

## برآورد دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر مودیس در زیر حوضه آبریز مشهد

سمیرا نوری<sup>۱</sup>، حسین ثنایی نژاد<sup>۲</sup>، مجید هاشمی نیا<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

Noori.samira@gmail.com

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

sanaein@gmail.com

۳- مربی گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

s.m.hashemini@gmail.com

### چکیده

دمای سطح زمین یکی از پارامترهای مهم در مطالعات مربوط به تغییر اقلیم و برآورد بیلان تابش در مطالعات توازن انرژی می باشد. در این مقاله نقشه های دمای سطح زمین در زیر حوضه آبریز مشهد با استفاده از باندهای مادون قرمز حرارتی تصاویر سال ۲۰۰۹ سنجنده مودیس، ماهواره ترا به دست آمده است. از آنجا که الگوریتم های متعددی بدین منظور ارائه گردیده است و دقت هر یک از الگوریتم ها به شرایط منطقه بستگی دارد لذا در این تحقیق از پنج الگوریتم روزنه مجزا کول و کاسیلیس (۱۹۹۷)، کر و همکاران (۱۹۹۲)، مک کلاین و همکاران (۱۹۸۵)، یولیویری و همکاران (۱۹۹۴) و ویدال (۱۹۹۱) جهت برآورد دمای سطح زمین استفاده شده است. برخی از این روش ها نیازمند برآورد گسیلندی سطح زمین می باشند که برای به دست آوردن این پارامتر از مقادیر شار انعکاس طیفی باندهای ۱ و ۲ مودیس استفاده شد. در نهایت نتایج به دست آمده با داده های زمینی مقایسه گردید.

**واژه‌های کلیدی:** دمای سطح زمین، روزنه مجزا، سنجش از دور، مودیس

### مقدمه

منظور از دمای سطح زمین (LST)<sup>۱</sup> دمای جنبشی سطح خاک و سطح پوشش گیاهی است. دمای جنبشی که دمای واقعی یا دمای داخلی هم گفته می شود، در اصطلاح ترمودینامیکی به انرژی جنبشی مولکول های جسم اطلاق می شود. مقادیر دمای سطح زمین می تواند جهت مطالعات توازن گرمای سطحی، برآورد تبخیر و تعرق، تهیه نقشه های دمای پایین و یخبندان، بررسی خصوصیات تغییر اقلیمی منطقه با توجه به توپوگرافی و کاربری زمین و یا پیش رشد محصولات کشاورزی مورد استفاده قرار گیرد. تاکنون روش های مختلفی جهت برآورد دمای سطح زمین ارائه شده است. برخی از این روش ها مختص سنجنده های خاصی می باشد. و از برخی دیگر می توان برای سنجنده های متعددی استفاده نمود. از جمله این روش ها الگوریتم روزنه مجزا می باشد. این الگوریتم اولین بار برای سنجنده AVHRR ماهواره نوآ که دارای دو باند مادون قرمز حرارتی در محدوده طیفی ۱۱ و ۱۲

<sup>۱</sup> Land Surface Temperature

میکرومتر است ارائه شد که علت نامگذاری آن هم استفاده از دو باند مجزا در این روش می باشد. بر اساس دیدگاه ها و فرضیات مختلفی که محققین برای استنتاج دمای سطح زمین داشتند، الگوریتم های روزنه مجزای متعددی ارائه شده است که اکثر آن ها از دمای روشنایی در دو باند مذکور، مقادیر میانگین توان تشعشعی دو باند و اختلاف تشعشعی باند ها استفاده کرده اند (بکر و لی، ۱۹۹۰؛ یولیویری و همکاران، ۱۹۹۴؛ کول و همکاران، ۱۹۹۴). در این مقاله سعی بر این است تا از میان پنج الگوریتم روزنه مجزا که عبارتند از کول و کاسیلیس ۱۹۹۷، کر و همکاران ۱۹۹۲، مک کلاین و همکاران ۱۹۸۵، یولیویری و همکاران (۱۹۹۴) و ویدال ۱۹۹۱ (چایچی، ۱۳۸۷)؛ یولیویری و همکاران، (۱۹۹۴) مناسب ترین الگوریتم برای تعیین دمای سطح زمین در زیر حوضه آبریز مشهد تعیین شود.

## مواد و روش ها

### مجموعه داده ها و منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش از تصاویر سنجنده مودیس مستقر بر روی ماهواره ترا جهت برآورد دمای سطح زمین در روزهای ۱۴ خرداد، ۱۰ تیر و ۴ مرداد سال ۱۳۸۸ استفاده گردید. تصاویر مورد استفاده مربوط به زیر حوضه آبریز مشهد با وسعت ۹۹۰۹ کیلومتر مربع واقع در حوضه آبریز قره قوم با اقلیم خشک و نیمه خشک می باشد. داده های زمینی مورد استفاده طی تحقیق از مجموعه داده های ایستگاه های هواشناسی سینوپتیک مشهد و گلمکان بوده که به ترتیب واقع در ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه عرض شمالی، ۵۹ درجه و ۳۸ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۲۹ دقیقه عرض شمالی، ۵۹ درجه و ۱۷ دقیقه طول شرقی می باشند. جهت برآورد دمای سطح زمین در منطقه از پنج الگوریتم روزنه مجزا استفاده شده که معادلات مربوط به این الگوریتم ها در جدول ۱ ارائه شده است. با توجه به معادلات جدول مذکور، پارامترهای  $T_{31}$  و  $T_{32}$  به ترتیب معرف دمای روشنایی باندهای ۳۱ و ۳۲ سنجنده مودیس،  $P_v$  درصد پوشش گیاهی،  $\varepsilon$  گسیلندگی سطح و  $\Delta\varepsilon$  اختلاف گسیلندگی سطحی باندهای ۳۱ و ۳۲ سنجنده می باشد. به منظور بررسی و مقایسه الگوریتم های ذکر شده نیاز است تا دمای سطح زمین در نقاط متعددی در زمان گذر ماهواره اندازه گیری شود.

جدول ۱- الگوریتم های روزنه مجزا مورد بررسی در این تحقیق

الگوریتم روزنه مجزا	محقق و سال ارائه فرمول
$LST = 0.39T_{31}^2 + 2.34T_{31} - 0.78T_{31}T_{32} - 1.34T_{32} + 0.39T_{32}^2 + 0.56$	کول و کاسیلیس (۱۹۹۷)
$LST = (0.5P_v + 3.1)T_{31} + (-0.5P_v - 2.1)T_{32} + 3.1 - 5.5P_v$	کر و همکاران (۱۹۹۲)
$LST = 1.035T_{31} + 3.046(T_{31} - T_{32}) - 283.93 + 273$	مک کلاین و همکاران (۱۹۸۵)
$LST = T_{31} + 1.8(T_{31} - T_{32}) + 48(1 - \varepsilon) - 75\Delta\varepsilon$	یولیویری و همکاران (۱۹۹۴)

$$LST = 3.78T_{31} - 2.78T_{32} + 50 \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} - 300 \frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon} \quad \text{ویدال (۱۹۹۱)}$$

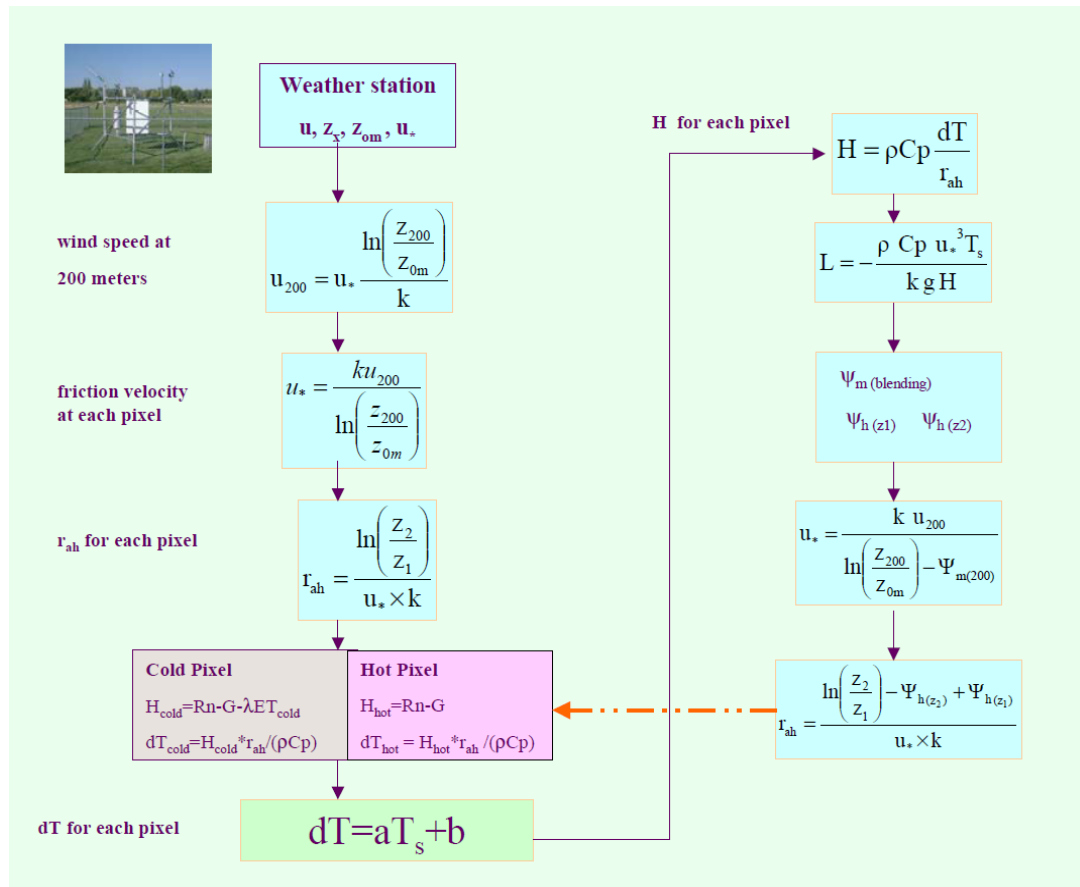
از آنجا که نزدیک ترین داده دمایی برداشتی در ایستگاه های هواشناسی مربوط به دمای خاک در عمق ۵ سانتیمتری می باشد لذا امکان مقایسه نتایج حاصل از تصاویر ماهواره با مقادیر اندازه گیری شده معمول در ایستگاه مقدر نیست. از طرفی دمای سطح زمین به شدت وابسته به جنس زمین می باشد و با تغییر پوشش زمین و نوع خاک، تغییرات چشمگیری دارد. بنابراین به منظور مقایسه و تعیین مناسب ترین الگوریتم جهت برآورد دمای سطح زمین، ابتدا مقدار دمای سطحی به دست آمده توسط روش های مذکور به دمای هوای نزدیک سطح تبدیل شد و سپس با مقادیر دمای هوای اندازه گیری شده در ایستگاه ها مقایسه گردید.

برای تبدیل دمای سطح زمین به دمای هوا از روش الگوریتم توازن انرژی سبال که توسط باستیانسن (۱۹۹۸) ارائه گردیده استفاده شده است. از آنجا که در این روش جهت تعیین تبخیر و تعرق واقعی نیاز است مقدار اختلاف دمای هوای نزدیک سطح زمین برآورد گردد می توان مقدار تقریبی دمای هوا را به دست آورد. مراحل محاسبه پارامتر اختلاف دمای هوای نزدیک سطح در شکل ۱ ارائه شده است.

که در شکل مذکور،  $u^*$  سرعت اصطکاکی  $(m/s)$ ،  $u_{200}$  سرعت باد در ارتفاع ۲۰۰ متری  $(m/s)$ ،  $Z_{om}$  طول زبری تکانه  $(m)$ ،  $r_{ah}$  مقاومت آنرودینامیکی برای انتقال گرما  $(s/m)$ ،  $R_n$  تابش خالص  $(w/m^2)$ ،  $G$  شار گرمای خاک  $(w/m^2)$ ،  $dT$  اختلاف دمای هوای نزدیک سطح،  $T_s$  دمای سطح زمین برآورد شده توسط سنجنده،  $L$  طول مانین-آبوخوف و  $\psi$  ضریب تصحیح پایداری اتمسفر می باشد.

همانطور که در شکل مشاهده می شود جهت حصول مقدار  $dT$  برای پیکسل های تصویر نیاز است ابتدا با استفاده از مقدار سرعت باد اندازه گیری شده در ایستگاه، ابتدا مقادیر سرعت باد در ارتفاع ۲۰۰ متری محاسبه گردد، سپس مقادیر اولیه سرعت اصطکاکی و مقاومت آنرودینامیکی برآورد شده و بر اساس آن  $dT$  اولیه برای تمامی پیکسل ها به دست می آید.

در روش سبال جهت برآورد شار گرمای محسوس، ابتدا دو پیکسل آستانه انتخاب می شوند یکی از این پیکسل ها که پیکسل سرد نامیده می شود مربوط به منطقه ای است که به طور کامل پوشیده از پوشش گیاهی آبیاری شده است و دمای سطح



شکل ۱- مراحل محاسبه  $dT$  و شار گرمای محسوس در مدل توازن انرژی سیال

زمین در این پیکسل نزدیک به دمای هواست و تبخیر و تعرقی معادل تبخیر و تعرق مرجع دارد. پیکسل دوم که پیکسل گرم نام دارد زمین کشاورزی بدون پوشش گیاهی و خشک می باشد. بنابراین مقدار شار گرمای نهان تبخیر در این پیکسل صفر فرض می شود. بدین ترتیب مقادیر اولیه  $H$  و در نتیجه  $dT$  برای پیکسل ها محاسبه می شود.

از آنجا که شرایط پایداری جو بر روی مقدار  $H$  در طی محاسبات تأثیر گذار است لذا جهت تعیین شرایط پایداری جو، از طول مانین-آبوخوف استفاده می شود و مقادیر  $H$  بر اساس شرایط جوی اصلاح می گردد. فرآیند تصحیح تا زمانی که مقدار تغییرات  $dT$  و یا  $r_{ah}$  پیکسل گرم به کمتر از ۵٪ برسد ادامه می یابد. سپس با استفاده از معادله (۱) می توان به مقدار دمای هوا در هر پیکسل دست یافت.

$$T_a = T_s - dT \quad (1)$$

## نتایج و بحث

به منظور مقایسه نتایج حاصل از پنج الگوریتم مورد استفاده، مطابق با فرمول ۲ از پارامتر آماری ریشه مربع خطا و داده های دمای هوا در ارتفاع ۲ متری ایستگاه های هواشناسی منطقه استفاده شد، که نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است.

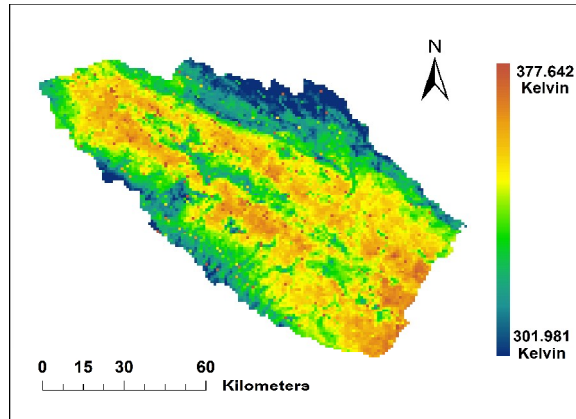
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y - \hat{Y})^2}{n}} \quad (2)$$

در روابط فوق،  $Y$  مقدار دمای هوای اندازه گیری شده در ایستگاه و  $\hat{Y}$  مقدار دمای هوای محاسبه شده با تکنیک سنجش از دور می باشد.

جدول ۲ - نتایج آماری الگوریتم های روزنه مجزا

RMSE			الگوریتم مورد استفاده
۴/۵/۸۸	۱۰/۴/۸۸	۱۴/۳/۸۸	
۱۲.۶۷۷	۱۰.۲۶۱	۱۰.۲۲۶	کول و کاسیلیس (۱۹۹۷)
۱۴.۷۶۸	۱۳.۵۶۰	۱۱.۹۸۶	کر و همکاران (۱۹۹۲)
۱۳.۸۷۰	۱۰.۵۰۰	۹.۶۷۳	مک کلاین و همکاران (۱۹۸۵)
۱۳.۳۸۰	۱۲.۵۱۲	۱۱.۴۵۰	یولیویری و همکاران (۱۹۹۴)
۱۷.۴۲۸	۱۶.۱۰۴	۱۳.۳۶۰	ویدال (۱۹۹۱)

بر اساس نتایج جدول ۲، الگوریتم کول و کاسیلیس (۱۹۹۷) با کمترین مقدار RMSE نسبت به سایر روش ها بهترین نتیجه را ارائه کرده است که این امر با نتایجی که چایچی (۱۳۸۷) برای منطقه تهران به دست آورده همخوانی دارد. در میان روش های مذکور، الگوریتم ویدال (۱۹۹۱) بیشترین مقدار خطا را نشان داد. یکی از علل بالا بودن مقدار خطا برای روش های مذکور حتی روش کول و کاسیلیس که بهترین نتیجه را نشان داده، مربوط به قدرت تفکیک مکانی تصاویر حاصل از سنجنده (یک کیلومتر) و نقطه ای بودن داده های سطح زمین می باشد. این خطا در رابطه با داده های ایستگاه گلکمان افزایش می یابد زیرا این ایستگاه در داخل مرکز تحقیقات کشاورزی بوده که با درختان زیادی احاطه شده است این در حالی است که مناطق اطراف ایستگاه از لحاظ پوشش گیاهی حالت استپ دارد لذا مقادیر اندازه گیری شده در ایستگاه نمی تواند معرف خوبی برای منطقه ای به ابعاد یک کیلومتر مربع در منطقه مذکور باشد. بخشی از خطای به دست آمده نیز مربوط به الگوریتم های استفاده شده می باشد که همه ی این روش ها تجربی بوده و برای مکان های خاصی ارائه شده است. بخشی دیگر از خطا هم مربوط به فرآیند تبدیل داده های سطح زمین به داده های دمای هوا است. در شکل ۲ نقشه دمای سطح زمین که با استفاده از روش کول و کاسیلیس (۱۹۹۷) به دست آمده و مربوط به روز ۱۰ تیر ۱۳۸۸ می باشد، ارائه شده است.



شکل ۳- دمای سطح زمین (K) برآورد شده با روش کول و کاسی میس در روز ۱۰ تیر

## نتیجه گیری

در این مقاله پنج الگوریتم روزنه مجزا جهت برآورد دمای سطح زمین در زیر حوضه آبریز مشهد، با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس مورد مقایسه قرار گرفت که البته دماهای مذکور با استفاده از الگوریتم توازن انرژی سبال به مقادیر دمای هوا تبدیل گردید و سپس با داده های مربوط به دمای هوا در ایستگاه های گلمکان و مشهد مقایسه شد. نتایج نشان داد که الگوریتم کول و کاسیلیس با داشتن کمترین خطا در روزهای مورد مطالعه، بهترین برآورد را در زیر حوضه آبریز مشهد ارائه می کند در حالیکه الگوریتم ویدال بیشترین خطا را در منطقه نشان داد.

## منابع

- چایچی، م. ۱۳۸۷. برآورد تبخیر-تعرق منطقه ای با استفاده از زمین آمار و تکنیک سنجش از دور (مطالعه موردی: استان تهران). پایان نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
- Bastiaanssen, W.G.M., Menenti, M., Feddes, R.A. and Holtslang, A.A. ۱۹۹۸. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): ۱. Formulation. *Journal of Hydrology*, ۲۱۲-۲۱۳: ۱۹۸-۲۱۲.
- Becker, f. and Z. L. Li. ۱۹۹۰. Towards a local split window method over land surface. *International Journal of Remote Sensing*, ۱۱: ۳۶۹-۳۹۳.
- Coll, C., V., Casselles, J. A., Sobrino and E. Valor. ۱۹۹۴. On the atmospheric dependence of the split-window equation for land surface temperature. *International Journal of Remote Sensing*, ۱۵: ۱۰۵-۱۲۲.

Olivieri, C., M. M. Castronouvo, R ., Francioni and A., Cardillo. ۱۹۹۴. A split-window algorithm for estimating land surface temperature from satellites. *Advances in Space Research*, ۱۴(۳): ۵۹-۶۵.

## Estimation of land surface temperature using MODIS images over Mashhad's sub basin

Samira Noori<sup>۱</sup>, Hosein Sanaei-Nejad<sup>۲</sup>, Majid Hasheminia<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>M.Sc. Student of Agrometeorology, Department of water engineering, Ferdowsi University of Mashhad, I.R of Iran; Email: Noori.samira@gmail.com

<sup>۲</sup>Associate professor in Dept. of Water Engineering, Ferdwosi University of Mashhad, I.R of Iran; Email: sanaein@gmail.com

<sup>۳</sup> Lecturer in Dept. of Water Engineering, Ferdwosi University of Mashhad, I.R of Iran; Email: s.m.hasheminia@gmail.com

### Abstract

Land surface temperature (LST) is a key parameter in change climate studies and estimation of radiation balance in energy balance studies. In this paper, the maps of LST at mashhad' sub basin retrieved by thermal infrared bands of MODIS sensor on Terra satellite at ۲۰۰۹. There are several algorithms with different degree of accuracy, so in this study in order to estimation of LST it is used the proposed split-window algorithms by Coll and Casselles (۱۹۹۷), Kerr et al. (۱۹۹۲), McClain et al. (۱۹۸۵), Olivieri et al. (۱۹۹۴) and vidal (۱۹۹۱). For someof those algorithms it needs to estimation of surface emissivity, that is estimated by MODIS reflectance band ۱ and ۲. Finally, the results have been compared to ground truth data.

**Keywords:** Land surface temperature, modis, remote sensing, split-window