تحلیلی کمی بر تغییرات حوضه دریاچه ارومیه از گذشته به سوی آینده با کمک سنجش از دور و مدل پیش بینی تغییرات اکولوژیک

رضا شاکری*[۱]

۱- استادیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء(ص) بهبهان، ایران

ایمیل نویسنده مسئول : rshakerir@gmail.com

تاریخ دریافت : ۹۹/۱۲/۲۵ تاریخ پذیرش : ۱۴۰۰/۰۱/۳۱

چکیده

چالش های منابع ابی و تغییرات سطحی دریاچه ارومیه و جامعه تحت نفوذ آن نگرانی های جدی از بروز خطرات و نابودی محیط زیست حوزه را درحال گذراندن هستندو مطالعه اخیر با نگاهی به گذشته و حال اینده به ترسیم واقعیت آینده ۲۰ ساله با کمک علوم سنجش از دور پرداخته است. بنابراین در مطالعه اخیر با استفاده از تصاویر ماهواره لندست از سال ۲۰۰۰ ، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ به چگونگی روند تغییرات ۶ کاربری عمده پرداخته است. و با کمک تحلیل مکانی و زمانی شیوه پراکندگی سنجه های سرزمینی جای پای تخریب و نیازهای آبی و تخریب محیط زیست را ترسیم نموده است. بنابراین نتایج نشان میدهد در طول دوره ۲۰ سال اخیر ۴۰٪ بر مساحت انسان سازها افزوده شده است. همچنین جنگل‌ها تنها ۵٪ نرخ کاهشی را تجربه کرده‌اند. لذا بدنه‌های آبی ۱۵٪ مساحت خود را کاهش داده است و در نهایت سرعت این تغییرات در دوره اول بسیار شدید تر از دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ بوده است. در دوره دوم مراتع و پوشش خاک یا مراتع ضعیف بیشترین تغییرات را در پی داده است. این روند بیشتر وابسته به تغییرات اقلیمی است.

کلمات کلیدی

"کاربری اراضی"، "روند تغییرات"، "سیمای اکواوژیک" ، "ماهواره لندست"، "دریاچه ارومیه"

Quantitative analysis of changes in Urmia Lake basin from the past to the future with remote sensing and ecological change prediction model

Reza Shakeri [1*]

1- Assistant Professor, Faculty of Natural Resources, Khatam Al-Anbia University of Technology, Behbahan, Iran

Email Address : rshakerir@gmail.com

Abstract

Challenges of water resources and surface changes of Lake Urmia and the society under its influence are serious concerns about the dangers and destruction of the environment of the basin. Paid. Therefore, in a recent study, using Landsat satellite images from 2000, 2010 and 2020, it has dealt with the trend of changes in the six major uses. And with the help of spatial and temporal analysis, the method of dispersal of territorial measures has traced the footprint of destruction and water needs and environmental degradation. Therefore, the results show that during the last 20 years, the area of man-made buildings has increased by 40%. Also, forests have experienced a reduction rate of only 5%. Therefore, water bodies have reduced their area by 15%, and finally the speed of these changes in the first period was much more severe than the period 2010 to 2020. In the second period, pastures and poor soil cover or pastures have undergone the most changes. This trend is mostly dependent on climate change.

Keywords

"Land use", "Trend of change", "Aquatic appearance", "Landsat satellite", "Lake Urmia"

۱- مقدمه

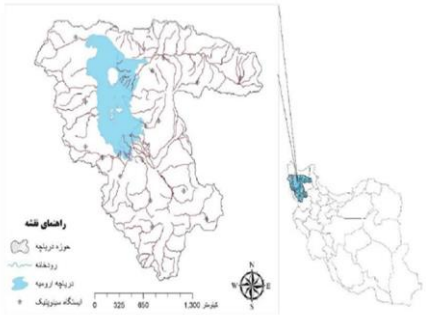
واکنش هیدرولوژی یک حوضه آبریز، نماد جامعی از شرایط و خصوصیات محیط طبیعی آن حوضه می باشد. در یک اکوسیستم طبیعی بهره برداری از زمین و ایجاد تغییر در شرایط محیطی به ویژه پوشش گیاهی و کاربری اراضی آن اکوسیستم، بر پاسخ های هیدرولوژی مانند جاری شدن سیلاب و میزان فرسایش و رسوب، خشک شدن تالاب‌ها و دریاچه‌ها در منطقه تأثیرگذار می‌باشد. زیرا کاربری اراضی و پوشش زمین یکی از عوامل‌هایی می‌باشد که همواره در اکوسیستم‌های طبیعی، بهره‌برداری از زمین و ایجاد تغییر در پوشش گیاهی آن‌ها نقش بسزایی در رفتار هیدرولوژیکی حوضه دارد.این رفتار گاه به‌صورت تغییراتی در رواناب خروجی از حوضه آبریز به چشم می‌آید [1]. تغییرات کاربری اراضی به عنوان یکی از محرک‌های اصلی تغییرات هیدرولوژی حوضه آبریز شناخته می‌شود [2] و [3] استفاده روز افزون از منابع طبیعی و گسترش فعالیت‌های صنعتی از یک سو و افزایش بی رویه جمعیت سبب تغییر در کاربری اراضی جهت تامین نیاز های انسانی شده است. بدین معنی که تغییر کاربری اراضی تحت عوامل متعددی از جمله محیط زیستی، اقتصادی، سیاسی و فرهنگی قرار دارد. بنابراین تغییرات کاربری اراضی در جهان را می‌توان در نتیجه توسعه در زمینه‌های مختلف فن آوری، اقتصادی- اجتماعی، سیاسی و تغییرات ایجاد شده در محیط زیست دانست. نوع و تاثیر این تغییرات قویا به سیاست‌گذاری‌های حاکم وابسته است. تغییر کاربری اراضی به صورت متقابل تاثیر قابل توجهی بر شرایط محیط زیستی، اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی در سطوح محلی و حتی منطقه ای دارد و از جمله منابعی که تحت تاثیر تغییر کاربری اراضی قرار می‌گیرد منابع آب (از لحاظ کمی و کیفی) است [4]. دلیل افزایش تغییرات مخرّب کاربری اراضی که عمدتاً بوسیله فعالیت‌های انسانی انجام می‌گیرد، کشف و بارزسازی تغییرات و ارزیابی اثرات زیست محیطی آن‌ها جهت برنامه ریزی و مدیریت آتی منابع ضروری است. تغییرات در کاربری معمولاً به دو صورت طبیعی و انسانی و در اثر بهره برداری نابخردانه انسان از منابع ایجاد می گردد. عوامل طبیعی مانند تغییر اقلیم، سیل، آتش سوزی و زلزله در این میان نقش اساسی را بازی می کنند که باعث خشک شدن رودها، نوسان آب دریاها و تغییر و تبدیل پوشش های اراضی می‌شوند. در نوع غیرطبیعی، انسان نقش اصلی را برعهده دارد که باعث تغییرات گسترده ای در سطح زمین می گردداز آنجایی که رخداد تغییر کاربری به عنوان یکی از مهمترین مسائل زیست محیطی عصر حاضر، در مقیاس های کلان زمانی و مکانی صورت می‌گیرد، بنابراین بارزسازی و پایش تغییرات کاربری در جهت شناخت اولیه و ارزیابی روند تغییرات آن‌ها می تواند به عنوان ابزاری سودمند در جهت مدیریت و برنامه ریزی محیط مفید واقع گردد. پایش کاربری اراضی در یک اکوسیستم و پویایی آن‌ها با هدف درک و شناخت سیستم مورد نظر در واکنش به اقداماتی مانند بازسازی، احیا و حفاظت اکوسیستم‌ها کمک بزرگی می‌نماید[5]از مهم‌ترین روش‌ها و ابزارهای پایش که مبتنی بر فناوری‌های اطلاعات مکانی (ژئوانفورماتیک) هستند می‌توان به سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی و سیستم موقعیت‌یابی جهانی اشاره نمود. در حقیقت به منظور ارزیابی و پایش مستمر مسائل پیچیده‌ای مانند تخریب سرزمین‌ها با هدف مدیریت و بهره‌برداری صحیح آن‌ها استفاده از تکنیک‌های نامبرده اجتناب‌ناپذیر می‌باشد .امروزه استفاده از فناوری سنجش از دور به طور روز افزونی در مطالعات مربوط به پدیده‌های زمینی (آب و خاک و پوشش گیاهی و..) رو به گسترش بوده، استفاده از تکنیک‌های متنوع و دقیق این شاخه رو به توسعه می‌باشد . [6] دریاچه ارومیه یکی از بزرگ‌ترین و مهم‌ترین اکوسیستم‌های طبیعی کشور می‌باشد که اهمیت بسیاری در بخش‌های اقتصادی، اجتماعی، و زیست‌محیطی منطقه دارد. روند نزولی تراز آن طی سال‌های اخیر نگرانی‌های جدی را به دنبال داشته است. در مورد علل غالب این تغییرات، دلایل متفاوتی مانند توسعه اراضی کشاورزی، برداشت‌های بیشتر از جریان رودخانه در پایین‌دست و همچنین تغییرات اقلیمی بیان‌شده است. به‌طور طبیعی مهم‌ترین عاملی که روی تراز آب دریاچه تأثیر می¬گذارد، عامل اقلیمی است، برای مثال تغییرات دمایی و بارش را می¬توان ازجمله مهم‌ترین عامل اقلیمی قلمداد نمود. اما تغییر در کاربری اراضی و عوامل دیگر که ساخته دست انسان‌ها است، باعث می¬گردد تغییرات غیرطبیعی در این خصوص ایجاد گردد (Nasaji, 2010). لذا برآوردی از چشم انداز آینده تغییرات کاربری اراضی گامی مؤثر در مدیریت پایدار منابع و تصمیم گیری و چاره‌اندیشی برای رفع بحران‌های ناشی از توسعه بی‌رویه کاربری ها و در نتیجه به احیاء دریاچه ارومیه در سال‌های آتی کمک شایانی خواهد نمود .تعداد زیادی از محققان در سراسر جهان تغییرات تراز دریاچه‌ها را به تغییرات اقلیمی مرتبط می¬دانند و اعتقاد دارند که تغییرات برگشت‌پذیر و دوره‌ای در سیستم آب و هوایی جهانی که در دوره¬های چندساله تا چندین دهه اتفاق می¬افتد می¬تواند به‌صورت مستقیم از طریق اقلیم محلی و یا غیرمستقیم از طریق فرایندهای هیدرولوژیکی دیگر بر پیکره‌های آبی تأثیر بگذارند ((Gibson et al., 2006: Ghil et al, 2002: Grinsted et al,. 2006 دریاچه ارومیه طی سال‌های گذشته براثر یک دوره خشک‌سالی و طرح‌های احداث سد که هم‌زمان به وقوع پیوسته‌اند، زمینه تبخیر بیش‌ازپیش آب ورودی دریاچه فراهم گردیده و تفاوت¬های قابل‌توجهی در سطوح آب دریاچه به وجود آمده است(زمانی اکبری و ملکی، ۱۳۸۹). از جمله از مهم‌ترین منابع زیست‌محیطی که در سال‌های اخیر در ایران مورد تخریب قرارگرفته‌اند، منابع آبی و دریاچه‌ها می‌باشند که به‌طور روزافزونی در معرض نابودی و خشک شدن قرارگرفته‌اند. خشک شدن منابع آبی و تالاب‌ها بر روی تغییرات جمعیتی و بروز مشکلات و بحران‌های اجتماعی منطقه اعم از مراکز روستایی و شهری مؤثر می‌باشند. با توجه به اینکه جمعیت انسانی زیادی در محدوده پیرامون دریاچه ارومیه زندگی می‌کنند و معیشت سکونتگاه‌های استان‌های آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی بیشتر به کشاورزی و دامداری استوار است در صورت خشک شدن کامل دریاچه و وقوع بحران‌های زیست‌محیطی و اکولوژیکی اقتصاد این منطقه با مشکلات بزرگی روبه‌رو خواهد شد.تغییرات کاربری اراضی به‌عنوان عامل مهم و مؤثر بر تغییرات محیط‌زیست، بر طیف وسیعی از شرایط محیط زیستی و منابع طبیعی مانند کمیت و کیفیت منابع آب، توابع اکوسیستم و ... تأثیر گذاشته است(شنانی و هویزه و زارعی، ۱۳۹۵). کاربری اراضی از اساسی‌ترین ویژگی¬های اکوسیستم طبیعی است که آگاهی صحیح نسبت به آن و چگونگی تغییرات آن درگذر زمان یکی از مهم¬ترین پیش‌نیازها در برنامه‌ریزی‌های محیطی بوده و از طریق آن می‌توان با پیش‌بینی تغییرات آتی کاربری اراضی، نسبت به برنامه‌ریزی دقیق در راستای استفاده پایدار از اراضی اقدام نمود .(Mas et al., 2014)بررسی

تغییرات کاربری و پوشش زمین برای آگاهی یافتن از تغییرات محیط در سطح محلی و جهانی بسیار اهمیت دارد (Tiwari ,gain ,2014) ارزیابی روند تغییرات کاربری اراضی فرایندی است که منجر به ایجاد درک صحیحی از نحوه تعامل انسان و محیطزیست می‌شود. این مسئله در مورد مناطق حساس زیستی به‌ویژه تالاب‌ها از اهمیت بیشتری برخوردار است. براین اساس، پایش روند تغییرات تالاب¬ها و اراضی پیرامونی آن¬ها می¬تواند در مدیریت این اکوسیستم–های ارزشمند راهگشا باشد(زبردست و جعفری، ۱۳۹۰). لذا پایش کاربری اراضی در یک اکوسیستم و پویایی آن‌ها با هدف درک و شناخت سیستم مورد نظر در واکنش به اقداماتی مانند بازسازی، احیا و حفاظت اکوسیستم‌ها کمک بزرگی می‌نماید.[4]آشکارسازی تغییرات (Change detection،) فرایندی است که امکان مشاهده و تشخیص تفاوت¬ها و اختلافات سری زمانی پدیده¬ها، عارضه‌ها و الگوهای سطح زمین را فراهم می‌کند .(Lu et al ., 2004)معمولاً آشکارسازی تغییرات ناشی از تشخیص مناطق تغییریافته در دو تصویر و دو زمان متفاوت است .(Xiaolu and Bo, 2011)مدل‌سازی پوشش سرزمین (LCM)یک رویکرد مهم ارزیابی تنوع زیستی، طیف گسترده‌ای از تحقیقات زیست‌محیطی، اکولوژی و جغرافیا را دربرمی گیرد .(Prez-Vega et al., 2012, p,1)بنابراین در این میان، مدل‌سازی نقش مهمی در شناخت اثرات این تغییرات ایفا می‌کند و به برنامه‌ریزی مؤثر در محیطزیست، توسعه و تصمیم‌گیری‌ها کمک شایانی می‌کند .(Borana, Yadav, 2017)به عبارتی، مدل‌ها ابزاری برای شناسایی تغییرات کاربری و اثرهای آن¬ها هستند و در کشف ارتباط کاربری زمین و عوامل مؤثر بر آن بسیار کارآمدند .(Moghadam and Helbich, 2013)در این راستا، مدل‌های مختلف کاربری اراضی مانندGEOMOD ، CLUE، DIANAMIC، Land change modeler(LCM)، CA-Markovراحی‌شده و توسط محققان برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در مطالعات متعددی به کار گرفته‌شده است (Mas et al., 2014).مدل‌ساز تغییر سرزمین (LCM) که به‌طور کامل با برنامه‌ریزی یکپارچه‌شده، ابزاری برای مدیریت و برنامه‌ریزی زمین و همچنین ابزار پشتیبان تصمیم‌گیری است. مدل‌ساز تغییر زمین به کاربر اجازه می‌دهد که تغییرات کاربری اراضی را به‌سرعت تجزیه‌وتحلیل کند. سطح زمین به‌خودی‌خود یک سیستم پیچیده است و مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی یک فرایند پیچیده که حاکی از دخالت انواع متغیرهاست. بنابراین آشکارسازی و مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور و تصاویر ماهواره‌ای در محیط GISشناخت مناسبی از چگونگی تغییرات کاربری اراضی ارائه داده و در مدیریت آن راهکارهای مناسبی ارائه دهد (Bark. Et al., 2010: Mendoza. Et al., Coppin et al., 2014). تاکنون دلایل مختلفی برای تغییرات حجم و تراز دریاچه ارومیه مطرح شده است که تغییر کاربری اراضی در پی پاسخ دادن به نیازهای انسانی یکی از آن‌ها می‌باشد. اما هرگز این عوامل در قالب مهندسی و مدلسازی فضایی مورد بررسی قرار گرفته نشده است. از این رو، در تحقیق حاضر نقشه‌های کاربری اراضی حوضه آبریز دریاچه ارومیه برای سال‌های ۲۰۰۰،۲۰۱۰،۲۰۲۰ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای استخراج شد سپس به شبیه‌سازی کاربری اراضی حوضه آبریز دریاچه ارومیه تا افق ۲۰۴۰ با استفاده از مدل LCM پرداخته شد.

۲- روش انجام تحقیق

- **محدوده مورد مطالعه**

دریاچه ارومیه به مساحت ۵۱۸۷۶ کیلومترمربع یکی از شش حوزه آبریز اصلی کشور است. دریاچه ارومیه وسیع و با شوری زیاد است که به مختصات جغرافیایی (۱۳)°44′ تا (۵۳)°47′ طول شرقی و (۴۱)°35′ تا (۳۰)°38′ عرض شمالی و بین استان‌های آذربایجان غربی (۵۳درصد)؛ آذربایجان شرقی (۳۷درصد) و کردستان (۱۰درصد) واقع‌شده است (Hesami and Amini, 2016). این دریاچه در پایین‌ترین نقطه حوضه آبریز بسته‌ای با مساحت تقریبی ۵۲۰۰۰ کیلومترمربع که قسمت‌هایی از آن در استان کردستان واقع‌شده است، قرار دارد. طول دریاچه ۱۳۰ کیلومتر تا ۱۴۶ کیلومترمربع و عرض دریاچه ۱۵ تا ۵۸ کیلومترمربع است. ارتفاع دریاچه از سطح دریاهای آزاد ۱۲۷۴ متر و حجم متوسط آبگیری ۳۲ میلیارد مترمکعب که اکوسیستم دریاچه از سه بخش مختلف (آبی، کوهستانی و کوهپایه‌ای و دشت‌های مجاور و جزایر داخل دریاچه) تشکیل‌شده است (شکل۱).



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه

- **روش تحقیق**

در این تحقیق به‌منظور آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی دریاچه ارومیه و تحلیل دقیق آن، از تصاویر ماهواره‌ای لندست استفاده می‌شود. داده‌های مورداستفاده در این تحقیق مربوط به سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰، ۲۰۲۰ میلادی به ترتیب برای سنجنده‌های TM و ETM می باشد. همچنین جهت تجزیه‌وتحلیل از نرم‌افزار ARC GIS10.5و Terrset18.25 و نرم‌افزار تخصصی ENVI 5.3 استفاده شده است.

- **تهیه نقشه‌های کاربری اراضی**

برای تهیه نقشه‌های کاربری اراضی منطقه موردمطالعه از تصاویر ماهواره Landsat سنجنده های TM و ETM (در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰) مربوط به ماه‌های اردیبهشت و خرداد با کمترین فاصله زمانی استفاده شد. پیش پردازش و بررسی کیفیت تصویر پیش از بکارگیری داده های ماهواره ای در تجزیه تحلیل رقومی، کیفیت آنها از نظر وجود خطای هندسی، پرتوسنجی مانند را ه راه شدگی، زیر هم قرار نگرفتن خطوط اسکن، پیکسل های تکراری، خطاهای اتمسفری مانند وجود لکه های ابر مورد بررسی قرارگرفت. در مطالعه فوق شش کلاس عمده (کشاورزی، جنگل، مراتع، بدنه آبی، مناطق انسان‌ساز و پوشش کم‌توان شامل خاک و سنگ) طبقه‌بندی و

معرفی گردیده است. برای روش طبقه بندی از الگوریتم بیشترین شباهت در محیط نرم افزار ENVI 5.3 استفاده شد.

- **ارزیابی دقت طبقه‌بندی**

هیچ طبقه‌بندی تا زمانی که دقت آن مورد ارزیابی قرار نگرفته است تکمیل نیست و برای کسب اطمینان از نسبت صحت تصویر طبقه‌بندی‌شده دقت آن باید مورد ارزیابی قرار گیرد. دقت طبقه‌بندی بیانگر سطح اعتماد به تصویر طبقه‌بندی‌شده می‌باشد ضریب کاپا تکنیک چند متغیره گسسته‌ای است که اگر یک ماتریس خطا تفاوت معنی‌داری با دیگری داشته باشد. دقت کلی طبقه‌بندی عبارت است از نسبت پیکسل‌های درست طبقه‌بندی‌شده بر تعداد کل پیکسل‌های طبقه‌بندی‌شده. شاخص Kappa از رابطه 1 محاسبه می‌شود[A]

در این رابطه N تعداد کل نقاط، x_{ii} تعداد پیکسل‌هایی که به درستی در طبقه مورد نظر قرار دارند، x_{i+} تعداد پیکسل‌های مرجع موجود در طبقه و x_{+i} تعداد پیکسل‌های قرارداده‌شده در طبقه مورد نظر توسط روش آشکارسازی است. دقت کلی نیز مطابق رابطه 2 از تقسیم مجموع پیکسل‌هایی که به درستی تقسیم بندی شده اند بر تعداد کل داده های مرجع به دست می‌آید.

رابطه ۱

$$K=\frac{N\sum_{i=1}^{r}x_{ii}-\sum_{i=1}^{r}(x_{i+}\times x_{+i})}{N^2-\sum_{i=1}^{r}(x_{i+}\times x_{+i})}$$

رابطه ۲

$$Over\ all\ Accuracy=\frac{\text{number of pixels classified correctly}}{\text{total number of pixels}}$$

مدلسازی تغییرات کاربری اراضی

- **مدل زنجیره مارکوف**

در علم احتمالات، زنجیره مارکوف به‌عنوان ابزار توصیفی، هدف عمده‌اش پیش‌بینی رفتار آینده نظام‌های مدیریتی است. نخستین بار آندری آندروویچ مارکوف (۱۹۰۷) شروع به مطالعه یک نوع جدید از فرایندهای تصادفی نمود که در آن خروجی یک آزمون مشخص، بر خروجی حاصل از آن در آزمون‌های بعدی می‌تواند اثر بگذارد که به این فرایندها، زنجیره مارکوف اطلاق می‌گردد.

زنجیره مارکوف یک مدل مناسب برای مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین درجایی است که توصیف تغییرات و فرایندهای سیمای سرزمین مشکل باشد. مدل مارکوف هنگامی استفاده می‌شود که وضعیت آینده یک سیستم را بتوان به‌صورت کلی بر اساس وضعیت ماقبل آن سیستم مدل‌سازی کرد. تحلیل زنجیره مارکوف تغییرات کاربری زمین از یک دوره به دوره دیگر را بیان کرده و از آن به‌عنوان پایه‌ای برای نقشه سازی تغییرات آینده استفاده می‌کند . این کار با استفاده از توسعه یک ماتریس احتمال انتقال تغییرات کاربری زمین از زمان ۱ به زمان ۲ انجام می‌گیرد که به‌عنوان پایه‌ای برای نقشه سازی دوره‌های زمانی آینده مورداستفاده قرار خواهد گرفت. با استفاده از مدل زنجیره‌ای مارکوف، نسبت تبدیل کاربری‌های مختلف و امکان پیش‌بینی آن‌ها در آینده فراهم می‌شود (آرخی و اصفهانی، ۱۳۹۳).

۱. اجرای مدل‌ساز تغییر زمین
۲. آنالیز و تحلیل تغییرات
۳. مدل‌سازی نیروی انتقال
۴. پیش‌بینی تغییرات
۵. ارزیابی صحت مدل‌سازی

آنالیز تغییرات اولین مرحله جهت پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در مدل LCM می‌باشد که ارزیابی و تحلیل جامعی از روند تغییراتی که بین ۲ زمان مختلف در منطقه‌ی موردمطالعه رخداده است، به‌صورت کمی هم در قالب نمودار و هم نقشه محاسبه می‌نماید. سپس انتقال‌هایی را که درروند تاریخی منطقه اتفاق افتاده مهم‌ترین‌ها را شناسایی کرده و سپس آن‌ها را مدل‌سازی کرده در اصل مدل‌سازی پتانسیل انتقال را انجام داده می‌شود و درنهایت وارد پیش‌بینی تغییرات مدل شده که شامل مجموعه‌ای از ابزارها جهت ارزیابی سریع تغییرات می باشد و در اختیار کاربر قرار می‌دهد.

متغیرهای مکانی،اقلیمی، اجتماعی، بیولوژیکی و اکولوژیکی در دسترس و قابل اعتماد برای مدلسازی دقیق تر به منظور آشکارسازی تغییرات باید استفاده شود. در تحقیق حاضر متغیرهای مکانی شامل شیب، ارتفاع، جهت، فرسایش پذیری، تراکم رودخانه و متغیراجتماعی شامل جمعیت، نسبت تراکم جمعیت و متغیر اقلیمی شامل بارندگی، تبخیر و تعرق، دما و متغیرهای بیولوژیکی تاج پوشش، توان تولید و متغیرهای اکولوژیک شامل تراکم لکه، تراکم حاشیه، تنوع کاربری، آنتروپی نرمال استفاده شده است.

مراحل اصلی رویکرد مورد استفاده عبارت است از:

۱-تعیین نقش متغیرهای تاثیرگذار بر تغییرات با محاسبه ضریب کرامر (V)

۲-تهیه نقشه‌های پتانسیل تبدیل بر اساس نقشه‌های کاربری دوره‌های قبل و متغیرهای موثر با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

۳-تهیه نقشه کاربری آتی بر اساس جدول مقدار تغییرات حاصل از پتانسیل تبدیل و متغیرهای محدود کننده و محرک تغییرات.

ابتدا نقش و توانایی هر یک از متغیرهای مکانی در پیش بینی تغییرتا احتمالی کاربری اراضی با محاسبه کرامر ارزیابی شد. این ضریب برای تعیین همبستگی دو متغیر اسمی، یا یکی اسمی و دیگری رتبه‌ای به کار می‌رود. مقدار این ضریب در محدوده ۰ تا ۱ قرار می‌گیرد و از فرمول زیر استفاده می‌شود.

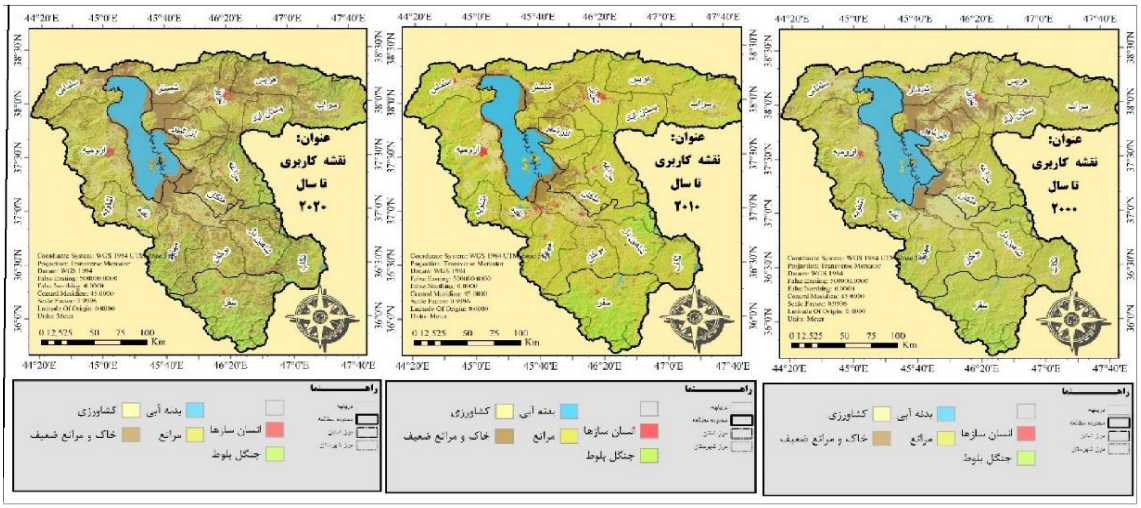
$$V=\sqrt{\frac{x^2}{N\times MIN(k-1.l-1)}}$$

x^2 آماره کای اسکور و N تعداد نمونه‌ها و K و L تعداد ردیف ها و ستون های جدول می‌باشد. به طور کلی مقادیر ۰,۴ و بالاتر از آن به عنوان مقدار مناسب برای متغیر محسوب می‌شود و مقادیر کمتر از ۰,۱۵، نشان‌گر توانایی کم در پیش بینی آن می‌باشد[B] مقدار تغییرات کاربری اراضی در آینده از طریق تحلیل زنجیره مارکوف و با استفاده از نقشه‌های کاربری در دوره‌های مختلف و به صورت یک ماتریس احتمال تغییرات محاسبه شد این ماتریس، احتمال انتقال هر یک از کاربری‌ها به کاربری دیگر را نشان می‌دهد. اعتبارسنجی نقشه کاربری اراضی پیش بینی شده برای تعیین اعتبار نقشه کاربری اراضی پیش بینی شده، ابتدا دو نقشه پیش بینی شده و واقعی کاربری اراضی

در سال ۲۰۲۰ باهم مقایسه و سپس معیار ضریب کاپا و دقت کلی محاسبه می‌شود.

۳- نتایج

نتایج مطالعه تغییرات کاربری اراضی نشان می دهد در محدوده مطالعه در حال حاضر ۵۷ هزار هکتار کاربری انسان ساز قرار دارد این کاربری در حال حاضر ۱/۱ درصد کل محدوده را تشکیل می دهد و در طول ۲۰ سال گذشته با ثابت تغییرات ۳۰٪ مثبت در طول هر ده سال رشد کرده است. در واقع از ۲۵ هزار هکتار در سال ۲۰۰۰ به ۴۲ هزار هکتار در سال ۲۰۱۰ و نهایتاً به مساحت اخیر رسیده است. مساحت این کاربری در ارومیه و تبریز در طی ۲۰ سال گذشته از ۴۰۰۰ و ۹۰۰۰ هکتار به ۱۵ هزار و ۱۴ هزار هکتار رسیده اند و روند رشد چند برابری را در خود تجربه کرده اند. در مقابل مراغه، سقز و اشنویه تخریب و روند منفی را گزارش می دهند. در محدوده مورد مطالعه، ذخیره جنگل های بلوط به درستی در قسمت جنوبی و به پراکندگی در بسیاری از حوزه ها همچون هشترود و سراب دیده می شوند. مساحت این جنگل ها در سال ۲۰۰۰ بالغ بر ۶۰۲ هزار هکتار بوده است که در مساحتی بالغ بر ۱۱/۱۶ درصد را تشکیل می دهد. با رویه کاهشی به ۵۳۲ هزار هکتار در سال ۲۰۲۰ رسیده است. کاربری کشاورزی به عنوان کلیدی ترین شاخص تغییرات بر محیط و سیمای اکولوژیکی حوزه دارای روند سینوسی و تحت تأثیر اقلیم و شرایط هیدرولوژی بوده است لذا در سال ۲۰۰۰ مساحت این کاربری ۱۴ ٪ کل حوزه بوده است پس یکی از کاربری های کلیدی حوزه برآورد می گردد. در دوره ۲۰۱۰ این کاربری دچار تحلیل رفتن اساسی شده و انقباض آن سبب شده ۷/۹۰ ٪ حوزه به این کاربری اختصاص یابد. وابستگی شدید این کاربری به آب و خاک ورزی تهدید امنیت غذایی منطقه و کشور را به همراه دارد لذا باتوسعه روند سد سازی ها هم اقبال چندانی در حفظ این کاربری نشده بلکه تمرکز و تراکم در حاشیه رودها و ازدست رفت بیشتر منابع آبی را در پی گرفته است. بدنه های آبی دریاچه ارومیه به طور کلی ۹/۶۳ درصد کل منطقه را پوشش می دهند. با توسعه سدسازی ها و ذخیره آب های سطحی هنوز مساحت زیادی از منابع آب سطحی دچار تنزل و کاهش بوده است که در سال ۲۰۲۰ درصد کل مساحت حوزه تنها ۶/۵ درصد را پی گرفته است.در این میان دریاچه ارومیه خود با مساحتی بالغ بر ۴۷۷ هزار هکتار در سال ۲۰۰۰ به مساحتی بالغ بر ۳۵۰ هزار هکتار در سال ۲۰۲۰ کاهش یافته است در این رویه منفی ۱۵ درصد مساحت خود را از دست داده است. هرچند که پیگیری اقدامات مختلف برای احیا صورت گرفته است ولی همچنان این رویه ناکافی بوده است. جمع بندی نرخ تغییرات در کل حوزه نشان می دهد در طول دوره ۲۰ سال اخیر ۴۰٪ بر مساحت انسان سازها افزوده شده است. همچنین جنگل ها تنها ۵٪ نرخ کاهشی را تجربه کرده اند. لذا بدنه های آبی ۱۵٪ مساحت خود را کاهش داده است و در نهایت سرعت این تغییرات در دوره اول بسیار شدید تر از دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ بوده است. در دوره دوم مراتع و پوشش خاک یا مراتع ضعیف بیشترین تغییرات را در پی داده است. این روند بیشتر وابسته به تغییرات اقلیمی است.



شکل ۲- نقشه کاربری های اراضی سه دوره ۲۰۰۰ ، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰

جدول ۱-مقدار تغییرات سطوح کاربری‌ها

زمان	۲۰۰۰	۲۰۱۰	۲۰۲۰	دوره ۲۰۱۰-۲۰۰۰		دوره ۲۰۲۰-۲۰۱۰	
کاربری				تغییر (هکتار)	نرخ تغییر (هکتار در سال)	تغییر (هکتار)	نرخ تغییر (هکتار در سال)
بدنه آبی	۶۸۱۹۵۶	۳۸۲۱۶۶	۳۵۱۱۲	-۴۹۹۳۲		-۲۳۰۴۴	
کشاورزی	۷۷۵۰۸	۹۱۰۹۱۵	۵۴۳۳۲	۴۳۲۰۶۹		۱۳۲۸۶۱	
مراتع	۲۶۱۵۲۰۰	۲۰۰۸۰۰۲	۲۰۰۲۴۷	-۳۲۸۰۲		-۱۰۰۲۷۵۵	
خاک	۶۰۱۰۵۶	۶۰۲۰۵۰	۱۵۱۱۲۵۶	۹۹۱۹۴		۹۱۱۱۰۶	
جنگل بلوط	۶۰۲۰۱۰	۵۵۸۸۰۰	۵۳۲۱۰۰	-۴۳۱۰		-۲۶۴۰۰	
انسان ساخت	۲۵۲۵۶	۴۹۱۲۵	۵۶۴۳۲	۱۶۸۶۹		۱۴۰۰۷	

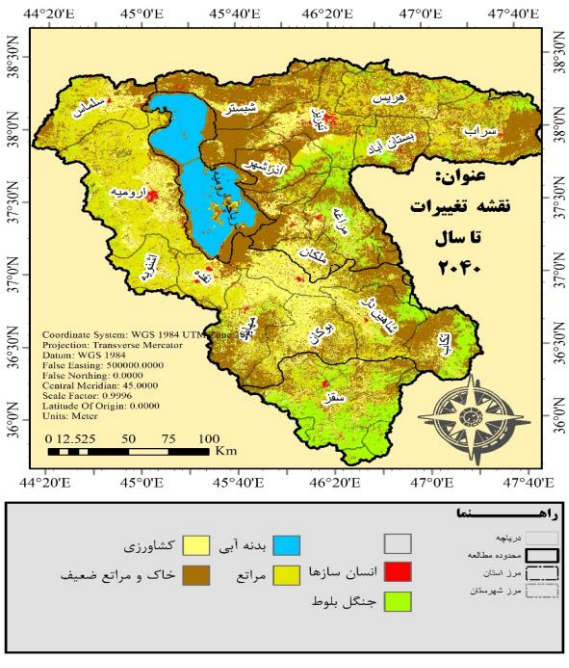
نتایج مطالعه تغییرات کاربری اراضی نشان می دهد (شکل۲) در محدوده مطالعه در حال حاضر ۵۷ هزار هکتار کاربری انسان ساز قرار دارد این کاربری در حال حاضر ۱/۱ درصد کل محدوده را تشکیل میدهد و در طول ۲۰ سال گذشته با ثابت تغییرات ۳۰٪ مثبت در طول هر ده سال رشد کرده است. در واقع از ۲۵ هزار هکتار در سال ۲۰۰۰ به ۴۲ هزار هکتار در سال ۲۰۱۰ و نهایتاً به مساحت اخیر رسیده است. که در مقایسه با تغییرات کاربری حوزه های دیگر همچون مازندران (غلامعلی فرد و همکاران، ۲۰۱۰) و اصفهان (میرعلی زاده و علی بخشی (۱۳۹۴) دارای نرخ رشد کند تری هست. علت این امر هم وجود شهرستان های مختلف در این حوزه که

سبب پایین آمدن این درصد نسبت کل است. در تفکیک شهرستان ها قطعاً شهرستان ارومیه و تبریز در طی ۲۰ سال گذشته از ۴۰۰۰ و ۹۰۰۰ هکتار مساحت این کاربری به ۱۵ هزار و ۱۴ هزار هکتار رسیده اند و روند رشد چند برابری را در خود تجربه کرده اند. در مقابل روستاهای مراغه، سقز و اشنویه تخریب و روند منفی را گزارش می دهند. در محدوده مورد مطالعه ذخیره جنگل های بلوط به درستی در قسمت جنوبی و به پراکندگی در بسیاری از حوزه ها همچون هشترود و سراب دیده می شوند. مساحت این جنگل ها در سال ۲۰۰۰ بالغ بر ۶۰۲ هزار هکتار بوده است که در مساحتی بالغ بر ۱۱/۱۶ درصد را تشکیل میدهد. با رویه کاهشی به ۵۳۲ هزار هکتار در سال ۲۰۲۰ رسیده است. این روند تخریب ۱۰٪ در کل حوزه با تخریب موجود در جنگل های هیرکانی (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۷) همخوانی دارد. علت تخریب شدید این منابع غیر از تغییر کاربری اراضی گسترش آتش سوزی و تغییر اقلیم می باشد (Arulbalaji و همکاران، ۲۰۱۴). کاربری کشاورزی به عنوان کلیدی ترین شاخص تغییرات بر محیط و سیمای اکولوژیکی حوزه دارای روند سینوسی و تحت تأثیر اقلیم و شرایط هیدرولوژی بوده است لذا در سال ۲۰۰۰ مساحت این کاربری ۱۴ ٪ کل حوزه بوده است پس یکی از کاربری های کلیدی حوزه برآورد می گردد. در دوره ۲۰۱۰ این کاربری دچار تحلیل رفتن اساسی شده و انقباض آن سبب شده ۷/۹۰ ٪ حوزه به این کاربری اختصاص یابد. وابستگی شدید این کاربری به آب و خاک ورزی تهدید امنیت غذایی منطقه و کشور را به همراه دارد لذا باتوسعه روند سد سازی ها هم اقبال چندانی در حفظ این کاربری نشده بلکه تمرکز و تراکم در حاشیه رودها و ازدست رفت بیشتر منابع آبی را در پی گرفته است (Tope-Ajayi، ۲۰۱۶). بدنه های آبی و بدون دریاچه ارومیه به طور کلی ۹/۶۳ درصد کل منطقه را پوشش می دهند. با توسعه سد سازی ها و ذخیره آب های سطحی هنوز مساحت زیادی از منابع آب سطحی دچار تنزل و کاهش بوده است که در سال ۲۰۲۰ درصد کل مساحت حوزه تنها ۶/۵ درصد را پی گرفته است . در این میان دریاچه ارومیه خود با مساحتی بالغ بر ۴۷۷ هزار هکتار در سال ۲۰۰۰ در سال ۲۰۲۰ به مساحتی بالغ بر ۳۵۰ هزار هکتار کاهش یافته است در این رویه منفی ۱۵ درصد مساحت خود را از دست داده است. هرچند که پی گیری اقدامات مختلف برای احیا صورت گرفته است ولی همچنان این رویه ناکافی بوده است. پس از مدلسازی کاربری اراضی برای سال ۲۰۴۰ نتایج مستخرج (شکل۴-۳۹) نشان میدهد که در ۲۰ سال آینده مساحت ساخت و سازهای انسانی از ۵۶ هزار هکتار به ۱۱۷ هزار هکتار رسیده و به ۲,۳۳ درصد محیط را به خود اختصاص می دهد. روند توسعه ۲۰ سال آینده در شهرستان های متوسط جمعیت همچون سقز دیده می شود.در رابطه با تغییر جنگل های بلوط تقریباً ثباتی مشاهده می گردد که مساحت این جنگل ها از ۵۳۲ هزار هکتار به ۵۱۰ هزار هکتار میرسد که نرخ تغییرات آن کمتر از ۲٪ است و این روند نسبت به دوره ای پیشین آرامشی در این حوزه باشد. در کل انتظار داریم ۰/۵۰ ٪ مساحت کلا در این حوزه تخریب گردد که با توجه به نقشه روند شدت مدیریت اهمیت فوق العاده ای دارد. هرچند رویه سد سازی تا حدودی سرعت کاهش را با کاهش منابع آبی را کند کرده است اما این رویه رویه موثر بدون آموزش و درگیر سازی سازمان های مرتبط به کشاورزی و بکار گیری روش های حفاظتی نیست. پس انتظار میرود مساحت بدنه های آبی تنها ۳۳۰ هزار هکتار برسد و در این میان ۶ سد آبی دیگر با کاهش یا تخریب کامل روبرو گردند و کارای خود را در حوزه از دست بدهند. یکی از این حوزه ها تخریب کامل سد نقده باشد. تغییر اقلیم و دست روی به منابع طبیعی سبب گردید که در ۲۰ سال گذشته مراتع اهداف اولیه تغییر کاربری اراضی باشند و بعد از تغییرات شدید از ۵۲٪ مساحت به ۲۶٪ مساحت خود رسیده و مساحت زیادی از حوزه بصورت لم یزرع و با پوشش کم دیده شود. لذا پوشش کم توان یا خاک از ۱۰٪ مساحت کل حوزه به ۳۷٪ رسیده و غالب حوزه ارومیه به حالت بیابانی یا بدون پوشش تبدیل میگردد. کشاورزی در مکان های اولیه خود که در سال ۲۰۰۰ وجود داشته با تنها ۲٪ ادامه می یابد زیرا این محل ها تنها جایی هستند که با توان اکولوژیک از این کاربری حمایت می کنند (جدول ۲). برطبق نقشه (۳)

جدول ۲ تغییر کاربری ها

	درصد مساحت کاربری			
کاربری ها	2000	2010	2020	2040
انسان سازها	0.50	0.84	1.13	2.33
جنگل بلوط	12.03	11.17	10.64	10.09
بدنه آبی	9.63	7.64	7.18	6.54
مراتع	52.27	60.14	39.98	26.19
کشاورزی	15.54	8.21	10.86	17.25
خاک	10.02	12.00	30.21	37.60

بر طبق نتایج بدست آمده در بررسی احتمال تغییرات از موصون ماندن تنها مساحت ناچیزی از حوزه که کمتر از ۱۲٪ است در احتمال بالای ۹۵٪ تغییراتی ندارند اما در گوشه مقابل احتمال تغییرات با بیش از ۵۰٪ در ۸۵ درصد از مساحت حوزه به وضوح دیده می شود.



شکل ۳- کاربری اراضی پیشبینی شده سال ۲۰۴۰

٤- نتیجه‌گیری

نتایج مطالعه تغییرات کاربری اراضی نشان داد در محدوده مطالعه در حال حاضر ۵۷ هزار هکتار کاربری انسان ساز قرار دارد این کاربری در حال حاضر ۱/۱ درصد کل محدوده را تشکیل میدهد و در طول ۲۰ سال گذشته با ثابت تغییرات ۳۰٪ مثبت در طول هر ده سال رشد کرده است. در واقع از ۲۵ هزار هکتار در سال ۲۰۰۰ به ۴۲ هزار هکتار در سال ۲۰۱۰ و نهایتاً به مساحت اخیر رسیده است. در تفکیک شهرستان ها قطعاً شهرستان ارومیه و تبریز در طی ۲۰ سال گذشته از ۴۰۰۰ و ۹۰۰۰ هکتار مساحت این کاربری به ۱۵ هزار و ۱۴ هزار هکتار رسیده اند و روند رشد چند برابری را در خود تجربه کرده اند. در مقابل روستاهای مراغه، سقز و اشنویه تخریب و روند منفی را گزارش می دهند .در محدوده مورد مطالعه ذخیره جنگل های بلوط به درستی در قسمت جنوبی و به پراکندگی در بسیاری از حوزه ها همچون هشترود و سراب دیده می شوند. مساحت این جنگل ها در سال ۲۰۰۰ بالغ بر ۶۰۲ هزار هکتار بوده است که در مساحتی بالغ بر ۱۱/۱۶ درصد را تشکیل میدهد. با رویه کاهشی به ۵۳۲ هزار هکتار در سال ۲۰۲۰ رسیده است. این روند تخریب ۱۰٪ در کل حوزه با تخریب موجود در جنگل های هیرکانی (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۷) همخوانی دارد .کاربری کشاورزی در سال ۲۰۰۰ مساحت این کاربری ۱۴ ٪ کل حوزه بوده است پس یکی از کاربری های کلیدی حوزه برآورد می گردد. در دوره ۲۰۱۰ این کاربری دچار تحلیل رفتن اساسی شده و انقباض آن سبب شده ۷/۹۰ ٪ حوزه به این کاربری اختصاص یابد .بدنه های آبی دریاچه ارومیه به طور کلی ۹/۶۳ درصد کل منطقه را پوشش می دهنده با توسعه سد سازی ها و ذخیره آب های سطحی هنوز مساحت زیادی از منابع آب سطحی دچار تنزل و کاهش بوده است که در سال ۲۰۲۰ درصد کل مساحت حوزه تنها ۶/۵ درصد را پی گرفته است . در این میان دریاچه ارومیه خود در سال ۲۰۰۰ با مساحتی بالغ بر ۴۷۷ هزار هکتار و در سال ۲۰۲۰ به مساحتی بالغ بر ۳۵۰ هزار هکتار کاهش یافته است در این رویه منفی ۱۵ درصد مساحت خود را از دست داده است. پس از مدلسازی کاربری اراضی برای سال ۲۰۴۰ نتایج داد که در ۲۰ سال آینده مساحت ساخت و سازهای انسانی از ۵۶ هزار هکتار به ۱۱۷ هزار هکتار رسیده و به ۲,۳۳ درصد محیط را به خود اختصاص می دهد. روند توسعه ۲۰ سال آینده در شهرستان های متوسط جمعیت همچون سقز دیده می شود. در رابطه با تغییر جنگل های بلوط تقریباً ثباتی مشاهده می گردد که مساحت این جنگل ها از ۵۳۲ هزار هکتار به ۵۱۰ هزار هکتار میرسد که نرخ تغییرات آن کمتر از ۲٪ است و این روند نسبت به دوره های پیشین در این حوزه باشد . تغییر اقلیم و دست روی به منابع طبیعی سبب گردید که در ۲۰ سال گذشته مراتع اهداف اولیه تغییر کاربری اراضی باشند و بعد از تغییرات شدید از ۵۲٪ مساحت به ۲۶٪ مساحت خود رسیده و مساحت زیادی از حوزه بصورت لم یزرع و با پوشش کم دیده شود. لذا پوشش کم توان یا خاک از ۱۰٪ مساحت کل حوزه به ۳۷٪ رسیده و غالب حوزه ارومیه به حالت بیابانی یا بدون پوشش تبدیل میگردد . کشاورزی در مکان های اولیه خود که در سال ۲۰۰۰ وجود داشته با تنها ۲٪ ادامه می یابد زیرا این محل ها تنها جایی هستند که با توان اکولوژیک از این کاربری حمایت می کنند. بر طبق نتایج بدست آمده در بررسی احتمال تغییرات از موصون ماندن تنها مساحت ناچیزی ار حوزه که کمتر از ۱۲٪ است در احتمال بالای ۹۵٪ تغییراتی ندارند اما در گوشه مقابل احتمال تغییرات با بیش از ۵۰٪ در ۸۵ درصد از مساحت حوزه به وضوح دیده می شود.

منابع

[1] Sikka, A.K., Sarma, J., Sharda, S.V.N., Samraj, P., and Akashmanam, S. 2003.Low Flow and High Flow Responses to Converting Natural Grassland in toBlugeum (Eucalyptus Globules) in Nilgiris Watersheds of South India, J. ofHydrol., 270: 12-26.

[2] Bronstert,A., Niehoff,D and Bürger,G. 2002. Effects of climate and land-use change on storm runoff generation: present knowledge and modelling capabilities. Hydrological Processes. 16.2:509-529.

[3] Ott,B., Uhlenbrook,S. 2004. Quantifying the impact of landuse changes at the event and seasonal time scale using a process-orientated catchment model. Hydrology and Earth System Sciences. 8:62–78.

[4] Bouma, J., Varrallyay, G. & Batjes, N.H. 1998. Principle land use changes anticipated in Europe. Agriculture, Ecosystems and ENVIROMENT 67-1998.103-119.

[5] Wang YQ (2009) Remote sensing of land-cover change and landscape context of the national parks: a case study of the Northeast temperate network. Remote Sensing of Environment 113:1453–1461.

[6] Mainguet M (1994) What is desertification?: Definitions and evolution of the concept cesertification (pp. 1-16): Springer

[A] Congalton RG, Green K (1999) Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices, Boca Rotan, Florida Lewis Publishers

[B] Easteman, J.R., 2009. IDRISI Taiga Guide to GIS and Image Processing, Clark University, Worcester; MA 01610 – 1477 USA. 327p.