

Estimating the Main Phenological Stages of Orange Tree Using Remote Sensing (Case Study: Southeast Orchards of Fars Province in Iran)

Ali Hashemi¹, Hojjatollah Yazdanpanah^{2*}, Mehdi Momeni³

1- PhD Candidate of Climatology, Department of Physical Geography, Faculty of Geographical Sciences and Planning, University of Isfahan, Isfahan, Iran

2- Associate Professor of Climatology, Department of Physical Geography, Faculty of Geographical Sciences and Planning, University of Isfahan, Isfahan, Iran

(*Corresponding Author Email: h.yazdan@geog.ui.ac.ir)

3- Associate Professor of Remote Sensing, Faculty of Civil Engineering and Transportation, University of Isfahan, Isfahan, Iran

Extended Abstract

Introduction

Phenology is a key indicator in plant growth and plays an important role in monitoring vegetation. Monitoring seasonal variations in vegetation activities and crop technology over large areas is essential for many applications, including estimating initial net production time to model crop performance and supportive water supply decisions. On the other hand, extracting this important information requires a lot of time and money. The southeast of Fars Province in Iran has a very favorable climate and environmental conditions for citrus growth and thus the region is one of the most important citrus cultivation spots in Iran. Given the significance of citrus cultivation in the food production of the country as well as its important role in regional economics, planning in the field of citrus phenological information in this region solve many challenges in the agricultural sector in the region. In other words, knowing the plant phenological status in citrus orchards can play an important role in planning and managing climate change and ultimately the development of the agricultural sector of this province. In this regard, this study aims to estimate the main phenological stages of orange trees using remote sensing.

Methodology

In the proposed study, MODIS images (2006-2016) were employed. The images were downloaded for 10 days. The remotely sensed images were used to extract vegetation indices including NDVI, EVI, and TCI to modeling the phenology of the orange trees. Also, 1/25000 maps of Iran National Cartographic Center were used as the spatial reference for the images geo-referencing.

The meteorological data including daily maximum and minimum temperature, relative humidity, and precipitation were collected from the Darab Agrometeorology station. The phenological data including the onset and end of each phenological period of orange trees which were being observed from 2006 to 2016 at the Agrometeorology Station was used in this study.

In this study, the three most widely used remote sensing indices were investigated to evaluate the health and status of vegetation and temperature conditions. The normalized difference vegetation index, vegetation status, and temperature condition index were calculated to compare the results of the remote sensing and traditional harvesting of plant phenological stages. To observe the effect of moisture on vegetation, the charts of normalized maximum temperature, normalized maximum moisture, and normalized difference vegetation index were plotted for all the years.

Discussion

The phenological stages of citrus had 9 main phases and 97 sub-phases, out of which 6 main stages were presented to the researchers and were investigated. The 6 main phenological stages of oranges are as follows:

Leaf bud and fruit formation, leaf bud and fruit flourishing, fruiting and leaf growth, fruit and leaf growth, fruit ripening, and sleep cycle.

To interpret these stages, the charts of normalized maximum temperature and normalized temperature condition index obtained from the MODIS satellite images were plotted for all crop years.

The variation of Tem_{max} was correlated to the growing stages of orange trees. In the other words, the normalized temperature condition index obtained from the satellite images properly indicated the temperature variations. Moreover, the temperature change charts properly showed the changes in the duration of the phenological stages of orange trees.

Conclusion

To investigate the effect of temperature variations on different phenological stages of orange trees, the normalized maximum temperature and normalized difference vegetation index were plotted for all the crop years. At each point where the peak of the normalized maximum temperature was observed, the peak in the normalized difference vegetation index was also found at a very small distance. In other words, when the temperature increased, the conditions were favorable for increasing vegetation and the plant begins to grow.

Finally, to evaluate the performance of remote sensing indices in expressing changes in temperature and vegetation conditions, the correlation coefficient between remote sensing indices and ground data was calculated in pairs. Since the study area was arable land and human factors were involved in plant growth, the resulting correlation coefficients were small. The results of calculating the correlation coefficients indicated that the indices obtained from remote sensing using satellite images can properly show the changes in the main phenological stages. On the other hand, these indices can be produced daily and the trend of changes can be seen without harvesting and physical observation of the product.

Keywords: Phenology, Orange Trees, Remote Sensing, Vegetation Indices, Satellite Images.

References:

- Böttcher, K., Härmä, P., Peltoniemi, M., Tanis, C. M., Aurela, M., & Arslan, A. N. (2016). *Comparison of Web-Camera and Satellite Based Observations on Vegetation Phenology in Finland*. AGILE 2016 – Helsinki.
- Camacho, M., & Orozco, L. (1998). *Reproductive Phenology of the Oak Family (Fagaceae) in the Lowland in Forests of Borneo*. Proyecto Silvicultura Bosques Naturales, CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Dai, J., Wang, H., & Ge, Q. (2014). The Spatial Pattern of Leaf Phenology and Its Response to Climate Change in China. *International Journal of Biometeorology*, 58(4), 521-528.
- Ferraz, D. K. (1998). *Phenology of Tree Species in an Urban Forest Fragment in Southeastern, Developing an International Phenology (a) Monitoring Network*. 1998Phenology Symposium, pp.132-144.
- Heydari, H., Valadan Zoj, M., Maghsoudi, Y., & Dehnavi, S. (2018). An Investigation of Drought Prediction Using Various Remote Sensing Vegetation Indices for Different Time Spans. *International Journal of Remote Sensing*, 39(6), 1871-1889.
- Jeong, S. J., Ho, C. H., Choi, S. D., Kim, J., Lee, E. J., & Gim, H. J. (2013). Satellite Data Based Phenological Evaluation of the Nationwide Reforestation of South Korea. *PLoS One*, 8(3), 19.
- Kimball, J. S., McDonald, K. C., Running, S. W., & Froking, S. E. (2004). Satellite Radar Remote Sensing of Seasonal Growing Seasons for Boreal and Subalpine Evergreen Forests. *Journal of Remote Sensing of Environment*, 90(2), 243-258.
- Kogan, F. N. (1995). Droughts of the Late 1980s in the United States as Derived from NOAA Polar-Orbiting Satellite Data. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 76(5), 655-668.
- Liu, H. Q., & Huete, A. (1995). A Feedback Based Modification of the NDVI to Minimize Canopy Background and Atmospheric Noise. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 33(2), 457-465.
- Luo, Y., Zhang, Z., Chen, Y., Li, Z., & Tao, F. (2020). ChinaCropPhen1km: A high-Resolution Crop Phenological Dataset for Three Staple Crops in China During 2000–2015 Based on Leaf Area Index (LAI) Products. *Journal of Earth System Sciences Data*, 12(1), 197-214.
- Ma, X., Huete, A., Yu, Q., Coupe, N. R., Davies, K., Broich, M., ... & Eamus, D. (2013). Spatial Patterns and Temporal Dynamics in Savanna Vegetation Phenology across the North Australian Tropical Transect. *Journal of Remote Sensing of Environment*, 139, 97-115.
- Qiu, B., Li, W., Tang, Z., Chen, C., & Qi, W. (2015). Mapping Paddy Rice Areas Based on Vegetation Phenology and Surface Moisture Conditions. *Ecological Indicators*, 56, 79-86.
- Rose, M. E. (1974). Immunity to Eimeria Maxima: Reactions of Antisera in Vitro and Protection in Vivo. *The Journal of Parasitology*, 60(3), 528-530.
- Sakamoto, T., Yokozawa, M., Toritani, H., Shibayama, M., Ishitsuka, N., & Ohno, H. (2005). A Crop Phenology Detection Method Using Time-Series MODIS Data. *Journal of Remote Sensing of Environment*, 96(3-4), 366-374.

- Tao, J. B., Wu, W. B., Yong, Z., Yu, W., & Jiang, Y. (2017). Mapping Winter Wheat Using Phenological Feature of Peak before Winter on the North China Plain Based on Time-Series MODIS Data. *Journal of Integrative Agriculture*, 16(2), 348-359.
- The American Meteorological Society. (2012). Available in: <http://glossary.ametsoc.org/wiki/Phenology>, Last seen 2017/ 6/ 23.
- The American Meteorological Society. (2012). Retrieved from: http://glossary.ametsoc.org/wiki/Remote_sensing, Last seen 2017/ 6/ 23.
- The American Meteorological Society. (2012). Retrieved from: http://glossary.ametsoc.org/wiki/Vegetation_index, Last seen 2017/ 6/ 23.
- Tucker, C. J., Elgin Jr, J. H., & McMurtrey III. J. E. (1979). *Temporal Spectral Measurements of Corn and Soybean Crops*. (n.p).
- Yang, X., Mustard, J. F., Tang, J., & Xu, H. (2012). Regional-Scale Phenology Modeling Based on Meteorological Records and Remote Sensing Observations. *Journal of Geophysical Research*, 117(3), 1-18.
- You, X., Meng, J., Zhang, M., & Dong, T. (2013). Remote Sensing Based Detection of Crop Phenology for Agricultural Zones in China Using a New Threshold Method. *Journal of Remote Sensing*, 5(7), 3190-3211.
- Zeng, L., Wardlow, B. D., Wang, R., Shan, J., Tadesse, T., Hayes, M. J., & Li, D. (2016). A Hybrid Approach for Detecting Corn and Soybean Phenology with Time-Series MODIS Data. *Journal of Remote Sensing of Environment*, 181, 237-250.



جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی

سال ۳۲، پیاپی ۸۲، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰، صص ۱۳۴-۱۱۹

نوع مقاله: پژوهشی

وصول: ۱۳۹۹/۸/۲۱ پذیرش: ۱۴۰۰/۲/۴

برآورد مراحل اصلی فنولوژی درخت پرتقال با استفاده از سنجش از دور نمونه پژوهش: باغ‌های جنوب شرق استان فارس

علی هاشمی، دانشجوی دکتری رشته آب و هواشناسی کشاورزی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

a.hashemi2010@yahoo.com

حجت‌الله یزدان‌پناه*، دانشیار رشته آب و هواشناسی کشاورزی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

h.yazdan@geog.ui.ac.ir

مهدی مومنی، دانشیار رشته سنجش از دور، گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی عمران و حمل و نقل، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

momeni@eng.ui.ac.ir

چکیده

فنولوژی، شاخصی کلیدی در رشد و نمو گیاهان است و نقشی مهم در نظارت بر پوشش گیاهی دارد. در این پژوهش، مراحل اصلی فنولوژی پرتقال شامل تشکیل جوانه برگ و میوه، شکفتن جوانه برگ و میوه، میوه‌دادن و برگ‌دادن، رشد میوه و برگ‌دادن، رسیدن میوه و سیکل خواب با استفاده از سنجش از دور بررسی شد. منطقه مطالعه‌شده، یک باغ پرتقال در کشور ایران در جنوب شرقی استان فارس و در فاصله ۲۵ کیلومتری شهر داراب در روستای فسارود است. بدین منظور داده‌های مشاهداتی شامل داده‌های فنولوژی و آب‌وهوایی در بازه زمانی ده‌ساله (۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵) جمع‌آوری شد. نخست تصاویر سنجنده مودیس برای سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ با توجه به داده‌های زمینی و نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری زمین مرجع شدند. این تصاویر برای محاسبه شاخص‌های پوشش گیاهی (EVI) و شاخص شرایط دمایی (TCI) استفاده شد. در نهایت پوشش گیاهی (NDVI)، شاخص وضعیت پوشش گیاهی (EVI) و شاخص شرایط دمایی (TCI) استفاده شد. در نهایت در ارزیابی عملکرد شاخص‌های سنجش از دور در مدل‌سازی مراحل فنولوژی، ضریب همبستگی میان این شاخص‌ها و داده‌های زمینی محاسبه شد. بیشترین مقدار ضریب همبستگی بین TCI و حداکثر دما برابر با ۰/۹۵۳ و کمترین ضریب همبستگی بین NDVI و حداکثر رطوبت برابر با ۰/۰۴ به دست آمده است. نتایج ضریب همبستگی حاکی است شاخص‌های به‌دست‌آمده از روش سنجش از دور با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به‌خوبی تغییرات مراحل اصلی فنولوژیکی را نشان می‌دهد؛ از سوی دیگر بر مبنای این شاخص‌ها می‌توان بدون برداشت زمینی و مشاهده فیزیکی از روند تغییرات فنولوژی گیاه آگاه شد.

کلیدواژه‌ها: فنولوژی، درخت پرتقال، سنجش از دور، شاخص‌های پوشش گیاهی، تصاویر ماهواره‌ای

*نویسنده مسؤل

Copyright©2021, University of Isfahan. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>), which permits others to download this work and share it with others as long as they credit it, but they can't change it in any way or use it commercially.

Doi: [10.22108/GEP.2021.125910.1373](https://doi.org/10.22108/GEP.2021.125910.1373)

Dor: [20.1001.1.20085362.1400.32.2.7.0](https://doi.org/20.1001.1.20085362.1400.32.2.7.0)

مقدمه

شرح و بیان مسئله

فنولوژی، شاخصی کلیدی در رشد و نمو گیاهان است و نقشی مهم در نظارت بر پوشش گیاهی دارد (Qiu et al., 2015: 80; You et al., 2016: 240; Tao et al., 2017: 350; Luo et al., 2020: 460). مطالعه فنولوژی و شاخص پوشش گیاهی درک درستی از اکوفیزیولوژیک و زمان تغییرات تناوبی در چرخه زندگی یک محصول ایجاد می‌کند (رایگانی و همکاران، ۱۳۹۸: ۴۵۱)؛ همچنین برای بسیاری از برنامه‌ها از جمله زمان تخمینی تولید اولیه خالص برای مدل‌سازی عملکرد محصول و مدیریت کود، ارزیابی بهره‌وری محصول، تجزیه و تحلیل اکوسیستم فصلی مبادلات دی اکسید کربن و تصمیم‌گیری‌های حمایتی درباره تأمین آب ضروری و حیاتی است (Toshihiro Sakamoto et al., 2005: 368; Junhu Dai et al., 2014: 523; Kimball et al., 2004: 245; Jihua Meng et al., 2013: 13). روش‌های گوناگونی برای بررسی تغییرپذیری مراحل فنولوژی وجود دارد؛ یکی از این روش‌ها، روش مبتنی بر داده‌های زمینی ایستگاه‌های هواشناسی کشاورزی است که محدودیت‌هایی مانند نداشتن دید کامل از پوشش گیاهی در مقیاس‌های بزرگ، صرف هزینه و زمان زیاد، نقطه‌ای بودن داده‌های گردآوری‌شده و خطاهای انسانی دارد (متکان و همکاران، ۱۳۹۰: ۹). تکنیک سنجش از دور با توجه به مشاهده تدریجی سطوح زمین و دستیابی سریع به اطلاعات در مقیاس گسترده، با صرف زمان و هزینه کم و استفاده از باندهای طیفی موجود در ماهواره، اطلاعاتی دقیق و جامع در هر بازه زمانی و مکانی فراهم می‌کند (کردی و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۲۶۸)؛ همچنین روشی مطلوب برای بررسی فنولوژی است و اطلاعات جامع‌تری را از شرایط فنولوژی و بیومتری گیاهی ارائه می‌کند (خداکرمی و سفیانیان، ۱۳۹۱: ۲۳۲؛ رایگانی و همکاران، ۱۳۹۸: ۴۵).

جنوب شرق استان فارس، یکی از مهم‌ترین قطب‌های کشت مرکبات در کشور است که سطح وسیعی از اراضی قابل کشت در این استان را به خود اختصاص داده است. با توجه به اهمیت کشت مرکبات در تولید مواد غذایی مورد نیاز کشور و همچنین نقش بسزای آن در اقتصاد منطقه، برنامه‌ریزی در زمینه اطلاعات فنولوژیکی مرکبات این منطقه، راهگشای بسیاری از چالش‌های پیش روی بخش کشاورزی در شرق استان فارس است؛ به بیان دیگر اطلاع از وضعیت فنولوژیکی گیاهی در باغ‌های مرکبات در برنامه‌ریزی و مدیریت نوسانات اقلیمی و در نهایت توسعه بخش کشاورزی این استان نقش بسزایی دارد.

پیشینه پژوهش

تاکنون پژوهش‌های زیادی در زمینه بررسی فنولوژی محصولات کشاورزی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای انجام شده است؛ اما در زمینه فنولوژی مرکبات پژوهش خاصی انجام نشده یا اینکه با چنین چهارچوب علمی براساس تصاویر ماهواره‌ای کمتر مدنظر بوده است؛ در ادامه به بعضی از آنها اشاره می‌شود.

کاماچو و اوروزکو^۱ (1998) فنولوژی ۱۶۰ درخت از ۱۲ گونه را در جنگل‌های کوهستانی کاستاریکا به صورت

ماه‌بانه به مدت ۴۹ ماه با روش تجزیه و تحلیل واریانس ارزیابی کردند. آنها دریافتند گل‌دهی از نوامبر تا می ادامه دارد و تا پایان فصل بارندگی و در طول دوره خشکی ادامه داشته است.

یانگ و همکاران^۱ (2012) در پژوهشی بر مدل‌سازی فنولوژی در مقیاس منطقه‌ای براساس داده‌های فنولوژی سنجش از دور و داده‌های هواشناسی (میانگین دمای روزانه) تأکید کرده‌اند. برای محاسبه فنولوژی گیاهی سنجش از دور (شامل شروع و پایان فصل) از شاخص‌های گیاهی سنجش از دور (شاخص گیاهی EVI2) هشت‌روزه مودیس^۲ از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ در نیویورک استفاده شده است. براساس نتایج به دست آمده از سه مدل گل‌دهی امتحان شده، مدل گرمایش بهاری بهترین عملکرد را با میانگین خطای (RMSE = ۴,۵۹) روز نشان داد و برای مدل خزان، بهترین مدل (RMSE = ۸,۰۵) بهترین عملکرد را داشته است.

جونگ و همکاران^۳ (2013) در بررسی احیای جنگل‌های کره جنوبی، تنوع گیاهی و فنولوژی گیاهی را طی دوره آماره ۱۹۸۲ تا ۲۰۰۸ با استفاده از تخمین فصل رویش براساس داده‌های ماهواره‌ای ارزیابی کردند. شروع فصل رویش با استفاده از شاخص NDVI محاسبه شد که با مشاهدات زمینی تاریخ نخستین گل‌دهی، هم به صورت زمانی (R = ۰,۵۴) و هم مکانی (R = ۰,۶۴)، در سطح اطمینان ۹۵ درصد رابطه معنادار داشت.

ژوانگ لانگ ما و همکاران^۴ (2013) در بررسی الگوهای مکانی و زمانی فنولوژی گیاهی در ساوانا در منطقه حاره‌ای شمال استرالیا، زمان‌های کلیدی و مهم فنولوژی را (شروع، اوج، خزان و طول دوره فصل رشد) با تصاویر ماهواره MODIS و شاخص گیاهی (EVI) در دوره‌های ۱۳ ساله (۲۰۰۰-۲۰۱۲) استخراج کرده‌اند. در قسمت‌های شمالی در محدوده ۱۲ درجه جنوبی تا حدود ۱۷/۷ درجه جنوبی که متأثر از منطقه کمربند همگرایی حاره‌ای (ITCZ) و سامانه‌های مونسون فصلی است، الگوهای فنولوژی به شدت به تغییرات عرض جغرافیایی وابسته است. هر دو مرحله شروع و پایان فصل رشد در قسمت‌های شمالی حاره‌ای ساوانا زودتر روی می‌دهد و به صورت فزاینده‌ای با حرکت به سمت جنوب و محدوده اکالیپتوس‌ها با تأخیر مواجه می‌شود.

کوبایاشی و همکاران^۵ (2016) فنولوژی جنگل‌های صنوبر آلاسکا را با کمک داده‌های زمینی و ماهواره‌ای بررسی کرده‌اند. نتایج پژوهش آنها حاکی است بین داده‌های ماهواره‌ای و زمینی ارتباطی قوی وجود ندارد.

بوچر و همکاران^۶ (2016) در پژوهشی تصاویر دوربین‌ها و تصاویر ماهواره‌ای فنولوژی گیاهی را در کشور فنلاند با هم مقایسه کردند.

هاشمی و همکاران (۱۳۹۳) فنولوژی راش ایرانی در جنگل‌های طبیعی را با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و تصاویر سنجنده IRS-LISSIII بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که ظهور برگ و گل‌دهی از هفته سوم فروردین تا هفته اول اردیبهشت، شروع ریزش برگ از اوایل هفته چهارم آبان و پایان ریزش برگ از اواخر هفته اول آذر است؛ همچنین حداکثر مقدار NDVI (۰/۶) در مرحله کامل شدن برگ و افزایش مقدار NDVI به ۰/۳۱ در مرحله ظهور برگ است.

1. Ji Young et al.
2. Modis
3. Jung
4. Zhuang Lang Ma
5. Kobayash et al.
6. Boucher et al.

ملایری و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی تأثیرات تغییرات اقلیم را بر شاخص‌های پوشش گیاهی در دامنه جنوبی البرز مرکزی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای بررسی کردند. نتایج پژوهش نشان داد از پارامترهای فنولوژیکی می‌توان به‌مثابه معیاری برای آشکارسازی تغییر اقلیم در مناطق مختلف بهره برد. با توجه به نتایج پژوهش‌های اشاره‌شده، پژوهش حاضر ضمن تأکید بر داده‌های سنجش از دور، بر عوامل اقلیمی از جمله رطوبت و دما نیز در این تغییرات تأکید دارد تا نقش و آثار آنها نیز شناخته شود؛ بنابراین هدف از انجام این پژوهش، برآورد مراحل اصلی فنولوژی پرتقال به کمک داده‌های سنجش از دور و بررسی عوامل رطوبت و دما در تغییرات فنولوژیکی است.

روش‌شناسی پژوهش

در این مطالعه با توجه به اهداف در نظر گرفته شده، از تصاویر سنجنده مودیس برای سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ استفاده شده است. این تصاویر به صورت ۱۰ روزه دانلود شده‌اند؛ همچنین از نقشه‌های ۱/۲۵۰۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری ایران به‌منظور تصحیح سیستم تصاویر استفاده شده است. برای تعیین داده‌های تاریخی آب‌وهوایی شامل دمای بیشینه، دمای کمینه، بیشینه و کمینه رطوبت روزانه و بارندگی که مربوط به مراحل اصلی فنولوژی در ۱۰ سال زراعی است، از داده‌های ایستگاه هواشناسی کشاورزی حسن‌آباد داراب به‌صورت روزانه استفاده شده است. داده‌های فنولوژی شامل تاریخ شروع و خاتمه هر دوره از گیاه است. در این پژوهش از داده‌های فنولوژی ثبت‌شده باغ آزمایشگاهی ایستگاه هواشناسی کشاورزی حسن‌آباد داراب در دوره آماری ۱۰ ساله (۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵) با مقیاس BBCH استفاده شده است. در پژوهش حاضر، سه شاخص سنجش از دوری پرکاربرد و مهم برای بررسی سلامت و وضعیت پوشش گیاهی و شرایط دمایی بررسی شدند. شاخص تفاضلی نرمال‌شده پوشش گیاهی، وضعیت پوشش گیاهی و شاخص شرایط دمایی که در ادامه کامل توضیح داده خواهند شد، برای مقایسه نتایج فن سنجش از دور و برداشت سنتی مراحل فنولوژی گیاه محاسبه شده‌اند.

شاخص تفاضلی نرمال‌شده پوشش گیاهی^۱

شاخص NDVI، یکی از پرکاربردترین شاخص‌های پوشش گیاهی را نخستین بار تاکر و همکاران^۲ (1979) مطرح کردند. این شاخص یک ارزش عددی بدون واحد است که برای پیش‌بینی یا ارزیابی ویژگی‌های گیاهی مانند برگ گیاهان، زیست کلی و سلامتی عمومی و توان سطح گیاهان استفاده می‌شود. بازه مقادیر این شاخص بین ۱- و ۱+ است و از رابطه زیر محاسبه می‌شود (American Meteorological Society, 2012).

1. Normalized Difference Vegetation Index

2. Tucker et al.

$$NDVI = \frac{(\rho_{NIR} - \rho_{Red})}{(\rho_{NIR} + \rho_{Red})} \quad \text{رابطه ۱}$$

در رابطه ۱، ρ_{NIR} و ρ_{Red} به ترتیب بازتابندگی در باندهای فرورسرخ و قرمز هستند.

شاخص پوشش گیاهی بازسازی شده^۱

این شاخص در واقع همان شاخص NDVI بهینه شده است؛ در واقع در این شاخص آثار پخش اتمسفر از لحاظ پخش الکترومغناطیسی حذف یا تعدیل می شود. در این شاخص طیفی از باند آبی برای تصحیح اثر سیگنال های خاک پس زمینه و پخش اتمسفری استفاده شده است. این شاخص برای داده های سنجنده مودیس طراحی شده بود، اما به مرور برای سایر داده های ماهواره ای به کار رفت. این شاخص از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$EVI = 2.5 * \frac{(NIR - Red)}{(NIR + 6 * RED - 7.5 * Blue + L)} \quad \text{رابطه ۲}$$

رابطه ۲ (Liu and Huete, 1995) به خوبی تغییرات ایجاد شده را در پوشش گیاهی نشان می دهد.

شاخص شرایط دمایی^۲

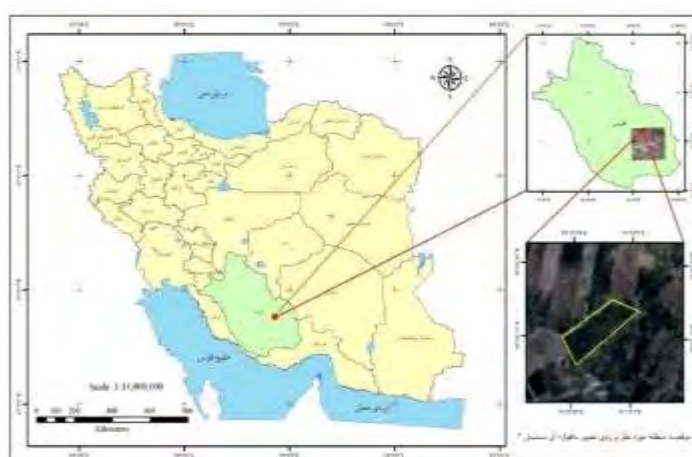
شاخص TCI را کوگان در سال ۲۰۰۱ پیشنهاد کرد که به دمای سطح زمین وابسته است. این شاخص به منظور حذف آثار مخرب بخار آب در داده های ماهواره ای در پایش خشکسالی به کار می رود. TCI، میزان انحراف دمای ماه مدنظر را از مقدار بیشینه طی زمان مطالعه بیان می کند؛ بدین صورت که اساس آن دمای سطح زمین و بیان کننده عملکرد پوشش گیاهی نسبت به دماست (Heydari et al., 2018)؛ به بیان دیگر TCI میزان انحراف دمای ماه مدنظر را از مقدار بیشینه دما طی دوره زمانی مطالعه بیان می کند.

$$TCI = 100 * ((BT_{Max} - BT_{i})) / ((BT_{Max} + BT_{min})) \quad \text{رابطه ۳}$$

در رابطه ۳ (Kogan, 1995)، BT_i دمای درخشندگی در ماه مدنظر است. BT_{max} و BT_{min} به ترتیب کمترین و بیشترین دمای درخشندگی در طول دوره برداشت هستند.

منطقه مطالعه شده، یک باغ پرتقال در کشور ایران در جنوب شرقی استان فارس در فاصله ۲۵ کیلومتری شهر داراب در روستای فسارود به مختصات طول جغرافیایی "14' 4" و عرض جغرافیایی "57' 1" است (شکل ۱). ارتفاع متوسط منطقه از سطح آب های آزاد، ۱۱۱۵ متر است. طی یک دوره آماری بین سال های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵، ایستگاه هواشناسی داراب میانگین حداکثر دمای منطقه را ۲۹/۹ و میانگین حداقل دمای منطقه را ۱۴/۴ درجه سانتی گراد گزارش کرده است. سطح زیر کشت مرکبات شهرستان داراب حدود ۷ هزار هکتار برآورد شده که میزان عملکرد آن ۱۱۶۹۸۰ تن در سال است و رتبه اول تولید مرکبات را در استان فارس دارد (شکور، ۱۳۸۶). منطقه پژوهش در شکل زیر نشان داده شده است.

1. Enhanced Vegetation Index
2. Temperature Condition Index



شکل ۱. منطقه پژوهش

Fig. 1. Study Area

یافته‌های پژوهش

مراحل فنولوژی در گیاهان از الگویی منظم و پیش‌بینی‌پذیر پیروی می‌کند. در هریک از مراحل فنولوژیکی، گیاه به مقادیر متفاوتی از واحدهای حرارتی نیازمند است. تا زمانی که گیاه حرارت لازم را برای هر مرحله دریافت نکند به مرحله بعدی وارد نمی‌شود. با توجه به شرایط اقلیمی و تفاوت در شرایط جوی، تعداد روزهای هر مرحله در هر سال متفاوت است. مراحل مختلف فنولوژیکی پرتقال برحسب روز در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱. مراحل مختلف فنولوژیکی پرتقال برحسب روز در سال‌های زراعی مختلف

Table 1: Duration (in days) of phenological stages of the orange tree In the study period

سال	۸۵-۸۶	۸۶-۸۷	۸۷-۸۸	۸۸-۸۹	۸۹-۹۰	۹۰-۹۱	۹۱-۹۲	۹۲-۹۳	۹۳-۹۴	۹۴-۹۵	میانگین
مراحل رشد											
۱. تشکیل جوانه برگ و میوه	۸	۱۱	۱۱	۱۲	۹	۷	۲۴	۱۶	۱۹	۱۷	۱۳,۴
۲. شکفتن جوانه برگ و میوه	۱۲	۱۱	۱۱	۹	۱۲	۱۷	۱۰	۲۲	۳۰	۲۹	۱۶,۳
۳. میوه‌دادن و برگ‌دادن	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	۳۵	۱۷	۲۸	۱۴	۳۴	۱۸,۳
۴. رشد میوه و برگ‌دادن	۲۱۸	۲۱۸	۲۱۷	۲۱۸	۲۱۸	۱۷۱	۲۰۷	۱۸۰	۱۹۱	۱۷۱	۲۰۰,۹
۵. رسیدن میوه	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	۳۷	۴۲	۳۶	۴۹	۵۱	۳۷,۵
۶. سیکل خواب	۸۳	۸۳	۸۳	۸۳	۹۳	۷۰	۷۷	۷۳	۶۱	۷۶	۷۸,۲
جمع	۳۶۴	۳۶۶	۳۶۵	۳۶۵	۳۷۵	۳۳۷	۳۷۷	۳۵۵	۳۶۴	۳۷۸	۳۶۴,۶

بررسی دوره آماری (۱۳۸۵-۱۳۹۵) در جدول ۱ نشان می‌دهد همه مراحل فنولوژی درخت پرتقال تغییراتی داشته است. مرحله اول رشد پرتقال در سال ۸۶-۸۵ به مدت ۸ روز روی داده، ولی در سال ۹۲-۹۱ به مدت ۲۴ روز افزایش یافته است. نمودار سال زراعی ۹۲-۹۱ مرحله اول رشد گیاه را با کاهش شدید دما نشان می‌دهد یا در سال ۸۹-۹۰

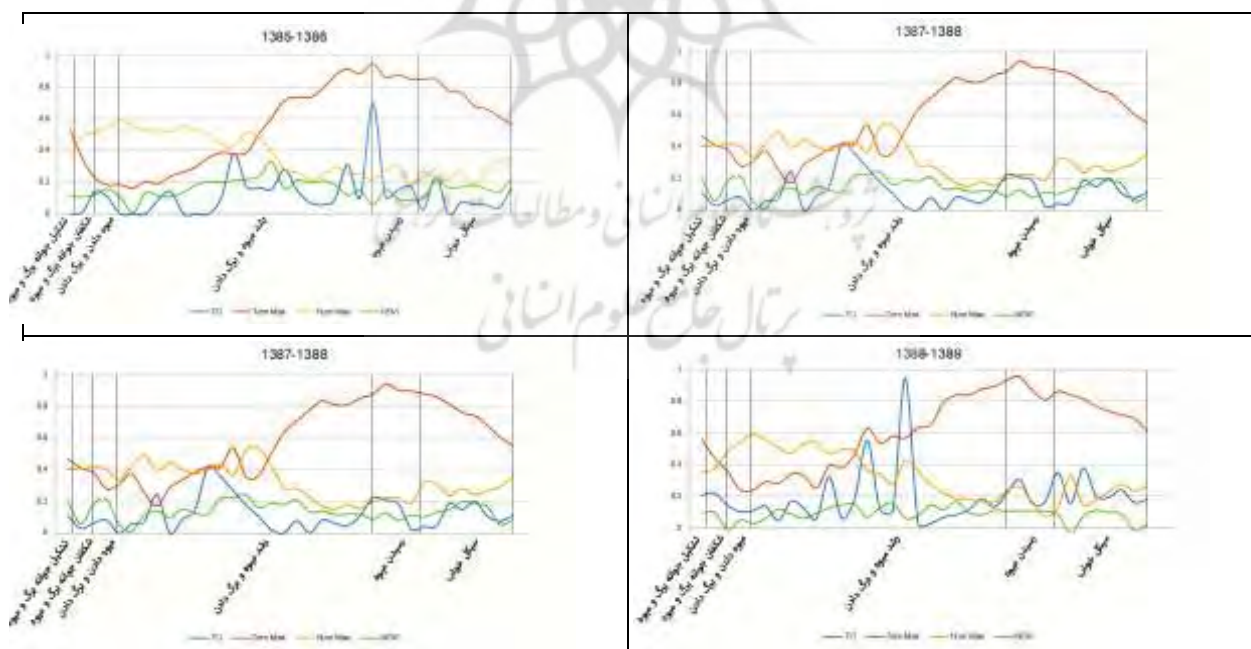
سیکل خواب از ۸۳ روز به ۹۳ روز افزایش یافته است که در نمودار ۸۹-۹۰ کاهش شدید دما در انتهای نمودار مشاهده می‌شود؛ همچنین به دلیل افزایش سریع دما در سال ۹۳-۹۴ در زمستان سیکل خواب گیاه سریع‌تر (۶۱ روز) به پایان رسیده است و در انتهای سال ۹۴ (نمودار ۹۴-۹۵) یا به بیانی ابتدای دوره سال ۹۴-۹۵ که کاهش ناگهانی دما روی داده، مرحله اول رشد گیاه که باید در یک دهه کامل شود، به ۱۷ روز افزایش یافته است. با توجه به نمودارهای شکل ۲ و جدول ۱، کاهش یا افزایش دما در سال‌های مختلف باعث تغییر در دوره‌های رشد پرتقال شده است.

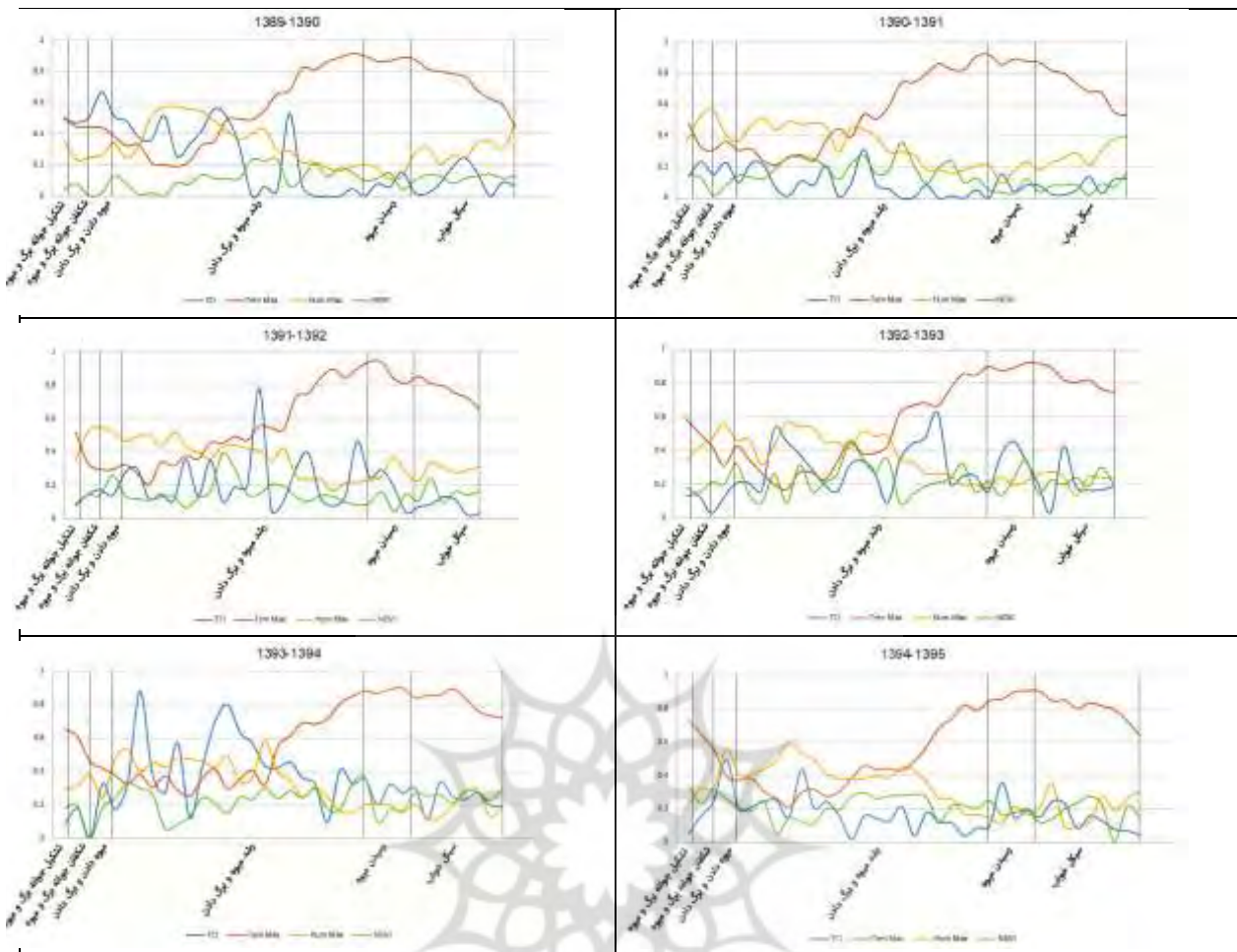
برای مدل‌سازی این مراحل، نمودارهای شاخص‌های سنجش از دوری NDVI و TCI (که از تصاویر ماهواره‌ای مودیس به دست آمده‌اند) به همراه پارامترهای زمین‌مرجع دمای بیشینه و رطوبت بیشینه برای تمامی سال‌های زراعی ترسیم شده است. گفتنی است پیش از ورود به مرحله مقایسه و تحلیل شاخص‌های سنجش از دوری و داده‌های زمین‌مرجع، برای نرمالیزاسیون تمامی مقادیر (زمینی و ماهواره‌ای) اقدام شد. برای این منظور از مقادیر بیشینه و کمینه هریک از سری‌های زمانی برای تبدیل مقادیر به بازه ۰ و ۱ استفاده شد؛ بدین ترتیب تأثیر مخرب و ناخواسته حاصل از تفاوت در مقیاس (بازه) شاخص‌های مختلف بر نتایج حذف می‌شود. محور افقی هریک از این نمودارها از مرحله اول رشد گیاه (دهه دوم اسفندماه) آغاز می‌شود و تا مرحله آخر (سیکل خواب گیاه) به اتمام می‌رسد. به دلیل اینکه در هر ماه از سه تصویر ماهواره‌ای استفاده شده است و در کل ۱۲ ماه داریم، این محور از ۰ تا ۳۶ است؛ به بیانی هر عدد نشان‌دهنده یک دهه (۱۰ روز) از دوره فنولوژی گیاه (درخت پرتقال) است. محور عمودی بیان‌کننده مقادیر چهار شاخص (دو شاخص سنجش از دوری و دو شاخص زمینی) است که شامل NDVI، TCI، دمای بیشینه (Tem_{Max}) و رطوبت بیشینه (Hum_{max}) می‌شود.

داده‌های زمینی جمع‌آوری شده (دمای بیشینه، دمای کمینه، رطوبت بیشینه، رطوبت کمینه و بارش) روزانه‌اند؛ بنابراین پس از تبدیل داده‌های سنجش از دوری (میانگین‌های ۱۰ روزه) به تاریخ شمسی (زیرا داده‌های زمینی تاریخ شمسی و داده‌های سنجش از دوری تاریخ میلادی دارند)، میانگین‌های ۱۰ روزه برای پارامترهای زمینی به‌منظور مقایسه شاخص‌های مختلف (زمینی و ماهواره‌ای) تولید شد؛ بدین ترتیب مقایسه بصری و مدل‌سازی تحلیلی مراحل مختلف فنولوژی گیاه (درخت پرتقال) ممکن خواهد بود. از آنجایی که هریک از این مراحل (فنولوژی) با وقوع تغییرات در مقادیر شاخص‌های زمینی (استفاده‌شده در مطالعه حاضر) قابل بیان است، تغییرات شاخص‌های سنجش از دوری در مقایسه با پارامترهای زمینی بررسی می‌شود. همان‌گونه که در نمودارهای شکل ۲ مشاهده می‌شود، دو پارامتر زمینی دمای بیشینه و رطوبت بیشینه رفتار معکوس با یکدیگر دارند؛ به بیان دیگر با افزایش دما، رطوبت کاهش و با کاهش آن، رطوبت افزایش خواهد یافت. گذشته از این تشابه تغییرات در منحنی‌های TCI و دمای بیشینه در این نمودارها به‌خوبی نمایش داده شده است. این مسئله نشان‌دهنده توانایی نسبتاً زیاد شاخص سنجش از دوری TCI در بیان تغییرات شرایط دما و پیرو آن مدل‌سازی مراحل فنولوژی گیاه است؛ از سویی نمودار تغییرات دمایی به‌خوبی نشان‌دهنده تغییرات مدت‌زمان مراحل فنولوژی پرتقال است؛ علاوه بر این منحنی NDVI حاوی تأخیر زمانی نسبتاً ثابت در پاسخ‌دهی به تغییرات منحنی‌های دما، رطوبت و TCI است. این تأخیر به‌واسطه وجود یک بازه زمانی کوتاه بین افزایش (کاهش) دمای بیشینه و TCI و همچنین کاهش (افزایش) رطوبت و افزایش (کاهش) رشد و

سبزی‌نگی گیاه است. تأخیر زمانی بین NDVI و داده‌های زمین‌مرجع و شاخص‌های سنجش از دوری پوشش گیاهی دیگر در بسیاری از مطالعات پیشین نیز مشاهده شده است؛ لیکن نکته اساسی درباره NDVI، کاهش تغییرات فرکانس بالا در سری زمانی آن در طول فصل رشد به واسطه تأثیر ناپذیری آنی سبزی‌نگی گیاه (درخت پرتقال) از تغییرات کوتاه‌مدت دما و رطوبت و همچنین روند کلی صعودی مقادیر NDVI با فاصله گرفتن از شروع دوره رشد تا میانه‌های سال و روند نزولی آن با نزدیک شدن به دوره خواب گیاه است.

در نمودارهای شکل ۲ مشاهده می‌شود که فارغ از نوع شاخص‌های مدنظر (سنجش از دوری یا زمینی)، در حالت کلی رفتار نمودارها و نقاط اوج و قعر آنها (افزایش و کاهش شاخص‌ها)، گذشته از شدت (دامنه عددی) تغییرات، غالباً مطابق با موارد بالاست. این موضوع در نتایج حاصل از بررسی‌های آماری (که در ادامه آمده است) مشاهده می‌شود. وجود شباهت رفتاری نسبتاً زیاد بین دمای بیشینه و TCI موجب شده است ضریب همبستگی میان TCI و دمای بیشینه بیشترین مقدار را در مقایسه با سایر شاخص‌های استفاده شده داشته باشد؛ همچنین رفتار معکوس آنها با رطوبت بیشینه در مقادیر همبستگی منفی میان آنها (جدول ۲) مشاهده می‌شود؛ علاوه بر این وجود تأخیر زمانی یاد شده میان تغییرات TCI سنجش از دوری و دمای بیشینه (و پیرو آن رطوبت بیشینه) زمین‌مرجع با تغییرات NDVI موجب کاهش (نسبتاً زیاد) ضریب همبستگی آن با TCI و هر دو شاخص زمینی شده است. تمامی موارد بالا علاوه بر منحنی‌های شکل ۲، در مقادیر همبستگی به دست آمده میان شاخص‌های مختلف (زمینی و سنجش از دوری) مشاهده می‌شود؛ به بیانی شاخص شرایط دمایی نرمالیزه شده به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای به خوبی نشان‌دهنده تغییرات دمایی است.

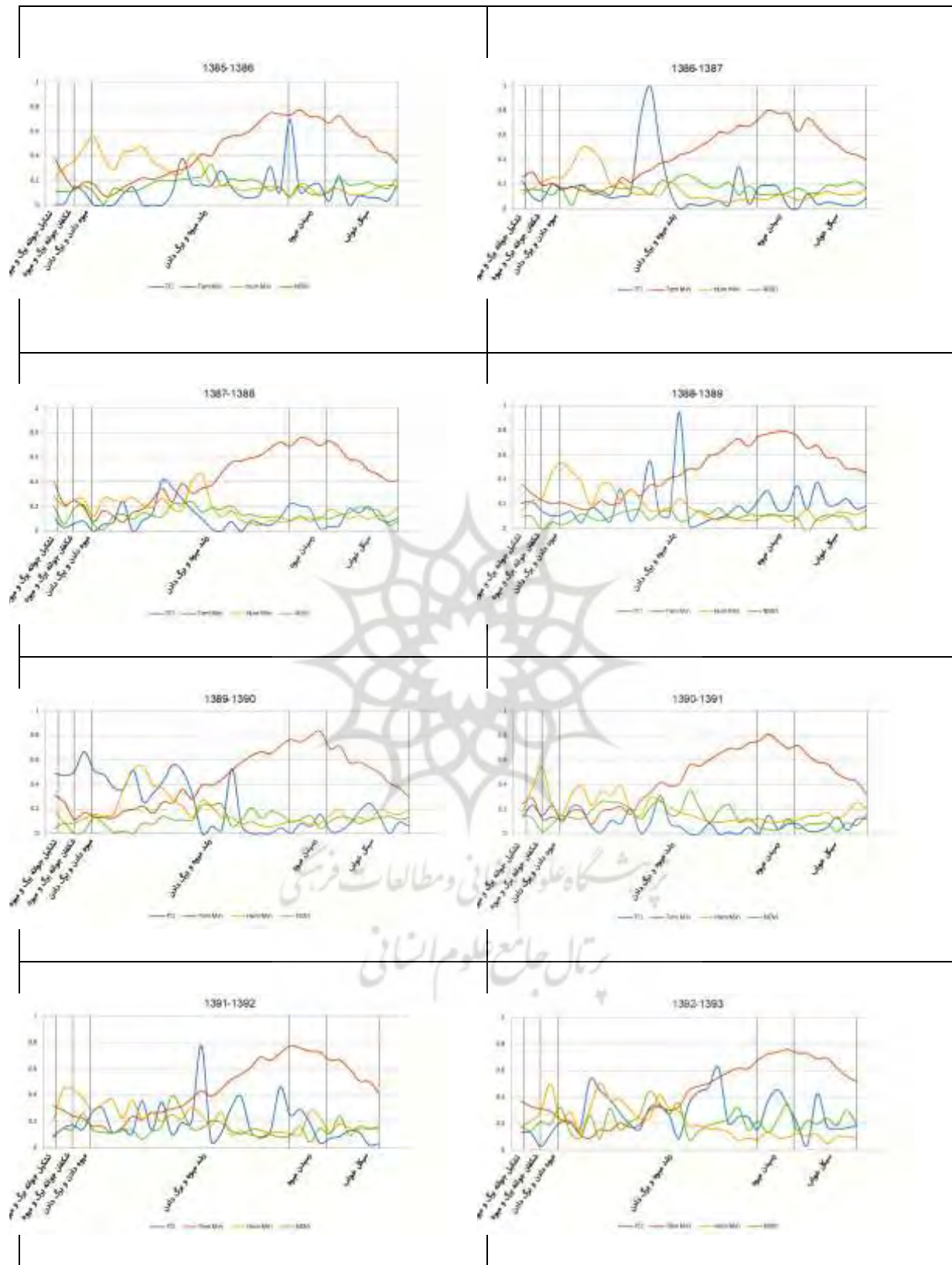


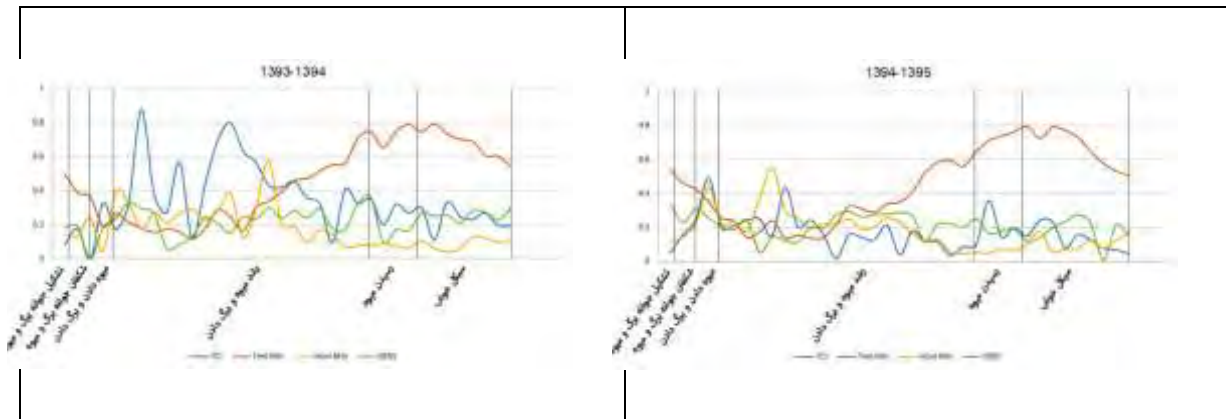


شکل ۲. نمودارهای تغییرات NDVI و TCI در بیان تغییرات حداکثر رطوبت و حداکثر دما و مراحل مختلف فنولوژی درخت پرتقال

fig 2: Graphs of NDVI and TCI changes in expression of changes in maximum humidity and maximum temperature and corresponding stages of orange tree phenology

در مرحله بعد برای مشاهده تأثیر تغییرات دما و رطوبت کمینه بر مراحل فنولوژی درخت پرتقال و همچنین ارزیابی عملکرد شاخص‌های سنجش از دوری NDVI و TCI در بیان این تغییرات (و پیرو آن مدل‌سازی مراحل فنولوژی)، نمودارهای پارامترهای زمین مرجع (دما و رطوبت کمینه) و شاخص‌های سنجش از دوری (NDVI و TCI) برای تمامی سال‌های مطالعه شده ترسیم شد. همان‌طور که در نمودارهای شکل ۳ (مشابه نمودارهای ارائه شده در شکل ۲) مشاهده می‌شود، همزمان با افزایش مقادیر دمای کمینه (و کاهش رطوبت کمینه)، شاهد افزایش مقادیر TCI و همچنین با فاصله زمانی اندکی مقادیر NDVI هستیم؛ به بیان دیگر همان‌گونه که پیش‌تر نیز اشاره شد، زمانی که دما افزایش (کاهش) و رطوبت کاهش (افزایش) می‌یابد، شرایط برای افزایش (کاهش) سبزی‌نگی پوشش گیاهی مساعد می‌شود و گیاه شروع به رشد می‌کند. برای نمونه در سال ۹۱-۹۲ در ابتدای نمودار دمای کمینه به شدت کاهش یافته است؛ به همین دلیل NDVI نیز (با تأخیر زمانی) افزایش می‌یابد؛ به بیان دیگر کاهش دما باعث کاهش رشد گیاه و افزایش دوره تشکیل جوانه برگ و میوه شده است.





شکل ۳: نمودارهای تغییرات NDVI، TCI، در بیان تغییرات حداقل رطوبت و حداقل دما و مراحل مختلف فنولوژی درخت پرتقال

fig 3: Graphs of NDVI and TCI changes in expression of changes in minimum humidity and minimum temperature and corresponding stages of orange tree phenology

در این مرحله پیش از انجام مراحل اصلی پردازش، برای نرمال‌سازی سری‌های زمانی استفاده شده (نگاشت مقادیر به فضای ۰ و ۱) اقدام شده است. همان‌طور که در تمامی نمودارهای شکل ۳ مشاهده می‌شود، مشابه با رابطه معکوس دما و رطوبت بیشینه، با افزایش رطوبت کمینه، دمای کمینه کاهش یافته است و بالعکس.

در ابتدای دوره فنولوژی همه سال‌ها (تمامی نمودارهای شکل ۳) که به دوره تشکیل جوانه برگ و میوه و در اوایل اسفند مربوط است، افزایش رطوبت و کاهش دما مشاهده می‌شود. در هر نقطه از نمودار که میزان رطوبت افزایش یافته، کاهش دما به وضوح دیده می‌شود و همچنین با فاصله کمی افزایش در نمودار پوشش گیاهی مشاهده می‌شود. همان‌طور که می‌دانیم رطوبت عامل رشد و سبزیگی گیاه است که این تأثیر به خوبی در نمودارها دیده می‌شود. گفتنی است تغییرات رطوبت در فصل سرما به دلیل بارش و در فصل گرما به دلیل آبیاری زمین است.

همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، برای بیان میزان توانایی شاخص‌های مختلف در بیان تغییرات پارامترهای زمینی از معیار آماری محاسبه ضریب همبستگی (میان سری‌های زمانی) استفاده شد. در این زمینه ضریب همبستگی Spearman میان سری شاخص‌های سنجش از دوری و داده‌های زمینی به صورت دوجه دو محاسبه و نتایج حاصل از آن در جدول ۲ آورده شد. به واسطه تشابه نسبتاً زیاد میان همبستگی تغییرات دما و رطوبت کمینه و بیشینه، از ارائه توضیحات تکراری و همچنین محاسبه ضرایب همبستگی به صورت جداگانه برای آنها اجتناب می‌شود.

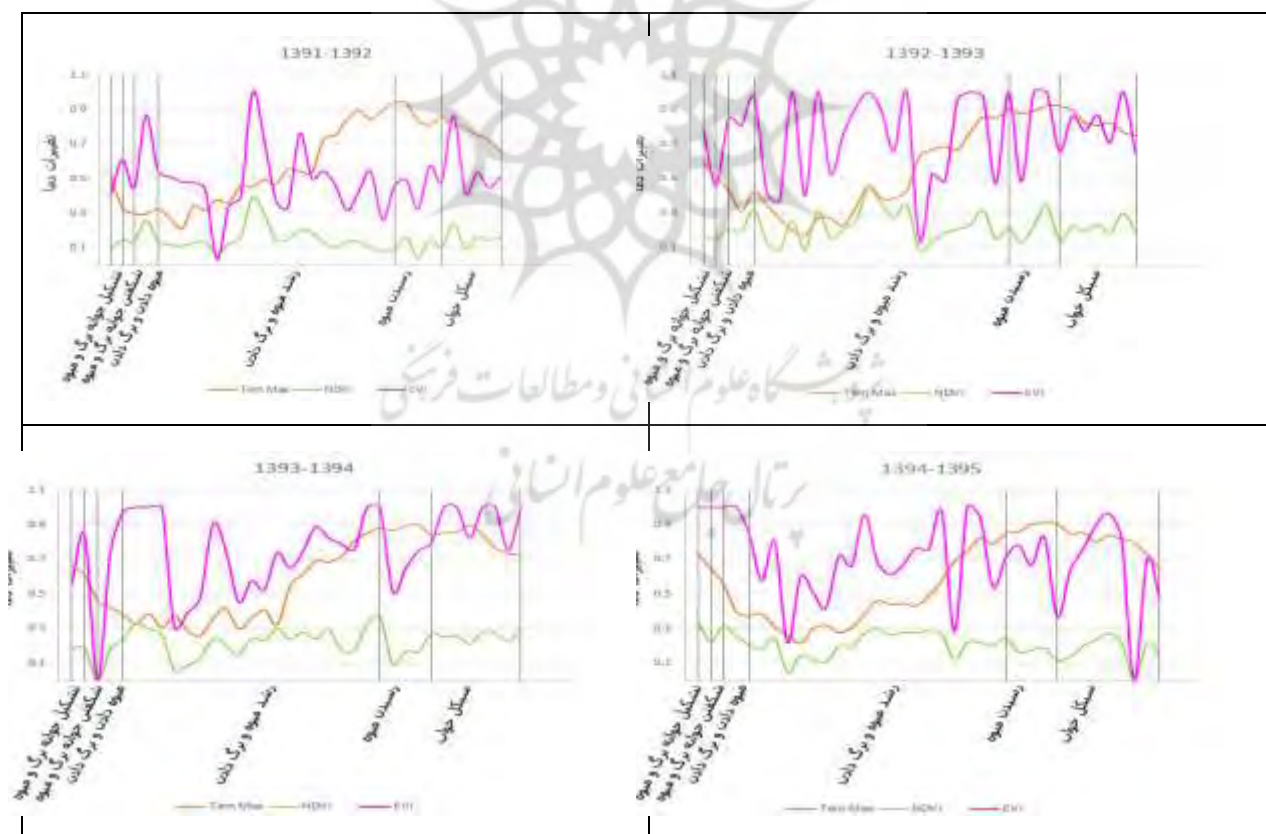
جدول ۱. ضریب همبستگی میان شاخص‌های سنجش از دوری و شاخص‌های زمینی

Table 2: Correlation coefficient for remote sensing indices and ground indices

شاخص	حداکثر دما	بارش	حداکثر رطوبت
NDVI	۰/۴۵۴	۰/۴۴۵	-۰/۰۴۰
TCI	۰/۹۵۳	-۰/۳۷۰	-۰/۲۶۵
EVI	۰/۴۳۸	۰/۳۸۵	۰/۳۵۲

در مطالعه حاضر، سه شاخص پوشش گیاهی سنجنش از دوری (شامل دو شاخص برای مدل‌سازی شرایط سبزی‌نگی پوشش گیاهی، NDVI و EVI و یک شاخص برای بیان شرایط دمایی پوشش گیاهی، TCI) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای محاسبه شده است. در چهار سال زراعی آخر که تغییرات حرارتی افزایش یافته، مراحل مختلف فنولوژیکی پرتقال با تغییرات شدید مواجه شده است؛ بنابراین به‌منظور برآورد این تغییرات و همچنین ارزیابی کارایی شاخص‌های مختلف سنجنش از دوری در بیان آن، نمودارهای حاوی مقادیر نرمال‌شده (بین ۰ و ۱) NDVI، EVI و دمای بیشینه در شکل ۴ نشان داده شده است.

همان‌طور که در بخش قبل توضیح داده شده است، در فرمولاسیون شاخص EVI تلاش می‌شود اثر سیگنال‌های خاک پس‌زمینه و پخش اتمسفری کاهش یابد. همان‌گونه که در نمودارهای شکل ۴ نیز مشاهده می‌شود، EVI عملکرد بهتری در مقایسه با NDVI در بیان تغییرات پارامتر زمین‌مرجع دمای بیشینه دارد. شاخص سنجنش از دوری EVI، تغییرات فرکانس بالای (کوتاه‌مدت) دمایی را بسیار موفق‌تر از NDVI بیان می‌کند؛ بنابراین EVI کارایی بیشتری در مدل‌سازی دوره‌های مختلف فنولوژی گیاه (درخت پرتقال) خواهد داشت؛ همچنین EVI تأخیر زمانی کمتری در بیان تغییرات دما (و رطوبت) نسبت به NDVI دارد. این برتری‌ها با مقایسه مقادیر همبستگی میان EVI و NDVI با پارامترهای دما، رطوبت و بارندگی (جدول ۲) نیز قابل استنباط است.



شکل ۴. نمودارهای تغییرات NDVI و EVI در بیان تغییرات حداکثر دما و مراحل مختلف فنولوژی درخت پرتقال

Fig. 4. Graph of NDVI and EVI changes, in expressing maximum temperature changes and different stages of orange tree phenology

در نهایت به منظور بررسی عملکرد شاخص‌های مختلف سنجش از دوری (EVI، NDVI و TCI) در بیان تغییرات در شرایط دما، رطوبت و بارندگی و پیرو آنها مدل‌سازی مراحل فنولوژی گیاه (درختان پرتقال) در منطقه پژوهش، برای ایجاد مدل‌های خطی جداگانه به منظور مدل‌سازی مقادیر عددی هر یک از پارامترهای زمینی یادشده با شاخص‌های سنجش از دوری اقدام شد؛ بدین ترتیب برای هر یک از شاخص‌های سنجش از دوری، یک ضریب (تأثیر) در تولید مقادیر پارامترهای زمینی محاسبه شد که در جدول ۳ آمده است. هر یک از این ضرایب بیان‌کننده میزان تأثیر پارامترهای سنجش از دوری در مقادیر پارامترهای زمین مرجع هستند؛ بدین ترتیب این مقادیر (ضرایب) حاوی میزان تأثیر شاخص‌های سنجش از دوری در بیان مراحل فنولوژی گیاه (درخت پرتقال) خواهند بود. نتایج ارائه شده در شکل‌های ۲، ۳ و ۴ و همچنین ضرایب همبستگی در جدول ۲ و ۳ مشاهده می‌شوند. همان‌طور که در این جدول دیده می‌شود، شاخص TCI بیشترین مقدار تأثیر را فارغ از تأثیر هم‌جهت (مثبت) در مواجهه با دما یا تأثیر خلاف جهت (منفی) در مواجهه با رطوبت، در رگرسیون خطی پارامترهای زمین مرجع دما (بیشینه و کمینه)، رطوبت (بیشینه و کمینه) و بارندگی دارد؛ همچنین NDVI کمترین ضریب تأثیر را در محاسبه آنها دارد؛ علاوه بر این، همان‌گونه که پیش‌تر بیان شد، EVI تأثیر به مراتب بیشتری در مقایسه با NDVI در مدل‌سازی پارامترهای زمین مرجع (دما، رطوبت و بارندگی) و در نتیجه بیان دوره‌های فنولوژی گیاه (درخت پرتقال) دارد.

جدول ۳. ضرایب شاخص‌های سنجش از دوری در رگرسیون خطی شاخص‌های زمینی

Table 3: Coefficients of remote sensing indices in linear regression of ground indices

	Tem_max	Tem_min	Hum_max	Hum_min	Precipitation
TCI	۰,۸۴۱	۱,۰۲۱	-۰,۸۸۲	-۰,۵۲۰	-۱,۷۳۳
EVI	۰,۴۹۷	۰,۳۳۰	۰,۳۸۰	۰,۲۲۵	۰,۸۸۴
NDVI	۰,۱۱۴	۰,۱۹۸	۰,۱۳۹	۰,۰۷۸	۰,۳۳۳

همان‌گونه که در این جدول دیده می‌شود و قبلاً هم پیش‌بینی می‌شد، بیشترین میزان همبستگی میان سری زمانی شاخص سنجش از دوری TCI و حداکثر رطوبت وجود دارد. این میزان همبستگی نشان از این دارد که شاخص سنجش از دوری TCI که با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای تولید شده است، به خوبی دمای منطقه را برآورد می‌کند. کمترین میزان همبستگی نیز به سری زمانی شاخص سنجش از دوری NDVI و حداکثر رطوبت مربوط است. همان‌طور که در طبیعت مشاهده می‌شود، در نیمه اول سال به‌ویژه در فصل تابستان، سبزی‌نگی گیاهان بسیار زیاد است؛ به همین دلیل شاخص NDVI مقادیر زیادی را نشان می‌دهد، ولی به دلیل زیادبودن میزان دما، رطوبت هوا بسیار کم است؛ فقط هنگامی که درختان آبیاری می‌شوند، رطوبت کمی افزایش می‌یابد؛ در نتیجه در طبیعت نیز میان این دو پارامتر همبستگی مشاهده نمی‌شود. نتایج ضریب همبستگی Spearman نشان از این واقعیت دارد.

منفی و مثبت بودن همبستگی پارامترهای ماهواره‌ای و زمینی کاملاً درست است؛ برای نمونه ضریب همبستگی میان بارش و TCI منفی به دست آمده است؛ زیرا زمانی که بارندگی می‌شود، میزان دما کاهش می‌یابد و این عدد به دست آمده کاملاً با واقعیت مطابقت دارد. همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، فقط ضریب همبستگی بین TCI و حداکثر دما مقدار چشمگیری است و سایر ضرایب همبستگی محاسبه شده میان سری زمانی شاخص‌های

سنجش از دوری و داده‌های زمینی کوچک‌اند. کوچک‌بودن این ضرایب ناشی از عوامل غیرطبیعی مانند آبیاری مزرعه است؛ به دلیل اینکه منطقه مطالعه‌شده یک زمین زراعی است، عوامل انسانی تأثیر زیادی بر نتایج مطالعه دارد.

نتیجه‌گیری

مطالعه فنولوژی برای تنظیم برنامه‌های بهره‌برداری از محصولات کشاورزی (گیاهان) حائز اهمیت است. پس از نرمالیزاسیون مقادیر شاخص‌های مختلف زمینی و سنجش از دوری، با هدف مقایسه رفتار آنها در سال‌های زراعی مختلف (بازه زمانی مطالعه)، برای تولید نمودارهایی بدین منظور اقدام شد. با بررسی نتایج به‌دست‌آمده مشاهده می‌شود شاخص شرایط دمایی (که از تصاویر ماهواره‌ای به دست آمده) به‌خوبی نشان‌دهنده تغییرات در رفتار دمایی در طول دوره‌های فنولوژی سالیانه بوده است؛ علاوه بر این تغییرات مقادیر این شاخص سنجش از دوری (TCI)، به‌خوبی نشان‌دهنده تغییرات مدت‌زمان مراحل فنولوژیکی پرتقال است؛ همچنین با بررسی نمودار حاوی شاخص زمینی دمای بیشینه و شاخص سنجش از دوری NDVI، تأثیر تغییرات دمایی بر مراحل مختلف فنولوژیکی پرتقال در تمامی سال‌های زراعی مشاهده می‌شود. نکته جالب توجه در این میان، تأخیر پاسخ‌دهی شاخص NDVI در مقایسه با شاخص TCI نسبت به وقوع تغییرات در دوره فنولوژی است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، در هر نقطه‌ای از نمودار دمای بیشینه که پیک مشاهده شده است، با یک فاصله زمانی اندک در نمودار NDVI نیز پیک مشاهده می‌شود؛ در حالی که این تغییرات در نمودار TCI تقریباً همزمان (نسبت به شاخص زمینی دما) مشاهده می‌شود. این موضوع در نتایج حاصل از محاسبه میزان همبستگی میان شاخص‌های مختلف زمینی و سنجش از دوری نیز مشخص است. این تأخیر زمانی که در بسیاری از مطالعات محیطی با استفاده از این شاخص نیز مشاهده شده است، به‌واسطه اساس فیزیکی موجود در تولید مقادیر شاخص NDVI به وجود می‌آید؛ به بیان دیگر زمانی که دما افزایش می‌یابد، شرایط برای افزایش پوشش گیاهی و تسریع در دوره فنولوژی مساعد می‌شود و گیاه شروع به رشد می‌کند؛ بدین ترتیب و با افزایش سبزیگی گیاه، مقدار عددی شاخص سنجش از دوری NDVI افزایش خواهد داشت؛ همچنین با بررسی ارتباط تغییرات رطوبت و تغییرات دوره فنولوژی پرتقال و مقایسه مقادیر سری زمانی شاخص زمینی رطوبت بیشینه با شاخص‌های دمای بیشینه و NDVI (به ترتیب زمینی و سنجش از دوری) در سال‌های مختلف، ارتباط معکوس این پارامترها مشخص شد؛ به بیان دیگر در هر نقطه از نمودارها که میزان شاخص زمینی رطوبت بیشینه افزایش یافته، کاهش دمای بیشینه و با فاصله کمی (تأخیر زمانی) افزایش NDVI مشاهده می‌شود.

مشابه افزایش دما، افزایش رطوبت نیز موجب افزایش رشد و سبزیگی گیاه (درخت پرتقال) می‌شود؛ لیکن با مقایسه نتایج مشاهده می‌شود که تأثیر تغییر دما بر رشد و سبزیگی (تغییر در دوره فنولوژی) پرتقال بیشتر از تأثیر تغییر در میزان رطوبت خواهد بود. رابطه معکوس میان تغییرات دما و سبزیگی با تغییرات رطوبت و همچنین میزان تأثیر تغییر این پارامترها بر رشد و سبزیگی پرتقال به‌خوبی در مقادیر عددی همبستگی نیز قابل مشاهده است؛ علاوه بر مطالب بیان‌شده، کارایی شاخص‌های سنجش از دوری پوشش گیاهی (Vegetation Indices) مختلف در مدل‌سازی (بیان) تغییرات مراحل فنولوژی گیاه پرتقال ارزیابی شد؛ بدین ترتیب با مقایسه (تغییرات) مقادیر شاخص‌های سنجش از دوری NDVI و EVI با شاخص زمینی دمای بیشینه مشاهده شد که EVI توانایی بیشتری در

مدل‌سازی تغییرات پوشش گیاهی (به‌واسطه تغییرات شرایط حرارتی) خواهد داشت. عملکرد بهتر EVI نسبت به NDVI، احتمالاً به‌واسطه تصحیح اثر سیگنال‌های خاک پس‌زمینه و پخش اتمسفری در الگوریتم محاسبه آن است. با مقایسه ضرایب همبستگی به‌دست‌آمده میان شاخص‌های زمینی و شاخص‌های سنجش از دوری برتری کلی (در همه موارد) EVI نسبت به NDVI نیز مشاهده می‌شود؛ به بیان دیگر EVI و TCI می‌توانند به ترتیب در مدل‌سازی تغییرات شرایط (سبزی‌نگی) پوشش گیاهی و شرایط دمایی گیاه، در مطالعات بعدی به‌منظور بررسی تغییرات در (پارامترهای مؤثر بر) دوره‌های فنولوژی پرتقال استفاده شوند.

منابع

- خداکرمی، لقمان، سفینیان، علیرضا، (۱۳۹۱). کاربرد سنجش از دور چند زمانی در تعیین سطح زیر کشت، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال ۱۶، شماره ۵۹، ۲۱۵-۲۳۱.
- رایگانی، بهزاد، ارزانی، حسین، حیدری، اسماعیل، مقدمی، محمدمهدی، (۱۳۹۸). کاربرد سنجش از دور به منظور ارزیابی تغییر اقلیم بر تولید و فنولوژی گیاهان؛ منطقه مطالعه: استان تهران، نشریه مرتع، دوره ۱۳، شماره ۳، ۴۵۰-۴۶۰.
- شکور، علی، (۱۳۸۶). اثرات خشکسالی بر فرایند توسعه روستایی در مناطق خشک و نیمه‌خشک با تأکید بر کشاورزی؛ مطالعه موردی: داراب، مجله جغرافیای سرزمین، سال ۴، شماره ۱۴، ۱۱۹-۱۴۳.
- کردی، فاطمه، حمزه، سعید، عطارچی، سارا، علوی پناه، سید کاظم، (۱۳۹۷). طبقه‌بندی محصولات کشاورزی به منظور مدیریت بهینه منابع آبی با استفاده از سری زمانی داده‌های لندست ۸ اکوهیدرولوژی، دوره ۵، شماره ۴، ۱۲۸۳-۱۲۶۷.
- متکان، علی اکبر، درویش‌زاده، روشنگر، حسینی اصل، امین، ابراهیمی خوسفی، محسن، (۱۳۹۰). بررسی کارایی استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و شبکه‌های عصبی مصنوعی در تخمین درصد پوشش گیاهی در مناطق خشک، پژوهش‌های فرسایش محیطی، دوره ۱، شماره ۱، ۷-۲۷.
- ملایری، فاطمه، عاشورلو، داوود، شکیبا، علیرضا، متکان، علی اکبر، عقیقی، حسین، (۱۳۹۷). بررسی تأثیرات تغییر اقلیم بر فنولوژی پوشش گیاهی با استفاده از سری زمانی داده‌های AVHRR، مجله کشاورزی و بوم‌شناختی، دوره ۸، شماره ۲، ۹۸-۱۱۷.
- هاشمی، سید آرمین، فلاح، میرمظفر، فیروزان، امیرحسین، (۱۳۹۳). مونیتورینگ فنولوژی راش ایرانی در جنگل‌های طبیعی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در شمال ایران، مجله علوم زیستی، سال ۵، شماره ۴، ۱۶۷-۱۵۷.
- American Meteorological society, (2012). Available in <http://glossary.ametsoc.org/wiki/Phenology>, Last seen 2017/ 6/ 23.
- American Meteorological society, (2012). Available in http://glossary.ametsoc.org/wiki/Remote_sensing, Last seen 2017/ 6/ 23.
- American Meteorological society, (2012). Available in http://glossary.ametsoc.org/wiki/Vegetation_index, Last seen 2017/ 6/ 23.
- Böttcher, K., Mikko, P., Cemal, M., (2016). **Comparison of webcam and satellite based observations on vegetation phenology in Finland**, AGILE 2016 – Helsinki.

- Camacho, M., Orozco, L., (1998). **Reproductive phenology of the oak family (Fagaceae) in the lowland in forests of Borneo**, Proyecto silvicultura Bosques Naturales, CATIE, Turrialba, costa Rica.
- Dai, J.H., Wang, H.J., Quansheng, Ge., (2014). **The spatial pattern of leaf phenology and its response to climate change in China**, International Journal of Biometeorology, 58 (4): 521-528.
- Ferraz, D.K., (1998). **Phenology of tree species in a urban forest fragment in southeastern. Developing an international Phenology (a) Monitoring Network**, 1998 Phenology symposium, pp 132-144.
- Heydari, Hamed, Valadan Zoej, Mohammad Javad, Dehnavi, (2018). **An investigation of drought prediction using various remote sensing vegetation indices for different time spans**, International journal of remote sensing, 39, 1871-1889 .
- Jong Jeong, Su., Chang Hoi Ho., Sung Deuk Choi, Jinwon Kim, EunJu Lee, Hyeon Ju Gim, (2013). **Satellite Data Based Phenological Evaluation of the Nationwide Reforestation of South Korea**, Volume 8, Issue 3, pp 19.
- Kimball, J., McDonald, K., Running, S., Froking, S., (2004). **Satellite radar remote sensing of seasonal growing seasons for boreal and subalpine evergreen forests**, Remote Sensing of Environment, 90, 243– 258.
- Kobayashi, H., Yunus, A., Nagai, S., Sugiura, K., Kim, Y., Suzuki, R., (2016). **Latitudinal gradient of spruce forest understory and tundra phenology in Alaska as observed from satellite and ground-based data**, 177, 160-170.
- Kogan, Felix N., Droughts of the late 1980s in the United States as derived from NOAA polar orbiting satellite data. 1995, Bulletin of the American Meteorological Society, 76 (5): 655-668.
- Kristin Böttcher, Mikko Peltoniemi, Cemal Melih Tanis, (2016). **Comparison of webcam and satellite based observations on vegetation phenology in Finland**, AGILE 2016 – Helsinki.
- Liu, Hui Qing, Alfredo, Huete, (1995). **A feedback based modification of the NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise**, IEEE transactions on geoscience and remote sensing, 33, 2: 457-465.
- Qiu, Bingwen. Li, Weijiao. Tang, Zhenghong. Chen, Chongcheng. Qi, Wen, (2015). **Mapping paddy rice areas based on vegetation phenology and surface moisture conditions**, Ecol Indic, 56, 79-86.
- Rose, M., Elaine, Immunity to Eimeria maxima, (1974). **reactions of antisera in vitro and protection in vivo**, The Journal of parasitology, 60 (3), 528-530.
- Sakamoto, T., Yokozawa, M., Toritani, H., Shibayama, M., Ishitsuka, N., Ohno, H., (2005). **A crop phenology detection method using timeseries modis data**, Remote Sens. Environ, 96, 366-374.
- Tao, Jianbin, Wenbin, Wu., Zhou, Yong, Wang, Yu., (2017). **Mapping winter wheat using phenological feature of peak before winter on the North China Plain based on timeseries MODIS data**, Integrative Agriculture, 16 (2), 348-359.
- Tucker, Compton J., Elgin, Jr., Mcmurtrey, J.E., (1979). **Temporal spectral measurements of corn and soybean crops**.
- Xuanlong, Ma., Alfredo, Huete, Qiang, Yu., Natalia Restrepo Coupe, Kevin Davies, Mark Broich, Piyachat Ratana, Jason Beringer, Lindsay B., Hutley, James Cleverly, Nicolas Boulain, Derek Eamus, (2013). **Spatial patterns and temporal dynamics in savanna vegetation phenology across the North Australian Tropical Transec**, Remote Sensing of Environment, 139, 97-115.
- Yang, Xi., Mustard, J., Tang, J., Xu, H., (2012). **Regionalscale phenology modeling based on meteorological records and remote sensing observations**, Geophysical Research, 117 (3), pp 1-18.
- You, Xingzhi, Meng, J., Zhang, M., Dong, T., (2013). **Remote Sensing Based Detection of Crop Phenology for Agricultural Zones in China Using a New Threshold Method**, Remote Sensing, 5 (7), 3190-3211.
- Yuchuan Luo, Zhao Zhang, Yi Chen, Ziyue Li, Fulu Tao, (2020). **ChinaCropPhen1km: A highresolution crop phenological dataset for three staple crops in China during**, Earth System Sciences Data, 12, 197-214.
- Zeng, Linglin, Wardlow, B., Wang, R., Shan, J., Tadesse, T., Hayes, M.J., Li, D.R., (2016). **A hybrid approach for detecting corn and soybean phenology with time-series MODIS data**, Remote Sensing of Environment, 181, 237-250.