

بررسی امکان برآورد دمای تاج پوشش محصولات کشاورزی (گندم) با استفاده از فنون سنجش از دور

الهام فخاری زاده شیرازی،^{۱*} سید محمد جعفر ناظم السادات^۲، سید رشید فلاح شمس^۳ و علی اکبر کامگار حقیقی^۴

*- نویسنده مسئول، کارشناس ارشد هواشناسی کشاورزی دانشگاه شیراز e_f_sh@yahoo.com

۲- استاد بخش مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز

۳- دانشیار بخش مدیریت مناطق بیابانی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز

۴- استاد بخش مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز

تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۲/۱

تاریخ دریافت: ۹۱/۴/۲۰

چکیده

دمای پوشش سبز گیاهان به عنوان یکی از عوامل مهم برای برنامه ریزی آبیاری گیاهان مورد توجه قرار دارد. چرا که دمای پوشش سبز گیاهان نمایه‌ای ارزشمند از آب قابل دسترس گیاهان است. در این تحقیق توان سنجنده مودیس در برآورد دمای تاج پوشش فرآورده‌های کشاورزی (گندم) مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین اقدام به گزینش رابطه دما در سطوح گوناگون ارتفاعی گیاه و ارزش رقومی تصاویر ماهواره‌های گردید، سپس مدل‌های به دست آمده مورد ارزیابی قرار گرفت. براساس نتایج به دست آمده، بهترین همبستگی دمای پوشش سبز در قدرت تفکیک مکانی ۱۰۰۰ متر با باندهای ۳۴ و ۲۵ و مجذور میانگین مربعات برابر با ۳/۶، در قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متر با باند ۳ و مجذور میانگین مربعات برابر با ۳/۶ و در قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ متر با باند ۲ و مجذور میانگین مربعات برابر با ۵/۳ برقرار گردید. کمترین اندازه خطا در سطح تاج پوشش گیاه و بیشترین خطا در سطوح پایینی گیاه مشاهده گردید. پارامترهای ارزیابی نشان داد که برآورد دمای تاج پوشش محصولات کشاورزی با به کار گیری فنون سنجش از دور امکان پذیر است اما مدل‌های به دست آمده نیاز به دقت بیشتری دارد.

کلید واژه‌ها: دمای پوشش سبز- سنجش از دور - سنجنده مودیس- گندم.

Possibility of Estimating Wheat Canopy Temperature by Using Remote Sensing Technique

E. Fakhari Zade¹, M.J. Nazemosadat², S.R. Fallah Shamsi³ and A.A. Kamgar Haghghi⁴

1- M.S of Agro Meteorology -Shiraz University

2- Professor, Water Engineering Department, Agricultural Faculty, Shiraz University

3- Associate Professor, Desert Areas Management, Agricultural Faculty, Shiraz University

4- Professor, Water Engineering Department, Agricultural Faculty, Shiraz University

Received: 11 July 2012

Accepted: 20 Feb 2013

Abstract

Canopy temperature is an important factor for irrigation scheduling. This is because canopy temperature is depend plant water status. This research evaluated usefulness of Modis sensor for estimating wheat canopy temperature. Relationship between temperature and values of digital satellite images were determined on different levels of plant height and then models were evaluated. Based on the results, the best correlation between the temperature of the green cover were with band 34&25, band 3 and band 2 in

the special resolution of 1000 m, 500m and 250m respectively, and RMSE was equal to 3.6, 3.6 and 5.3 in the special resolution of 1000 m, 500m and 250m respectively. Lowest error was observed at the top of canopy and maximum error was at the bottom of plant. Result showed that measuring canopy temperature by using remote sensing is possible but magnitude of error showed that models need some modification.

Key words: Canopy temperature, Remote sensing, Modis, Wheat

مقدمه

(VPD) بر حسب میلی بار دارد. احمد و همکاران^۴ (۱۹۹۸) نیز از دمای پوشش سبز به عنوان روشی برای ارزیابی پاسخ ژنوتیپی گیاهان زراعی به خشکی استفاده نمودند.

دمای پوشش سبز به طور سنتی با دماسنج مادون قرمز^۵ اندازه گیری می‌شود. اشکال اساسی روش‌های اندازه گیری زمینی پارامترهای هواشناسی مربوط به محیط گیاه و خاک در این است که عوامل اندازه‌گیری شده زمینی مربوط به یک نقطه می‌باشند و تمهیم آن به یک منطقه وسیع همراه با خطا و با افزایش نقاط اندازه گیری شده هزینه زیاد خواهد بود. امروزه با توجه به پیشرفت‌های زیادی که در علوم سنجش از دور رخ داده است، روزنه‌های امید برای تعیین عوامل هواشناسی و ویژگی‌های محیط گیاه و خاک در یک سطح گسترده تحت آبیاری فراهم شده است. بدین ترتیب به کمک علم سنجش از دور، تعیین پیچیده‌ترین عوامل مؤثر در معادله‌های بیلان آبی نیز تا حد زیادی امکان پذیر شده است، در همین راستا مایک و همکاران^۶ (۲۰۰۴) با استفاده از داده‌های ماهواره اقدام به تخمین دمای سطحی نمودند. همچنین رینارت و راینولد^۷ (۲۰۰۷) با استفاده از سنجش از دور اقدام به برآورد رابطه بین داده‌های ماهواره‌ای، دمای سطح زمین و گونه گیاهی منطقه شمالگان و شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی^۸ نمودند. کول و همکاران^۹ (۲۰۰۵) مدل تجربی برای تخمین دمای سطحی وضرب آلیبدو و شاخص سطح برگ را از داده‌های سنجنده FORMOSAT-2 با قدرت تفکیک بسیار بالا (۸ متر) و دوره برگشت بسیارخوب (۳ تا ۱۰ روز) برای محصولات جنوب شرق فرانسه ارائه نمودند. برای تعیین دمای پوشش سبز با کاربرد سنجش از دور باید سنجش از دور حرارتی به کارگرفته شود که پیرامون پردازش و تفسیر داده‌ها و تصاویر به دست آمده در بخش مادون قرمز حرارتی طیف الکترومغناطیس بحث می‌کند (علوی پناه، ۱۳۸۶). لینولن و جونز^{۱۰} (۲۰۰۴) از ترکیب

استفاده از دمای پوشش سبز جهت برنامه ریزی آبیاری گیاهان یکی از روش‌هایی است که در سال‌های اخیر مورد توجه محققین قرار گرفته است (قهرمان و نخجوانی مقدم، ۱۳۸۶). تعیین زمان آبیاری، پارامتری است که بیانگر تنفس آبی گیاه بوده و آمیخته‌ای از تأییدات کمبود رطوبت خاک، تبخیرپذیری هوا، تراکم گیاهی و استعداد ذاتی گیاه است. به عبارت بهتر جهت مشخص نمودن زمان آبیاری هر گیاه تنها باید خود گیاه را مورد پرسش قرار داده و وضعیت آبی آن را جویا شد. عواملی نظیر کمبود آب در خاک و یا قدرت تبخیر کنندگی محیط هیچ‌کدام نمی‌تواند به تنهایی به جای خود گیاه مورد سؤال قرار گیرند. زیرا وضعیت آب درون گیاه تحت تأثیر توأم رطوبت خاک و شرایط جوی می‌باشد (رجیناتو وهاو، ۱۹۸۵). به همین دلیل تاکنون کوشش‌های زیادی جهت ارایه شاخص‌هایی که بتواند تعیین کننده وضعیت آب درون بافت‌ها و سلول‌ها گیاهی بوده و شدت تنفس آبی را به طور کمی بیان نماید بعمل آمده است. جدیدترین مشخصه گیاهی که در مطالعات تنفس آبی به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته درجه حرارت برگ و یا پوشش سبز گیاهان می‌باشد. (تانر^۱ (۱۹۶۳) و ناظم السادات، (۱۳۶۶) درجه حرارت گیاهان را عامل مناسبی جهت بررسی وضعیت آبی گیاهان معرفی نمودند. با استفاده از دمای پوشش سبز می‌توان به تنش ناشی از کمبود آب در گیاهان پی برد (کرامر^۲، ۱۹۸۳).

در بسیاری از پژوهش‌ها دمای پوشش سبز اندازه‌گیری و ارتباط آن با پارامترهای مؤثر در مدیریت مزرعه مدل‌سازی شده است. شافعی (۱۳۷۵) در بررسی اثر کمبود آب، ضریب گیاهی و دمای پوشش سبز گیاه، جهت مدیریت آبیاری مزرعه گلرنگ مدل ساده‌ای با استفاده از اختلاف درجه حرارت پوشش سبز و هوای مجاور، رطوبت نسبی و آب قابل دسترس خالص ارائه نمود، که در سطح یک درصد معنی دار بود. همچنین شیرمحمدی علیخانی (۱۳۸۱) در بررسی روش و مقدار آب آبیاری بر شاخص سطح برگ، دمای پوشش سبز و عملکرد گیاه زعفران، نشان داد که اختلاف دمای پوشش سبز (Tc) و دمای هوا (Ta) بر حسب درجه سانتی‌گراد همبستگی بسیار بالایی با کمبود فشار بخار هوا

4- Ahmad et al.

5 - IRI(Infrared Instrument)

6 - Maik et al.

7 - Reinart and Reinhold

8 - Normalized difference vegetation Index

9 - Coll et al.

10 - Leinonen and Jones

1- Reginato and How

2- Tanner

3- Kramer

پرتوهایی با طول موج‌های ۷/۵ تا ۱۴ میکرون به کار گرفته شد. با توجه به رنگ اجسام مورد اندازه گیری لازم بود که ضریب تصحیح حساسیت^۱ دستگاه تعیین گردد. بنابراین با توجه به دوره‌های مختلف رشد و تغییر رنگ پوشش گیاهی از رنگ سبز به زرد با انجام آزمایش‌های مربوطه ضریب دستگاه تعیین و واسنجی گردید.

تصاویر

تصویر به کار رفته تصویر Modis سطح 1B وابسته به ماهواره Terra می‌باشد که در برگزیده ۳۶ باند در ناحیه ۴/۴-۱۴/۴ میکرون از طیف الکترومغناطیسی است. این تصاویر با توجه به تاریخ‌های نمونه‌برداری دریافت گردیدند. تصاویر دریافت شده دارای سطح تسطیح MOD3 می‌باشند. در این سطح تصحیح، اطلاعات مکانی به تصویر متصل می‌شود این اطلاعات شامل موارد زیر است: طول و عرض جغرافیایی^۲، ارتفاع از سطح زمین^۳، زاویه اوج ماهواره^۴، آزیموت ماهواره^۵، سطح زیر پوشش ماهواره^۶، زاویه اوج خورشید^۷ و آزیموت خورشید^۸ (نیشی‌هاما و همکاران^۹) علاوه تصحیحات خطای راه راه شدگی^{۱۰} هم انجام می‌پذیرد. خطای راه راه شدگی که در برخی از محیط‌های همگن رخ می‌دهد و به شکل حالت راه راه می‌دهد.

روش کار

در این پژوهش دمای پوشش سبز گیاهان زراعی به دو صورت زمینی و سنجش از دور اندازه گیری شده‌است. در اندازه گیری‌های زمینی دمای کف گیاه (سطح خاک)، تاج (حداکثر ارتفاع)، ارتفاع میانه و ارتفاع ۱۰ سانتی‌متری از کف گیاه به وسیله دماسنج مادون قرمز در طول دوره کشت بهار قرائت گردید. با ثبت داده‌های مذکور و انجام پاره ای تجزیه و تحلیل‌های آماری اقدام به برآزش رابطه ای بین دمای سطوح مختلف و ارزش رقومی تصاویر و همچنین رابطه بین دما در سطوح مختلف ارتفاعی گیاه گندم گردید. ذکر این نکته ضروریست که اندازه گیری‌های زمینی به گونه ای تنظیم گردید که همزمان با عبور ماهواره در منطقه مورد نظر باشد.

تصاویر باند ترمال و مرئی برای تخمین دمای پوشش سبز و مشخص کردن تنش در گیاهان استفاده نمودند.

امروزه بنابر اهمیت سنجش از دور حرارتی در پژوهش‌های محیطی، بسیاری از پژوهشگران، بررسی‌های پایه در زمینه سنجش از دور حرارتی و گسترش بیشتر فناوری سنجنده‌ها و کاربردهای نوین داده‌های حرارتی را ضروری می‌دانند (علوی پناه، ۱۳۸۶) زیرا حرارت گزینه مهمی در سامانه‌های بیولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی موجود در زمین و فضا است، بنابراین می‌توان گفت که باید در کلیه پژوهش‌های وابسته به علوم زمین، لحاظ شده و مورد بررسی قرار گیرد. در این پژوهش نیز سعی بر استفاده از داده‌های سنجش از دور و کاربرد آن در برآورد پارامترهای مؤثر بر مدیریت مزرعه مانند دمای پوشش سبز به منظور تعیین رابطه دما در سطوح مختلف ارتفاعی گیاه و ارزش رقومی تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد.

مواد و روش‌ها

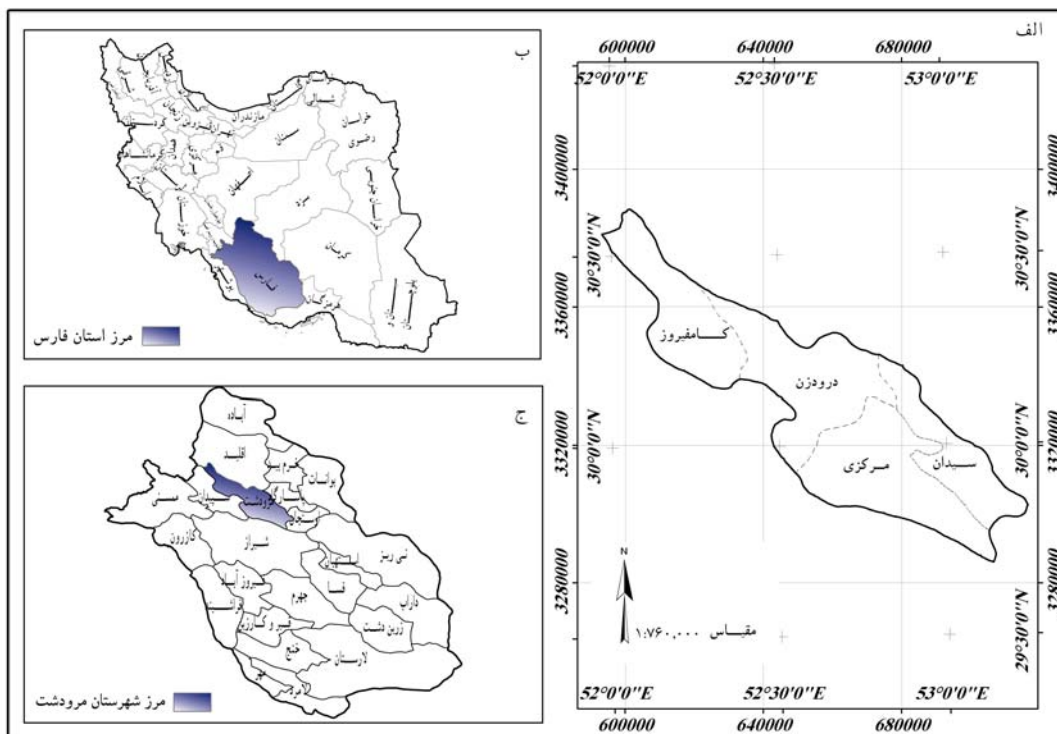
پهنه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شهرستان مرودشت می‌باشد، که در مرکز استان فارس و در ارتفاع ۱۵۹۵ متری از سطح دریا قرار دارد. مهم ترین رودخانه‌های شهرستان مرودشت رودخانه کر و رودخانه سیوند هستند که بسیار مهم و حیاتی محسوب می‌شوند. این شهرستان دارای ۱۷۰ هزار هکتار زمین‌های کشاورزی می‌باشد. در شکل (۱) قرار گیری پهنه مورد بررسی نمایش داده شده‌است.

داده‌های دمای پوشش سبز

کشت غالب در دشت مرودشت گندم و ذرت می‌باشد. از آنجا که گندم یک محصول استراتژیک است و نقش مهمی را در اقتصاد بهره برداران و مملکت ایفا می‌کند، لذا محصول گندم برای بررسی و تحقیق انتخاب گردید. اندازه گیری در نیمه دوم اردیبهشت ماه سال ۱۳۸۸ که کم و بیش هنگام خوشه زنی گندم بود آغاز شد و تا اواخر تیرماه ۱۳۸۸ که نزدیک به زمان برداشت محصول بود ادامه داشت. در جدول (۱) تاریخ روزهای نمونه برداری ارائه شده‌است. دما در چهار سطح تاج، ارتفاع میانه، فاصله ۱۰ سانتی متری از کف و کف، در بازه زمانی نیم ساعت پیش از گذر ماهواره شروع و تا نیم ساعت پس از گذر ماهواره اندازه گیری گردید. همچنین در زمان‌هایی که گیاه دارای برگ بود دمای برگ نیز اندازه گیری گردید. در روزهای برداشت نمونه باید دقت می‌گردید که هوا ابری و یا دارای گرد و غبار نباشد چون در این صورت تصویر برداشت شده از آن روزگویی واقعیت پدیده‌ها نمی‌باشد. برای اندازه گیری دمای پوشش سبز دماسنج فرو سرخ KYORLTSU مدل ۵۵۰۰ با فیلتر عبوری برای

- 1 - Emissivity
- 2 - Longitude and geodetic latitude
- 3 - Height above the Earth ellipsoid
- 4 - Satellite zenith angle
- 5 - Satellite azimuth
- 6 - Range to the satellite
- 7 - Solar zenith angle
- 8 - Solar azimuth
- 9 - Nishihama et al.
- 10 - Striping - De



شکل ۱- موقعیت دشت مرو دشت (الف) در شهرستان، (ب) در کشور، (ج) در استان

جدول ۱- تاریخ برداشت دمای پوشش سبز

| ردیف | روزهای نمونه برداری | تعداد نمونه |
|------|---------------------|-------------|
| ۱ | ۸۸/۲/۲۰ | ۱۶ |
| ۲ | ۸۸/۲/۲۱ | ۱۹ |
| ۳ | ۸۸/۲/۲۲ | ۱۵ |
| ۴ | ۸۸/۳/۰۳ | ۱۹ |
| ۵ | ۸۸/۳/۰۴ | ۱۹ |
| ۶ | ۸۸/۳/۰۵ | ۱۹ |
| ۷ | ۸۸/۳/۱۳ | ۲۲ |
| ۸ | ۸۸/۳/۱۴ | ۲۳ |
| ۹ | ۸۸/۳/۳۱ | ۲۵ |
| ۱۰ | ۸۸/۴/۰۱ | ۲۱ |
| ۱۱ | ۸۸/۴/۰۲ | ۲۲ |
| ۱۲ | ۸۸/۴/۰۳ | ۱۹ |
| ۱۳ | ۸۸/۴/۰۴ | ۲۲ |
| | جمع کل | ۲۶۱ |

پردازش تصاویر

در این پژوهش از پنج معیار مجذور میانگین مربعات خطا^۳، ضریب کارایی^۴، حداکثر خطا^۵، میانگین خطای واقعی^۶ و ضریب تبیین^۷ (رابطه‌های ۱ الی ۵) برای ارزیابی مدل‌ها استفاده شد.

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_o - Q_e)^2 / n} \quad (1)$$

که در آن RMSE: مجذور میانگین مربعات خطا، Q_o : مقدار مشاهده ای متغیروابسته، Q_e : مقدار تخمینی متغیر وابسته و n : تعداد مشاهدات می‌باشد.

$$CE = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_o - \bar{Q}_e)^2 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_o - Q_e)^2}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_o - \bar{Q}_o)^2} \quad (2)$$

که در آن CE: ضریب کارایی، Q_o : مقدار مشاهده ای متغیر وابسته، Q_e : مقدار تخمینی متغیروابسته، \bar{Q}_e : میانگین مقادیر تخمینی، \bar{Q}_o : میانگین مقادیر مشاهده ای و n : تعداد مشاهدات می‌باشد.

$$ME = \max |Q_o - Q_e| \quad (3)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |Q_o - Q_e|}{n} \quad (4)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_o \times Q_e)}{\sqrt{\sum_{m=1}^k Q_o^2 \sum_{e=1}^k Q_e^2}} \quad (5)$$

که در آن ME: ماکزیمم خطا، MAE: میانگین خطای واقعی، R^2 : ضریب تبیین، Q_o : مقدار مشاهده ای متغیر وابسته، Q_e : مقدار تخمینی متغیر وابسته و n : تعداد مشاهدات می‌باشد.

نتایج و بحث

تعیین چگونگی همبستگی بین دما و ارزش رقومی تصاویر
برای مشخص شدن همبستگی بین دما و ارزش رقومی تصاویر، نمودار پخشیدگی دما و ارزش رقومی تصاویر در

تصاویر ماهواره‌ای افزون بر ویژگی‌هایی که دارند معایبی نیز دارد که قبل از به کارگیری باید برطرف گردد که یکی از آن‌ها عدم تطابق هندسی است. برای رفع آن باید بر روی تصویر، تصحیح هندسی صورت پذیرد. منظور از تصحیح هندسی یک تصویر، تعیین سیستم مختصات اجزای سازنده تصویر و انطباق آن با نقشه‌های نظیر و یا تصویری است که قبلاً تصحیح هندسی بر روی آن صورت گرفته است. در این تحقیق تصحیح هندسی تصاویر با استفاده از پارامترهای مداری و با استفاده از نرم افزار Scan magic نسخه 1.4.1b انجام گرفته است.

استخراج ارزش رقومی^۱

پس از برداشت اطلاعات زمینی و تهیه لایه نقطه ای، با روی هم گذاری این لایه و تصویر ماهواره‌ای اقدام به استخراج ارزش رقومی در نقاط برداشت شده و در کلیه باندهای ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متری گردید.

مدل سازی

برای برآورد دما به کمک سنجنده‌های مادون قرمز حرارتی روش‌ها و الگوریتم‌های فراوانی ارائه شده است. یکی از این روش‌ها مدل سازی است. در این تحقیق مدل سازی در سه قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متری انجام گرفته است. به این ترتیب که پس از استخراج ارزش رقومی در نقاط برداشت شده و در کلیه باندها (دو باند ۲۵۰ متری هفت باند ۵۰ متری و سی و شش باند ۱۰۰۰ متری) با رسم نمودارهای پخشیدگی نوع رابطه بین دما و ارزش رقومی تصاویر تعیین و در مرحله بعد اقدام به پردازش رابطه بین ارزش رقومی‌های استخراجی و داده‌های زمینی به روش رگرسیون خطی قدم به قدم^۲ گردید و در نتیجه ضرایب و مدل رگرسیونی بین مؤلفه دما و ارزش رقومی پیکسل‌ها به دست آمد.

ارزیابی مدل

در بسیاری از موارد می بایست آورده‌های تخمین زده شده با روش‌های گوناگون با مقادیر اندازه گیری شده آزمایشگاهی، مزرعه‌ای و یا صحرایی یک پارامتر مقایسه شود. به عنوان نمونه ممکن است یک پارامتر با سه روش مختلف تخمین زده شود، حال پرسش آن است که کدام حالت تخمین بهتر است؟

3 - Root Mean Square of Error(RMSE)

4 - Coefficient of Efficiency(CE)

5 - Maximum Error(ME)

6 - Mean Absolute Error(MAE)

7 - Correlation Coefficient(R2)

1 - Digital Number(DN)

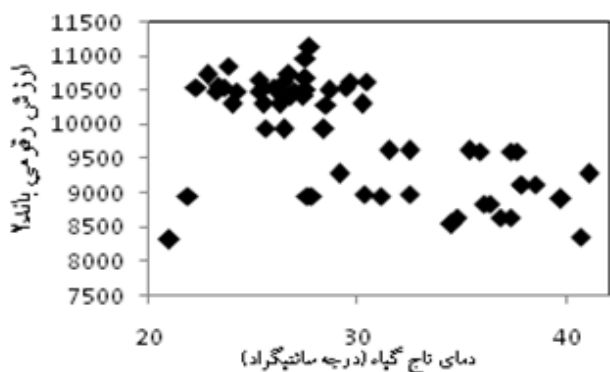
2 - Stepwise

دیگر روابط همبستگی نیز ارزیابی گردید و بهترین ضریب همبستگی در روابط خطی به دست آمد.

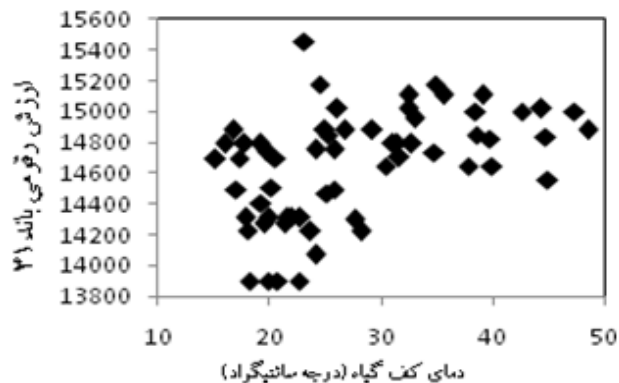
مدل سازی

در این گام بین ارزش های رقومی به دست آمده از باندها و مولفه دما، آزمون گام به گام انجام شد. سپس مدل مربوط به مولفه دما تشکیل گردید. در قدرت تفکیک ۱۰۰۰ متر برای هر سطح بین ۱۱ تا ۱۳ مدل و در تفکیک ۵۰۰ متر برای هر سطح سه مدل و در تفکیک ۲۵۰ متر یک مدل و در مجموع ۷۷ مدل بیرون آورده شده است. در جدول های (۲) تا (۴) آوردهای مدل سازی ارائه شده است.

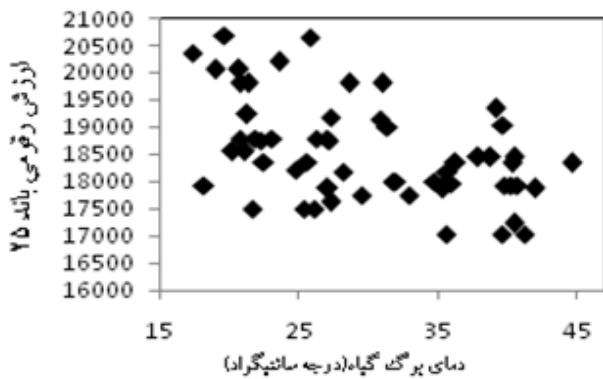
نقطه های برداشت شده ترسیم گردید که نمونه ای از آن ها در شکل (۲) ارائه شده است. شکل (۲ الف تا د) پخشیدگی دمای قسمت های مختلف گیاه با باندهای ۲، ۳۱، ۳۲ و ۲۵ را نشان می دهد. همان گونه که در شکل (۲) مشاهده می شود پراکندگی نقاط به گونه ای است که گزینش چگونگی برآزش بر آن ها دشوار است. در واقع بین آرایش نقاط و رابطه هایی از قبیل خطی، نمایی، لگاریتمی و... مطابقت وجود ندارد. از این رو، باید ساده ترین و بهترین برآزش را انتخاب نمود. در اینجا چون گرما و بازتابش هر دو از یک جنس و الکترومغناطیس هستند بنابراین رابطه بین آن ها مستقیم و بهترین برآزش رابطه خطی می باشد. افزون بر آن



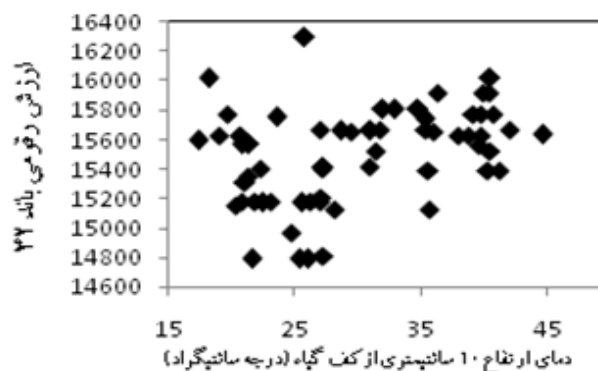
ب



الف



د



ج

شکل ۲- پخشیدگی دمای قسمت های مختلف گیاه و ارزش رقومی باند

جدول ۲- روابط بین دمای فراورده گندم و ارزش رقومی تصاویر ماهواره‌ای در باندهای با تفکیک مکانی یک کیلومتر

| معادله | باندهای منتخب | باندهای استفاده شده | ردیف |
|--|---------------|---------------------|------|
| $T_{top} = -0.005 \times b_{34} + 0.001 \times b_{25} + 142.256$ | ۲۵ و ۳۴ | ۳۴ و ۲۵ و ۵ | ۱ |
| $T_{top} = -0.00437 \times b_{34} + 142.906$ | ۳۴ | ۲۹ تا ۳۶ | ۲ |
| $T_{mean} = -0.022 \times b_{18} + 0.009 \times b_{17} + 22.915$ | ۱۷ و ۱۸ | ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ | ۳ |
| $T_{mean} = -0.005 \times b_{34} + 157.207$ | ۳۴ | ۲۵ و ۳۴ تا ۳۶ | ۴ |
| $T_{ten} = -0.009 \times b_{18} + 70.126$ | ۱۸ | ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ | ۵ |
| $T_{ten} = -0.002 \times b_{24} + 0.000243 \times b_{22} + 38.861$ | ۲۲ و ۲۴ | ۱ تا ۳۶ | ۶ |
| $T_{surface} = -0.0017 \times b_{24} + 41.99$ | ۲۴ | ۱ تا ۳۶ | ۷ |
| $T_{surface} = -0.009 \times b_{18} + 68.3$ | ۱۸ | ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ | ۸ |
| $T_{leaf} = -0.001 \times b_{24} + 39$ | ۲۴ | ۲۱ تا ۳۲ | ۹ |
| $T_{leaf} = -0.007 \times b_{18} + 58.143$ | ۱۸ | ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ | ۱۰ |

جدول ۳- روابط بین دمای فراورده گندم و ارزش رقومی تصاویر ماهواره‌ای در باندهای با تفکیک مکانی ۵۰۰ متر

| معادله | باندهای منتخب | باندهای استفاده شده | ردیف |
|---|---------------|---------------------|------|
| $T_{mean} = 0.014 \times b_3 - 15.477$ | | | ۱ |
| $T_{mean} = 0.014 \times b_3 - 15.477$ | | | ۲ |
| $T_{ten} = 0.016 \times b_3 - 21.588$ | ۳ | ۱ تا ۷ | ۳ |
| $T_{surface} = 0.018 \times b_3 - 29.459$ | | | ۴ |
| $T_{leaf} = 0.013 \times b_3 - 11.693$ | | | ۵ |

جدول ۴- روابط بین دمای فراورده گندم و ارزش رقومی تصاویر ماهواره‌ای در باندهای با تفکیک مکانی ۲۵۰ متر

| معادله | باندهای منتخب | باندهای استفاده شده | ردیف |
|---|---------------|---------------------|------|
| $T_{top} = 0.002 \times b_1 + 23.16$ | | | ۱ |
| $T_{mean} = 0.003 \times b_1 + 22.385$ | | | ۲ |
| $T_{ten} = 0.003 \times b_1 + 21.946$ | ۱ و ۲ | ۱ | ۳ |
| $T_{surface} = 0.004 \times b_1 + 16.147$ | | | ۴ |
| $T_{leaf} = 0.002 \times b_1 + 22.599$ | | | ۵ |

رقومی باند ۳ و b_1 : ارزش رقومی باند ۱ می‌باشد. لازم به ذکر است که واحد دما در قسمت‌های مختلف گیاه درجه سانتی‌گراد است.

نتایج ارزیابی مدل

مدل‌ها براساس مولفه‌هایی نظیر R^2 ، RMSE، ME، MAE، CE ارزیابی و دستاوردهای آن در جدول‌های (۵) تا (۷) نمایش داده شده‌است.

در جدول‌های (۲) تا (۴)، T_{top} : دمای بالاترین نقطه تاج پوشش محصول گندم، T_{mean} : دمای ارتفاع میانه محصول گندم، $T_{surface}$: دمای کف محصول گندم، T_{leaf} : دمای برگ محصول گندم، b_{34} : ارزش رقومی باند ۳۴، b_{25} : ارزش رقومی باند ۲۵ و b_{18} : ارزش رقومی باند ۱۸، b_{17} : ارزش رقومی باند ۱۷، b_{22} : ارزش رقومی باند ۲۲ و b_{24} : ارزش رقومی باند ۲۴، b_3 : ارزش

جدول ۵- نتایج ارزیابی مدل های تخمین زده شده برآورد دمای فراورده گندم با استفاده از باندهای باتفکیک مکانی ۱۰۰۰ متر

| CE | MAE | ME | RMSE | R ² | n | معادله |
|-------|-----|------|------|----------------|----|--------------------------------------|
| ۰/۹۹۷ | ۲/۶ | ۱۴/۳ | ۳/۷ | ۰/۶۷ | ۶۱ | Ttop= -0.005×b34+0.001×b25+142.256 |
| ۰/۹۹۹ | ۲/۷ | ۱۶/۲ | ۳/۸ | ۰/۶۱ | ۶۱ | Ttop= -0.00437×b34+142.906 |
| ۰/۹۹۹ | ۳/۱ | ۱۳ | ۴/۰ | ۰/۶۶ | ۶۱ | Tmean= -0.022×b18+0.009×b17+22.915 |
| ۰/۹۹۹ | ۳/۲ | ۱۵/۵ | ۴/۱ | ۰/۶۷ | ۶۱ | Tmean= -0.005×b34+157.207 |
| ۰/۹۹۹ | ۳/۹ | ۱۷/۳ | ۵/۰ | ۰/۶۴ | ۶۱ | Tten= -0.009×b18+70.126 |
| ۰/۹۹۹ | ۳/۸ | ۱۹ | ۵/۲ | ۰/۷۴ | ۶۱ | Tten= -0.002×b24+0.000243×b22+38.861 |
| ۰/۹۹۹ | ۴/۵ | ۲۴/۸ | ۶/۲ | ۰/۷۵ | ۶۱ | Tsurface= -0.0017×b24+41.99 |
| ۰/۹۹۹ | ۵/۱ | ۲۲/۷ | ۶/۵ | ۰/۷۰ | ۶۱ | Tsurface= -0.009×b18+68.3 |
| ۰/۹۹۸ | ۹/۷ | ۳۵/۷ | ۴/۶ | ۰/۵۴ | ۶۱ | Tleaf= -0.001×b24+39 |
| ۰/۹۹۸ | ۹/۴ | ۳۴/۴ | ۴/۷ | ۰/۵۷ | ۶۱ | Tleaf= -0.007×b18+58.143 |

جدول ۶- نتایج ارزیابی مدل های تخمین زده شده برآورد دمای فراورده گندم با کمک باندهای باتفکیک مکانی ۵۰۰ متر

| CE | MAE | ME | RMSE | R ² | n | معادله |
|------|-----|------|------|----------------|----|--------------------------|
| ۰/۹۹ | ۲/۹ | ۱۰/۹ | ۳/۶ | ۰/۵۱۳ | ۷۱ | Tmean=0.014×b3-15.477 |
| ۰/۹۹ | ۳ | ۹/۴ | ۴/۲ | ۰/۵۹۶ | ۷۱ | Tmean=0.014×b3-15.477 |
| ۰/۹۹ | ۳/۹ | ۱۰/۸ | ۴/۹ | ۰/۵۷۸ | ۷۱ | Tten=0.016×b3-21.588 |
| ۰/۷۴ | ۵/۱ | ۱۵/۵ | ۶/۳ | ۰/۷۳۸ | ۷۱ | Tsurface=0.018×b3-29.459 |
| ۰/۹۹ | ۲/۵ | ۷/۳ | ۳/۶ | ۰/۴۸۲ | ۷۱ | Tleaf=0.013×b3-11.693 |

جدول ۷- نتایج ارزیابی مدل های تخمین زده شده برآورد دمای فراورده گندم با کمک باندهای باتفکیک مکانی ۲۵۰ متر

| CE | MAE | ME | RMSE | R ² | n | معادله |
|-------|-----|------|------|----------------|-----|--------------------------|
| ۰/۹۹۸ | ۴/۵ | ۱۳/۱ | ۵/۳ | ۰/۰۷ | ۱۹۶ | Ttop=0.002×b1+23.16 |
| ۰/۹۹۸ | ۵/۱ | ۱۶/۸ | ۶ | ۰/۰۶ | ۱۹۶ | Tmean=0.003×b1+22.385 |
| ۰/۹۹۸ | ۶/۲ | ۱۵/۶ | ۷/۲ | ۰/۰۶ | ۱۹۶ | Tten=0.003×b1+21.946 |
| ۰/۹۹۸ | ۶/۶ | ۲۹/۷ | ۸/۳ | ۰/۰۶ | ۱۹۶ | Tsurface=0.004×b1+16.147 |
| ۰/۹۹۸ | ۳/۷ | ۱۸/۲ | ۵/۱ | ۰/۰۶ | ۱۹۶ | Tleaf=0.002×b1+22.599 |

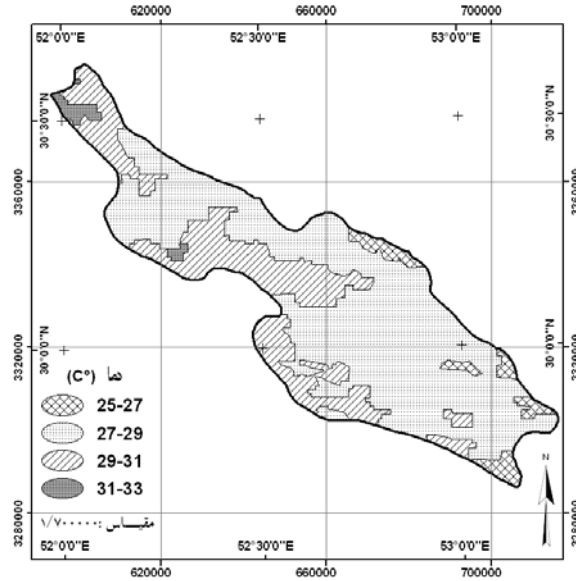
به دو تفکیک مکانی ۵۰۰ و ۲۵۰ متر به دلیل خطای کمتر برتری دارد، چرا که در شناسایی حرارت نیاز به سطح وسیعی برای گرفتن انرژی می باشد که این نشان پر رنگ، در پیکسل اندازه های بزرگتر بیشتر نمود می کند. اندازه ضریب همبستگی روابط وابسته به قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متر و ۲۵۰ متر خصوصاً ۲۵۰ متر به دلیل اینکه فاقد باندهای حرارتی هستند و در برگیرنده سطح کمتری نسبت به قدرت تفکیک مکانی ۱۰۰۰ متر می باشند، بسیار پایین است و از دقت مناسبی برخوردار نمی باشند. پارامترهای

عموما باندهای شرکت کننده در مدل هایی که خطای آن ها کمتر بود باندهایی حرارتی بودند که کاربرد آن ها تخمین دما معرفی شده است. در این پژوهش بهترین پاسخ مربوط به باندهای ۱۷، ۱۸، ۲۴، ۲۵، ۲۴، ۳۴ بوده است. نخستین کاربرد باند ۲۴، ۲۵ و ۲۲ تخمین دما و کارایی باندهای ۱۷، ۱۸ و ۳۴ شناسایی اندازه بخار و رطوبت می باشد که رابطه مستقیم با تبخیر و تعرق گیاه و دما دارد. در مقایسه مدل ها در سه قدرت تفکیک مکانی می توان گفت که مدل هایی که از باندهای ۱۰۰۰ متری کمک می گیرند، نسبت

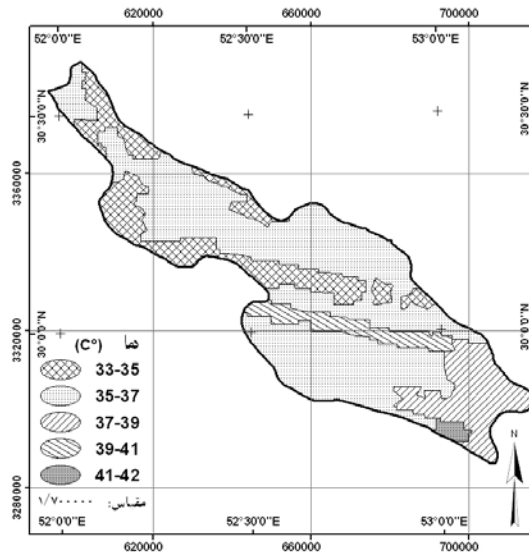
با توجه به مدل‌های به‌دست آمده برای تعیین دمای تاج پوشش محصول گندم با استفاده از باندهای با قدرت تفکیک مکانی ۱۰۰۰ متر از مدلی که دارای کمترین میزان مجذور میانگین مربعات می‌باشد برای تهیه نقشه دمایی استفاده گردید. شکل‌های (۳) و (۴) دما در ۲ تاریخ ۱۳۸۸/۳/۵ و ۱۳۸۸/۴/۲ را نمایش می‌دهند.

ارزیابی و رفتار یکسان خطاها در هر سطح اندازه‌گیری نشان می‌دهد که برآورد دمای تاج پوشش فرآورده‌های کشاورزی با فنون سنجش از دور امکان‌پذیر می‌باشد، اما مدل‌های به‌دست آمده نیاز به دقیق‌تر شدن دارد. در این مدل‌ها کمترین خطا مربوط به برآورد دما در سطح تاج پوشش گیاه است و در سطوح پایینی گیاه خطای تخمین دما زیاد می‌شود.

تهیه نقشه دمای تاج پوشش سبز در منطقه مورد مطالعه



شکل ۳- دمای تاج پوشش محصول گندم در منطقه موردش در تاریخ ۱۳۸۸/۳/۵ ساعت ۱۱:۴۰ محلی



شکل ۴- دمای تاج پوشش محصول گندم در منطقه موردش در تاریخ ۱۳۸۸/۴/۲ ساعت ۱۲:۰۴ محلی

نتیجه گیری

تفکیک مکانی ۱۰۰۰ متری از دقت بالاتری نسبت به قدرت تفکیک مکانی‌های دیگر برخوردار است، و مجذور میانگین مربعات خطای آن برابر ۳/۶ برآورد گردید. نتایج نشان داد که تخمین دمای پوشش سبز به کمک داده‌های سنجنش از دور امکان‌پذیر است اما نیاز به دقیق‌تر شدن دارد که این امر مستلزم به‌کارگیری روش‌های دقیق و نوین و گردآوری داده‌های بیشتر و مناسب‌تر است.

دمای پوشش سبز به عنوان یک شاخص جهت برآورد میزان تنفس و تعیین نیاز آبی گیاه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در گذشته دمای پوشش سبز به شیوه سنتی اندازه‌گیری می‌گردید که هزینه‌های زیادی را در بردارد. لذا در این پژوهش اقدام به مدل‌سازی جهت تخمین دما با به‌کارگیری فنون سنجنش از دور و استفاده از تصاویر مودیس گردید. دقت مدل‌های به‌دست آمده با اندازه‌گیری زمینی دمای پوشش سبز گندم در دشت مرودشت مورد ارزیابی قرار گرفت. تخمین دما با استفاده از باندهای با قدرت

منابع

- ۱- شافعی، ف. ۱۳۷۵. بررسی اثر کمبود آب، ضریب گیاهی و دمای پوشش سبز گیاه جهت مدیریت آبیاری مزرعه گلرنگ. پایان نامه کارشناسی ارشد، رشته آبیاری زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، ۱۵۳ صفحه.
- ۲- شیر محمدی علیخانی، ز. ۱۳۸۱. بررسی روش و مقدار آب آبیاری بر شاخص سطح برگ دمای پوشش سبز و عملکرد گیاه زعفران. پایان نامه کارشناسی ارشد، رشته آبیاری زهکشی، دانشکده کشاورزی، ۱۶۸ صفحه.
- ۳- علوی پناه، ک. ۱۳۸۶. کاربرد سنجنش از دور حرارتی در علوم زمین. انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول، ۵۲۱ صفحه.
- ۴- قهرمان، ب. و م. م. نخجوانی مقدم. ۱۳۸۶. ارزیابی دمای پوشش سبز جهت زمان بندی آبیاری و عملکرد گیاه گندم زمستانه. مجله علوم و صنایع کشاورزی، ۲۲: ۱۱۲-۱۰۱.
- ۵- ناظم السادات، م. ج. ۱۳۶۶. استفاده از درجه حرارت پوشش سبز گیاه چغندر قند جهت تسهیل در برنامه بندی آبیاری. پایان نامه کارشناسی ارشد، رشته آبیاری زهکشی، دانشکده کشاورزی، ۱۴۱ صفحه.
- 6- Ahmad, R., N. Ahmad, and M. A. Pervez. 1998 Canopy Temperature: A Potential technique for evaluating genetic response to drought in crop Plants, Pakistan. *Journal of Biological Sciences*, 1(3): 142-144.
- 7- Bsaibes, A., Courault, D., Baret, F., Weiss, M., Olioso, A., Jacob, F Hagolle O., Marloie, O., Bertrand, N., Desfond, V. and F.Kzemipour. 2009. Albedo and LAI estimates from FORMOSAT-2 data for crop monitoring. *Journal of Remote Sensing of Environment*, 113(4): 716-729.
- 8- Coll, C., Caselles, V., Galve, J. M., Valor, E., Niclos, R., Sánchez, J. M., and R.Rivas. 2005. Ground measurements for the validation of land surface temperatures derived from AATSR and MODIS data. *Journal of Remote Sensing of Environment*, 97(3): 288-300.
- 9- Kramer, P. J. 1983. *Water relations of plants*. Academic Press, Inc, California.
- 10- Leinonen, I and H. J. G. Jones. 2004. Combining thermal and visible imagery for estimating canopy temperature and identifying plant stress. *Journal of Experimental Botany*, 55(401): 1423-1431
- 11- Maik, Z. H., Bastiaanssen, W. G., Van Lieshout, I. A., and N. A. Mughal. 2004. Estimating surface temperature from satellite data. *Journal of Applied Sciences*, 4: 126-129.
- 12- Nishihama, M., Wolfe, R., Solomon, D., Patt, F., Blanchette, J., Fleig, A., and E. Masuoka. 1997. MODIS level 1A earth location: Algorithm theoretical basis document version 3.0.
- 13- Reinart, A.; and M.Reinhold. 2007. Mapping surface temperature in large lakes with MODIS data. *Journal of Remote Sensing of Environment*, 112: 603-611

- 14- Reginato, R. and J. Howe. 1985. Irrigation scheduling using crop indicators. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 111(2): 125-133.
- 15- Tanner, C. B. 1963. Plant temperatures. *Journal of Agronomy*, 55:210-211.