

Evaluating the Performance of Global Land Cover Maps in Agricultural Land Delineation (Case Study: Lake Urmia Basin)

ZANKO ZANDSALIMI¹, SOMAYEH SIMA^{*1}, ALIJAFAR MOUSIVAND³

1. Water Engineering Group, Faculty of Civil & Environmental Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

2. Remote Sensing Group, Faculty of Humanities, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

(Received: Dec. 20, 2020- Revised: Jan. 28, 2021- Accepted: Jan. 31, 2021)

ABSTRACT

Continuous monitoring of agricultural lands is imperative for managing water and soil resources in a watershed, due to its impact on ecosystem health and food security. Global Land Cover (GLC) maps can be used as a proxy for local and regional land use maps because of their availability, variety, and ease of use without complex processing. This study investigates the performance of three GLC products including MCD12Q1 LC, CGLS LC, and CCI LC against a reference land use/ land cover map of the year 2015 in the LUB. First, identical classes between the reference map and the GLC maps were determined based on the main land use/ land cover classes of the reference map of 2015 (rangeland, agricultural land, water, built-up areas, and bare land). To do so, different classes were merged accordingly to match the classes of the reference map. Subsequently, performance (Area and spatial consistency, and classification accuracy) of the GLC products was evaluated based on ground truth points. Results showed that MCD12Q1 LC and CGLS LC outperformed CCI LC in providing an overview of the surface cover of the LUB with 74% and 86% overall accuracy, respectively. Moreover, MCD12Q1 LC and CGLS LC had an acceptable performance in classifying rangeland and agriculture land as the dominant land cover types in the LUB with 81% and 92% classification accuracy, respectively. The CGLS LC can also be used to continuously monitor agriculture areas in practical applications to examine the overall trend of urbanization and agricultural development. Another important finding is that the GLC product with higher spatial resolution does not necessarily provide better classification accuracy for all types of covers. This study can also be used as a methodological reference in the performance evaluation of the GLC products at different scales and other parts of the country.

Keywords: Land Use; Consistency Evaluation; Overall Accuracy.

ارزیابی عملکرد نقشه‌های پوشش اراضی جهانی در استخراج محدوده اراضی کشاورزی (مطالعه موردی: حوضه آبریز دریاچه ارومیه)

زانکو زندسلیمی^۱، سمیه سیما*^۱، علی جعفر موسیوند^۲

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۲. گروه سنجش از دور، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۹/۳۰ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۱۱/۹ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۱۱/۱۲)

چکیده

پایش پیوسته اراضی کشاورزی به دلیل تاثیر آن بر حفظ منابع و سلامت اکوسیستم‌ها و امنیت غذایی یکی از ضرورت‌های مدیریت منابع آب و خاک در یک حوضه آبریز است. نقشه‌های پوشش اراضی جهانی (GLC) با توجه به مقیاس‌های متنوع، در دسترس بودن و عدم نیاز به پردازش‌های تخصصی می‌توانند برای استخراج محدوده اراضی کشاورزی مورد استفاده قرار گیرند. این مطالعه عملکرد سه محصول GLC شامل MCD12Q1 LC، CGLS LC و CCI LC را نسبت به نقشه کاربری اراضی مرجع سال ۲۰۱۵ در حوضه آبریز دریاچه ارومیه را بررسی می‌کند. ابتدا بر اساس کلاس‌های اصلی نقشه کاربری اراضی مرجع سال ۲۰۱۵ (مرتع، اراضی کشاورزی، پهنه‌های آبی، اراضی ساخته شده و زمین بایر)، کلاس‌های معادل از نقشه‌های پوشش اراضی جهانی به منظور مقایسه با هم ادغام و ترکیب شدند. سپس عملکرد نقشه‌های GLC بر اساس معیارهای مساحت، سازگاری مکانی و صحت کلی با استفاده از نقاط کنترل زمینی ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که دو محصول MCD12Q1 LC و CGLS LC در ارائه تصویر کلی از پوشش اراضی حوضه آبریز به ترتیب با صحت کلی ۷۴ و ۸۶ درصد، نسبت به محصول CCI LC عملکرد برتری دارند. همچنین MCD12Q1 LC و CGLS LC به ترتیب در طبقه‌بندی دو کلاس مرتع و اراضی کشاورزی به عنوان پوشش‌های غالب در سطح حوضه آبریز با صحت طبقه‌بندی ۸۱ و ۸۹ درصد عملکرد قابل قبولی داشتند. استفاده از محصول CGLS LC می‌تواند به پایش پیوسته اراضی کشاورزی در کاربردهای عملیاتی به منظور ارزیابی کلی از روند تغییرات توسعه در حوضه آبریز دریاچه ارومیه کمک شایانی بنماید. از دیگر یافته‌های مهم این پژوهش این است که محصول پوشش اراضی با قدرت تفکیک مکانی بهتر لزوماً صحت طبقه‌بندی بهتری برای همه انواع پوشش‌ها ندارد. این مطالعه می‌تواند به عنوان یک مرجع روش‌شناسی در ارزیابی عملکرد محصولات GLC در مقیاس‌های مختلف و دیگر مناطق کشور استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: کاربری اراضی؛ ارزیابی سازگاری؛ صحت کلی.

مقدمه

کافی بین دولت و کشاورزان وجود نداشته باشد، عدم قطعیت در اطلاعات جمع‌آوری شده بالاست. استخراج اطلاعات پوشش اراضی بر پایه سنجش از دور یکی دیگر از روش‌های پایش تغییرات سطح است که به دلیل توانایی آنها در تعیین سریع اطلاعات و ارائه الگوی تغییرات مکانی پوشش اراضی زمین به ابزاری مهم و قابل اعتماد برای دستیابی سریع به اطلاعات پوشش اراضی جهانی و منطقه‌ای تبدیل شده‌اند (Almeida *et al.*, 2016; Ban *et al.*, 2015). پوشش اراضی (LC) بیانگر انواع پوشش‌هایی است که سطح زمین را اشغال کرده‌اند، در حالی که کاربری اراضی (LU)^۲ توصیف نحوه استفاده انسان از زمین است. در سال‌های اخیر توسعه نقشه‌های پوشش اراضی جهانی

اراضی کشاورزی حدود ۱۲ درصد کل سطح زمین را پوشش می‌دهند (FAO, 2014) و پایش تغییرات آن‌ها طی زمان به منظور تامین غذا، مدیریت منابع آب و خاک، حفظ سلامت اکوسیستم‌ها و نیز آگاهی از الگوهای توسعه در مقیاس وسیع امری ضروری است (Liu *et al.*, 2018). این کار نیازمند تهیه نقشه‌های پوشش کشاورزی است که با استفاده از روش‌های سنتی مانند جمع‌آوری اطلاعات میدانی، مطالعات پیشین و تحلیل داده‌ها انجام می‌گیرد. اما این روش‌ها علاوه بر هزینه زیاد، از صحت محدودی برخوردار هستند (Thibaut *et al.*, 2010). به ویژه در مناطقی که اعتماد

* نویسنده مسئول: s.sima@modares.ac.ir

که عملکرد محصول پوشش اراضی MODIS با پنج طبقه‌بندی مختلف را بر اساس محصول پوشش اراضی GlobLand30 با استفاده از معیارهای عملکردی در مقیاس استانی (سه زیر منطقه - ی استان Anhui کشور چین) ارزیابی کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که محصول MODIS با سه نوع طبقه‌بندی IGBP، UMD و PFT بهترین عملکرد در طبقه‌بندی پوشش‌های سطح با صحت کلی بیش از ۷۱ درصد داشته‌اند که بیشترین صحت برآورد مربوط به پوشش اراضی مراتع و جنگلی بوده است.

در مقیاس جهانی نیز سازگاری بین دو محصول پوشش اراضی GLC2000 و MODIS نسبت به یکدیگر برای بررسی شباهت‌ها و تفاوت‌ها در روش‌شناسی و همچنین شناسایی نواحی با تطبیق یا عدم تطبیق مکانی ارزیابی شده است. نتایج حاکی از آن بود که این محصولات در تمامی پوشش اراضی‌ها بجز نوع دشت/بوته‌زارها و تالاب‌ها از سازگاری کلی برخوردار هستند. اما این سازگاری هنگام مقایسه کلاس‌های با جزئیات بیشتر کاهش پیدا می‌کرد (Giri *et al.*, 2005). در همین راستا عملکرد نه محصول پوشش اراضی جهانی شامل FAO-GLCshare، GLCNMO2008، GLC2000، Geowiki IIASA-Hybrid، CCI LC-2015، CCI LC-2010، GlobeLand30، GlobCover و MODIS به منظور پایش و نظارت اراضی کشاورزی مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین صورت که با بررسی نحوه توسعه و توزیع مکانی اراضی کشاورزی، مقایسه مساحت اراضی کشاورزی با داده‌های آماری FAO در سطح کشوری و همچنین ارزیابی صحت بر اساس داده‌های مرجع، عملکرد آنها بررسی شد. نتایج نشان داد که اطلاعات مربوط به اراضی کشاورزی به طور قابل توجهی بین محصولات پوشش اراضی جهانی متغیر هستند. همچنین مشخص شد که دو محصول FAO-GLCshare و GlobeLand30 به طور کلی نتایج کافی را برای نظارت بر مناطق زراعی ارائه می‌دهند، در حالی که محصول LC-CCI2010 به دلیل بیش برآورد و محصول GLC2000 به دلیل تاریخ اطلاعات و صحت پایین چندان مطلوب نبودند (Pérez-Hoyos *et al.*, 2017).

مطالعات فوق نشان می‌دهند یک محصول مشخص با بهترین عملکرد بین محصولات جهانی پوشش اراضی برای پایش کاربری‌های مختلف وجود ندارد و عملکرد این محصولات در مقیاس جهانی/ منطقه‌ای و همچنین صحت طبقه‌بندی کلاس‌های مختلف آنها بسته به اهداف پایش متفاوت می‌باشد. بنابراین برای استفاده از محصولات پوشش اراضی به عنوان جایگزین کاربری اراضی کشاورزی، بررسی عملکرد و تحلیل سازگاری این

در مقیاس‌های مختلف روبه گسترش بوده است. از جمله می‌توان به محصول GLC-FSC30-2015 تولید شده توسط موسسه سنجش از دور و زمین دیجیتال آکادمی علوم چین (Zhang *et al.*, 2019)، محصول GlobeLand30-2010 تولید شده توسط مرکز ملی نقشه‌برداری چین (Chen *et al.*, 2015)، محصول FROM_GLC تولید شده توسط دانشگاه Tsinghua (Gong *et al.*, 2013)، محصول MODIS دانشگاه بستون (Friedl *et al.*, 2010)، محصول GLC2000 اتحادیه اروپا (Belward & Bartholomé, 2007)، محصول CCI LC سازمان فضایی اروپا (Defourny & Kirches, 2012) و دیگر محصولات اشاره کرد. محصولات پوشش اراضی نسبت به یکدیگر تفاوت‌هایی دارند، که ناشی از روش‌های مختلف جمع‌آوری داده‌ها و طبقه‌بندی پوشش اراضی و نیز سنجنده‌های مختلف مورد استفاده می‌باشد (Hoyos *et al.*, 2012). برای استفاده از این محصولات در کاربردهای عملیاتی با توجه به ویژگی‌های هر منطقه انجام مقایسه با داده‌های زمینی و یا نقشه‌های مرجع اعتبارسنجی شده در مقیاس‌های مختلف ضروری می‌باشد (Kang *et al.*, 2020).

محققان بررسی‌های تطبیقی و مقایسه‌ای از محصولات مختلف پوشش اراضی در مقیاس‌های مکانی منطقه‌ای و جهانی انجام داده‌اند. به عنوان نمونه در مقیاس منطقه‌ای، مطالعه‌ای به منظور ارزیابی صحت طبقه‌بندی و توزیع مکانی چهار محصول پوشش اراضی جهانی GlobCover، MODIS2000، MODIS2005 و GLC2000 در مقایسه با نقشه مرجع CHINA2000 بر مبنای معیارهای عملکردی (ماتریس خطا، ضریب همبستگی پیرسون) در کشور چین انجام شد. نتایج بیانگر سازگاری چهار محصول پوشش اراضی جهانی در مقیاس کلی بودند اما در مقیاس محلی اختلاف‌ها مشهود بودند. همچنین محصولات GLC2000 و GlobCover به ترتیب بهترین و بدترین عملکرد را بین محصولات پوشش اراضی مورد بررسی داشتند (Song & Zhang, 2012). در پژوهش دیگری صحت و عملکرد چهار محصول پوشش اراضی جهانی CCI LC، GLCNMO، GlobeLand30 و MODIS در منطقه شمالگان بررسی شد. نتایج حاکی از آن بود که محصول CCI_LC2 (v.2000) دارای بیشترین صحت کلی با ۶۵ درصد است. نهایتاً در بین چهار محصول، GlobeLand30 به عنوان بهترین انتخاب برای تجزیه و تحلیل پوشش اراضی‌های با توزیع پراکنده مانند آب‌ها، اراضی ساخته شده و زمین‌های زراعی گزارش شد (Liang *et al.*, 2019). در همین راستا می‌توان به مطالعه (Liang *et al.*, 2015) اشاره کرد

محصولات برای هر منطقه ضروری است.

منطقه مورد مطالعه اساساً با تنوعی از پوشش اراضی شامل: آب، اراضی ساخته شده، زراعی و باغی، زمین‌های بایر و اراضی مرتع تشکیل شده است. سایر پوشش‌ها تالاب‌ها و زمین‌های شور می‌باشد (شکل ۱). در دشت‌های حاصلخیز وسیع اطراف دریاچه، زراعت آبی و باغبانی از نوع غالب پوشش اراضی است، در حالیکه مناطق مرتفع بیشتر توسط کشاورزی دیم غلات اشغال شده است (WERI, 2018). سطح اراضی آبی حوضه آبریز دریاچه ارومیه با افزایش چشمگیری از ۱۲۶۵ کیلومتر مربع در سال ۱۹۷۵ به مقدار ۵۵۲۵ کیلومتر مربع در سال ۲۰۱۱ مواجه بوده است (Alizade Govarchin Ghale et al., 2019).

روش شناسی

روش کلی انجام کار در (شکل ۲) ارائه شده است. پس از دریافت داده‌ها و انجام پیش پردازش‌ها، معادل سازی طبقه‌بندی محصولات مورد بررسی پوشش اراضی بر مبنای نقشه پوشش و کاربری اراضی مرجع انجام شد. از آنجایی که کلاس‌های طبقه‌بندی شده در محصولات پوشش اراضی مختلف متفاوت می‌باشد، برای مقایسه باید این کلاس‌ها یکسان‌سازی شوند، از این رو نیاز است تا برخی کلاس‌ها در هم ادغام شوند. به همین منظور، کد طبقه‌بندی اولیه در محصولات اصلی باید ادغام شده و مجموعه‌ای از کلاس‌های کلی پوشش اراضی بر مبنای نقشه مرجع لحاظ شود. نحوه ادغام و معادل سازی کلاس‌های محصولات پوشش اراضی با نقشه پوشش و کاربری مرجع در (جدول ۲) ارائه شده است. سپس پردازش داده‌ها انجام گرفته و ارزیابی و بررسی صحت محصولات پوشش اراضی بر اساس معیارهای عملکردی مختلف بر مبنای نقشه پوشش و کاربری اراضی مرجع سال ۲۰۱۵ و نیز نقاط کنترل زمینی انجام شد. در ادامه هریک از مراحل کار تشریح می‌شود.

داده‌های مورد استفاده

در این مطالعه علاوه بر نقاط کنترل زمینی از نقشه پوشش و کاربری اراضی حوضه آبریز دریاچه ارومیه که با همکاری پژوهشکده مهندسی آب دانشگاه تربیت مدرس و سازمان FAO برای سال ۲۰۱۵ تهیه شد به عنوان نقشه مرجع برای ارزیابی صحت دیگر محصولات پوشش اراضی زمین جهانی (GLC) استفاده شد. همچنین با بررسی فراهمی محصولات پوشش اراضی جهانی در سال ۲۰۱۵، سه محصول MCD12Q1، CCI و CGLS برای تحلیل و بررسی انتخاب شدند (جدول ۱).

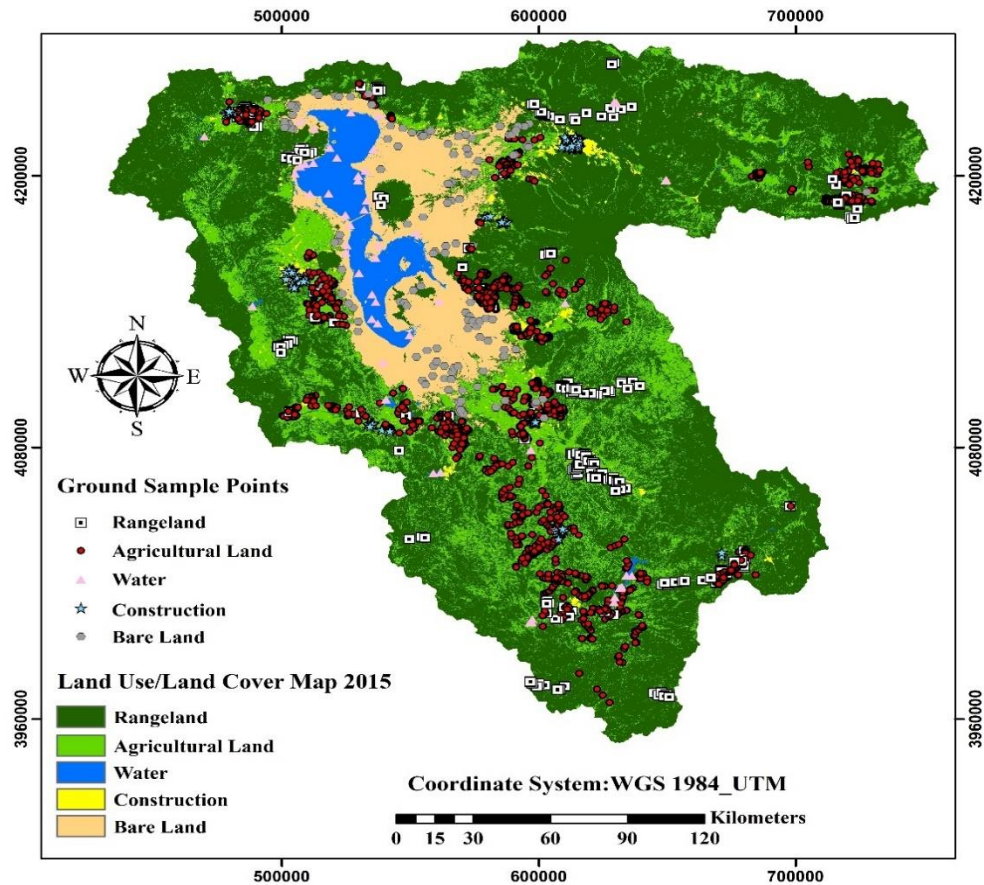
بررسی‌ها نشان داده است که در ایران علیرغم محدودیت منابع آب از سال ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۳، وسعت زمین‌های کشاورزی آبی به طور پیوسته افزایش یافته است که منجر به بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب تجدیدپذیر و تبعات زیست محیطی و اجتماعی گسترده شده است (Maghrebi et al., 2020). در حوضه آبریز دریاچه ارومیه به عنوان نمونه، در دو دهه اخیر سطح اراضی آبی دو برابر شده است که تبعاتی از جمله افزایش مصارف آب حوضه و کاهش قابل توجه سطح دریاچه ارومیه را در این مدت به همراه داشته است (Alizade Govarchin Ghale et al., 2018). از این رو، پایش پیوسته و سریع تغییرات سطح زمین‌های کشاورزی یکی از ضرورت‌ها و اقدامات پایه‌ای برای ارزیابی مصارف آب کشاورزی، مدیریت مصارف و حفاظت پایدار از منابع آب و خاک حوضه در راستای احیای دریاچه ارومیه می‌باشد.

در این مطالعه با توجه به ضرورت و اهمیت پایش پیوسته اراضی کشاورزی در مدیریت منابع آب و خاک، امکان استفاده از محصولات پوشش اراضی جهانی به عنوان جایگزین کاربری اراضی برای پایش اراضی کشاورزی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه مورد بررسی قرار گرفته است. برای دستیابی به این هدف عملکرد محصولات پوشش اراضی جهانی CCI LC، MCD12Q1 LC و CGLS LC ارزیابی شده است. در نهایت محصول برتر با بررسی صحت کلی محصولات مشخص شده است. همچنین علاوه بر مشخص کردن صحت تشابه مکانی کاربری اراضی کشاورزی محصولات نسبت به نقشه مرجع، کارایی آنها در برآورد هر کلاس بر مبنای صحت طبقه‌بندی به صورت مجزا بررسی شده است.

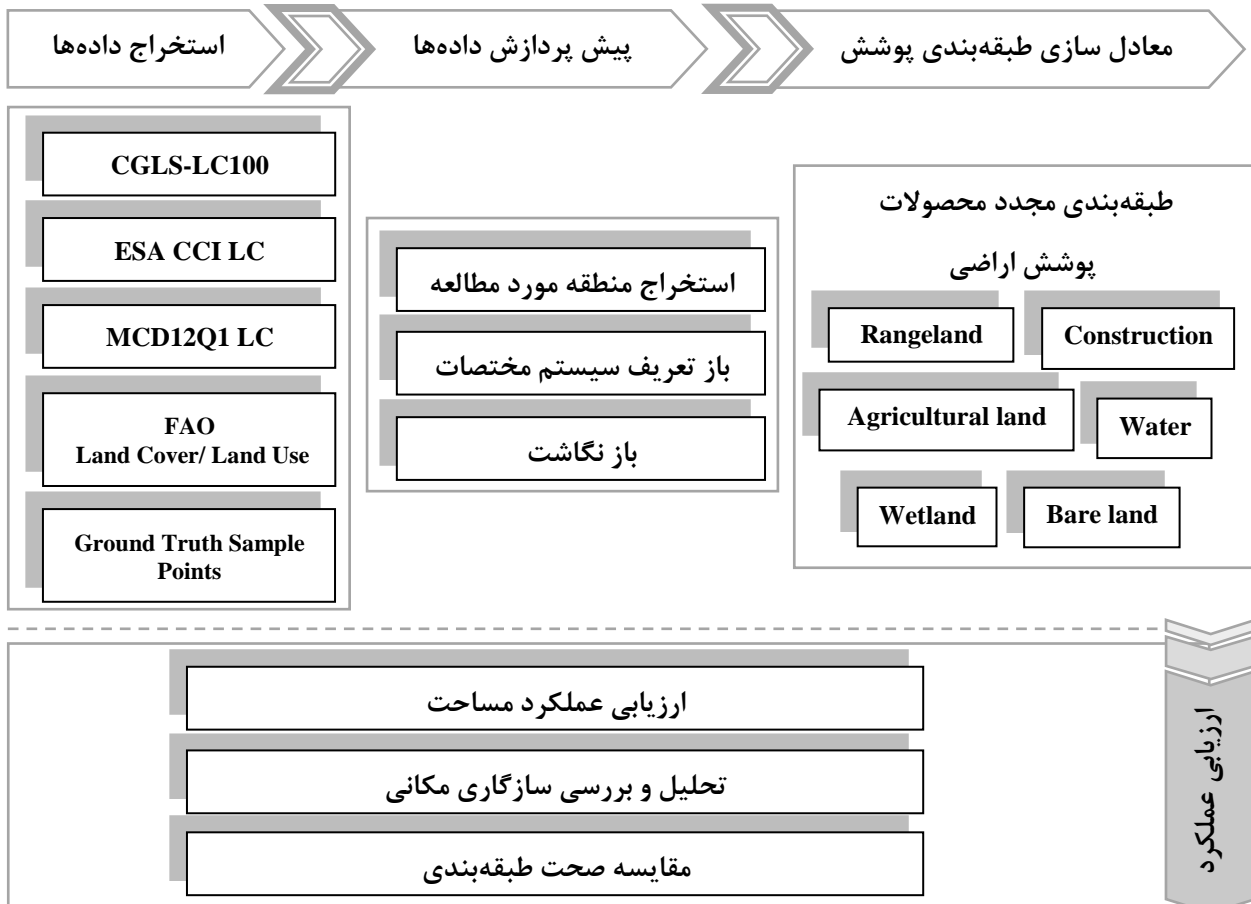
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز دریاچه ارومیه در شمال غربی ایران واقع می‌باشد. مساحت این حوضه آبریز در حدود ۵۲۰۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد که ۳/۱۵ درصد کل مساحت کشور را شامل می‌شود (شکل ۱). تراز حوضه دریاچه بین ۱۲۶۷ متر تا ۳۷۴۶ متر از سطح دریا متغیر است. همچنین این حوضه بر اساس سیستم طبقه‌بندی کوپن در اقلیم نیمه خشک سرد طبقه‌بندی شده است، که در آن میانگین بارندگی سالانه تقریباً ۴۰۰ میلی‌متر و نرخ تبخیر و تعرق بین ۵۳۰ میلی‌متر و ۶۸۰ میلی‌متر است (JICA, 2020).



شکل ۱- منطقه مطالعاتی، توزیع مکانی نقاط کنترل زمینی و نقشه کاربری اراضی حوضه آبریز دریاچه ارومیه سال ۲۰۱۵ (WERI, 2018)



شکل ۲- نمودار مفهومی و روند کلی انجام تحقیق

جدول ۱- ویژگی‌های محصولات پوشش اراضی زمین جهانی

محصول پوشش اراضی	قدرت تفکیک مکانی (m)	سیستم طبقه‌بندی	تعداد کلاس‌ها	سنجنده	دوره زمانی فراهمی محصولات
CGLS LC	۱۰۰	UN LCCS	۳۶	PROBA-V	۲۰۱۵ - ۲۰۱۹
CCI LC-2015	۳۰۰	UN LCCS	۲۲	PROBA-V	۱۹۹۲ - ۲۰۱۵
MCD12Q1 LC	۵۰۰	IGBP	۱۷	MODIS	۲۰۰۱ - ۲۰۱۶

۱۷ کلاس استفاده شده است.

محصول پوشش اراضی جهانی^۴ CGLS

بخشی از مأموریت سری ماهواره‌های Copernicus که تحت نظر آژانس فضایی اتحادیه اروپا می‌باشد، ارائه خدمات مربوط به سطح زمین در مقیاس جهانی است (CGLS) که مجموعه‌ای از محصولات بیوژئوفیزیکی در ارتباط با وضعیت و تکامل سطح زمین در مقیاس جهانی فراهم می‌آورد. از سال ۲۰۱۳، CGLS به طور پیوسته متغیرهای ضروری نظیر شاخص سطح برگ، دمای سطح زمین، آلدوی سطح و رطوبت خاک را فراهم می‌کند و از سال ۲۰۱۵ نقشه پوشش اراضی دینامیک (CGLS-LC100) را با وضوح مکانی ۱۰۰ متر و پوشش جهانی ارائه می‌دهد. محصول پوشش اراضی CGLS براساس سیستم طبقه‌بندی پوشش اراضی (LCCS^۵) یک پوشش اراضی اولیه در سه سطح ارائه می‌دهد که از سطح اول (شامل ۱۲ کلاس) تا سطح سوم (با ۲۳ کلاس پوشش سطح)، به ترتیب تقسیم‌بندی پوشش‌ها با جزئیات بیشتر طبقه‌بندی شده‌اند. این طرح طبقه‌بندی پیوسته ممکن است مناطقی از پوشش ناهمگن زمین را بهتر از طرح طبقه‌بندی استاندارد به تصویر بکشد و به این ترتیب می‌تواند برای استفاده در برنامه‌هایی نظیر پایش جنگل‌ها، نظارت بر محصولات زراعی، کنترل سلامت و محیط‌زیست در آفریقا، مدلسازی اقلیمی و غیره متناسب باشد. در این مطالعه از نسخه دوم نقشه پوشش اراضی (CGLS V2.0) در سطح یک طبقه‌بندی (شامل ۱۲ کلاس) استفاده شده است که از صحت کلی ۸۰ درصد برخوردار است (Smets et al., 2019).

محصول پوشش اراضی جهانی^۶ CCI

پروژه پوشش اراضی آژانس فضایی آمریکا (CCI-LC)، سه نقشه از پوشش اراضی جهانی (GLC) برای سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۵ و ۲۰۱۰ با قدرت تفکیک مکانی ۳۰۰ متر ارائه داده است. طبقه‌بندی آنها ترکیبی از طبقه‌بندی نظارت شده و بدون نظارت از سری زمانی‌های با قدرت تفکیک مکانی کامل MERIS است که در ترکیب‌های هفت روزه برای تهیه نقشه‌های پایه پوشش اراضی (از سال ۲۰۰۳ تا سال ۲۰۱۰) پیش پردازش

نقاط کنترل زمینی و نقشه پوشش و کاربری اراضی مرجع

در راستای اقدامات صورت گرفته برای احیای دریاچه ارومیه و به منظور تدقیق نقشه‌های کاربری اراضی حوضه آبریز دریاچه ارومیه (با تمرکز بر کاربری‌های کشاورزی) جهت استفاده در محاسبات بیلان و حسابداری آب، طرح بروز رسانی نقشه پوشش اراضی حوضه آبریز دریاچه ارومیه در سال ۲۰۱۵ (LU 2015) توسط پژوهشکده مهندسی آب دانشگاه تربیت مدرس و با همکاری سازمان خوار و بار ملل متحد انجام گردید (شکل ۱). در این پروژه با استفاده از تصاویر Landsat 8-OLI و همچنین بکارگیری الگوریتم طبقه‌بندی سلسله مراتبی چند زمانی مبتنی بر روش تجزیه و تحلیل تصویر مبتنی بر شی^۱ OBIA نقشه کاربری اراضی حوضه آبریز دریاچه ارومیه با قدرت تفکیک مکانی ۳۰×۳۰ متر مربع تهیه شده است. در این مطالعه برای ارزیابی و اعتبارسنجی نقشه پوشش و کاربری اراضی جمعاً از ۲۳۵۱ نقطه کنترل حاصل از داده‌های زمینی و تصاویر ماهواره‌ای با رزولوشن بالا شده استفاده شده است. صحت کلی و ضریب کاپای نقشه استخراج شده به ترتیب معادل ۸۸ و ۸۶ درصد بوده است. همچنین برای کلاس‌هایی که از نظر تفکیک طیفی مناسب‌تر بودند، صحت بالای ۹۰ درصد حاصل شده است (WERI, 2018).

محصول پوشش اراضی جهانی^۲ MODIS

محصول پوشش اراضی MODIS توسط دانشگاه بوستون آمریکا توسعه یافته است و توسط تیم سطح MODIS از اداره کل ملی هوانوردی و فضا (NASA) ارائه و پشتیبانی شده است. اولین نسخه در سال ۲۰۰۱ در دسترس قرار گرفت. محصول پوشش اراضی MODIS با استفاده از یک الگوریتم طبقه‌بندی نظارت شده جامع بر اساس درخت تصمیم‌گیری چند زمانه در رابطه با یک تکنیک تقویت بر پایه اطلاعات مکانی و زمانی از باندهای ۱ تا ۷ MODIS تولید شده است، که توسط شاخص پوشش گیاهی و دمای سطح زمین تکمیل شده است. این محصول شامل پنج الگوی طبقه‌بندی می‌باشد و صحت کلی این محصول به ۷۱/۶ درصد رسیده است (Pérez-Hoyos et al., 2017). در این مطالعه از محصول پوشش اراضی MODIS با طبقه‌بندی IGBP^۳ شامل

4 Copernicus Global Land Service
5 Land Cover Classification System
6 Climate Change Initiative

1 Object-Based Image Analysis
2 Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
3 International Geosphere-Biosphere Programme

نزدیکترین همسایگی، نقشه مرجع براساس قدرت تفکیک مکانی محصولات پوشش اراضی جهانی باز نگاشت^۱ شدند.

معادل‌سازی و ادغام طبقه‌بندی محصولات پوشش سطح

یکی از چالش‌های اصلی در مقایسه محصولات پوشش اراضی جهانی، معادل‌سازی و ادغام کلاس‌های پوشش اراضی آنها می‌باشد. چرا که هر محصول دارای روش طبقه‌بندی مجزا و نیز تعداد کلاس‌های مختلفی می‌باشد. دو محصول CGLS LC و CCI LC بر اساس سیستم طبقه‌بندی UN LCCS^۲ و به ترتیب در ۲۲ و ۳۶ کلاس طبقه‌بندی شده‌اند و محصول MCD12Q1 LC در ۱۷ کلاس و بر مبنای روش IGBP طبقه‌بندی شده است. در این مطالعه مبنای طبقه‌بندی جدید بر پایه ۷ کلاس مشخص شامل مراتع، اراضی کشاورزی، تالاب، پهنه‌های آبی، اراضی ساخته شده، زمین بایر و برف/یخ منطبق با نقشه پوشش و کاربری اراضی مرجع صورت گرفت. از آنجا که حوضه آبریز دریاچه ارومیه فاقد کلاس برف/یخ می‌باشد، مساحت‌های مربوط به این کلاس پوشش اراضی با زمین بایر تلفیق شد و در نهایت ارزیابی عملکرد محصولات LC بر اساس شش کلاس صورت گرفت. بدین صورت که بر اساس تعریف مشخص کلاس‌های مذکور و همچنین بر مبنای مطالعات پیشین (Hua et al., 2018)، ادغام کلاس‌های محصولات پوشش اراضی جهانی و نقشه مرجع LU 2015 در طبقه‌بندی جدید انجام شد (جدول ۲).

شده است. روش‌های بروز رسانی بر اساس سری‌های زمانی SPOT-VGT برای دستیابی به سه دوره مختلف لحاظ شده‌اند. همچنین ESA مجموعه داده‌های سطح زمین را با استفاده از مجموعه‌ای از ۲۴ مجموعه داده‌های سالانه (از سال ۱۹۹۲ تا سال ۲۰۱۵) توسعه داده است. این نقشه‌ها از یک پایه بی نظیر از MERIS (۲۰۰۳-۲۰۱۲) گرفته شده است. روش‌های به‌روز رسانی و پیش تاریخ‌ها بر اساس سری‌های زمانی ۳۰۰ متر PROBA-V (۲۰۱۳-۲۰۱۵)، یک کیلومتر SPOT-VGT (۱۹۹۹-۲۰۱۲) و یک کیلومتر AVHRR (۱۹۹۲-۲۰۱۵) اعمال شده‌اند. در این مطالعه نقشه پوشش اراضی سال ۲۰۱۵ (LC-CCI 2015) با قدرت تفکیک مکانی ۳۰۰ متر شامل ۲۲ کلاس ارزیابی شده است (Pérez-Hoyos et al., 2017).

پردازش داده‌ها

بعد از استخراج محصولات پوشش اراضی زمین (جدول ۱)، باید پیش‌پردازش‌هایی برای فراهم ساختن شرایط مقایسه محصولات صورت گیرد. بنابراین سیستم مختصات مجموعه داده‌های پوشش اراضی زمین بعد از استخراج به سیستم مختصات WGS84/UTM تبدیل شده و محدوده داخل مرز حوضه آبریز دریاچه ارومیه استخراج شد. همچنین برای مقایسه محصولات پوشش اراضی و امکان محاسبه معیارهای ارزیابی و مقایسه نقشه‌ها لازم است که قدرت تفکیک مکانی نقشه‌های پوشش اراضی و نقشه پوشش و کاربری اراضی مرجع برابر باشد، در همین رابطه با استفاده از روش

جدول ۲- روش معادل‌سازی و ادغام طبقه‌بندی محصولات پوشش اراضی جهانی مورد بررسی با نقشه مرجع (اعداد نشان داده شده کدهای مربوط به کلاس‌های پوشش سطح است که باهم تلفیق شده و در یک کلاس قرار گرفته‌اند)

کد	کلاس هدف	CCI LC	CGLS LC	MCD12Q1 LC	LU 2015
۱	مرتع	۱۱/۱۲/۴۰/۵۰/۶۰/۶۱/۶۲ ۱۷۰/۷۱/۷۲/۸۰/۸۱/ ۸۲/۹۰/۱۰۰/۱۱۰/۱۲۰/۱۲۱/۱۲۲/ ۱۳۰/۱۴۰/۱۶۰/۱۷۰	۱۱/۲۰/۳۰/۱۰۰/۱۱۲/۱۱۳/۱۱۴ /۱۱۵/۱۱۶/۱۲۱/۱۲۲ /۱۲۳/۱۲۴/۱۲۵/۱۲۶	۱/۲/۳/۴/۵/۶/۷/۸/۹/۱۰	۵/۷
۲	اراضی کشاورزی	۱۰/۲۰/۳۰	۴۰	۱۲/۱۴	۲/۳/۴
۳	تالاب	۱۸۰	۹۰	۱۱	-
۴	پهنه آبی	۲۱۰	۸۰	۱۷	۸/۹/۱۰/۱۱
۵	اراضی ساخته شده	۱۹۰	۵۰	۱۳	۱۲
۶	زمین بایر	۱۵۰/۱۵۲/۱۵۳/۲۰۰/۲۰۱/۲۰۲	۶۰	۱۶	۶/۱۳
۷	برف/یخ	۲۲۰	۷۰	۱۵	-

شرح زیر در نظر گرفته شده است:

عملکرد مساحت

یکی از معیارهای ارزیابی نقشه‌های پوشش سطح، نزدیک بودن

ارزیابی عملکرد

منظور از عملکرد، بررسی تشابه ویژگی‌های نتایج طبقه‌بندی محصولات پوشش اراضی زمین با نقشه پوشش و کاربری اراضی مرجع سال ۲۰۱۵ می‌باشد. در این مطالعه سه معیار ارزیابی به

رابطه (۳) محاسبه می‌شود (Song et al., 2012).

$$O = \left(\frac{A}{A+B+C} \right) * 100\% \quad (\text{رابطه ۳})$$

که O ضریب تشابه مکانی و A، B و C به ترتیب تعداد کل پیکسل‌های سه نوع داده طبقه‌بندی شده براساس (کلاس پوشش و کاربری مرجع/ کلاس نقشه پوشش اراضی) می‌باشند: "اراضی کشاورزی/ اراضی کشاورزی"، "اراضی کشاورزی/ اراضی غیر کشاورزی"، "اراضی غیر کشاورزی/ اراضی کشاورزی" در واقع صورت کسر تعداد پیکسل‌های با کاربری اراضی کشاورزی است که موقعیت آنها عیناً مشابه کاربری مرجع می‌باشد و مخرج کسر مجموع تعداد پیکسل‌های با کاربری اراضی کشاورزی است که در نقشه پوشش اراضی و نقشه پوشش و کاربری اراضی مرجع شناسایی شده‌اند؛ اعم از اینکه موقعیت آنها با یکدیگر منطبق باشد یا خیر. از این رو، ضریب تشابه مکانی بین ۰ تا ۱ متغیر است و هر چه به ۱۰۰ درصد نزدیک‌تر باشد حاکی از عملکرد بهتر مدل پوشش اراضی در برآورد موقعیت کاربری هدف است.

ارزیابی صحت طبقه‌بندی

برای ارزیابی عملکرد طبقه‌بندی شاخص‌های مختلفی از قبیل صحت کلی، خطاهای حذف یا کم برآورد^۵، خطاهای بیش برآورد^۶، صحت کاربر^۷، صحت تولید کننده^۸ و ضریب کاپا استفاده می‌شوند و برای محاسبه این معیارها، اولین قدم ایجاد ماتریس خطا می‌باشد.

معیارهای مورد استفاده در این مطالعه برای ارزیابی صحت نقشه‌های پوشش اراضی جهانی نسبت به پوشش و کاربری اراضی مرجع، شامل صحت تولید کننده (PA_i)، صحت کاربر (UA_i) و صحت کلی (OA) در ماتریس خطا می‌باشند (روابط ۴ تا ۶). صحت کلی^۷ معیار ساده‌ایی است که مشخص می‌کند که پوشش اراضی چه بخشی از کل پیکسل‌ها منطبق با کلاس‌های معادل در پوشش و کاربری اراضی مرجع نگاشت شده‌است، اگرچه این تنها اطلاعات صحت پایه طبقه‌بندی محصول (یعنی میانگین) را مشخص می‌کند و جزئیاتی در رابطه با صحت انواع کاربری به صورت جداگانه ارائه نمی‌دهد. بنابراین برای ارزیابی عملکرد صحت طبقه‌بندی کاربری‌های مختلف به صورت مستقل در محصولات پوشش سطح، دو معیار صحت تولید کننده و صحت کاربر باید اندازه‌گیری شوند (Stehman, 1997).

صحت تولید کننده (PA_i) در یک کلاس مشخص برابر

مجموع مساحت کاربری هدف (زمین‌های کشاورزی) در مقایسه با نقشه پوشش و کاربری اراضی مرجع می‌باشد. به این منظور از ضریب همبستگی پیرسون (r^۱) و درصد ناسازگاری (PD^۲) استفاده شد (رابطه ۱ و ۲). به طور کلی، r نشان دهنده درجه همبستگی کلی است، که بین مقادیر ۱- و ۱+ متغیر می‌باشد و هر چه به سمت یک یا منفی یک نزدیک شود بهتر است، البته در وجه مثبت یا منفی. همچنین PD نشان دهنده نسبت اختلاف در یک کلاس بین داده‌های مدل و مرجع (درجه ناسازگاری بین دو مجموعه داده) می‌باشد. بنابراین هر چه مقدار |PD| کوچکتر باشد، نتایج به هم نزدیکتر و همخوانی بهتری دارند (Liang et al., 2015).

$$r = \frac{\sum_{k=1}^n (A_k - \bar{A})(Ar_k - \bar{Ar})}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (A_k - \bar{A})^2 \sum_{k=1}^n (Ar_k - \bar{Ar})^2}} \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$* 100\%$$

$$PD_k = \frac{(A_k - Ar_k)}{(A_k + Ar_k)} * 100\% \quad (\text{رابطه ۲})$$

در روابط فوق، n تعداد کلاس‌ها؛ A_k و Ar_k به ترتیب مساحت کل کلاس نوع k در محصول پوشش اراضی مورد بررسی و نقشه پوشش و کاربری اراضی مرجع می‌باشند. \bar{A} و \bar{Ar} به ترتیب میانگین مساحت کل کلاس‌های پوشش اراضی در محصول مورد بررسی و مرجع می‌باشند.

عملکرد مکانی

در ارزیابی عملکرد مکانی به منظور بررسی صحت موقعیت‌های مکانی کلاس‌های کاربری، مقایسه پیکسل به پیکسل صورت می‌گیرد. در این مطالعه، ارزیابی صحت مکانی صرفاً برای کاربری هدف یعنی "اراضی کشاورزی" انجام شده است. به این منظور، ابتدا مجموعه داده‌های طبقه‌بندی شده با استفاده از یک روش پردازش دو تایی به دو کلاس "اراضی کشاورزی" و "اراضی غیر کشاورزی" طبقه‌بندی می‌شوند و سپس هر کدام از محصولات پوشش اراضی با نقشه مرجع همپوشانی داده می‌شوند. به دنبال این فرآیند چهار نوع جدید کلاس براساس (کلاس پوشش و کاربری مرجع/ کلاس نقشه پوشش اراضی) شامل "اراضی کشاورزی / اراضی کشاورزی"، "اراضی کشاورزی / اراضی غیر کشاورزی"، "اراضی غیر کشاورزی / اراضی کشاورزی" و "اراضی غیر کشاورزی / اراضی غیر کشاورزی" به دست می‌آید. سپس تشابه مکانی کاربری هدف با استفاده از ضریب تشابه مکانی مطابق

5 User's accuracy
6 Producer's accuracy
7 Overall Accuracy

1 Pearson's correlation coefficient
2 Percentage Disagreement
3 Errors of omission
4 Errors of commission

P_{ii} : تعداد پیکسل‌هایی که به درستی طبقه‌بندی شده‌اند،
 P : تعداد کل پیکسل‌ها در نقشه پوشش و کاربری مرجع،
 P_{i+} : تعداد پیکسل‌های کلاس i در نتایج طبقه‌بندی محصولات پوشش اراضی جهانی در سطر i از ماتریس خطا،
 P_{+i} : تعداد پیکسل‌های کلاس i در طبقه‌بندی نقشه مرجع در ستون i از ماتریس خطا،
 N : تعداد کل پیکسل‌های استفاده شده برای ارزیابی صحت

نتایج و بحث

ارزیابی صحت و عملکرد مساحت

مساحت پوشش سطح‌های مختلف حوضه آبریز دریاچه ارومیه در سه محصول پوشش اراضی جهانی و نقشه پوشش و کاربری اراضی مرجع در (شکل ۳) ارائه شده است. بر اساس نقشه مرجع، پوشش اراضی غالب حوضه آبریز دریاچه ارومیه مراتع و اراضی کشاورزی می‌باشد که به ترتیب ۶۳٪ و ۲۳٪ سطح حوضه آبریز دریاچه ارومیه را شامل می‌شوند. محصولات پوشش اراضی جهانی مورد استفاده در این مطالعه الگوی پوشش‌های سطح غالب در حوضه را مشابه نقشه پوشش و کاربری مرجع نشان می‌دهند که مراتع، زمین‌های کشاورزی، نواحی بایر به ترتیب بیشترین پوشش را دارند و تالاب‌ها از کمترین مساحت برخوردارند.

همچنین محصول CGLS LC میان محصولات پوشش اراضی جهانی دارای بیشترین همبستگی ($r=98\%$) با نقشه پوشش و کاربری اراضی مرجع از لحاظ مساحت پوشش‌های مختلف سطح می‌باشد و پس از آن برای محصولات MCD12Q1 LC و CCI LC قرار می‌گیرند (جدول ۳). مقادیر r برای دو محصول MCD12Q1 و CGLS در حوضه آبریز دریاچه ارومیه بیشتر از ۹۷٪ می‌باشند، بنابراین به طور کلی عملکرد MCD12Q1 و CGLS در برآورد سطح بسیار خوب است. مقادیر کمتر شاخص r برای محصول CCI LC، نشان می‌دهد اختلاف مساحت کلاس‌های پوشش اراضی این محصول نسبت به محصول مرجع به ویژه در سه کلاس غالب مراتع، اراضی کشاورزی و زمین‌های بایر از دیگر محصولات پوشش اراضی مورد بررسی بیشتر است (شکل ۳).

است با نسبت تعداد پیکسل‌های درست طبقه‌بندی شده به تعداد کل پیکسل‌های همان کلاس در نقشه پوشش و کاربری مرجع (مجموع پیکسل‌های هر ستون در ماتریس خطا) می‌باشد. به عبارت دیگر خطای برآورد کلاس‌ها نسبت به واقعیت زمینی به عنوان کلاس اشتباه را بیان می‌کند. بنابراین این معیار مکمل خطای حذف می‌باشد. این معیار بین مقادیر ۰ و ۱ متغیر می‌باشد و هر چه به ۱۰۰ درصد نزدیکتر باشد بیانگر عملکرد بهتر مدل پوشش اراضی در طبقه‌بندی کلاس مورد نظر است (Stehman, 1997).

به همین ترتیب، صحت کاربر (UA_i) در یک کلاس مشخص برابر است با نسبت تعداد پیکسل‌های درست طبقه‌بندی شده به تعداد کل پیکسل‌های همان کلاس در نقشه کاربری هدف (مجموع پیکسل‌های هر سطر در ماتریس خطا) می‌باشد. به عبارت دیگر خطای برآورد اشتباه به عنوان کلاس مطلوب را بیان می‌کند و مکمل خطای پیش برآورد می‌باشد. محدوده تغییرات این معیار بین مقادیر ۰ و ۱ می‌باشد و در یک کلاس مشخص هر چه به ۱۰۰ درصد نزدیکتر باشد، نشان می‌دهد که خطای برآورد اشتباه دیگر کلاس‌ها بجای کلاس مورد نظر کمتر است (Stehman, 1997).

ضریب کاپا^۱ (رابطه ۷) صحت طبقه‌بندی را نسبت به یک طبقه‌بندی کاملاً تصادفی محاسبه می‌کند به این معنی که مقدار کاپا صحت طبقه‌بندی را نسبت به حالتی که یک تصویر به صورت تصادفی طبقه‌بندی شود به دست می‌دهد. برای نمونه یک کاپا معادل ۷۵ درصد یعنی اینکه نتایج طبقه‌بندی ۷۵ درصد بهتر از موقعی است که پیکسل‌ها به طور تصادفی برچسب‌دهی شوند (Stehman, 1997).

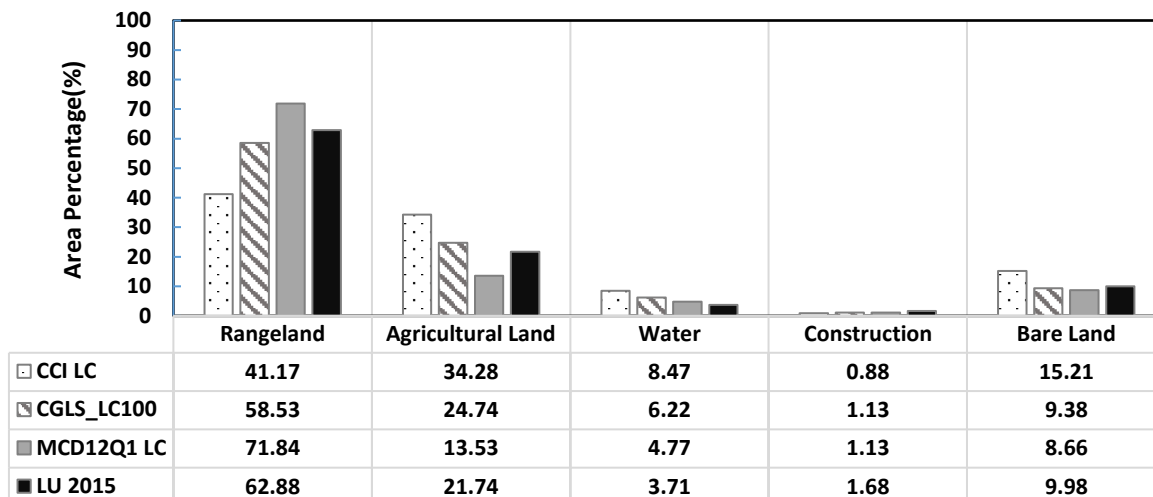
$$PA_i = \frac{P_{ii}}{P_{+i}} \quad (\text{رابطه ۴})$$

$$UA_i = \frac{P_{ii}}{P_{i+}} \quad (\text{رابطه ۵})$$

$$OA = \sum_{i=1}^n \frac{P_{ii}}{P} \quad (\text{رابطه ۶})$$

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r P_{ii} - \sum_{i=1}^r (P_{i+} P_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (P_{i+} P_{+i})} \quad (\text{رابطه ۷})$$

که:



شکل ۳- مقایسه درصد مساحت کلاس‌های مختلف در محصولات پوشش اراضی جهانی مورد بررسی و نقشه پوشش و کاربری اراضی مرجع در حوضه آبریز دریاچه ارومیه

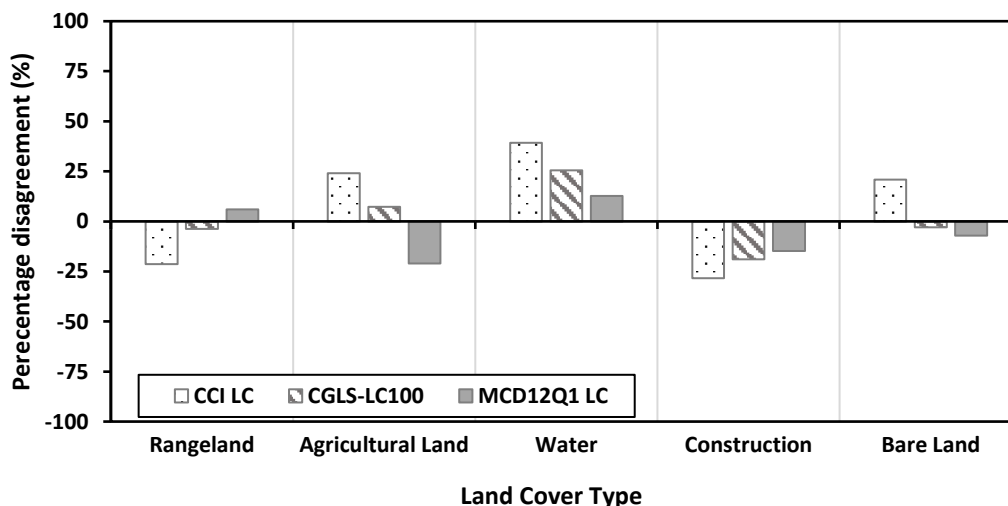
جدول ۳- مقایسه مقادیر ضریب همبستگی (r) بین مساحت کلاس‌های محصولات پوشش اراضی و نقشه مرجع LU 2015

محصول پوشش اراضی جهانی	CCI LC	CGLS-LC100	MCD12Q1 LC	r (%)
	۸۷/۳۳	۹۸/۴۲	۹۷/۸۶	(/.) r

کلاس‌های مذکور می‌باشد. همچنین در سه کلاس تالاب، پهنه آبی و اراضی ساخته شده که مساحت‌های کمی را در کل حوضه اشغال می‌کنند بیشترین درصد ناسازگاری در همه محصولات دیده می‌شود. با این وجود محصول پوشش اراضی MCD12Q1 LC مقادیر PD کمتری را در کلاس‌های آب و اراضی ساخته شده نشان می‌دهد.

بنابراین به طور کلی بر اساس مقادیر دو شاخص r و PD، به ترتیب محصولات CGLS LC، MCD12Q1 LC و CCI LC در حوضه آبریز دریاچه ارومیه عملکرد بهتری از جهت مشابهت سطح کلاس‌ها با نقشه پوشش و کاربری مرجع دارند.

همچنین می‌توان از PD برای بررسی درجه همبستگی محصولات پوشش اراضی استفاده کرد که ترکیب دو فاکتور r و PD ارزیابی ثبات یا عملکرد را با جزئیات بیشتری ارائه می‌دهند. مقایسه درصد ناسازگاری برای سه محصول پوشش اراضی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه برای کلاس‌های مختلف در شکل (۴) ارائه شده است. به طور کلی محصول CCI LC با بیشترین مقدار درجه ناسازگاری (PD) برای تمامی کلاس‌ها بدترین عملکرد را بین محصولات مورد بررسی داشته است. همانطور که ملاحظه می‌شود در کلاس‌های غالب شامل مرتع، اراضی کشاورزی و زمین بایر مقدار PD محصول CGLS LC نسبت به دیگر محصولات کمتر است که نشان دهنده عملکرد بهتر آن محصول در



شکل ۴- مقایسه درصد عدم سازگاری (PD) محصولات پوشش اراضی با نقشه پوشش و کاربری اراضی مرجع

تحلیل عملکرد مکانی

مقایسه با نقشه مرجع اختلاف زیادی دارد و ضریب مشابهت کمتر از ۵۰ درصد است. همچنین عملکرد مکانی محصول CGLS LC نسبت به دو محصول دیگر یعنی CCI LC و MCD12Q1 LC بهتر است.

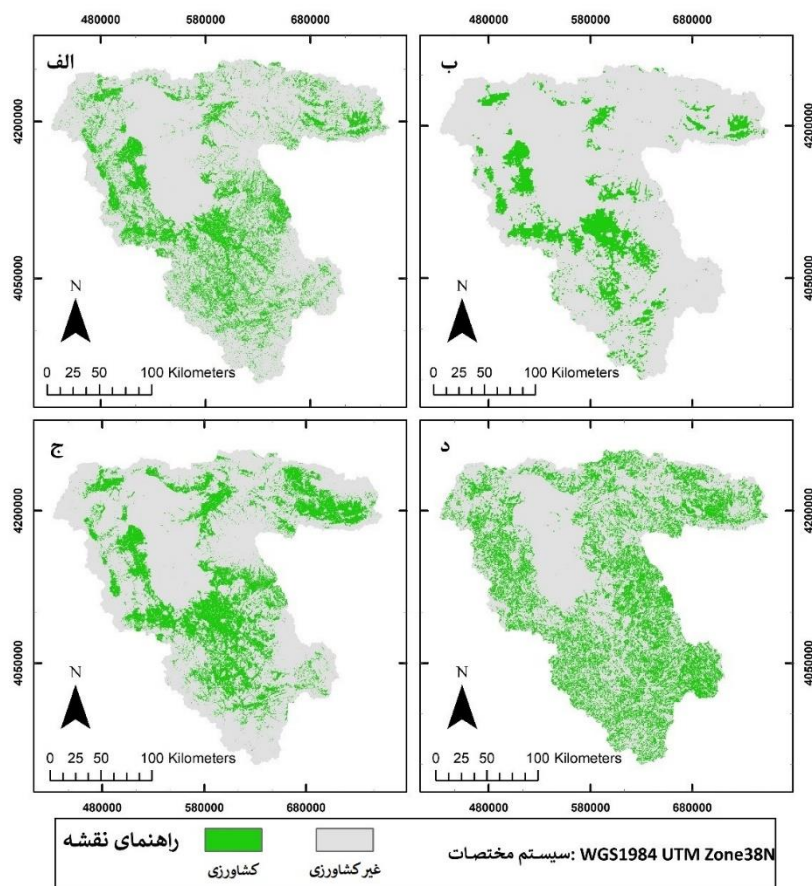
در این مطالعه عملکرد مکانی دو نوع کاربری "اراضی کشاورزی" و "مراتع" بررسی شده است. بر اساس نتایج بدست آمده، توزیع مکانی نوع کاربری اراضی کشاورزی در محصولات مورد بررسی در

جدول ۴- شباهت مکانی محصولات پوشش اراضی جهانی برای کاربری اراضی کشاورزی و مراتع در حوضه آبریز دریاچه ارومیه

تشابه مکانی (%)		محصول پوشش اراضی جهانی
اراضی کشاورزی	مراتع	
۱۷	۳۸	CCI LC
۴۷	۷۳	CGLS-LC100
۳۸	۷۶	MCD12Q1 LC

بهتری نسبت به دیگر محصولات ارائه می‌دهد. همچنین در بین محصولات پوشش سطح، محصول CCI LC دارای بیشترین پوشش اراضی کشاورزی می‌باشد، که همین پراکندگی زیاد منجر به عملکرد ضعیف مکانی آن در مقایسه با نقشه مرجع شده است.

شکل (۵) عملکرد مکانی نوع پوشش اراضی کشاورزی در محصولات پوشش اراضی جهانی مورد بررسی و نقشه مرجع را نشان می‌دهد. بررسی بصری توزیع پوشش اراضی کلاس اراضی کشاورزی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه نشان می‌دهد که محصول MCD12Q1 LC پوشش اراضی کشاورزی را با تفکیک



شکل ۵- مقایسه اراضی کشاورزی مربوط به محصولات پوشش اراضی جهانی مورد بررسی و نقشه مرجع (الف) پوشش و کاربری اراضی مرجع 2015 LU (ب) MCD12Q1 LC (ج) CGLS LC (د) CCI LC

کشاورزی در محصول CGLS LC در مقایسه با دیگر محصولات پوشش اراضی جهانی است. همچنین با توجه به نحوه توزیع

مقایسه محصولات پوشش اراضی جهانی با نقشه مرجع LU 2015 بیانگر توزیع مکانی بهتر پوشش اراضی کلاس اراضی

پوشش اراضی کشاورزی در محصول پوشش اراضی CCI LC، مساحت اراضی کشاورزی را بسیار دست بالا برآورد می‌کند و بیشتر درصد خطای آن مربوط به بخش شرقی و جنوبی حوضه آبریز دریاچه ارومیه می‌باشد. پراکندگی اراضی کشاورزی در محصول MCD12Q1 LC در مقایسه با نقشه مرجع نشان دهنده دست پایین برآورد کردن اراضی کشاورزی می‌باشد به نحوی که زمین‌های زراعی پراکنده با مساحت‌های کوچک را در نظر نمی‌گیرد. اما در عوض مناطق همگن و وسیع با کاربری کشاورزی نظیر باغات غرب دریاچه ارومیه، باغات و زمین‌های زراعی دشت میاندوآب در جنوب دریاچه را به خوبی می‌تواند نشان دهد. به عبارت دیگر دو محصول پوشش اراضی MCD12Q1 LC و CGLS LC به ترتیب از نظر مساحت محدوده‌های کشاورزی را نزدیک به نقشه پوشش و کاربری مرجع برآورد می‌کنند (شکل ۳). اما محصول پوشش اراضی MCD12Q1 LC و CGLS LC به ترتیب حد پایین و بالای محدوده‌های کشاورزی را در قیاس با پوشش و کاربری مرجع نشان می‌دهند.

در همین راستا نتایج ارزیابی عملکرد مکانی پوشش اراضی مراتع در حوضه آبریز دریاچه ارومیه نشان داد که تشابه مکانی در دو محصول MCD12Q1 LC و CGLS LC حدود ۷۵ درصد بوده که این مقدار برای محصول CCI LC کمتر از ۴۰ درصد می‌باشد. بررسی بصری توزیع مکانی پوشش اراضی مراتع در مقایسه با نقشه پوشش و کاربری مرجع همانند پوشش اراضی کشاورزی بیانگر پراکندگی بیش از حد کلاس مراتع در محصول CCI LC می‌باشد. همچنین این محصول نواحی مرتع را نسبت به نقشه مرجع دست پایین برآورد کرده است، که همین موارد دلیل عملکرد ضعیف مکانی این محصول می‌باشند. اما دو محصول MCD12Q1 LC و CGLS LC مساحت محدوده‌های مراتع را نزدیک به نقشه پوشش و کاربری مرجع برآورد می‌کنند، با این تفاوت که به ترتیب حد بالا و حد پایین کلاس مراتع در مقایسه با نقشه پوشش و کاربری مرجع LU 2015 نشان می‌دهند. به عبارت دیگر، این اختلاف مربوط به برآورد بیشتر پوشش اراضی مرتع محصول MCD12Q1 LC در نواحی جنوبی دریاچه و همچنین بخش بال شمالی واقع در سمت راست حوضه آبریز نسبت به محصول CGLS LC است. بنابراین به طور کلی محصول MCD12Q1 LC از لحاظ تشابه و توزیع مکانی پوشش مراتع در قیاس با نقشه پوشش و کاربری مرجع LU 2015 بهترین عملکرد را بین محصولات مورد بررسی داشت.

مقایسه صحت طبقه‌بندی

نتایج بررسی صحت طبقه‌بندی محصولات پوشش اراضی جهانی

بر مبنای نقشه پوشش و کاربری مرجع (LU 2015) و نیز نقاط کنترل زمینی به ترتیب در (جدول ۵) و (جدول ۶) ارائه شده است و تحلیل و بررسی نتایج بر اساس مقایسه با نقاط کنترل زمینی صورت گرفته است. همانطور که در (جدول ۶) ارائه شده است، از نظر صحت کلی (OA) به ترتیب محصولات پوشش اراضی جهانی CGLS LC، MCD12Q1 LC و CCI LC بهترین عملکرد را دارند و دو محصول MCD12Q1 LC و CGLS LC بر اساس صحت کلی دارای عملکرد مناسب و تقریباً یکسانی می‌باشند. اما محصول MCD12Q1 LC با وجود قدرت تفکیک مکانی کمتر (۵۰۰ متر) نسبت به محصول CCI LC با قدرت تفکیک مکانی ۳۰۰ متر، صحت بیشتری دارد. مقدار ضریب کاپا برای دو محصول MCD12Q1 LC و CGLS LC بیان می‌کند که صحت طبقه‌بندی نسبت به حالت طبقه‌بندی کاملاً تصادفی به ترتیب حدود ۵۰ و ۷۰ درصد بهتر است. این مقدار برای محصول CCI LC خیلی کمتر یعنی ۱۱ درصد می‌باشد. به عبارت دیگر از نظر معیارهای صحت کلی و ضریب کاپا که برآوردهای بدبینانه و خوشبینانه از خطا هستند، دو محصول MCD12Q1 LC و CGLS LC در محدوده خطای حدود ۵۰ تا ۸۵ درصد نسبت به نقاط کنترل زمینی عمل می‌کنند.

بررسی صحت طبقه‌بندی کلاس‌های مختلف محصولات پوشش اراضی جهانی بر مبنای نقاط کنترل زمینی (جدول ۶) نشان می‌دهد که بیشترین صحت طبقه‌بندی مربوط به کلاس نواحی تحت ساخت و ساز می‌باشد، که مقادیر صحت تولید کننده آن بیشتر از ۸۰٪ می‌باشد، به این معنی که کمتر از ۲۰ درصد نواحی تحت ساخت و ساز در طبقه‌بندی در محصولات پوشش اراضی به اشتباه جزو سایر کلاس‌ها در نظر گرفته شده‌اند. همچنین کمترین صحت طبقه‌بندی دو محصول MCD12Q1 LC، CGLS LC به ترتیب مربوط به پهنه‌های آبی و زمین‌های بایر و در محصول CCI LC مربوط به کلاس اراضی کشاورزی می‌باشد.

محصول MCD12Q1 LC بیشترین صحت را در برآورد مراتع دارد و کمتر از ۲۰ درصد مراتع را به اشتباه جزو سایر کلاس‌ها طبقه‌بندی می‌کند و ۷۰ درصد از نواحی که جزو مراتع طبقه‌بندی شده، در واقعیت سایر انواع پوشش را دارند. در مقابل محصول CCI LC کمترین صحت را در برآورد مراتع دارد چرا که بیش از ۶۰ درصد مراتع را به اشتباه جزو سایر کلاس‌ها طبقه‌بندی کرده و همچنین بیش از ۹۰ درصد نواحی که جزو مراتع طبقه‌بندی شده، در واقعیت پوشش‌های دیگری دارند.

در ارتباط با طبقه‌بندی پوشش اراضی کشاورزی به عنوان یکی از پوشش‌های غالب حوضه آبریز دریاچه ارومیه، محصول

همچنین در این مطالعه محصول MODIS LC با صحت کلی ۷۳ درصد برای پایش اراضی کشاورزی در قاره آسیا عملکرد قابل قبولی داشته است که در محدوده صحت‌های بدست آمده در مطالعه حاضر است. علاوه بر این، محصول MODIS LC با صحت کلی ۲۹/۵ درصد در نواحی شمالگان عملکرد ضعیفی داشته است (Liang *et al.*, 2019)، در حالیکه این محصول در حوضه آبریز دریاچه ارومیه با صحت کلی ۷۴ درصد عملکرد قابل قبولی داشته است. بنابراین می‌توان گفت که عملکرد محصولات پوشش اراضی جهانی امکان دارد متناسب با مقیاس و محدوده مورد مطالعه متفاوت باشد و این امر لزوم بررسی ارزیابی عملکرد محصولات پوشش اراضی جهانی را در مقیاس‌های محلی نشان می‌دهد.

CGLS LC با صحت تولید کننده ۸۹ درصد بهترین عملکرد را بین محصولات پوشش اراضی دارد. به عبارت دیگر این محصول در حدود ۱۰ درصد اراضی کشاورزی را جزو سایر کلاس‌ها طبقه‌بندی کرده است. در مقابل، دو محصول CCI LC و MCD12Q1 LC عملکرد ضعیف‌تری در پایش اراضی کشاورزی داشته‌اند و به ترتیب ۷۱ و ۲۶ درصد اراضی کشاورزی را به اشتباه جزو سایر کلاس‌ها طبقه‌بندی کرده‌اند. نتایج مطالعه (Pérez-Hoyos *et al.*, 2017) نیز عملکرد ضعیف محصول CCI LC در پایش اراضی کشاورزی را تایید می‌کند، اگرچه در این مطالعه گزارش شده که عملکرد نسخه جدید این محصول یعنی CCI LC-2015 نسبت به نسخه CCI LC-2010 برای پایش اراضی زراعی بهبود یافته است.

جدول ۵- مقایسه صحت طبقه‌بندی محصولات پوشش اراضی جهانی در قیاس با نقشه پوشش و کاربری مرجع (LU 2015) در منطقه حوضه آبریز دریاچه ارومیه

CCI LC		CGLS-LC100		MCD12Q1 LC		Land Cover Type (%)
UA _i	PA _i	UA _i	PA _i	UA _i	PA _i	
۶۶	۴۳	۸۷	۸۱	۸۱	۹۲	Rangeland
۲۴	۳۸	۶۰	۶۹	۷۱	۴۵	Agricultural Land
۴۳	۹۸	۵۴	۹۱	۷۳	۹۴	Water
۸۳	۴۴	۷۹	۵۵	۵۰	۳۵	Construction
۲۷	۴۱	۶۸	۶۵	۸۴	۷۳	Bare Land
۴۴/۰۱		۷۶/۶۷		۷۹/۰۲		Overall Accuracy (%)
۱۳/۷۴		۵۹/۰۱		۵۹		Kappa coefficient (%)

جدول ۶- مقایسه صحت طبقه‌بندی محصولات پوشش اراضی جهانی در قیاس با نقاط کنترل زمینی در منطقه حوضه آبریز دریاچه ارومیه

CCI LC		CGLS-LC100		MCD12Q1 LC		Land Cover Type (%)
UA _i	PA _i	UA _i	PA _i	UA _i	PA _i	
۷	۳۷	۵۰	۷۸	۳۰	۸۱	Rangeland
۷۷	۲۹	۹۵	۸۹	۹۵	۷۴	Agricultural Land
۶۰	۷۷	۸۰	۷۷	۱۰۰	۴۶	Water
۹۵	۹۳	۸۹	۹۴	۸۲	۸۰	Construction
۳۴	۳۵	۸۱	۶۲	۷۵	۵۹	Bare Land
۳۶		۸۶		۷۴		Overall Accuracy (%)
۱۱		۷۰		۵۰		Kappa coefficient (%)

صحت بهتری در این رابطه بین سه محصول مذکور دارد. زیرا اولاً نسبت به دو محصول دیگر، نواحی کمتری (۷ درصد) را به اشتباهی جزو سایر کلاس‌ها طبقه‌بندی کرده است. ثانیاً نواحی شهری (پوشش طبقه‌بندی شده نوع ساخت و ساز) کمتری (در حدود ۵ درصد) نیز در واقعیت کلاس‌های دیگری را شامل می‌شوند. در نهایت محصول CGLS LC با صحت طبقه‌بندی ۶۲ درصد برای پوشش اراضی زمین بایر بهترین عملکرد را بین محصولات پوشش اراضی جهانی داشته است. بر اساس نتایج بدست آمده می‌توان گفت که لزوماً نقشه پوشش اراضی با قدرت تفکیک مکانی بالاتر، بهترین صحت و

بررسی صحت کاربر و صحت تولید کننده پوشش اراضی پهنه‌های آبی بیانگر عملکرد بهتر محصول CGLS LC نسبت به دو محصول دیگر در طبقه‌بندی این نوع کلاس می‌باشد. چرا که، این محصول کمتر از ۳۰ درصد پهنه‌ی آبی را به اشتباه جزو سایر کلاس‌ها طبقه‌بندی کرده است. همچنین ۲۰ درصد نواحی طبقه‌بندی شده به عنوان پهنه آبی، در واقعیت پوشش‌های دیگری دارند. در کلاس اراضی ساخته شده صحت تولید کننده محصولات CCI LC، CGL LC، MCD12Q1 LC به ترتیب برابر ۸۰٪، ۹۴٪ و ۹۳٪ می‌باشد. با وجود برآورد قابل قبول پوشش اراضی نواحی تحت ساخت و ساز توسط این محصولات، محصول CCI LC

نیست و نزدیک به ۳۰ درصد اراضی کشاورزی را به اشتباه طبقه‌بندی می‌کند.

محصول پوشش اراضی CGLS LC بهترین عملکرد را در تعیین محدوده‌های کشاورزی داراست و با توجه به قدرت تفکیک مکانی مناسب این محصول (۱۰۰ متر)، برای استفاده در تحلیل‌های مربوط به برآورد مصارف و یا شناسایی الگوهای توسعه کشاورزی در سطح حوضه آبریز توصیه می‌شود.

در بین محصولات پوشش اراضی جهانی بررسی شده در حوضه آبریز دریاچه ارومیه، محصول MCD12Q1 LC برای پوشش سطح مراتع دارای بهترین صحت طبقه‌بندی نسبت به سایر محصولات مورد بررسی می‌باشد.

برای پایش نواحی تحت توسعه شهری محصول CCI LC بهترین عملکرد را در بین سایر محصولات پوشش اراضی دارد.

در جمع‌بندی نتایج این مطالعه می‌توان گفت که بسته به هدف مطالعه و کاربری اصلی مورد نظر برای پایش، یکی از محصولات MCD12Q1 LC و CGLS LC می‌تواند به عنوان جایگزین نقشه کاربری برای پایش‌های پیوسته سریع در این حوضه آبریز استفاده شود. نتایج این پژوهش می‌تواند به مدیران و تصمیم‌گیران در ارائه پایش‌های پیوسته از توسعه نواحی شهری و اراضی کشاورزی و نیز تخریب‌های زیست‌محیطی و لحاظ کردن آن در مدیریت منابع آب و خاک در حوضه کمک کند. همچنین انجام تحلیل‌های مقایسه‌ای از عملکرد محصولات پوشش اراضی جهانی می‌تواند منجر به ارتقای کیفیت طبقه‌بندی و ارائه محصولات با عملکرد مطلوب‌تر گردد.

با توجه به اینکه ویژگی‌های توپوگرافی بر صحت محصولات پوشش اراضی تاثیرگذار هستند (Kang et al., 2020)، پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی این ارزیابی با لحاظ محدوده رقوم‌های ارتفاعی و سنجش صحت محصولات پوشش اراضی در نواحی پست و مرتفع حوضه آبریز صورت گیرد. همچنین به منظور ارزیابی استواری نتایج حاصل از این پژوهش، پیشنهاد می‌گردد که در سال‌های دیگر نیز که پوشش سطح منطقه تغییرات قابل توجهی داشته است این مقایسه انجام شود. از طرفی با توجه به امکان دستیابی به نتایج متفاوت در مناطق و مقیاس‌های مورد بررسی مختلف (محلی، منطقه‌ای و ملی)، پیشنهاد می‌شود بررسی مشابهی در سایر مناطق و حوضه‌های آبریز کشور صورت گیرد و پس از مقایسه نتایج حاصل شده با این تحقیق، ارزیابی کلی بین این محصولات انجام شود.

عملکرد را در انطباق با کاربری اراضی مرجع ندارد. برای مثال نقشه پوشش اراضی CCI LC با قدرت تفکیک مکانی ۳۰۰ متر عملکرد ضعیف‌تری نسبت به محصول MCD12Q1 LC با قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متر داشته است. همچنین ملاحظه می‌شود که محصول MCD12Q1 LC عملکرد بهتری در طبقه‌بندی برخی کلاس‌ها (مانند مراتع) نسبت به محصول CGLS LC با قدرت تفکیک مکانی ۱۰۰ متر داشته است. این نتیجه در مطالعات قبلی نظیر (Song & Zhang, 2012) نیز بدست آمده است.

بحث و نتیجه‌گیری

کاربری اراضی یکی از اطلاعات پایه و ضروری در مطالعات آمایش سرزمین، مدلسازی هیدرولوژیکی و برنامه‌ریزی منابع آب در سطح حوضه‌های آبریز می‌باشد که نیازمند پایش پیوسته و ارزیابی تغییرات است. در این پژوهش با هدف استفاده از محصولات پوشش اراضی جهانی به عنوان جایگزین نقشه‌های کاربری اراضی (به علت سهولت دسترسی و پیوستگی) با تمرکز بر کاربری‌های عمده شامل نواحی کشاورزی و مرتعی به بررسی صحت و عملکرد نقشه‌های پوشش اراضی جهانی MCD12Q1 LC، CGLS LC و CCI LC در مقایسه با نقاط کنترل زمینی و همچنین نقشه کاربری اراضی مرجع سال ۲۰۱۵ در حوضه آبریز دریاچه ارومیه پرداخته شده است. خلاصه نتایج حاصل از این مطالعه عبارتند از: محصولات پوشش اراضی با قدرت تفکیک مکانی بالاتر لزوماً عملکرد بهتری در طبقه‌بندی کلاس‌های کاربری اراضی معادل ندارد. به عنوان مثال عملکرد کلی محصول CCI LC با قدرت تفکیک ۳۰۰ متر ضعیف‌تر از عملکرد محصول MCD12Q1 LC با قدرت تفکیک ۵۰۰ متر ارزیابی شد.

محصولات پوشش اراضی MCD12Q1 LC و CGLS LC عملکرد کلی نسبتاً مطلوبی (با خطای بین ۵۰ تا ۸۵ درصد) در ارائه تصویر کلی از وضعیت کاربری حوضه دارند. با این وجود با توجه به کاربری هدف، هر یک از این دو محصول در یکسری از کاربری‌ها بر دیگری ارجحیت دارد.

در برآورد محدوده زمین‌های کشاورزی، محصول CCI LC بسیار بیش برآورد می‌کند و از این رو برای استفاده در کاربردهای عملیاتی توصیه نمی‌شود. در مقابل محصولات پوشش اراضی MCD12Q1 LC و CGLS LC به ترتیب حد پایین و بالای نزدیک به نقشه پوشش و کاربری مرجع را برای محدوده‌های کشاورزی ارائه می‌دهند. محصول پوشش اراضی MCD12Q1 LC برآورد مکانی خوبی از مناطق همگن و وسیع با کاربری کشاورزی ارائه می‌دهد ولی قادر به نشان دادن اراضی کشاورزی پراکنده و کوچک

با همکاری و حمایت مالی سازمان خوار و بار ملل متحد صورت گرفته است.

"هیچگونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

سپاس‌گزاری

بخشی از این پژوهش در قالب طرح پژوهشی با عنوان "بروز رسانی نقشه پوشش اراضی حوضه آبریز دریاچه ارومیه در سال ۲۰۱۵" توسط پژوهشکده مهندسی آب دانشگاه تربیت مدرس و

REFERENCES

- Alizade Govarchin Ghale, Y., Altunkaynak, A., & Unal, A. (2018). Investigation Anthropogenic Impacts and Climate Factors on Drying up of Urmia Lake using Water Budget and Drought Analysis. In *Water Resources Management* (Vol. 32, Issue 1, pp. 325–337). <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1812-5>
- Alizade Govarchin Ghale, Y., Baykara, M., & Unal, A. (2019). Investigating the interaction between agricultural lands and Urmia Lake ecosystem using remote sensing techniques and hydro-climatic data analysis. *Agricultural Water Management*, 221, 566–579. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.05.028>
- Almeida, C. A. de, Coutinho, A. C., Esquerdo, J. C. dalla M., Adami, M., Venturieri, A., Diniz, C. G., Dessay, N., Durieux, L., & Gomes, A. R. (2016). High spatial resolution land use and land cover mapping of the Brazilian legal Amazon in 2008 using Landsat-5/TM and MODIS data. *Acta Amazonica*, 46(3), 291–302. <https://doi.org/10.1590/1809-4392201505504>
- Ban, Y., Gong, P., & Giri, C. (2015). Global land cover mapping using Earth observation satellite data: Recent progresses and challenges. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 103, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.01.001>
- Belward, A. S., & Bartholomé, E. (2007). International Journal of Remote Sensing GLC2000: a new approach to global land cover mapping from Earth observation data GLC2000: a new approach to global land cover mapping from Earth observation data. *Taylor & Francis*, 26(9), 1959–1977. <https://doi.org/10.1080/01431160412331291297>
- Chen, J., Chen, J., Liao, A., Cao, X., Chen, L., Chen, X., He, C., Han, G., Peng, S., Lu, M., Zhang, W., Tong, X., & Mills, J. (2015). Global land cover mapping at 30 m resolution: A POK-based operational approach. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 103, 7–27. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.09.002>
- Defourny, P., & Kirches, G. (2012). Land cover CCI. *Gofcgold.Wur.Nl*. [http://www.gofcgold.wur.nl/documents/wageningen13/18-04/Session 8/FSeifert&OArino.pdf](http://www.gofcgold.wur.nl/documents/wageningen13/18-04/Session%208/FSeifert&OArino.pdf)
- FAO. (2014). Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO). 2014. "The State of the world's land and water resources for food and agriculture." Available at <http://www.fao.org/docrep/017/i1688e/i1688e.pdf>
- Friedl, M. A., Sulla-Menashe, D., Tan, B., Schneider, A., Ramankutty, N., Sibley, A., & Huang, X. (2010). MODIS Collection 5 global land cover: Algorithm refinements and characterization of new datasets. *Remote Sensing of Environment*, 114(1), 168–182. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.08.016>
- Giri, C., Zhu, Z., & Reed, B. (2005). A comparative analysis of the Global Land Cover 2000 and MODIS land cover data sets. *Remote Sensing of Environment*, 94(1), 123–132. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.09.005>
- Gong, P., Wang, J., Yu, L., Zhao, Y., Zhao, Y., Liang, L., Niu, Z., Huang, X., Fu, H., Liu, S., Li, C., Li, X., Fu, W., Liu, C., Xu, Y., Wang, X., Cheng, Q., Hu, L., Yao, W., ... Chen, J. (2013). International Journal of Remote Sensing Finer resolution observation and monitoring of global land cover: first mapping results with Landsat TM and ETM+ data Finer resolution observation and monitoring of global land cover: first mapping results with Landsat TM and ETM+ data. *International Journal of Remote Sensing*, 34(7), 2607–2654. <https://doi.org/10.1080/01431161.2012.748992>
- Hoyos, A. P., García-Haro, J., Pérez-Hoyos, A., García-Haro, F. J., & San-Miguel-Ayanz, J. (2012). A methodology to generate a synergetic land-cover map by fusion of different: Land-cover products A methodology to generate a synergetic land-cover map by fusion of different land-cover products. Article in *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 19, 72–87. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2012.04.011>
- Hua, T., Zhao, W., Liu, Y., Wang, S., & Yang, S. (2018). Spatial consistency assessments for global land-cover datasets: A comparison among GLC2000, CCI LC, MCD12, GLOBCOVER and GLCNMO. *Remote Sensing*, 10(11). <https://doi.org/10.3390/rs10111846>
- JICA. (2020). Data collection survey on improvement of the hydrological cycle model in Urmia Lake Basin in the Islamic Republic of Iran. Tehran.
- Kang, J., Wang, Z., Sui, L., Yang, X., Ma, Y., & Wang, J. (2020). Consistency analysis of remote sensing land cover products in the tropical rainforest climate region: A case study of Indonesia. *Remote Sensing*, 12(9), 1410. <https://doi.org/10.3390/RS12091410>
- Liang, L., Liu, Q., Liu, G., Li, H., & Huang, C. (2019). Accuracy Evaluation and Consistency Analysis of Four Global Land Cover Products in the Arctic Region. *Remote Sensing*, 11(12), 1396. <https://doi.org/10.3390/rs11121396>
- Liang, Zuo, Y., Huang, L., Zhao, J., Teng, L., Yang, F., Stefanakis, E., Liu, Y., Kyriakidis, P., & Kainz, W. (2015). Geo-Information Evaluation of the Consistency of MODIS Land Cover Product

- (MCD12Q1) Based on Chinese 30 m GlobeLand30 Datasets: A Case Study in Anhui Province, China. *ISPRS Int. J. Geo-Inf*, 4, 2519–2541. <https://doi.org/10.3390/ijgi4042519>
- Liu, X., Yu, L., & Zhong, L. (2018). Comparison of country-level cropland areas between ESA-CCI land cover maps and FAOSTAT data Special Issue in the journal MDPI Remote Sensing: Remote Sensing of Environmental Changes in Cold Regions View project Oil palm mapping View project. Article in *International Journal of Remote Sensing*, 39(20), 6631–6645. <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1465613>
- Maghrebi, M., Noori, R., Bhattarai, R., Mundher Yaseen, Z., Tang, Q., Al-Ansari, N., Danandeh Mehr, A., Karbassi, A., Omidvar, J., Farnoush, H., Torabi Haghighi, A., Kløve, B., & Madani, K. (2020). Iran's Agriculture in the Anthropocene. *Earth's Future*, 8(9). <https://doi.org/10.1029/2020EF001547>
- Pérez-Hoyos, A., Rembold, F., Kerdiles, H., & Gallego, J. (2017). Comparison of global land cover datasets for cropland monitoring. *Remote Sensing*, 9(11). <https://doi.org/10.3390/rs9111118>
- Smets, B., Buchhorn, M., Bertels, L., Lesiv, M., Tsendbazar, N.-E., Linlin, L., & Masiliunas, D. (2019). Product User Manual. Moderate Dynamic Land Cover Change. Collection 100m. Africa. Version 2.1 (Release Candidate 1) (pp. 1–47). <https://land.copernicus.eu/global/products/lai>
- Song, H., & Zhang, X. (2012). Precision analysis and validation of multi-sources landcover products derived from remote sensing in China. *Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 28(22), 207–214. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-6819.2012.22.029>
- Song, H., Zhang, X., Wang, Y., & Wang, M. (2012). Comparison of relative uniformity between GLOBCOVER and MODIS land cover data sets. *Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 28(15), 118–124. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-6819.2012.15.019>
- Stehman, S. V. (1997). Selecting and interpreting measures of thematic classification accuracy. *Remote Sensing of Environment*, 62(1), 77–89. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(97\)00083-7](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(97)00083-7)
- Thibaut, A., Tchuente, K., Roujean, J.-L., & De Jong, S. M. (2010). Comparison and relative quality assessment of the GLC2000, GLOBCOVER, MODIS and ECOCLIMAP land cover data sets at the African continental scale. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13, 207–219. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2010.11.005>
- WERI. (2018). Collaborative land cover mapping of the Lake Urmia Basin_Final Report. Water Engineering Research Institute of Tarbiat Modares University.
- Zhang, X., Liu, L., Chen, X., Xie, S., & Gao, Y. (2019). Fine land-cover mapping in China using Landsat datacube and an operational SPECLib-based approach. *Remote Sensing*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/rs11091056>