turetsky, M. (2009). Impacts of Climate Change on Fire Activity and Fire Management in the Circumboreal Forest, *Global Change Biology*, 15(3), 549–560.
- Ghamarnia, H., Gholamian, S., & Kamali, N. (2017). Estimating of Crop Coefficient and Actual Evapotranspiration of Corn Using LANDSAT8 Images (Case Study: Sarab Nilufar Plain in Kermanshah), *Iran Water Resources Research*, 12(4), 93-107.
- Grosso, C., Manoli, G., Martello, M., Chemin, Y., Pons, D., Teatini, P., & Morari, F. (2018). Mapping Maize Evapotranspiration at Field Scale Using SEBAL: A Comparison with the FAO Method and Soil-Plant Model Simulations, *Remote Sensing*, 10(9), 1452.
- Karami, M., & Asadi, M., (2016). Estimates and Zoning of Reference Evapotranspiration by FAO-Penman-Monteith (Case Study: North West of Iran), *IJSRSET*, 2(1), 210-216.
- Karimi, A., Farhadi Bansouleh, B., & Hessadi, H. (2012). Estimation of Real Evapotranspiration at Regional Scale Using SEBAL Algorithm and Landsat Images, *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 6(4), 353-364.
- Khoshnavaz, F., Honar, T., & Daneshkar-Arasteh, P. (2016). Estimation of Agricultural Water Productivity Using Remote Sensing Technology (Case Study: Qazvin Plain Irrigation Network), *Water and Soil Science*, 25(1-4), 57-68.
- Kustas, W., & Norman, J. (1996). Use of Remote Sensing for Evapotranspiration Monitoring Over Land Surfaces, *Hydrological Sciences Journal (United Kingdom)*, 41(4), 495–516.
- Maayar, M., & Chen, J. (2006). Spatial Scaling of Evapotranspiration as Affected by Heterogeneities in Vegetation, Topography, and Soil Texture, *Remote Sensing of Environment*, 102(1–2), 33–51.
- McKenney, M., & Rosenberg, N. (1993). Sensitivity of Some Potential Evapotranspiration Estimation Methods to Climate Change, *Agricultural and Forest Meteorology*, 64(1–2), 81–110.

- Miller, G., Baldocchi, D., & Law, B. (2007). An Analysis of Soil Moisture Dynamics Using Multi-Year Data from a Network of Micrometeorological Observation Sites, *Advances in Water Resources*, 30(5), 1065–1081.
- Mkhwanazi, M., Chávez, J.L., Andales, A.A., & DeJonge, K. (2015). SEBAL-A: A Remote Sensing ET Algorithm that Accounts for Advection with Limited Data, Part II: Test for Transferability, *Remote Sens*, 7(11), 15068-15081.
- Mobashari, M.R. (2007). Providing a Method for Validating Landsat 7 ETM + Data for Estimation of Evapotranspiration after SLC Scan Line Defect Correction Defects, *Geographical Research*, (60), 85-95.
- Moshtagh, N., Jafari, R., Soltani, S., & Ramezani, N. (2015). Application of Energy Balance Model and Landsat TM Sensor Data for Evapotranspiration Estimation, *JWSS.*, (73) 19, 207-218.
- Nouri, H., & Faramarzi, M. (2017). Investigating Actual Evapotranspiration in Different Land Uses in Mountainous Areas using Sebal Algorithm and a Combination of MODIS and Landsat8 Satellite Images, *Geography and Environmental Planning*, 28(2), 39-56.
- Rahimzadegan, M., & Pourgholam, M. (2017). Identification of the Area Under Cultivation of Saffron Using Landsat-8 Temporal Satellite Images (Case study: Torbat Heydariyeh), *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 7(4), 97-115.
- Rezaei Banafsheh, M., Jahanbakhsh, S., & Valizadeh Kamran, Kh. (2014). Estimation of Actual Evapotranspiration in Sefidrood Basin with Satellite Image Processing, *Journal of Geographic Space*, 13(44), 241-262.
- Silva, B.B.D., Mercante, E., Boas, M. A.V., Wrublack, S.C., & Oldoni, L.V. (2018). Satellite-Based ET Estimation Using Landsat 8 Images and SEBAL Model, *Revista Ciência Agronômica*, 49(2), 221-227.
- Soheilifar, Z., Mirlatif, S., Naseri, A., & Assari, M. (2013). Estimating Actual Evapotranspiration of Sugarcane by Remote Sensing, (A Case Study: Mirza Kochakkhan Sugarcane Agro-Industry Company Farms). *Water and Soil Science*, 23(1), 151-163.

- Valizadeh Kamran, Kh., Jahanbakhsh, S., Zahedi, M., & Rezaee Banafsheh., M. (2012). Estimation of Real Evapotranspiration and Its Relationship with Land Use in GIS, *Ahar Geographic Space*, 37(12), 39- 54.
- Wolff, W., Folegatti, M.V., Flumignan, D.L., & Francisco, J.P. (2018). Lysimetric Calibration and Uncertainty Analysis of Empirical Parameters of the SEBAL Algorithm in Subtropical Climate, *In EGU General Assembly Conference Abstracts*, 20, 11160.
- Yang, Y., Zhou, X., Yang, Y., Bi, S., Yang, X., & LiLiu, D. (2018). Evaluating Water-Saving Efficiency of Plastic Mulching in Northwest China Using Remote Sensing and SEBAL, *Agricultural Water Management*, 209, 240-248.

