



## اثرات توسعه شهرسازی بر فنولوژی گیاهان: تحلیل گرادیان شهری - روستایی در شهر ارومیه

پریسا پیشگر<sup>۱</sup>، سمیه حاجبی<sup>۲\*</sup>، مجید منتصری<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۲۲  
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۱۸

### چکیده

در این مطالعه به بررسی تغییرات زمانی و مکانی فنولوژی پوشش گیاهی در شهر ارومیه پرداخته شد. برای این منظور دایره‌ای به شعاع ۱۸ کیلومتر از مرکز شهر به عنوان محدوده مورد مطالعه انتخاب شد. این محدوده، با استفاده از دواير متحدالمرکزی به مرکزیت میدان «ایالت» در مرکز شهر ارومیه، به ۹ حلقه متحدالمرکز تقسیم شد و پاسخ فنولوژی به توسعه شهری در راستای این گرادیان شهری-روستایی بررسی شد. برای این منظور، از محصولات سنجش از دور ماهواره‌ای شامل نوع پوشش اراضی (MCD12Q1) و فنولوژی پوشش گیاهی (MCD12Q2) سنجنده MODIS برای دوره آماری ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ استفاده شد. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که در مورد مراتع، شروع فصل رشد، روند کاهش معنی‌داری ( $-0.67 \text{ day year}^{-1}$ ) داشت، اما پایان فصل رشد و طول فصل رشد، روند معنی‌داری نشان نداد. همچنین در مورد مزارع، شروع فصل رشد روند معنی‌داری نشان نداد؛ اما پایان فصل رشد ( $0.68 \text{ day year}^{-1}$ ) و طول فصل رشد ( $1.09 \text{ day year}^{-1}$ ) روند افزایشی معنی‌داری نشان داد. در مورد مراتع، حلقه‌های نزدیک به شهر شروع فصل رشد زودتر و طول فصل رشد بیشتری نسبت به حلقه‌های دورتر از شهر داشتند. همچنین، نتایج مطالعه حاضر رفتار کاملاً متفاوت مراتع و مزارع را از نظر رفتار سنجه‌های فنولوژی در گرادیان شهری-روستایی نشان داد. پاسخ پایان فصل رشد و طول فصل رشد در فواصل کمتر از ۱۲ کیلومتر از مرکز شهر، متفاوت از فواصل بیشتر از ۱۲ کیلومتر بود که این امر می‌تواند ناشی از غلبه اثرات سایر جزایر گرمایی یا سرمایی (مانند اثر دریاچه) بر اثرات جزایر گرمایی شهری در فواصل دورتر از ۱۲ کیلومتر باشد.

**واژه‌های کلیدی:** اقلیم محلی، تغییر فنولوژی، جزایر گرمایی شهری، گرادیان شهری-روستایی، محصولات MODIS

می‌پردازد. پویایی<sup>۴</sup> فنولوژی گیاهان، نوعی از پاسخ بیولوژیکی به تغییر محیط زیست و اقلیم است (Khanduri et al., 2008). تغییر در دما و بارش، اثرات قابل ملاحظه‌ای بر پویایی فازهای فنولوژیکی بین سالانه<sup>۵</sup> (Shen et al., 2011)، فرایندهای سطح خشکی مانند چرخه کربن زمینی (Richardson et al., 2009) و پویایی پوشش گیاهی (Zhao et al., 2016) دارد. علاوه بر این، اثرات ناشی از فعالیت‌های انسانی مانند اثرات ناشی از شهرسازی بر پوشش سطح زمین، مانند سطوح غیر قابل نفوذ و ساختمان‌های با تراکم بالا، از جمله عواملی هستند که سبب تغییر اقلیم محلی می‌شوند (Roetzer et al., 2000). شهرسازی از طریق تغییر شارهای گرمای

### مقدمه

فنولوژی پوشش گیاهی به معنی رخدادهای چرخه زندگی گیاه است که متأثر از تغییرات فصلی است (Richardson et al., 2018) و مطالعات فنولوژی شاخه‌ای از علم است که به بررسی رخدادهای تناوبی چرخه زندگی گیاهان و رابطه آنها با شرایط زیست‌محیطی و اقلیمی

<sup>۱</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران  
<sup>۲</sup> دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

\* نویسنده مسئول: [s.hejabi@urmia.ac.ir](mailto:s.hejabi@urmia.ac.ir)

<sup>۳</sup> استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

<sup>۴</sup> Dynamics  
<sup>۵</sup> Interannual

نحوه ارجاع مقاله:

پیشگر، پ.، حاجبی، س.، منتصری، م. ۱۴۰۴. اثرات توسعه شهرسازی بر فنولوژی گیاهان: تحلیل گرادیان شهری-روستایی در شهر ارومیه. نشریه هواشناسی کشاورزی، ۱۳(۲)، ۴۷-۶۰. DOI: 10.22125/agmj.2025.505988.1180

Pishgar, P., Hejabi, S., Montaseri, M. 2026. Modeling and forecasting dust pollution using satellite data and machine learning techniques (A case study of Ahvaz). Journal of Agricultural Meteorology, 13(2), 47-60. DOI: 10.22125/agmj.2025.505988.1180

چگونگی پاسخ گیاهان به تغییرات محیط زیست شهری اهمیت دارد. دو رهیافت عمده برای پایش شرایط و تغییرات زمانی پوشش گیاهی شامل کارهای میدانی اکولوژیکی و سنجش از دور ماهواره‌ای است (Li et al., 2002; White et al., 2017). تصویربرداری ماهواره‌ای به دلیل مزایای زیاد آن در کسب اطلاعات بزرگ‌مقیاس، به طور گسترده‌ای در استخراج مشخصه‌های پوشش گیاهی و پایش فنولوژی پوشش گیاهی مورد استفاده قرار گرفته است (Zhao et al., 2022). Purdy et al. (2023) بر اساس یک پایگاه داده گسترده از ۵۷۰۰۰ مشاهده برگ‌دهی و گدھی، محصولات فنولوژی پوشش گیاهی جهانی VIP-NDVI و VIP-EVI2 نسخه‌های ۴ و ۵، محصول MOD09Q1 نسخه ۶ و محصول اخیر MCD12Q2 نسخه ۶ را ارزیابی نمودند. ارزیابی‌ها نشان داد که MCD12Q2 بالاترین دقت و کمترین انحراف را نسبت به مشاهدات زمینی داشته است و تقریباً ۶۰٪ از تغییرپذیری بین سالانه را حفظ کرد که نشان‌دهنده پیشرفت قابل توجهی نسبت به محصولات فنولوژی قبلی است. نتایج ناشی از تصویربرداری ماهواره‌ای نشان داده است که تغییرات فنولوژیکی ناشی از شهرسازی می‌تواند باعث تقویت رشد پوشش گیاهی، شروع زودتر فصل رشد و تداوم بیشتر فصل رشد شود (برای مثال، Rahman et al., 2010; Neil et al., 2016; Zhou et al., 2014). Kiapasha et al. (2017) به تجزیه و تحلیل روند پارامترهای مستخرج شده از فنولوژی با استفاده از سری‌های زمانی شاخص پوشش گیاهی تفاضل نرمال شده<sup>۶</sup> (NDVI) در جنگل‌های هیرکانی ایران، در دوره ۱۹۸۱-۲۰۱۲، پرداختند. نتایج نشان داد که پایان فصل رشد دیرتر با افزایش روند دما ارتباط داشته و بیشترین همبستگی‌ها بین دما و پارامترهای فنولوژیکی در غرب جنگل‌های هیرکانی، جایی که بارندگی فراوان بود، مشاهده شد. علاوه بر این، شروع فصل رشد همبستگی بالایی با کل بارندگی و میانگین دما داشت (Najafi et al., 2020). به بررسی روند تغییرات سبزی‌نگی پوشش گیاهی کلانشهر تهران با استفاده از شاخص NDVI حاصل از داده‌های ماهواره‌ای لندست‌های ۵ و ۸ در زمان حداکثر سبزی‌نگی پوشش گیاهی طی دوره ۱۳۹۸-۱۳۸۷ پرداختند. همچنین رابطه میان تغییرات

محسوس و نهان می‌تواند سبب جابه‌جایی‌های آشکاری در فنولوژی پوشش‌های گیاهی شود (Zhou et al., 2016). رشد سریع شهرسازی، سبب تشدید اثر جزایر گرمایی شهری<sup>۱</sup> (UHI)، به معنی نواحی شهری که دماهای بالاتر از نواحی روستایی اطراف را تجربه کنند، می‌شود (Oke, 2002). در حالی که غلظت‌های نسبتاً بالای CO<sub>2</sub> و اثر UHI رشد پوشش گیاهی را تشدید می‌کند، تراکم آلاینده‌های گازی و فتوشیمیایی و کاهش تابش خورشیدی در سطح زمین می‌تواند مانع رشد پوشش گیاهی شود (Alpert et al., 2005). شهرسازی به تدریج منظر شهری و بوم‌سازگان<sup>۲</sup> را از طریق اثر UHI (Zhang et al., 2009)، شرایط ناممکن اقلیم محلی (Bounoua et al., 2015)، ساختارها (Kaye et al., 2006) و گونه‌های متنوع گیاهی (Pickett et al., 2011) شکل می‌دهد. فرایند رشد نامنظم شهر می‌تواند به طور غیرمستقیم بر سبزی و دوره‌های زندگی گیاهان تاثیرگذار باشد (Zhao et al., 2016). Li et al. (2017) با استفاده از مشاهدات ماهواره‌ای دوره ۲۰۱۲-۲۰۰۳، رابطه بین تغییر فنولوژی پوشش گیاهی و اندازه شهر، به عنوان معیاری از شهرسازی، را برای ایالات متحده بررسی نمودند. نتایج نشان داد شروع فصل رشد<sup>۳</sup> (SOS) در مناطق شهری زودتر شروع می‌شود و پایان فصل رشد<sup>۴</sup> (EOS) دیرتر رخ می‌دهد و در نتیجه طول فصل رشد<sup>۵</sup> (GSL) در مناطق شهری طولانی‌تر است. میانگین تفاوت GSL بین مناطق شهری و روستایی برای همه انواع پوشش گیاهی حدود ۹ روز بود. همچنین، افزایش GSL در نواحی شهری بین نواحی اقلیمی مختلف در ایالات متحده یکسان بود اما بزرگی آنها متغیر بود. افزایش ۱۰ برابری در اندازه شهر می‌تواند سبب شروع زودتر SOS به میزان حدود ۱/۳ روز و رخداد دیرتر EOS به میزان حدود ۲/۱ روز شود. جابجایی‌های فنولوژیکی از طریق تغییر بهره‌وری گیاه و توزیع گونه‌ها، بر عملکرد بوم‌سازگان تاثیر گذاشته و سبب بازخوردی در اثرات متقابل خشکی - جو می‌شود (Piao et al., 2019). پایش فنولوژی پوشش گیاهی شهری در درک چگونگی تاثیر سازوکارهای تغییر اقلیم بر پوشش گیاهی و

<sup>1</sup> Urban Heat Island

<sup>2</sup> Ecosystem

<sup>3</sup> Start Of the growing Season

<sup>4</sup> End Of the growing Season

<sup>5</sup> Growing Season Length

<sup>6</sup> Normalized Difference Vegetation Index

مثال، (Wang et al., 2022; Yang et al., 2020). علاوه بر این، (Stewart et al. (2012) یک رهیافت طبقه‌بندی به نام نواحی اقلیم محلی<sup>۴</sup> (LCZ) برای توصیف چشم‌اندازهای شهری و روستایی از منظر مشخصه‌های اقلیم گرمایی ارائه کردند. LCZ-ها به عنوان مناطقی با پوشش گیاهی، ساختار سطح، مصالح ساختمانی و فعالیت‌های بشری یکنواخت تعریف می‌شوند که در مقیاس افقی صدها متر تا چندین کیلومتر گسترش یافته‌اند. (Zhao et al. (2022) سه سنجه فنولوژیکی شامل شروع فصل رشد (SOS)، پایان فصل رشد (EOS) و طول فصل رشد (LOS) را از تصاویر MODIS برای دوره ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۸ در ناحیه Austin در Texas ایالات متحده آمریکا استخراج نمودند و تغییرات آنها را در راستای گرادیان شهری-روستایی (URG) و همچنین در نواحی اقلیم محلی (LCZ) بررسی کردند. نتایج حاکی از این بود که EOS و SOS به تدریج روند کاهشی (وقوع زودهنگام) داشتند اما LOS تغییر محسوسی نشان نداد. ۳۷/۵٪، ۷۵/۰٪ و ۷۴/۳٪ نواحی اقلیم محلی تفاوت‌های معنی‌داری در EOS، SOS و LOS سال ۲۰۱۲ نشان دادند. در مقابل، اغلب URG-ها تفاوتی از نظر سنجه‌های فنولوژیکی نشان ندادند. (Liu et al. (2023) پاسخ فنولوژی پوشش گیاهی به شهرسازی را در منطقه خلیج بزرگ Guangdong-Hong Kong-Macao (GHM-GBA) از یک منظر گرادیان شهری-روستایی پویا به طور جامعی تحلیل کردند. نتایج نشان داد که پاسخ فنولوژی پوشش گیاهی به سطح شهرسازی، تفاوت زمانی-مکانی متمایزی را در راستای گرادیان شهری-روستایی دارد. در مقایسه با مناطق روستایی، شدت تغییر رخداد زودهنگام در شروع فصل رشد (SOS) در نواحی شهری  $1/16 \text{ day year}^{-1}$  و در مورد پایان فصل رشد (EOS)،  $0/63 \text{ year}^{-1}$  طی دوره ۲۰۲۰-۲۰۰۱ بود. شهر ارومیه مرکز شهرستان ارومیه و بزرگترین شهر استان آذربایجان غربی است که در شمال غرب ایران واقع شده است. این شهر یک مرکز تجاری برای یک منطقه کشاورزی حاصلخیز است که میوه‌هایی مانند سیب و انگور در آن پرورش داده می‌شود. (Abedini et al. (2015) نشان دادند که روند رشد و گسترش شهر ارومیه در سه دهه گذشته به ناپایداری‌ها دامن زده و متناسب با نیازهای جمعیتی

NDVI و مشخصه‌های اقلیمی میانگین دما و مجموع بارش یک ماه قبل و یک سال قبل از تاریخ حداکثر NDVI بررسی شد. بررسی روندها به تفکیک در مناطق ۲۲ گانه تهران نشان داد که در پنج منطقه روند معنی‌دار کاهشی وجود داشت و در بقیه مناطق روند معنی‌دار مشاهده نشد. تحلیل همبستگی میان تغییرات NDVI و داده‌های اقلیمی دما و بارش به ترتیب همبستگی منفی و مثبت نشان داد. مقادیر NDVI و داده‌های اقلیمی یک ماه قبل، همبستگی بیشتری نسبت به داده‌های اقلیمی یک سال قبل داشت. (Abbasnezhad Alchin et al. (2024) استفاده از یک سری زمانی ۱۸ ساله (۲۰۲۰-۲۰۰۳) با تفکیک زمانی ۸ روزه شامل شاخص‌های پوشش گیاهی MODIS (EVI و NDVI) و چهار عامل اقلیمی و هیدرولوژیکی شامل دمای روز و شب (LSTn, LSTd)، بارش (PRE) و تبخیر و تعرق واقعی (ET) به بررسی روندهای زمانی و مکانی شاخص‌های گیاهی و عوامل اقلیمی و رابطه بین سبز شدن و قهوه‌ای شدن جنگل‌ها و تغییرات اقلیمی پرداختند. نتایج نشان‌دهنده همبستگی مثبت، بین ۰/۷ تا ۰/۹، بین شاخص‌های دما (LSTd) و مثبت، و پوشش گیاهی بود که نشان‌دهنده ارتباط نزدیک بین فرآیند سبز شدن در مناطق مسکونی و افزایش دما است. از آنجا که تفاوت‌های فنولوژی بین مناطق شهری و روستایی، بسته به ناهمگنی شرایط اقلیمی، با زمان و مکان تغییر می‌کند، نواحی زیست-جغرافیایی<sup>۱</sup> برای مشخص نمودن نواحی همگن، به منظور تعیین سهم مشخصه‌های اقلیمی در تفاوت‌های فنولوژی شهری-روستایی، به طور گسترده‌ای استفاده شده است (برای مثال، Walker et al., 2015; Liang et al., 2016; Jia et al., 2021). اغلب مطالعات پیشین بر طبقات دودویی<sup>۲</sup> شهری-روستایی تمرکز داشته‌اند که برای به دست آوردن مشخصه‌های ناهمگن فنولوژیکی در سرتاسر ناحیه ناکافی است. در نتیجه، برخی از مطالعات اخیر از روش ناحیه‌بندی گرادیان شهری-روستایی<sup>۳</sup> (URG)، یعنی تعیین حلقه‌های متحدالمرکز از هسته شهر تا نواحی روستایی اطراف، برای بررسی الگوهای محلی فنولوژی پوشش گیاهی در نواحی شهری استفاده کرده‌اند (برای

<sup>1</sup> Biogeographical Zones<sup>2</sup> Binary<sup>3</sup> Urban-Rural Gradient<sup>4</sup> Local Climate Zone

موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه و حلقه‌های متحدالمرکز را نشان می‌دهد.

### داده‌های پوشش اراضی

در این مطالعه از محصول پوشش اراضی (MCD12Q1) سنجنده تابش‌سنج طیفی تصویربرداری با وضوح متوسط<sup>۲</sup> (MODIS) استفاده شد. این محصول مبتنی بر طبقه‌بندی نظارت‌شده داده‌های بازتاب سطح زمین سنجنده MODIS است و نقشه‌های جهانی پوشش اراضی را در مقیاس زمانی سالانه و با قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متر برای دوره آماری ۲۰۰۱ تا حال حاضر فراهم می‌نماید. محصول MCD12Q1 دارای شش مجموعه داده پوشش اراضی شامل الگوی طبقه‌بندی برنامه بین‌المللی زمین‌کره-زیست‌کره<sup>۳</sup> (IGBP; Loveland and Belward, 1999; Belward et al., 1997)، الگوی طبقه‌بندی دانشگاه مریلند<sup>۴</sup> (UMD; Hansen et al., 2000)، الگوی طبقه‌بندی شاخص سطح برگ (LAI; Myneni et al., 2002)، الگوی طبقه‌بندی چرخه‌های زیست-زمین‌شیمی زیست-بوم<sup>۵</sup> (BGC; Running et al., 2004)، انواع اصلی گیاه<sup>۶</sup> (PFT; Bonan, 2002) و سیستم طبقه‌بندی پوشش خشکی<sup>۷</sup> (LCCS; Di Gregorio, 2005; Sulla-Menashe et al., 2011) است. در مطالعه حاضر از مجموعه داده مبتنی بر طرحواره طبقه‌بندی IGBP استفاده شد. بر اساس این طرحواره پوشش‌های سطح زمین در ۱۷ گروه طبقه‌بندی می‌شوند. شکل ۱ نقشه پوشش اراضی مبتنی بر IGBP را برای سال ۲۰۲۲ نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۱، بیشتر کاربری‌های محدوده مورد مطالعه، از نوع مزارع<sup>۸</sup> (۴۳/۶۷ درصد) و مراتع<sup>۹</sup> (۴۷/۶۴ درصد) بوده و کاربری شهری<sup>۱۱</sup> (۸/۱۸ درصد) در رتبه سوم قرار دارد. داده‌های پوشش اراضی از طریق پایگاه Google Earth Engine برای دوره ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ تهیه و برای بررسی تغییرات سنجه‌های فنولوژیکی به تفکیک نوع پوشش اراضی استفاده شد.

شهر نبوده است؛ به طوری که ۶۹/۹ درصد از رشد شهر، ناشی از افزایش جمعیت و ۳۰/۱ درصد آن ناشی از گسترش اسپرال<sup>۱</sup> (گسترش غیر منظم) و ناموزون شهری بوده است که فراتر از نیازهای جمعیتی است. بر خلاف بوم‌سازگان طبیعی، گیاهان در بوم‌سازگان شهری به طور همزمان گرمایش جهانی و جزایر گرمایی شهری را تجربه می‌کنند. لذا، درک پاسخ پوشش گیاهی به شهرسازی برای سازگاری و تعدیل اثرات تغییر اقلیم و شهرسازی در آینده ضروری است (Zhang et al., 2022). تاکنون مطالعه‌ای در مورد تحلیل بلندمدت و کمی پاسخ فنولوژی پوشش گیاهی به شهرسازی در ارومیه صورت نگرفته است. لذا هدف از مطالعه حاضر، بررسی پویایی زمانی-مکانی فنولوژی پوشش گیاهی در امتداد گرادیان شهری-روستایی است.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

شهر ارومیه مرکز شهرستان ارومیه و بزرگترین شهر استان آذربایجان غربی است که در شمال غرب ایران واقع شده است. این شهر در ارتفاع ۱۳۳۰ متر از سطح دریا و در دشت ارومیه قرار گرفته است و از شرق با دریاچه ارومیه هم‌جوار است. اقلیم ارومیه در سیستم دوماستن گسترش-یافته نیمه‌خشک سرد (Khalili et al., 2022) همراه با زمستان‌های سرد، بهارهای معتدل، تابستان‌های گرم و خشک و پاییزهای خنک است. بارش اغلب در اواخر پاییز، زمستان (بیشتر به شکل برف) و به ویژه بهار متمرکز است و میانگین بلندمدت بارش سالانه برای دوره ۲۰۱۰-۱۹۵۱، ۳۳۸/۹ mm و میانگین سالانه دمای هوا ۱۱/۶ °C است (Saatloo et al. 2020). برای مطالعه اثر توسعه شهرسازی بر فنولوژی پوشش گیاهی در شهر ارومیه، دایره‌ای به شعاع ۱۸ کیلومتر از مرکز شهر (میدان ایالت با طول جغرافیایی ۳۸° ۵۳' ۰۳" و عرض جغرافیایی ۳۸° ۳۲' ۳۷") به عنوان محدوده مورد مطالعه انتخاب شد. این محدوده، با استفاده از دواير متحدالمرکزی با شعاع ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰، ۱۲، ۱۴، ۱۶ و ۱۸ کیلومتر به مرکزیت میدان ایالت، به ۹ حلقه متحدالمرکز تقسیم شد. شکل ۱

<sup>۱</sup> Sprawl

<sup>۲</sup> Moderate resolution imaging spectro-radiometer

<sup>۳</sup> International Geosphere-Biosphere Programme

<sup>۴</sup> University of Maryland

<sup>۵</sup> Leaf Area Index

<sup>۶</sup> BIOME-Biogeochemical Cycles

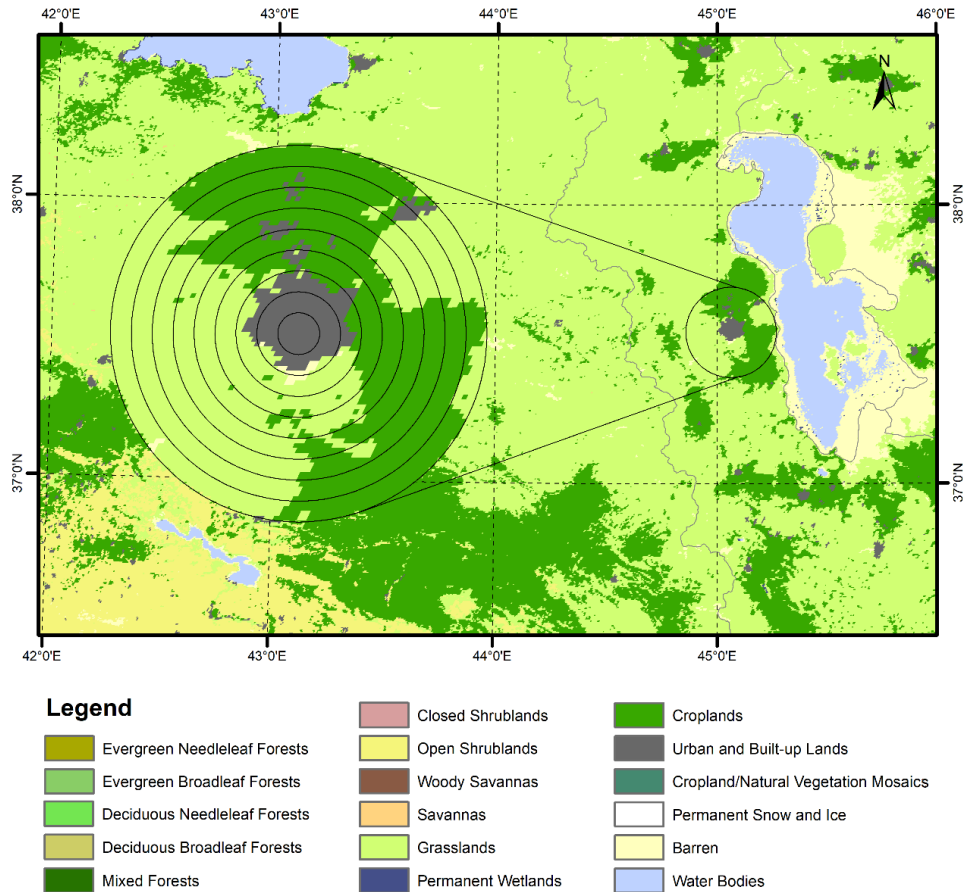
<sup>۷</sup> Plant Functional Types

<sup>۸</sup> Land Cover Classification System

<sup>۹</sup> Croplands

<sup>۱۰</sup> Grasslands

<sup>۱۱</sup> Urban and Built-up lands



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه، حلقه‌های متحدالمرکز و نقشه پوشش اراضی IGBP (سال ۲۰۲۲)  
Figure 1- Geographical location of the studied area, Concentric rings and IGBP land cover map (year 2022)

داده‌ها به صورت شماره روز از ۱ ژانویه ۱۹۷۰ است که باید به شماره روز سال تبدیل شوند (Gray et al., 2019). مرحله نورویس، به عنوان شروع فصل رشد (SOS) و مرحله خواب، به عنوان پایان فصل رشد (EOS) در نظر گرفته شد و در نتیجه طول فصل رشد (GSL) از تفاضل پایان فصل رشد و شروع فصل رشد قابل محاسبه است. داده‌های MCD12Q2 از طریق پایگاه Google Earth Engine برای دوره آماری ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ تهیه شد و نقشه‌های پهنه‌بندی شماره روز شروع فصل رشد (SOS)، شماره روز پایان فصل رشد (EOS) و طول فصل رشد (GSL) تهیه شد.

#### شناسایی اثرات شهرسازی بر فنولوژی

پاسخ فنولوژی به شهرسازی از جنبه‌های مختلف بررسی شد. ابتدا، تغییرات زمانی- مکانی مساحت انواع پوشش‌های اراضی منطقه از طریق تقسیم منطقه به دواير متحدالمرکز به مرکزیت میدان ایالت در شهر ارومیه و با

#### داده‌های فنولوژی پوشش گیاهی

در این مطالعه از نسخه 6 محصولات پویایی سطح خشکی<sup>۱</sup> سنجنده MODIS (MCD12Q2) استفاده شد. این محصول، سنجه‌های فنولوژی<sup>۲</sup> پوشش گیاهی را به صورت جهانی در تفکیک مکانی ۵۰۰ متر و تفکیک زمانی سالانه فراهم می‌کند. در این محصول، سنجه‌های فنولوژی از سری‌های زمانی شاخص پوشش گیاهی بهبودیافته<sup>۳</sup> (EVI2)، حاصل از بازتاب سطحی تعدیل‌شده سنجنده MODIS، استخراج شده‌اند. سنجه‌های فنولوژی این محصول شامل نورویس<sup>۴</sup>، اواسط نو رویس<sup>۵</sup>، بلوغ<sup>۶</sup>، اوج سبزی<sup>۷</sup>، پیری<sup>۸</sup>، زرد شدن<sup>۹</sup>، خواب<sup>۱۰</sup> است. فرمت این

<sup>1</sup> Land Surface Dynamics

<sup>2</sup> Phenometrics

<sup>3</sup> Enhanced Vegetation Index

<sup>4</sup> Green up

<sup>5</sup> Midgreen up

<sup>6</sup> Maturity

<sup>7</sup> Peak

<sup>8</sup> Senescence

<sup>9</sup> Midgreen down

<sup>10</sup> Dormancy

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}}, & S > 0 \\ 0, & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}}, & S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

که  $S$  آماره آزمون  $M-K$ ،  $n$  طول سری داده‌ها،  $x_k$  و  $x_j$  مقادیر داده‌های زمان  $z$  و  $k$ ،  $\text{VAR}(S)$  واریانس آماره  $S$ ،  $g$  تعداد گروه‌های یکسان و  $t_p$  تعداد داده‌ها در  $p$ -امین گروه و  $Z$  آماره آزمون استاندارد شده است. اگر  $|Z| > Z_{1-\alpha/2}$  باشد، فرض صفر در سطح معنی‌داری  $\alpha$  رد می‌شود؛ به عبارت دیگر، روند معنی‌داری در سری زمانی داده‌ها وجود دارد. اگر  $Z > 0$ ، روند داده‌ها افزایشی و اگر  $Z < 0$ ، روند داده‌ها کاهشی است.

## نتایج و بحث

### تغییرات زمانی - مکانی مساحت انواع پوشش‌های اراضی منطقه

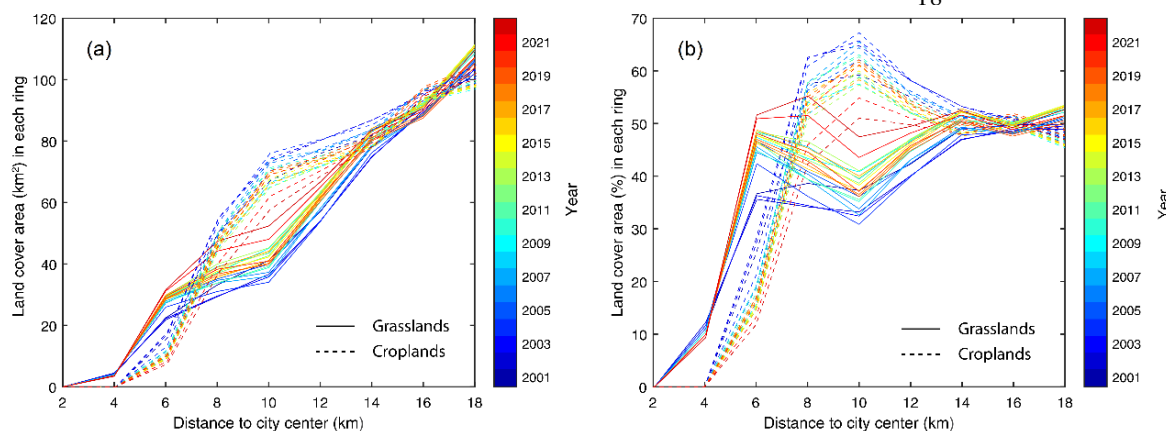
بررسی داده‌های پوشش اراضی MCD12Q1 برای محدوده مورد مطالعه نشان داد که پوشش اراضی غالب منطقه، مزارع و مراتع هستند. در ابتدای دوره مورد بررسی، وسعت مزارع و مراتع به ترتیب ۴۷/۷۸ و ۴۲/۳۲ درصد و در انتهای دوره مورد بررسی، وسعت مزارع و مراتع به ترتیب ۴۳/۶۷ و ۴۷/۶۴ درصد بوده است. مساحت پوشش اراضی حلقه‌های مختلف بر حسب کیلومتر مربع و درصدی از مساحت هر حلقه، برای سال‌های ۲۰۲۲-۲۰۰۱، به تفکیک مراتع و مزارع در شکل ۲ نشان داده شده است.

فواصل ۲ کیلومتر از هم بررسی شد. برای بررسی تغییرات زمانی - مکانی رخدادهای فنولوژیکی، ابتدا نقشه پهنه‌بندی شروع فصل رشد (SOS)، پایان فصل رشد (EOS) و طول فصل رشد (GSL) برای سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ رسم شد. سپس بر اساس نقشه کاربری اراضی، برای هر سال، میانگین سنجه‌های فنولوژی سلول‌های متناظر با پوشش‌های اراضی غالب منطقه (مراتع و مزارع) برای کل محدوده مورد مطالعه و همچنین به تفکیک هر حلقه محاسبه شد و روند تغییرات در زمان آنها و همچنین تغییرات آنها در راستای گرادیان شهری-روستایی (حلقه‌های متحدالمرکز) بررسی شد. برای بررسی روند، از برآوردگر شیب Sen (Sen, 1968) و آزمون معنی‌داری روند من-کندال (Mann, 1945; Kendall, ) M-K test در سطح معنی‌داری ۵ درصد استفاده شد. آزمون M-K یک روش ناپارامتری است که برای تحلیل داده‌هایی که توزیع غیر نرمال دارند و داده‌هایی که لزوماً از توزیع خاصی تبعیت نمی‌کنند، قابل استفاده است. آماره آزمون M-K تقریباً نرمال است و دارای میانگین صفر است. روش محاسبه آماره آزمون، واریانس آماره آزمون و آماره آزمون استاندارد شده به صورت معادلات ۱ تا ۴ است (Mann, 1945; Kendall, 1948).

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sign}(x_j - x_k) \quad (1)$$

$$\text{sign}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1, & x_j - x_k > 0 \\ 0, & x_j - x_k = 0 \\ -1, & x_j - x_k < 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{VAR}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^g t_p(t_p-1)(2t_p+5)}{18} \quad (3)$$



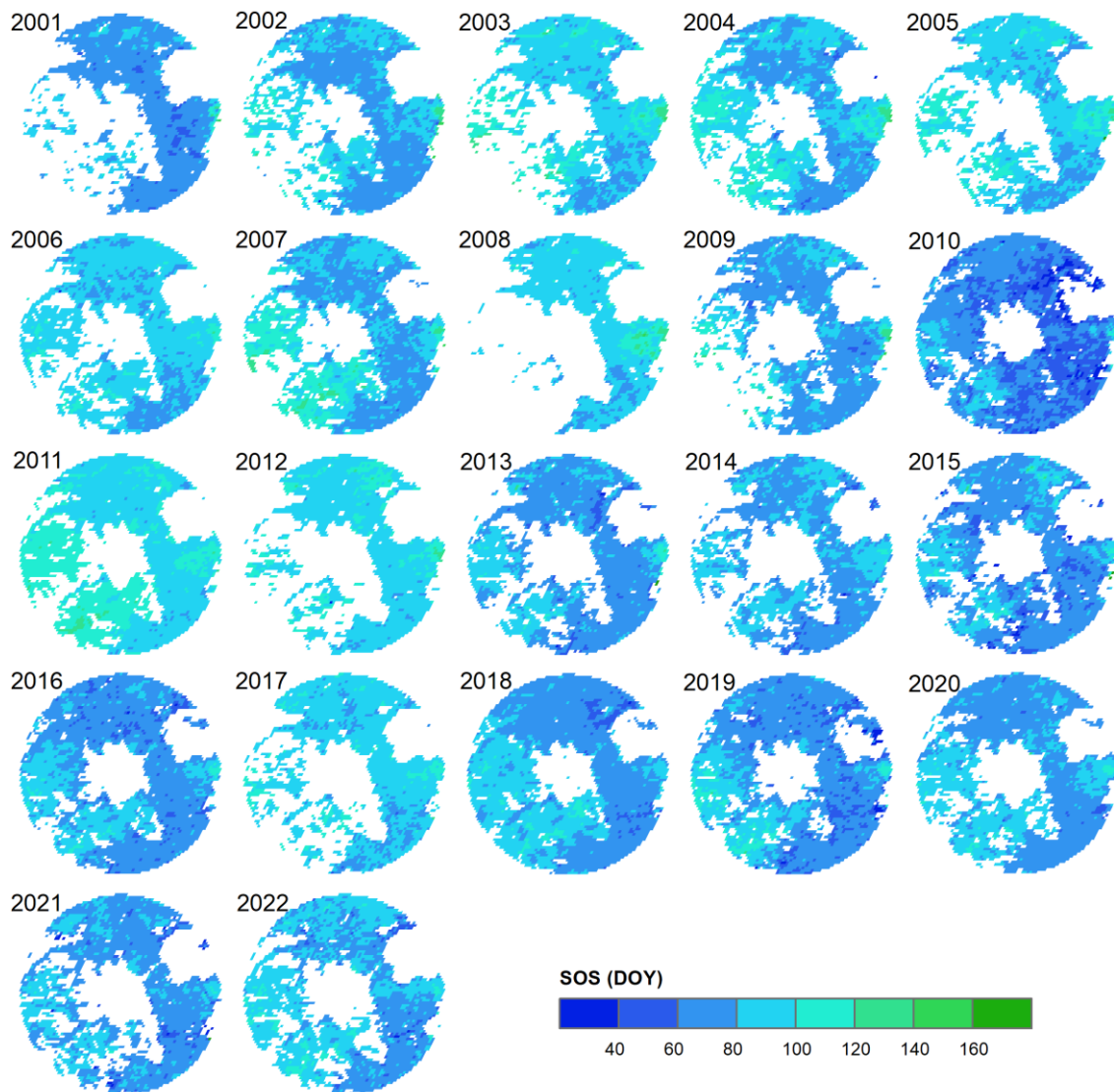
شکل ۲- مساحت (بر حسب a: کیلومتر مربع، b: درصد) مراتع و مزارع در حلقه‌های مختلف در دوره ۲۰۰۱-۲۰۲۲  
Figure 2- Area (in a: km<sup>2</sup>, b: %) of croplands and grasslands in different rings in the period 2001-2022

روند افزایشی داشته؛ در حالی که در مورد مزارع، روند کاهش‌ی مشاهده می‌شود. به‌علاوه، شدت روندها در شعاع ۸ تا ۱۰ کیلومتری بیشتر بوده است.

### تغییرات زمانی و مکانی سنجه‌های فنولوژیکی

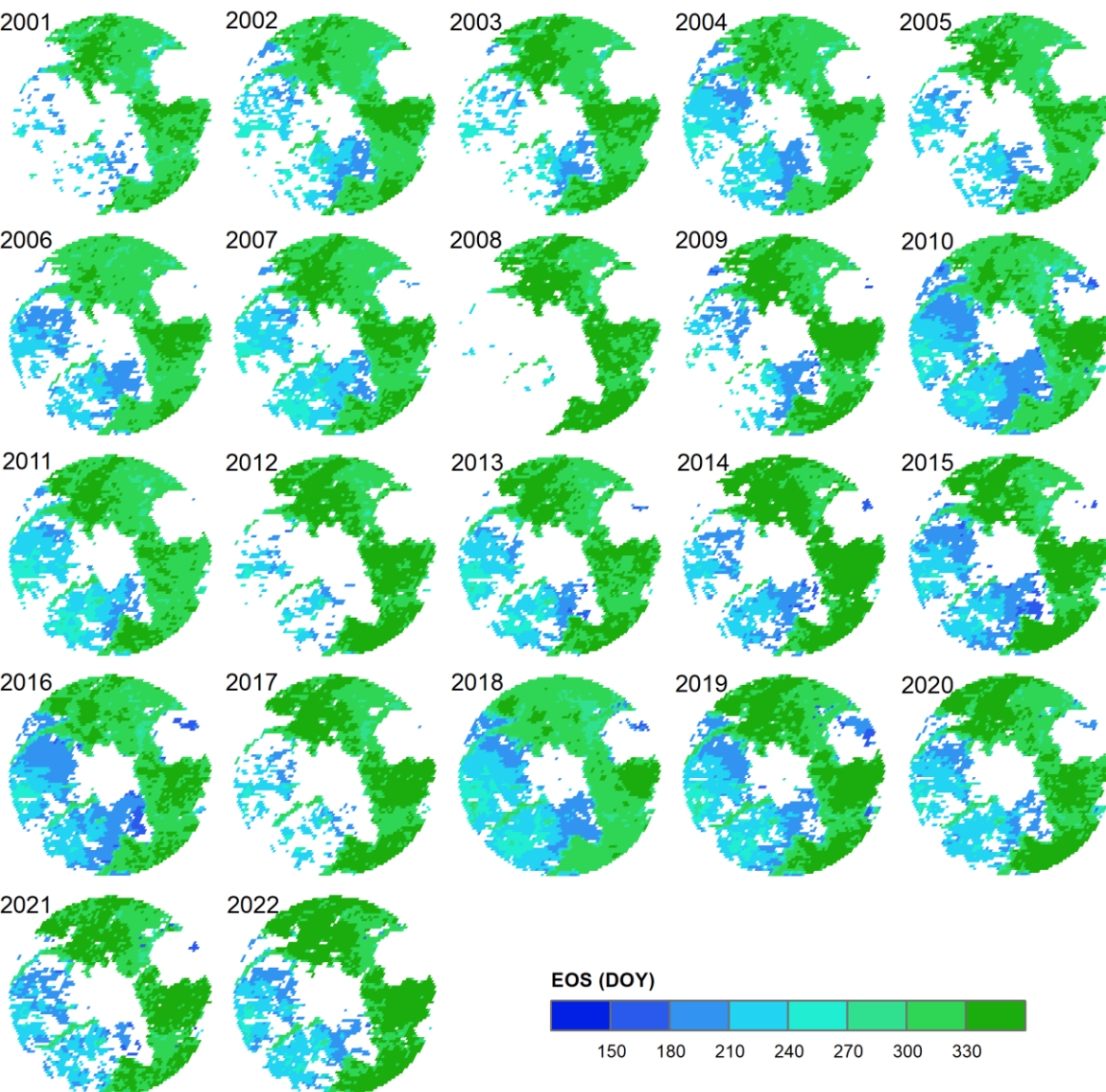
شکل‌های ۳ تا ۵، به ترتیب، نقشه توزیع مکانی شماره روز شروع فصل رشد (SOS)، شماره روز پایان فصل رشد (EOS) و طول فصل رشد (GSL) را بر اساس داده‌های فنولوژی MCD12Q2، برای سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ نشان می‌دهند. بررسی نقشه‌ها نشان می‌دهد که شروع فصل رشد در مورد مزارع زودتر از مراتع رخ می‌دهد و پایان فصل رشد در مورد مزارع دیرتر از مراتع رخ می‌دهد.

با توجه به شکل ۲، به ازای شعاع کمتر از ۶ کیلومتر از مرکز شهر، مساحت مراتع بیشتر از مزارع بوده و با فاصله گرفتن از شهر مساحت مراتع و مراتع افزایش می‌یابد اما مساحت مزارع (حسب کیلومتر مربع) با شیب غیر خطی فزاینده افزایش می‌یابد. به ازای شعاع ۶ تا ۱۶ کیلومتر، مساحت مزارع بیشتر از مساحت مراتع است و با فاصله گرفتن از شهر، مساحت مراتع و مزارع افزایش می‌یابند، اما شیب تغییرات مراتع تندتر است. به ازای شعاع بیشتر از ۱۶ کیلومتر مساحت مزارع بیشتر از مساحت مراتع می‌شود. بررسی تغییرات زمانی مساحت پوشش‌های اراضی نیز نشان می‌دهد که در شعاع کمتر از ۱۶ کیلومتر از مرکز شهر، مساحت مراتع طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲

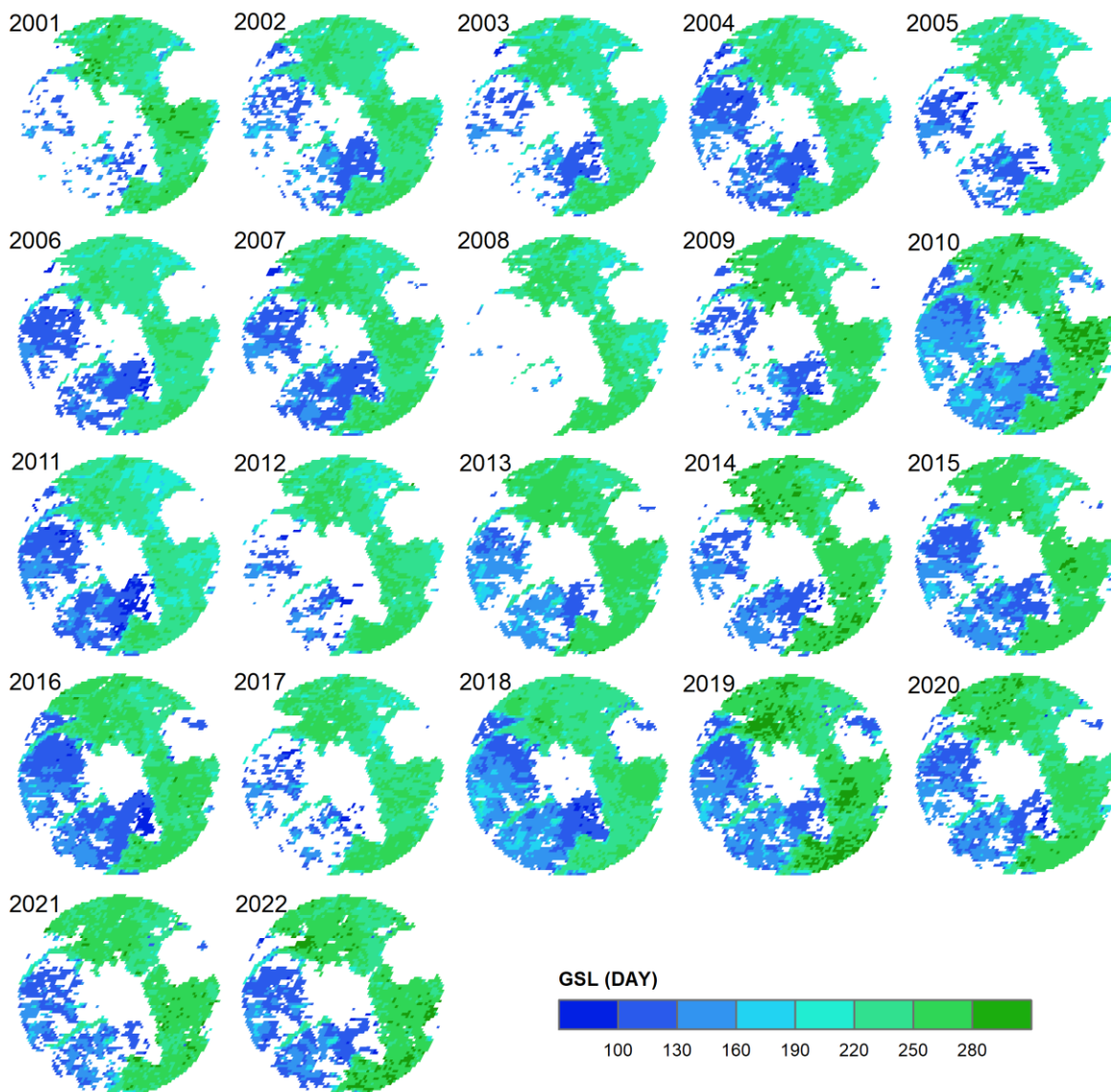


شکل ۳- نقشه شماره روز شروع فصل رشد (SOS) در محدوده مورد مطالعه در دوره زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲

Figure 3- Map of start of growing season (SOS) day number in the studied area during the period 2001-2022



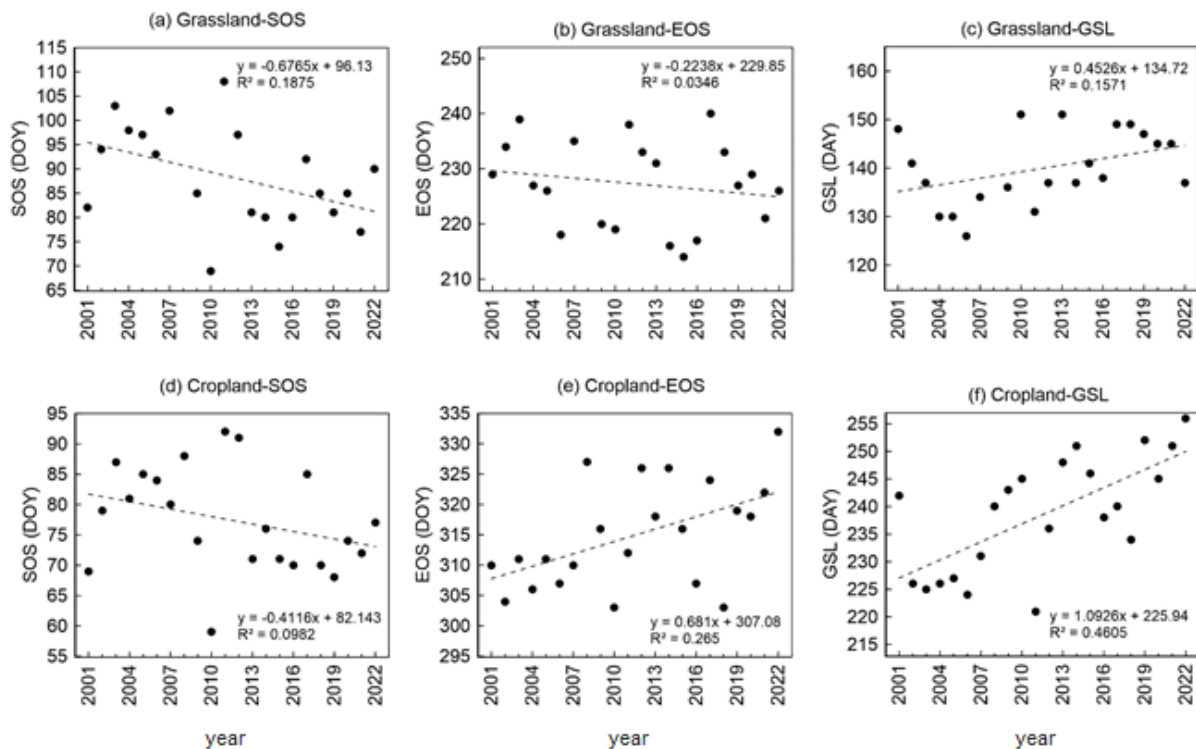
شکل ۴- نقشه شماره روز پایان فصل رشد (EOS) در محدوده مورد مطالعه در دوره زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲  
 Figure 4- Map of end of growing season (EOS) day number in the studied area during the period 2001-2022



شکل ۵- نقشه طول فصل رشد (GSL) در محدوده مورد مطالعه در دوره زمانی ۲۰۲۲ تا ۲۰۰۱  
Figure 5- Map of growing season length (GSL) in the studied area during the period 2001-2022

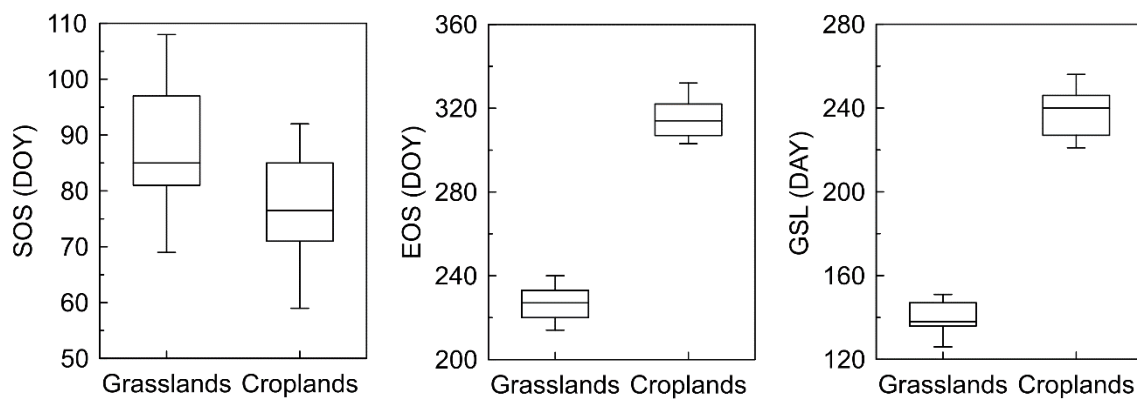
شروع فصل رشد در سال‌های اخیر زودتر رخ داده است، اما پایان فصل رشد و طول فصل رشد روند معنی‌داری نشان نمی‌دهند. همچنین در مورد مزارع، شروع فصل رشد روند معنی‌داری نشان نمی‌دهد؛ اما پایان فصل رشد ( $1/09 \text{ day year}^{-1}$ ) و طول فصل رشد ( $0/68 \text{ day year}^{-1}$ ) روند افزایشی معنی‌داری نشان می‌دهند. به این معنی که پایان فصل رشد در سال‌های اخیر، دیرتر رخ داده و طول فصل رشد افزایش یافته است. شکل ۷ نمودار جعبه‌ای میانگین SOS، EOS و GSL را به تفکیک مراتع و مزارع نشان می‌دهد.

لذا طول فصل رشد مزارع بیشتر از مراتع است. از ترکیب داده‌های پوشش اراضی MCD12Q1 و داده‌های فنولوژی MCD12Q2 برای هر سال، مقادیر میانگین SOS، EOS و GSL به تفکیک مراتع و مزارع برای هر سال بدست آمد. نمودار روند زمانی SOS، EOS و GSL مراتع و مزارع در محدوده مورد مطالعه در دوره زمانی ۲۰۲۲ تا ۲۰۰۱ در شکل ۶ نشان داده شده است. بررسی معنی‌داری شیب خط روند نشان داد که در مورد مراتع، شروع فصل رشد در طی سال‌های ۲۰۲۲ تا ۲۰۰۱ روند کاهشی ( $-0/67 \text{ day year}^{-1}$ ) معنی‌داری ( $p\text{-value} < 0.05$ ) در محدوده مورد مطالعه داشته است، به این معنی که



شکل ۶- نمودار روند زمانی شماره روز شروع فصل رشد (SOS)، شماره روز پایان فصل رشد (EOS) و طول فصل رشد (GSL) مراتع (Grasslands) و مزارع (Croplands) در محدوده مورد مطالعه در دوره زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲

Figure 6- Temporal trend chart of start of growing season (SOS) day number, end of growing season (EOS) day number and growing season length (GSL) of grasslands and croplands in the studied area during the period 2001-2022



شکل ۷- نمودار جعبه‌ای شماره روز شروع فصل رشد (SOS)، شماره روز پایان فصل رشد (EOS) و طول فصل رشد (GSL) مراتع (Grasslands) و مزارع (Croplands) در محدوده مورد مطالعه در دوره زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲

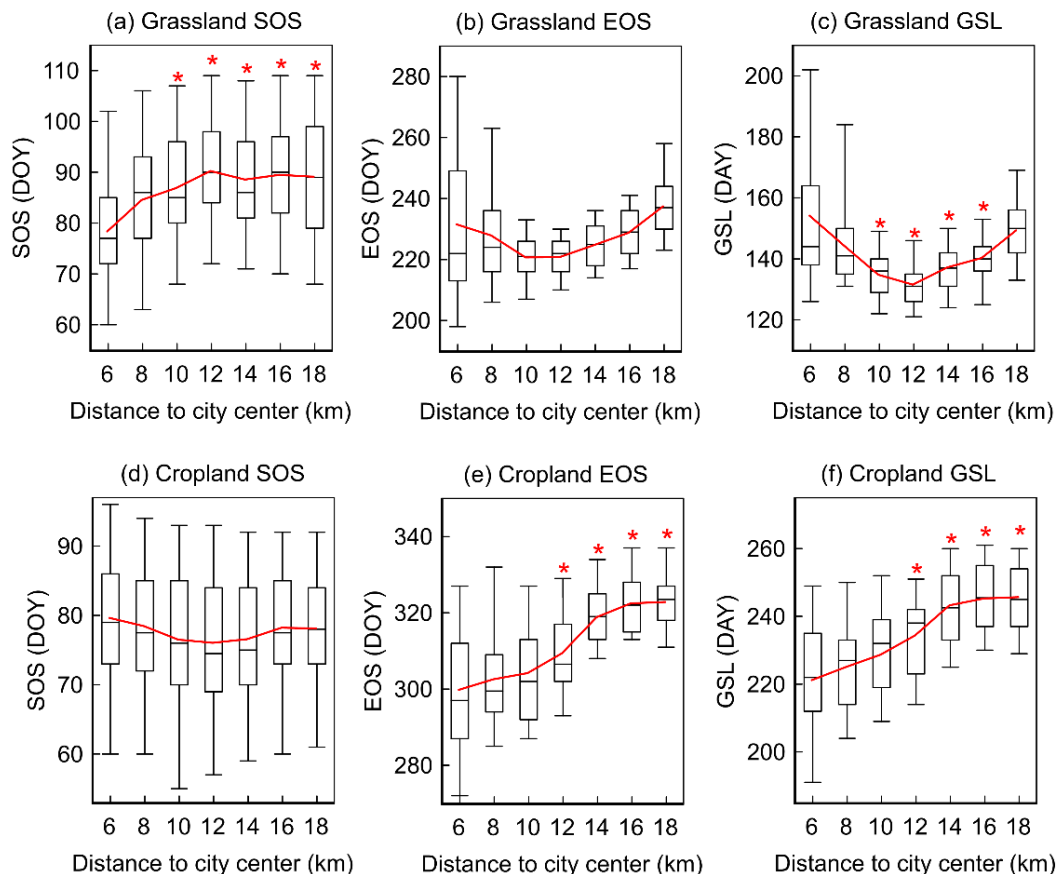
Figure 7- Box plot of start of growing season (SOS) day number, end of growing season (EOS) day number and growing season length (GSL) of grasslands and croplands in the studied area during the period 2001-2022

بیشتر از مراتع (با میانگین ۱۴۰/۰ روز) است. همچنین، در مورد هر دو نوع پوشش اراضی مزارع و مراتع، ضریب تغییرات SOS (به ترتیب، ۱۰/۷۶ و ۱۱/۴۱ درصد) بیشتر از EOS (به ترتیب، ۲/۶۷ و ۳/۴۱ درصد) و GSL (به ترتیب، ۴/۲۸ و ۵/۲۶ درصد) است. علاوه بر بررسی الگوی زمانی و مکانی SOS، EOS و GSL مراتع و مزارع برای

با توجه به شکل ۷، شروع فصل رشد در مورد مزارع (با میانگین شماره روز ۷۷/۴۱) زودتر از مراتع (با میانگین شماره روز ۸۸/۲۴) رخ می‌دهد. از سوی دیگر، پایان فصل رشد در مورد مزارع (با میانگین شماره روز ۳۱۴/۹۱) دیرتر از مراتع (با میانگین شماره روز ۲۲۷/۲۴) رخ می‌دهد. لذا طول فصل رشد مزارع (با میانگین ۲۳۸/۵ روز)

ذکر است که به دلیل سهم ناچیز مراتع و مزارع در سطح حلقه‌های اول و دوم، نمودارهای جعبه‌ای برای حلقه سوم به بعد رسم شد. اختلاف میانگین سنجه‌های فنولوژیکی هر حلقه با حلقه سوم با استفاده از آزمون t-student دو طرفه در سطح معنی‌داری ۵ درصد آزمون شد.

کل محدوده مورد مطالعه، مقادیر میانگین SOS، EOS و GSL مراتع و مزارع به تفکیک هر یک از حلقه‌ها نیز برای هر سال محاسبه شد. شکل ۸، نمودار جعبه‌ای SOS، EOS و GSL مراتع و مزارع را در فواصل مختلف از مرکز شهر در دوره زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ نشان می‌دهد. شایان



شکل ۸- نمودار جعبه‌ای شماره روز شروع فصل رشد (SOS)، شماره روز پایان فصل رشد (EOS) و طول فصل رشد (GSL) مراتع (Grasslands) و مزارع (Croplands) در فواصل مختلف از مرکز شهر در دوره زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲. خطوط قرمز: مقادیر میانگین سنجه‌های فنولوژیکی در هر حلقه، علامت \*: اختلاف معنی‌دار میانگین سنجه فنولوژیکی یک حلقه معین با حلقه سوم (شعاع ۴ تا ۶ کیلومتر از مرکز شهر)

**Figure 8- Box plot of start of growing season (SOS) day number, end of growing season (EOS) day number and growing season length (GSL) of grasslands and croplands in different distances to city center during the period 2001-2022. Red lines: average values of phenological metrics, \* symbol: significant difference of phenological metric average in a certain ring with third ring (4-6 km from city center)**

میانگین شماره روز ۲۳۱/۵۲) بوده و زمان پایان فصل رشد مراتع در حلقه‌های دیگر (با میانگین شماره روز ۲۲۶/۷۴) از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با حلقه سوم نشان نمی‌دهند. با این وجود، عدم معنی‌داری اختلافات ناشی از زیاد بودن انحراف معیار EOS در حلقه سوم است و با توجه به نمودار شکل (b)، تا حلقه پنجم، با فاصله گرفتن از مرکز شهر، زمان پایان فصل رشد کاهش می‌یابد و از حلقه پنجم به بعد، با فاصله گرفتن از مرکز شهر،

با توجه به شکل ۸، زمان شروع فصل رشد مراتع در حلقه سوم (با میانگین شماره روز ۷۸/۳۸) زودتر از سایر حلقه‌ها رخ می‌دهد. همچنین، زمان شروع فصل رشد مراتع در حلقه چهارم (با میانگین شماره روز ۸۴/۵۷) اختلاف معنی‌داری با حلقه سوم ندارد؛ اما زمان شروع فصل رشد مراتع در حلقه‌های پنجم تا نهم، با اختلاف معنی‌داری از حلقه سوم، به طور متوسط ۱۰ روز دیرتر رخ می‌دهند. زمان پایان فصل رشد مراتع در حلقه سوم (با

پویایی زمانی- مکانی فنولوژی پوشش گیاهی در امتداد گرادیان شهری- روستایی پرداخته شد. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که:

- در مورد مراتع، در حلقه‌های نزدیک به شهر شروع فصل رشد زودتر و طول فصل رشد بیشتر است.
- در مورد مراتع، شروع فصل رشد، روند کاهش معنی-داری داشته است، اما پایان فصل رشد و طول فصل رشد، روند معنی‌داری نشان نمی‌دهند. همچنین در مورد مزارع، شروع فصل رشد، روند معنی‌داری نشان نمی‌دهد؛ اما پایان فصل رشد و طول فصل رشد، روند افزایشی معنی‌داری نشان می‌دهند.
- رفتار مراتع و مزارع از نظر رفتار سنج‌های فنولوژی در گرادیان شهری-روستایی کاملاً متفاوت است.
- پاسخ EOS و GSL در فواصل کمتر از ۱۲ کیلومتر از مرکز شهر، متفاوت از فواصل بیشتر از ۱۲ کیلومتر است که این امر می‌تواند ناشی از غلبه اثرات سایر جزایر گرمایی یا سرمایایی (مانند اثر دریاچه) بر اثرات جزایر گرمایی شهری در فواصل دورتر از مرکز شهر باشد.

با توجه به تاثیرپذیری همزمان پوشش گیاهی از گرمایش جهانی و جزایر گرمایی شهری، بررسی کمی شدت جزایر گرمایی شهری و جزایر ناشی از دریاچه ارومیه با استفاده از محصولات ماهواره‌ای دمای سطح خشکی<sup>۱</sup> (LST) و همچنین پیش‌نگری اثرات سناریوهای توسعه شهری و تغییر اقلیم بر فنولوژی گیاهان، برای مطالعات آینده پیشنهاد می‌گردد. همچنین با توجه به اینکه محصولات فنولوژیکی پوشش گیاهی MCD12Q2 جهانی به دلیل تفکیک مکانی ۵۰۰ متر، برای مطالعات در مقیاس‌های وسیع مناسب‌تر هستند، استفاده از آنها در مقیاس‌های کوچک ممکن است دارای عدم قطعیت باشند. لذا، مقایسه آنها با داده‌های مشاهداتی زمینی و ارزیابی دقت این محصولات پیشنهاد می‌گردد.

### منابع

Abbasnezhad Alchin, A., Darvishsefat, A. A., Nasiri, V., Socha, J. 2024. Trend analysis of greening and browning in Hyrcanian forests and their responses to climate change. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 38(10), 4069-4083.

<sup>1</sup> Land Surface Temperature

زمان پایان فصل رشد افزایش می‌یابد. طول فصل رشد مراتع در حلقه سوم بیشینه بوده (با میانگین ۱۵۴/۱۴ روز) و حلقه چهارم با میانگین ۱۴۴/۳۳ اختلاف معنی-داری با حلقه سوم ندارد. اما حلقه‌های پنجم تا هشتم (با میانگین کلی ۱۳۵/۹۶ روز) به طور معنی‌داری طول فصل رشد کمتری در مقایسه با حلقه سوم دارند و با توجه به نمودار شکل (c) ۸، تا حلقه ششم، با فاصله گرفتن از مرکز شهر، طول فصل رشد کاهش می‌یابد و از حلقه ششم به بعد، با فاصله گرفتن از مرکز شهر، طول فصل رشد افزایش می‌یابد. روی هم رفته، می‌توان نتیجه گرفت که در مورد مراتع، حلقه‌های نزدیک به شهر شروع فصل رشد زودتر و طول فصل رشد بیشتری نسبت به حلقه‌های دورتر از شهر دارند. در تایید یافته‌های پژوهش‌های پیشین، مانند Li et al. (2017)، در مناطق شهری در مقایسه با مناطق روستایی اطراف، تاریخ بازشدن برگ‌ها در بهار زودتر رخ می‌دهد و طول فصل رشد افزایش می‌یابد. در مورد مزارع، شروع فصل رشد در هیچ یک از حلقه‌ها (با میانگین شماره روز ۷۷/۳۳) اختلاف معنی‌داری با شروع فصل رشد حلقه سوم (با میانگین شماره روز ۷۹/۶۴) نشان نمی‌دهند. میانگین شماره روز پایان فصل رشد مزارع در حلقه سوم ۲۹۹/۸۲ است و حلقه‌های چهارم و پنجم (با میانگین شماره روز ۳۰۲/۵۵ و ۳۰۴/۱۸) اختلاف معنی-داری با حلقه سوم ندارند اما پایان فصل رشد در حلقه‌های ششم تا نهم (با میانگین شماره روز ۳۱۸/۴۰) با اختلاف معنی‌داری، دیرتر رخ می‌دهد. لذا، طول فصل رشد نیز در این حلقه‌ها (با میانگین ۲۴۲/۱۵ روز) با اختلاف معنی-داری بیشتر از حلقه سوم (با میانگین ۲۲۱/۱۸ روز) است. با توجه به یافته‌های (Yin et al. 2023)، از آنجا که زمان رخدادهای فنولوژیکی مزارع به طور قابل توجهی تحت تاثیر مدیریت‌های کشاورزی (برای مثال، زمان کاشت و برداشت) است، میزان تأثیری پذیری آن از اثرات جزایر شهری می‌تواند کاملاً متفاوت از پوشش‌های اراضی دیگر باشد. نتایج مطالعه حاضر رفتار کاملاً متفاوت مراتع و مزارع را از نظر رفتار سنج‌های فنولوژی در گرادیان شهری-روستایی نشان می‌دهد.

### نتیجه‌گیری

در این مطالعه با هدف بررسی اثرات توسعه شهرسازی بر فنولوژی پوشش گیاهی در شهر ارومیه، به تحلیل

- between land surface phenology and climate data in the Hyrcanian Forests of Iran. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 10(11), 4961-4970.
- Li, X., Zhou, Y., Asrar, G.R., Mao, J., Li, X., Li, W. 2017. Response of vegetation phenology to urbanization in the conterminous United States. *Global Change Biology*, 23, 2818–2830.
- Liang, S., Shi, P., Li, H. 2016. Urban spring phenology in the middle temperate zone of China, dynamics and influence factors. *International Journal of Biometeorology*, 60, 531–544.
- Liu, Z., Zhou, Y., Feng, Z. 2023. Response of vegetation phenology to urbanization in urban agglomeration areas, A dynamic urban–rural gradient perspective. *Science of The Total Environment*, 864, 161109.
- Loveland, T.R., Belward, A.S. 1997. The international geosphere biosphere programme data and information system global land cover data set (DISCover). *Acta Astronautica*, 41(4-10), 681-689.
- Mann, H.B. 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica, Journal of the econometric society*, 245-259.
- Myneni, R.B., Hoffman, S., Knyazikhin, Y., Privette, J.L., Glassy, J., Tian, Y., Wang, Y., Song, X., Zhang, Y., Smith, G.R. Lotsch, A. 2002. Global products of vegetation leaf area and fraction absorbed PAR from year one of MODIS data. *Remote sensing of environment*, 83(1-2), 214-231.
- Najafi, Z. , Darvishsefat, A. , Fatehi, P. and Attarod, P. 2020. Time series analysis of vegetation dynamic trend using Landsat data in Tehran Megacity. *Iranian Journal of Forest*, 12(2), 257-270. (In Farsi)
- Neil, K. L., Landrum, L., Wu, J. 2010. Effects of Urbanization on Flowering Phenology in the Metropolitan Phoenix Region of USA, Findings from Herbarium Records. *Journal of Arid Environments*, 74 (4), 440–444.
- Oke, T. R. 2002. *Boundary Layer Climates*. Routledge.
- Piao, S., Liu, Q., Chen, A., Janssens, I.A., Fu, Y., Dai, J., Liu, L., Lian, X., Shen, M., Zhu, X. 2019. Plant phenology and global climate change, current progresses and challenges. *Global Change Biology*, 25 (6), 1922–1940.
- Pickett, S.T., Cadenasso, M.L., Grove, J.M., Boone, C.G., Groffman, P.M., Irwin, E., Kaushal, S.S., Marshall, V., McGrath, B.P., Nilon, C.H. and Pouyat, R.V. 2011. Urban ecological systems, scientific foundations and a decade of progress. *Journal of environmental management*, 92(3), 331–362.
- Purdy, L. M., Sang, Z., Beaubien, E., Hamann, A. 2023. Validating remotely sensed land surface
- Abedini, A., Mosayebzade, A., Shokrani, M. 2015. Urban Physical Development of Urmia City by Quantitative Models. *Human Geography Research*, 47(3), 411-422. (In Farsi)
- Alpert, P., Kishcha, P., Kaufman, Y.J. and Schwarzbard, R. 2005. Global Dimming or Local Dimming? Effect of Urbanization on Sunlight Availability, *Geophysical Research Letters*, 32 (17).
- Belward, A.S., Estes, J.E., Kline, K.D. 1999. The IGBP-DIS global 1-km land-cover data set DISCover, A project overview.
- Bonan, G.B., Levis, S., Kergoat, L. Oleson, K.W. 2002. Landscapes as patches of plant functional types, An integrating concept for climate and ecosystem models. *Global Biogeochemical Cycles*, 16(2), 5-1.
- Bounoua, L., Zhang, P., Mostovoy, G., Thome, K., Masek, J., Imhoff, M., Shepherd, M., Quattrochi, D., Santanello, J., Silva, J. Wolfe, R. 2015. Impact of urbanization on US surface climate. *Environmental Research Letters*, 10, 084010.
- Di Gregorio, A. 2005. Land cover classification system, classification concepts and user manual, LCCS (Vol. 2). Food Agriculture Org.
- Gray, J., Sulla-Menashe, D., Friedl, M. A. 2019. User guide to collection 6 modis land cover dynamics (mcd12q2) product. NASA EOSDIS Land Processes DAAC, Missoula, MT, USA, 6, 1-8.
- Hansen, M.C., DeFries, R.S., Townshend, J.R. and Sohlberg, R. 2000. Global land cover classification at 1 km spatial resolution using a classification tree approach. *International journal of remote sensing*, 21(6-7), 1331-1364.
- Jia, W., Zhao, S., Zhang, X., Liu, S., Henebry, G.M., Liu, L. 2021. Urbanization imprint on land surface phenology, the urban–rural gradient analysis for Chinese cities. *Global Change Biology*, 27, 2895–2904.
- Kaye, J.P., Groffman, P.M., Grimm, N.B., Baker, L.A., Pouyat, R.V. 2006. A distinct urban biogeochemistry? *Trends in Ecology Evolution*, 21, 192-199.
- Kendall, M.G. 1948. Continuation of Dr Jones's paper. *Biometrika*, 35(3/4), 291-296.
- Khalili, A. , Bazrafshan, J. Cheraghalizadeh, M. 2022. A Comparative study on climate maps of Iran in extended de Martonne classification and application of the method for world climate zoning. *Journal of Agricultural Meteorology*, 10(1), 3-16. (In Farsi)
- Khanduri, V., Sharma, C., Singh, S. 2008. The effects of climate change on plant phenology. *Environmentalist*, 28, 143–147.
- Kiapasha, K., Darvishsefat, A. A., Julien, Y., Sobrino, J. A., Zargham, N., Attarod, P., Schaepman, M. E. 2017. Trends in phenological parameters and relationship

- Sulla-Menashe, D., Friedl, M.A., Krankina, O.N., Baccini, A., Woodcock, C.E., Sibley, A., Sun, G., Kharuk, V. Elsakov, V. 2011. Hierarchical mapping of Northern Eurasian land cover using MODIS data. *Remote Sensing of Environment*, 115(2), 392-403.
- Walker, J., De Beurs, K., Henebry, G. 2015. Land surface phenology along urban to rural gradients in the US Great Plains. *Remote Sensing of Environment*, 165, 42-52.
- Wang, F., Chen, S., Yi, Q., Peng, D., Yao, X., Xu, T., Zheng, J., Li, J. 2022. Characterizing Spatial Patterns of the Response Rate of Vegetation Green-Up Dates to Land Surface Temperature in Beijing, China (2001-2019). *Remote Sensing*, 14(12), 2788.
- White, M. A., Nemani, R. R., Thornton, P. E., Running, S. W. 2002. Satellite Evidence of Phenological Differences between Urbanized and Rural Areas of the Eastern United States Deciduous Broadleaf Forest. *Ecosystems*, 5 (3), 260-273.
- Yang, J., Luo, X., Jin, C., Xiao, X., Xia, J.C. 2020. Spatiotemporal patterns of vegetation phenology along the urban-rural gradient in Coastal Dalian, China. *Urban Forestry Urban Greening*, 54, 126784.
- Yin, P., Li, X., Mao, J., Johnson, B.A., Wang, B., Huang, J. 2023. A comprehensive analysis of the crop effect on the urban-rural differences in land surface phenology. *Science of The Total Environment*, 861, 160604.
- Zhang, D.L., Shou, Y.X., Dickerson, R.R. 2009. Upstream urbanization exacerbates urban heat island effects. *Geophysical Research Letters*, 36 (24).
- Zhao, C., Weng, Q., Wang, Y., Hu, Z., Wu, C. 2022. Use of local climate zones to assess the spatiotemporal variations of urban vegetation phenology in Austin, Texas, USA. *GIScience Remote Sensing*, 59(1), 393-409.
- Zhao, S., Liu, S., Zhou, D. 2016. Prevalent vegetation growth enhancement in urban environment. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113, 6313-6318.
- Zhou, D., Zhao, S., Zhang, L. Liu, S. 2016. Remotely Sensed Assessment of Urbanization Effects on Vegetation Phenology in China's 32 Major Cities. *Remote Sensing of Environment*, 176, 272-281.
- phenology with leaf out records from a citizen science network. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 116, 103148.
- Rahman, M. A., Armson, D., Ennos, A. R. 2014. Effect of Urbanization and Climate Change in the Rooting Zone on the Growth and Physiology of *Pyrus Calleryana*. *Urban Forestry Urban Greening*, 13 (2), 325-335.
- Richardson, A.D., Hollinger, D.Y., Dail, D.B., Lee, J.T., Munger, J.W., O'keefe, J. 2009. Influence of spring phenology on seasonal and annual carbon balance in two contrasting New England forests. *Tree Physiol*, 29, 321-331.
- Richardson, A.D., Hufkens, K., Milliman, T., Aubrecht, D.M., Furze, M.E., Seyednasrollah, B., Krassovski, M.B., Latimer, J.M., Nettles, W.R., Heiderman, R.R., Warren, J.M. 2018. Ecosystem Warming Extends Vegetation Activity but Heightens Vulnerability to Cold Temperatures. *Nature*, 560 (7718), 368-371.
- Roetzer, T., Wittenzeller, M., Haeckel, H. Nekovar, J. 2000. Phenology in Central Europe - Differences and Trends of Spring Phenophases in Urban and Rural Areas. *International Journal of Biometeorology*, 44 (2), 60-66.
- Running, S.W., Nemani, R.R., Heinsch, F.A., Zhao, M., Reeves, M. Hashimoto, H. 2004. A continuous satellite-derived measure of global terrestrial primary production. *Bioscience*, 54(6), 547-560.
- Saatloo, S. M. E., Siosemarde, M., Hosseini, S. A., Rezaei, H. 2020. Variability assessment of simulated recharge resulted from precipitation using different GCMs, case study, west shore of Lake Urmia, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 13, 1-17.
- Sen, P. K. 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American statistical association*, 63(324), 1379-1389.
- Shen, M., Tang, Y., Chen, J., Zhu, X., Zheng, Y. 2011. Influences of temperature and precipitation before the growing season on spring phenology in grasslands of the central and eastern Qinghai-tibetan plateau. *Agriculture and Forest Meteorology*, 151, 1711-1722.
- Stewart, I.D., Oke, T.R. 2012. Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(12), 1879-1900.



## Effects of Urban Development on Plant Phenology: Urban-Rural Gradient Analysis in Urmia City

Parisa Pishgar<sup>1</sup>, Somayeh Hejabi<sup>2\*</sup>, Majid Montaseri<sup>3</sup>

Received: 18/02/2025

Accepted: 22/09/2025

### Abstract

In this study, temporal and spatial changes in vegetation phenology in Urmia city were investigated. For this purpose, a circle with a radius of 18 km from the city center was chosen as the study area. This area was divided into 9 concentric circles using concentric circles to the center of the Ayalat square in the center of the city, and the phenological response to urban development was investigated along an urban-rural gradient. For this purpose, the land cover type product (MCD12Q1) and the vegetation phenology products (MCD12Q2) of the MODIS sensor were used for the period 2001 to 2022. The results of this study showed that in the case of grasslands, the starting of the growing season (SOS) had a significant decreasing trend ( $-0.67 \text{ day year}^{-1}$ ), but the end of the growing season (EOS) and the the growing season length (GSL) did not show a significant trend. Also, in the case of croplands, the starting of the growing season did not show a significant trend. But the end of the growing season ( $0.68 \text{ day year}^{-1}$ ) and the growing season length ( $1.09 \text{ day year}^{-1}$ ) showed a significant increase. In the case of grasslands, the circles near the city had an earlier start of the growing season and a longer growing season than the circles further away from the city. Also, the results of the present study showed completely different behavior of grasslands and croplands in terms of the behavior of phenology parameters in the urban-rural gradient. The response of EOS and GSL at distances less than 12 km to city center was different from that at distances greater than 12 km, which may be due to the dominance of the effects of other heat or cold islands (such as the lake effect) over the effects of urban heat islands at distances farther than 12 km.

**Keywords:** Local Climate, MODIS Products, Phenology Change, Urban Heat Islands, Urban-Rural Gradient



<sup>1</sup> M. Sc. Graduate in Agricultural Meteorology, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

<sup>2</sup> Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran  
(\*Corresponding Author Email Address: [s.hejabi@urmia.ac.ir](mailto:s.hejabi@urmia.ac.ir))

<sup>3</sup> Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

نحوه ارجاع مقاله:

پیشگر، پ.، حجایی، س.، منتصری، م. ۱۴۰۴. اثرات توسعه شهرسازی بر فنولوژی گیاهان: تحلیل گرادیان شهری- روستایی در شهر ارومیه. نشریه

هواشناسی کشاورزی، ۱۳(۲)، ۴۷-۶۰. DOI: 10.22125/agmj.2025.505988.1180

Pishgar, P., Hejabi, S., Montaseri, M. 2026. Modeling and forecasting dust pollution using satellite data and machine learning techniques (A case study of Ahvaz). Journal of Agricultural Meteorology, 13(2), 47-60. DOI: 10.22125/agmj.2025.505988.1180