سنجش از دور و GIS ایران
سال ششم، شماره یکم، بهار ۱۳۹۳
Vol.6, No.1, Spring 2014
سنجش از دور و GIS ایران
Iranian Remote Sensing & GIS
۸۵-۱۰۲

تعیین تناسب اراضی برای کشت محصولات کشاورزی با استفاده از GIS و سیستم‌های استنتاج‌گر فازی

پرستو پیله‌فروش‌ها[۱]، محمد کریمی[۲]*، محمد طالعی[۳]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد GIS، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۲. استادیار گروه GIS، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۳. عضو قطب علمی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی و استادیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۱۱/۱۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۱۰/۱۴

چکیده

با توجه به رشد سریع جمعیت، توسعه و گسترش شهرها و محدودشدن زمین‌های کشاورزی، ارزیابی زمین‌ها برای استفادهٔ بهینه و افزایش تولید در واحد سطح و تصمیم‌گیری هدفمند در تخصیص زمین‌های کشاورزی به بهترین کاربری، اهمیت ویژه‌ای دارد. در پژوهش حاضر مدلی برای برنامه‌ریزی تخصیص محصولات کشاورزی ارائه شده است که در آن با محاسبهٔ میزان تناسب سرزمین با استفاده از سیستم‌های استنتاج‌گر قاعده‌مبنای فازی و تعیین تقاضا و مدنظر قراردادن توالی کشت محصولات، نوع محصول کشاورزی در منطقهٔ موردنظر تعیین می‌شود. مدل ارائه‌شده با استفاده از نرم‌افزارهای GAMS 23.7، MATLAB و ArcGIS 9.3 در شهرستان برخوار و میمه واقع در استان اصفهان پیاده‌سازی شد. نتایج تخصیص محصولات کشاورزی و بررسی سه نوع تناوب زراعی موجود نشان دادند که مساحت اختصاص داده‌شده به محصولات گندم، گندم ـ ذرت، جو، جو ـ ذرت، ذرت، یونجه و سیب‌زمینی برای سال ۱۳۹۰ به‌ترتیب برابر با ۲۷/۸۲، ۲۱/۶۴، ۷/۲۷، ۵/۸۵، ۷/۳۶، ۶/۳۶ و ۱/۷۴ درصد از کل مساحت اختصاص داده‌شده به کاربری کشاورزی در منطقه است. همچنین که توزیع مکانی این محصولات به‌گونه‌ای است که به‌منظور دستیابی به تولید بهینه، می‌بایست کشت گندم، جو و ذرت به‌صورت سیستم کشت دومحصولی در قسمت جنوبی شهرستان، و کشت یونجه و ذرت عمدتاً در قسمت‌های شمالی شهرستان صورت گیرد. با استفاده از مدل ارائه‌شده، می‌توان مناسب‌ترین محصول برای کشت در ناحیه‌ای مشخص را تعیین کرد و با تعریف سناریوهای مختلف اطلاعات مفیدی را برای برنامه‌ریزان بخش کشاورزی تولید کرد.

کلیدواژه‌ها: تناسب اراضی، تعیین تقاضا، محصولات کشاورزی، سیستم‌های استنتاج‌گر فازی، مدل‌سازی مکانی.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: تهران، خیابان ولی‌عصر، تقاطع میرداماد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، اتاق شماره ۴۰۵
تلفن: ۰۹۱۲۳۸۹۸۳۸۵ Email: mkarimi@kntu.ac.ir

۱- مقدمه

کشاورزی نقش مهمی در برنامه‌ریزی اقتصادی دارد و محور اصلی توسعهٔ اقتصادی و اجتماعی قلمداد می‌شود. از اهداف این بخش می‌توان به دستیابی به رشد مستمر تولید و افزایش بهره‌وری اشاره کرد (Farhadi Bansouleh, 2009). کارشناسان معتقد به وجود توانی بالقوه در این بخش مهم‌اند و دستیابی به مرحلهٔ خوداتکایی در محصولات کشاورزی از انتظارات عمومی مردم و سیاستمداران به‌شمار می‌آید (Isfahan Agricultural Development Plan, 2001).

اکنون بخش مهمی از نیازهای ملی ایران برای محصولات کشاورزی از طریق واردات تأمین می‌شود. سطح تولیدات حاضرِ بیشتر محصولات کشاورزی، به‌دلیل شرایط محیطی و به‌ویژه مشکلات و محدودیت‌هایی که در تخصیص منابع به فعالیت‌های مختلف وجود دارد، به‌مراتب کمتر از توان بالقوهٔ زمین است (Farhadi Bansouleh, 2009). افزون بر این، به‌دلیل رشد روزافزون جمعیت و توسعهٔ شهرها به‌مرور زمان از امکان گسترش سطح زیرکشت کاسته می‌شود (Jalalian et al., 2007). بنابراین، عدم‌استفادهٔ بهینه از زمین‌های کشاورزی موجود از یک‌سو و محدودبودن زمین‌های کشاورزی از سوی دیگر، تلاش آگاهانه به‌منظور برنامه‌ریزی برای تخصیص بهینهٔ زمین به محصولات کشاورزی را ضرورت بخشیده است؛ به‌گونه‌ای‌که نیازهای تغذیه‌ای جمعیتِ در حال رشد و نیازهای صنایع وابسته به کشاورزی را برطرف سازد.

فرایند تخصیص کاربری زمین به‌عنوان ابزاری برای شناسایی مناسب‌ترین الگوی مکانی آتی کاربری زمین براساس نیازهای مشخص، اولویت‌ها یا پیش‌بینی برخی فعالیت‌ها تعریف می‌شود (Malczewski, 2006; Liu et al., 2007). این فرایند شامل مراحل مختلفی است که نیاز به مطالعات گوناگون دارد. در مرحلهٔ نخست، تناسب زمین از طریق مطالعهٔ شرایط زیست‌محیطی و اجتماعی ـ اقتصادی لازم برای انواع کاربری‌ها و مقایسهٔ آنها با ویژگی‌های زمین انجام می‌پذیرد (FAO, 1976).

در مرحلهٔ بعد، ارزیابی تقاضای زمین به‌صورت برآورد مساحت لازم برای انواع کاربری‌ها در سطح واحدهای تقاضا بررسی می‌شود (Karimi et al., 2009). در پایان، تخصیص زمین به‌معنای تعریف کاربری مناسب برای واحدهای زمین، براساس محاسبهٔ تناسب زمین، تقاضا و قوانین تغییر کاربری انجام می‌شود (Verburg and Overmars, 2009).

ارزیابی تناسب زمین، بخش اصلی فرایند تخصیص کاربری زمین است (Sante ° Riveira et al., 2008). در تعیین تناسب زمین، ویژگی‌های زمین با نیازهای هر کاربری مقایسه می‌شود (FAO, 1976). اگرچه معیارهای ارزیابی تناسب محیطی زمین در بخش کشاورزی از مکانی به مکان دیگر متفاوت‌اند، ولی به‌طورکلی می‌توان آنها را برمبنای دو دسته شاخص دسته‌بندی کرد: شاخص‌های مربوط به زمین و شاخص‌های مربوط به اقلیم. برخی پژوهشگران روی شاخص‌های مربوط به زمین تمرکز کرده‌اند (Nisar Ahamed et al., 2000; Sicat et al., 2005; Mendas and Delali, 2012) و برخی دیگر افزون بر آن، شاخص‌های دستهٔ دوم را به‌صورت ثابت با زمان یا تنها در طول دورهٔ رشد محصول مطالعه کرده‌اند (Ceballos-Silva and Lopez-Blanco, 2003a; Ceballos-Silva and Lopez-Blanco, 2003b; Mwenge Kahinda et al., 2012; Reshmidevi et al., 2009; Bhagat et al., 2009; Da-Cheng et al., 2011). بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهند که مطالعات محدودی به هر مرحله از دورهٔ رشد محصول و درنتیجه درنظر گرفتن عوامل اقلیمی به‌صورت متغیر با زمان توجه کرده‌اند (Thanh Tuan et al., 2011). این در حالی است که با توجه به تغییر عوامل آب‌وهوایی در گذر زمان لازم است شاخص‌های مربوط به اقلیم و آب‌وهوا در مقیاس‌های کوچک در نظر گرفته شوند و صرفاً پرداختن به میانگین این پارامترها در یک بازهٔ زمانی کافی نیست.

بسیاری از معیارهای مرتبط در ارزیابی تناسب زمین برای محصولات کشاورزی (به‌عنوان مثال، عمق خاک مناسب برای کشت محصولی مشخص)، از طریق

مقادیر عددی دقیق بیان‌شدنی نیست. حجم زیادی از اطلاعات مرتبط با تناسب زمین برای محصولات کشاورزی به‌صورت عبارت‌های کیفی و مفاهیم مبهم بیان شده و طبقه‌بندی قطعی زمین به کلاس‌های تناسب، مشکل است (Reshmidevi et al., 2009). مدل‌سازی مفاهیم مبهم از طریق نظریهٔ مجموعه‌های فازی و استفاده از سیستم‌های قاعده‌مبنای فازی صورت می‌گیرد. بنابراین، در مطالعات GIS مبناهای مختلفی از مدل فازی به‌منظور تعیین تناسب زمین به‌کار گرفته شده است (Nisar Ahamed et al., 2000; Sicat et al., 2005; Malczewski, 2006; Reshmidevi et al., 2009).

در مدل‌سازی تخصیص کاربری، افزون بر تهیهٔ نقشه‌های تناسب، محاسبهٔ مساحت موردنیاز کاربری‌ها (تقاضا) نیز ضرورت دارد (Karimi, 2010). محاسبهٔ تقاضای کاربری‌ها معمولاً با استفاده از مدل‌های اجتماعی ـ اقتصادی (Liu et al., 2007)، روش‌های آماری (Verburg et al., 2002)، روش‌های چندهدفه (Agrell et al., 2004; Wang et al., 2004; Biswas and Pal, 2005; Sante and Crecente, 2007; Sante-Riveira et al., 2008; Zeng et al., 2010; Sadeghi et al., 2009) یا زنجیرهٔ مارکوف (Xu et al., 2009) صورت می‌گیرد.

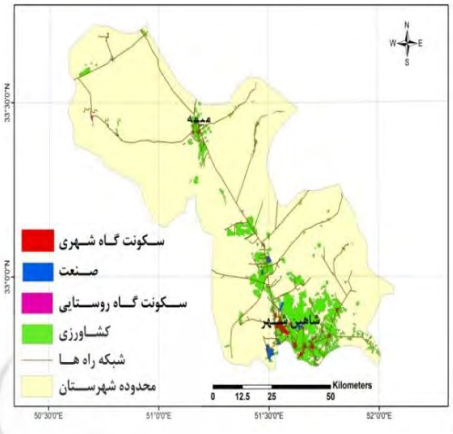
بیشتر تحقیقات انجام‌شده در زمینهٔ تخصیص محصولات کشاورزی، میزان متوسط کشت محصول را در طول یک بازهٔ زمانی تعیین کرده‌اند (Van Deldan et al., 2007; Sante-Riveira et al., 2008). این در حالی است که به‌منظور برنامه‌ریزی در این بخش لازم است نوع محصول تخصیص‌یافته به هر منطقه در هر سال مشخص شود، ازاین‌رو تعیین تناوب زراعی در تخصیص محصولات کشاورزی ضرورت می‌یابد در این زمینه آورباخر و دابرت (۲۰۱۱)، با استفاده از رویکرد زنجیرهٔ مارکوف، توالی کشت محصولات را تعیین کرده‌اند. با توجه به یافته‌های پژوهش حاضر، یکی از روش‌های در نظر گرفتن توالی کشت محصولات، استفاده از الگوی توالی کشت به‌عنوان یک دادهٔ ورودی قطعی در مدل است. این کار معمولاً با استفاده از تعیین قیود مختلف برای محصولات ـ که ازطریق وابستگی با نوع کاربری در گام زمانی قبل انجام می‌شود ـ صورت می‌پذیرد. مطالعات پیشین بیشتر بر سیستم‌های کشت تک‌محصولی که منجر به تخصیص یک محصول می‌شود، تأکید کرده‌اند. در این زمینه تانح توان و همکاران (۲۰۱۱)، با استفاده از تهیهٔ نقشه‌های معیار بارش در طول مراحل مختلف رشد گندم و ذرت و تلفیق آنها، میزان تناسب برای سیستم کشت دومحصولی گندم ـ ذرت را ارزیابی کرده‌اند.

به‌منظور حل مشکلات گفته‌شده، در پژوهش حاضر مدلی ارائه شده که در آن اطلاعات مربوط به مراحل رشد هر محصول درنظر گرفته شده است و تخصیص محصولات کشاورزی در بستر سامانهٔ اطلاعات مکانی (GIS) صورت می‌پذیرد. برای این منظور، با فرض دراختیار داشتن نقشهٔ کاربری کشاورزی منطقهٔ مطالعه‌شده و با محاسبهٔ میزان تناسب زمین به‌صورت فازی و نیز میزان تقاضا برای سیستم‌های کشت انتخابی، نوع محصول کشاورزی به‌صورت تک‌محصولی و دومحصولی در مناطق دارای کاربری کشاورزی و همچنین توالی کشت محصولات در بازهٔ زمانی برنامه‌ریزی تعیین شده است.

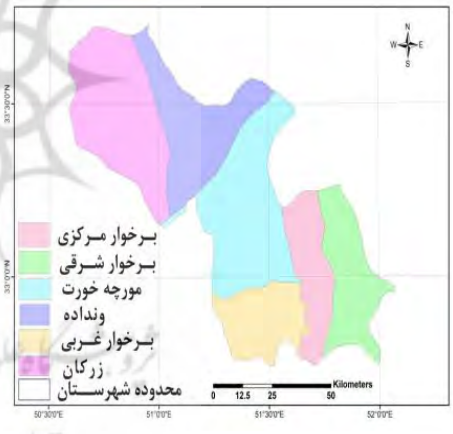
۲- مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در شهرستان برخوار و میمه واقع در استان اصفهان انجام شده و در آن از تصاویر ماهواره‌ای ASTER به‌منظور تهیهٔ نقشهٔ کاربری این منطقه استفاده شده است (شکل ۱). این منطقه در محدودهٔ ارتفاعی ۱۵۵۰ تا ۳۳۰۰ متر قرار دارد و با متوسط بارندگی ۱۱۶ میلی‌متر در سال، دارای آب‌وهوای سرد و خشک است. همچنین ازآنجاکه در کنار زاینده‌رود واقع شده، دارای عرصه‌های دشتی و جلگه‌ای فراوانی است که یکی از قطب‌های کشاورزی منطقه را تشکیل می‌دهد (Isfahan Agricultural Development Plan, 2001). مطابق با آمار سال ۱۳۸۵، این شهرستان که شامل ۳ بخش، ۶ دهستان، ۹ شهر و ۳۱ روستای مسکونی است، وسعتی

برابر ۶۹۵۷ کیلومترمربع و جمعیتی معادل ۲۷۹,۷۸۸ نفر دارد. رشد جمعیت سالانه ۲/۵۸ درصد در طول سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۳۷۵ و رشد سالانه ۲/۳۹ درصد در طول سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۵ گویای تمرکز جمعیت در این منطقه است (SCI, 2008).



(الف)



(ب)

شکل ۱. شهرستان برخوار و میمه ـ نقشهٔ کاربری (الف)؛ دهستان‌ها (ب)

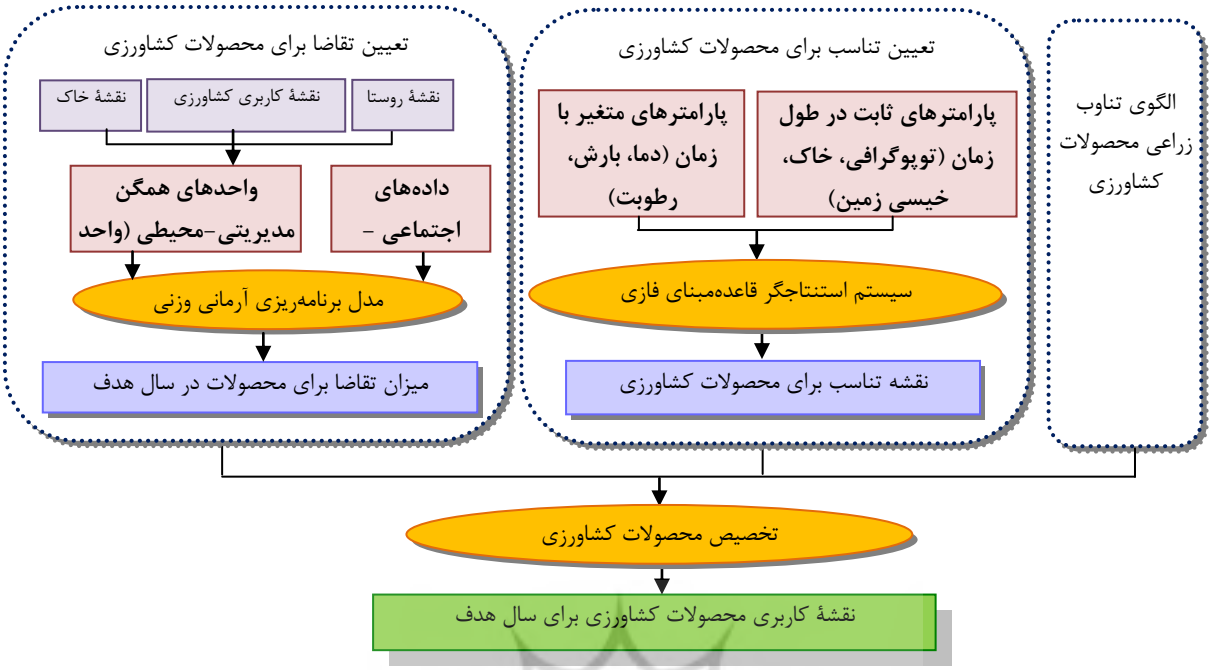
رشد جمعیت در سال‌های اخیر؛ وجود کانون‌های عمدهٔ فعالیت‌های صنعتی، کشاورزی و خدماتی؛ توسعهٔ زیرساخت‌های بخش کشاورزی نظیر احداث یک شبکهٔ آبیاری جدید در بخش جنوبی منطقه، از دلایل انتخاب شهرستان برخوار و میمه برای مطالعه است. افزون بر این، یکی از مهم‌ترین دلایل انتخاب این منطقه، در دسترس بودن داده‌ها و اطلاعات به‌دست آمده از مطالعات پیشین است.

در پژوهش حاضر سال ۱۳۸۴ به‌عنوان سال مبنا تعیین شده و تخصیص محصولات کشاورزی برای سال ۱۳۹۰ مدنظر قرار گرفته است. بدین‌منظور، براساس وضعیت داده‌های موجود و بررسی تحقیقات مرتبط (Sys et al., 1993)، یک پایگاه دادهٔ مکانی از مجموعه نقشه‌های شیب، ارتفاع، خاک، وضعیت سیل‌گیری، وضعیت زهکشی، میزان دما، بارش و رطوبت نسبی هوا[1] ایجاد شد. در بخش داده‌های مربوط به اقلیم، مجموعه‌ای از ۴۴ ایستگاه هواشناسی متعلق به وزارت نیرو و سازمان هواشناسی، شبکهٔ ایستگاه‌های در نظر گرفته‌شده برای این تحقیق را تشکیل می‌دهند. این مجموعه شامل ۶ ایستگاه سینوپتیک، ۱۱ ایستگاه کلیماتولوژی، ۱۳ ایستگاه باران‌سنجی و ۱۴ ایستگاه تبخیرسنجی است.

در بخش داده‌های اقلیم، متغیرهای دما و بارش، و برای محصول ذرت و یونجه پارامتر رطوبت نیز در طول سال‌های ۱۳۸۳-۱۳۶۴ در نظر گرفته شده‌اند. پس از جمع‌آوری اطلاعات مربوط به هر ایستگاه، موقعیت جغرافیایی هریک با استفاده از سامانهٔ مختصات جغرافیایی با فرمت Shapefile در نرم‌افزار ArcGIS9.3 ذخیره شد و سپس میزان متوسط ماهانه و سالانهٔ دما، بارش و رطوبت، به‌عنوان پارامترهایی که با زمان تغییر می‌کنند، در پایگاه دادهٔ GIS وارد گردید. داده‌های مورد نیاز این مطالعه در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ در نظر گرفته شد و در کلیهٔ مراحل تحقیق، اندازهٔ پیکسل‌های تمامی نقشه‌های معیار برابر با ۱۰۰ متر در نظرگرفته شد.

فرایند تخصیص کاربری در پژوهش حاضر مطابق با شکل ۲ مدل‌سازی شده است. به‌طور کلی، در تحلیل‌های مکانی مبتنی بر کاربرد GIS، فرض می‌شود که منطقهٔ در حال مطالعه به مجموعه‌ای از واحدهای مشاهده مانند پلی‌گون یا پیکسل تقسیم شده است. در پژوهش حاضر، پیکسل به‌عنوان واحد مکانی مورد ارزیابی انتخاب و مدل آن اجرا شده است.

1. Humidity



شکل ۲. ساختار اجرای پژوهش

برای این منظور، با درنظرگرفتن دو دسته پارامترهای ثابت با زمان و متغیر با زمان، و همچنین با بهره‌گیری از منطق فازی، میزان تناسب زمین برای محصولات محاسبه شد. سپس، با استفاده از روش برنامه‌ریزی آرمانی وزنی، میزان تقاضای محصولات کشاورزی برای منطقهٔ موردنظر محاسبه شد. در پایان با درنظرگرفتن الگوی موجودِ تناوب زراعی در منطقه، نقشهٔ کاربری محصولات کشاورزی در بازهٔ زمانیِ برنامه‌ریزی تعیین شد. در تمام مراحل تحقیق، وزن‌دهی به معیارها و تلفیق معیارها به‌ترتیب با استفاده از روش AHP و روش WLC انجام گرفت. در ادامهٔ این مطلب ضمن تعیین معیارهای به‌کار گرفته‌شده، مدل پیشنهادی نیز تشریح شده است.

۲-۱- انتخاب معیارها

با مطالعهٔ سیستم‌های کشت شهرستان برخوار و میمه و همچنین الگوی کشت محصولات کشاورزی این منطقه از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۴، پنج محصول گندم، جو، ذرت، یونجه و سیب‌زمینی که بالاترین درصد سطوح زیر کشت را در منطقه دارند، به‌عنوان کاربری‌های مورد مطالعه در پژوهش حاضر انتخاب شدند. این محصولات پنج سیستم کشت تک‌محصولی شامل گندم، جو، ذرت، یونجه و سیب‌زمینی و دو سیستم کشت دومحصولی شامل گندم ـ ذرت و جو ـ ذرت را تشکیل می‌دهند (Isfahan Agricultural Development Plan, 2001).

در مرحلهٔ بعد، پارامترهای استفاده‌شده (اقلیم شامل دما، بارش و رطوبت نسبی هوا، ویژگی‌های زمین شامل توپوگرافی، خاک و خیسی زمین[1]) به دو دسته پارامترهای متغیر با زمان و پارامترهای ثابت با زمان تقسیم‌بندی شدند. میزان پارامترهای متغیر شامل دما، بارش و رطوبت در هر مرحله از رشد محصول متفاوت است و در هر دوره رشد محصول به‌صورت جداگانه بررسی شد. در مقابل، پارامترهای ثابت شامل توپوگرافی، خاک (عمق خاک و بافت خاک) و وضعیت رطوبتی خاک (وضعیت سیل‌گیری و وضعیت زهکشی)، با گذر زمان تغییر چندانی ندارند و ثابت فرض شدند.

1. Wetness

۲-۲- تعیین تناسب اراضی برای محصولات کشاورزی

در پژوهش حاضر از یک سیستم استنتاج‌گر قاعده‌مبنای فازی به‌منظور تعیین تناسب زمین برای هر کاربری استفاده شده است. ازآنجاکه طراحی سیستم قاعده‌مبنای فازی که تمام معیارهای لازم را دربرگیرد، پیچیده است، در مطالعهٔ حاضر با استناد به پژوهش رشمیدوی و همکاران (۲۰۰۹)، سامانهٔ استنتاج‌گر قاعده‌مبنای فازی‌ای طراحی شده که معیارهای موردنظر را در شش گروه (دما، بارش، رطوبت، توپوگرافی، خاک و خیس زمین) تقسیم‌بندی کرده است. در مرحلهٔ بعد، اطلاعات مربوط به دورهٔ رشد محصولات از منابع موجود (Isfahan Agricultural Development Plan, 2001) و جدول‌هایی که سیس و همکاران (۱۹۹۳) تهیه کردند، اقتباس گردید (جدول ۱) و نقشه‌های معیار هر یک از عوامل آب‌وهوایی در هر مرحله از رشد هر محصول با استفاده از روش درون‌یابی IDW تهه شد. سپس با طبقه‌بندی نقشه‌های تهیه‌شده براساس جدول‌های سیس و همکاران (۱۹۹۳) و انطباق با شرایط محلی و وزن‌دهی به آنها با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، معیارهای وزن‌دهی‌شده در هر گروه با استفاده از روش WLC[1] تلفیق شدند، تا تناسب زمین برای هر گروه از معیارها تعیین گردد. جدول ۲ نیازهای رویشی محصول گندم را نشان می‌دهد. جدول‌های نیازهای رویشی برای دیگر محصولات مورد مطالعه نیز تهیه شدند و در طبقه‌بندی نقشه‌های معیار از آنها استفاده شد.

در مرحلهٔ بعد، معیارهای ورودی (تناسب زمین نسبت به هر گروه معیار) و همچنین شاخص تناسب با استفاده از توابع عضویت خطی به پنج کلاس بسیار مناسب (S1)، مناسب (S2)، تقریباً مناسب (S3)، تا حدی مناسب (S4) و نامناسب (N)، تبدیل شدند. سپس، با استفاده از دانش کارشناسی در این زمینه پایگاه قواعد فازی تشکیل شد و با تلفیق خروجی هر قانون و غیرفازی‌سازی داده‌ها، میزان تناسب برای هر محصول در هر سیستم کشت محاسبه گردید (شکل ۳).

جدول ۱. تقویم عملیات زراعی در شهرستان برخوار و میمه

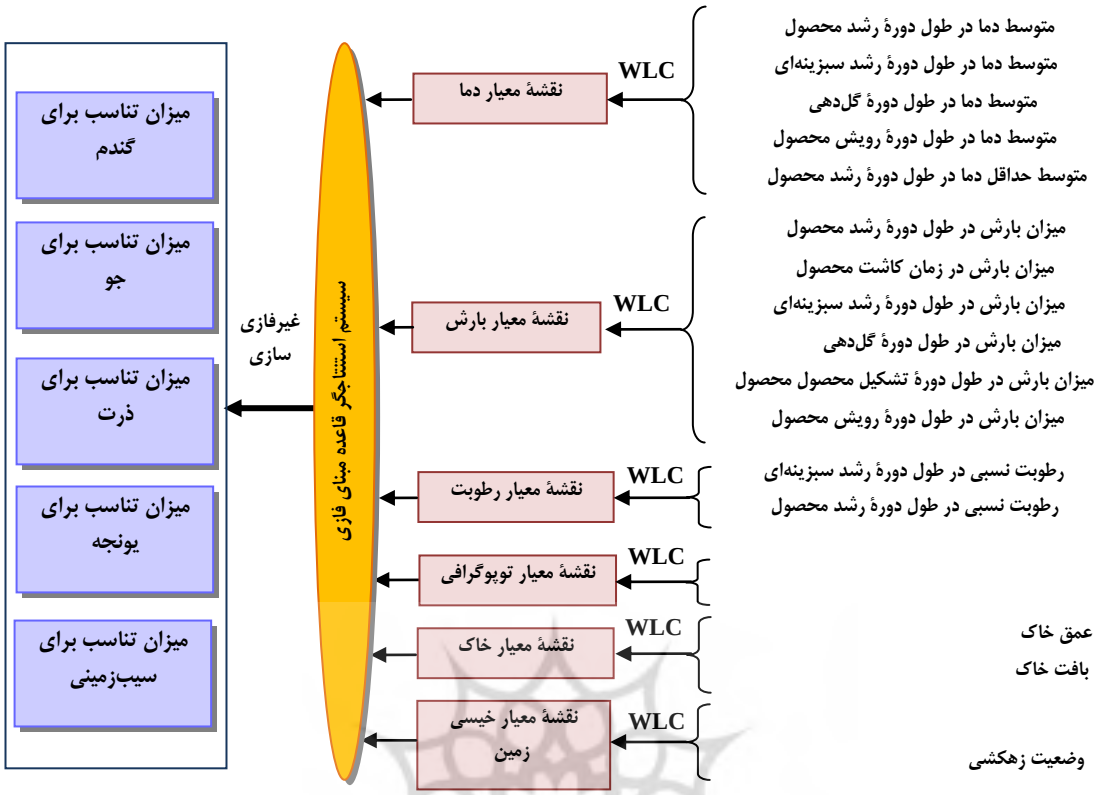
محصول	سیستم کشت	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
گندم	تک‌محصولی												
	دو محصولی												
جو	تک‌محصولی												
	دومحصولی												
ذرت	تک‌محصولی												
	دو محصولی												
یونجه	تک‌محصولی												
سیب‌زمینی	تک‌محصولی												

کاشت ——— رشد سبزینه‌ای ═══ گل‌دهی - · - تشکیل محصول ····· برداشت ▬▬

1. Weighted Linear Combination

جدول ۲. جدول نیازهای رویشی گندم

نوع پارامتر	نام پارامتر	کلاس تناسب				
		بسیار مناسب	مناسب	تقریباً مناسب	تاحدودی مناسب	نامناسب
	- میزان بارش در طول دورهٔ رشد محصول (میلی‌متر)	۱۲۵ ° ۱۵۰ ۱۵۰ - ۱۷۵	۱۰۰ ° ۱۲۵ ۱۷۵ - ۲۰۰	۷۵ ° ۱۰۰ ۲۰۰ -۲۲۵	- ۲۲۵ - ۲۵۰	< ۱۰۰ > ۲۵۰
	- میزان بارش در طول دورهٔ رشد سبزینه‌ای (میلی‌متر)	۶۵ ° ۸۵ ۸۵ - ۱۱۰	۴۰ ° ۶۵ ۱۱۰ -۱۳۰	۲۲ ° ۴۰ > ۱۳۰	۸ ° ۲۲ -	< ۸ -
	- میزان بارش در طول دورهٔ گل‌دهی (میلی‌متر)	۳۵ ° ۴۵ ۴۵ - ۵۵	۲۵ ° ۳۵ ۵۵ - ۶۵	۱۵ ° ۲۵ > ۶۵	۱۰ ° ۱۵ -	< ۱۰ -
ویژگی‌های اقلیمی	- میزان بارش در طول دورهٔ رویش محصول (برداشت محصول)	۲ ° ۲/۵ ۳ ° ۲/۵	۲ -۱/۵ ۳ -۱۰	۱ ° ۱/۵ ۱۰ ° ۱۵	< ۱ > ۱۵	- -
	- میانگین دما در طول دورهٔ رشد محصول (درجهٔ سانتی‌گراد)	۱۳ ° ۱۰ ۱۰ - ۹	۱۵ ° ۱۳ ۹ - ۸	۱۵ ° ۲۵ ۸ ° ۷	۲۵ ° ۳۰ ۷ - ۵	> ۳۰ < ۵
	- میانگین دما در طول دورهٔ رشد سبزینه‌ای (درجهٔ سانتی‌گراد)	۶ ° ۸ ۸ ° ۱۰	۴ ° ۶ ۱۰ - ۱۵	۳ ° ۴ ۱۵ ° ۲۰	۲ ° ۳ ۲۰ - ۲۸	< ۲ > ۲۸
	- میانگین دما در طول دورهٔ گل‌دهی (درجهٔ سانتی‌گراد)	۱۲ ° ۱۴ ۱۴ - ۱۶	۱۰ ° ۱۲ ۱۶ - ۱۸	- ۱۸ ° ۲۰	۸ ° ۱۰ ۲۰ - ۳۰	< ۸ > ۳۰
	- میانگین دما در طول دورهٔ رویش محصول (برداشت محصول) (درجهٔ سانتی‌گراد)	۱۶ ° ۲۰ ۲۰ - ۲۴	۱۴ ° ۱۶ ۲۴ - ۳۰	۱۲ ° ۱۴ ۳۰ ° ۳۶	۱۰ ° ۱۲ ۳۶ - ۴۲	< ۱۰ > ۴۲
	- شیب (درصد)	۰ - ۲	۲ - ۴	۴ ° ۸	۸ - ۱۶	> ۱۶
ویژگی‌های زمین	- بافت خاک	رسی، رسی سیلتی، سیلتی، لومی سیلتی، لومی رسی	رسی شنی، لومی	لومی رسی شنی	لومی شنی، شن لومی ریز	رسی گسترده، رسی سیلتی گسترده، شن لومی درشت، ماسه (شن ریز)، شن درشت
	- عمق خاک (سانتی‌متر)	> ۹۰	۵۰ - ۹۰	۲۰ ° ۵۰	۱۰ - ۲۰	< ۱۰
	- سیل‌گیری	F0	-	F1	F2	F3
	- زهکشی	خوب	متوسط	نامناسب	ضعیف	ضعیف



شکل ۳. سامانهٔ استنتاج‌گر قاعده‌مبنای فازی به‌منظور ارزیابی تناسب هر کاربری

در این بخش، از توابع عضویت خطی به‌منظور فازی‌سازی داده‌های ورودی، از مدل ممدانی (خروجی به‌صورت خطی یا یک عدد ثابت نیست، بلکه به‌صورت مجموعه‌ای فازی است که باید غیرفازی شود) به‌عنوان مدل تصمیم‌گیری در مرحلهٔ استنتاج فازی، و از روش غیرفازی‌سازی مرکز ثقل در مرحلهٔ غیرفازی‌سازی نتایج استفاده شد (Menhaj, 2008). به‌منظور تهیهٔ نقشهٔ تناسب برای سیستم‌های کشت دومحصولی، با استناد به پژوهش تانح توان و همکاران (۲۰۱۱)، نقشه‌های تناسب تولیدشده برای هریک از دو محصول در سیستم کشت دومحصولی با استفاده از روش WLC تلفیق و نقشهٔ نهایی تناسب برای سیستم کشت دومحصولی تولید می‌شود.

۲-۳- تعیین تقاضای محصولات کشاورزی

در پژوهش حاضر، با استفاده از مطالعهٔ فرهادی بانسوله (۲۰۰۹) از روش برنامه‌ریزی چندهدفه به‌منظور تعیین میزان تقاضای محصولات انتخابی استفاده شد. با درنظرگرفتن واحدهای تقاضای همگن مدیریتی ـ محیطی که از ترکیب نقشهٔ خاک، نقشهٔ پلی‌گون‌های روستا و نقشهٔ کاربری کشاورزی (نقشهٔ مناطق تخصیص‌یافته به کشاورزی) تولید می‌شوند، و استفاده از روش برنامه‌ریزی آرمانی وزنی، میزان تقاضای محصولات کشاورزی محاسبه گردید. در روش برنامه‌ریزی چندهدفه، دو هدف شامل درآمد خالص و هزینهٔ تولید، پنج محدودیت شامل زمین، آب، نیروی کار، ماشین‌آلات کشاورزی و الگوی کشت، و هفت متغیر که نشان‌دهندهٔ سیستم‌های کشت مورد نظر هستند، تعریف شد. روابط (۱) تا (۳) مدل برنامه‌ریزی آرمانی به‌کار گرفته‌شده در پژوهش حاضر را نشان می‌دهند.

$$Net\ Income + D_{\text{"Income",LU}} - E_{\text{"Income",LU}} = Income\ goal_{LU}$$ رابطه (۱)

$$Production\ Cost_{Cropsys,LU} + D_{\text{Production Cost ,LU}} - E_{\text{Production Cost ,LU}} = Production\ cost\ goal_{LU}$$ رابطه (۲)

رابطه (۳)

$$Weighted\ deviation = \Sigma_{LU}(W_{\text{Income},LU} * \frac{D_{\text{Income},LU} + E_{\text{Income},LU}}{Income\ goal_{LU}} + W_{\text{Production Cost},LU} * \frac{D_{\text{Production Cost},LU} + E_{\text{Production Cost},LU}}{Production\ cost\ goal_{LU}})$$

که در آنها:

- $Income\ goal_{LU}$ و $Production\ cost\ goal_{LU}$، آرمان‌های هر واحد تقاضا به‌ترتیب برای اهداف درآمد خالص و هزینهٔ تولید؛
- $D_{\text{"Production Cost"},LU}$، $E_{\text{"Production Cost"},LU}$، $D_{\text{"Income"},LU}$ و $E_{\text{"Income"},LU}$، متغیرهای کمکی برای اهداف و واحدهای تقاضای مختلف؛ و
- $W_{\text{"Production Cost"},LU}$ و $W_{\text{"Income"},LU}$، وزن هر هدف برای هر واحد تقاضاست.

در مرحلهٔ بعد، واحدهای تقاضای همگن مدیریتی ـ محیطی به‌عنوان ورودی توابع هدف، و محدودیت‌ها و داده‌های اجتماعی ـ اقتصادی به‌عنوان ضرایب مدل وارد شدند و سپس با استفاده از روش برنامه‌ریزی آرمانی، مساحت مورد نیاز برای کشت محصولات مختلف محاسبه شد. خروجی مدل بهینه‌سازی، که اندازهٔ بهینهٔ هر کاربری را به‌منظور تأمین میزان تقاضا در سال ۱۳۸۴ و همچنین در طول سال‌های ۱۳۹۰-۱۳۸۴ نشان می‌دهد، به‌ازای واحدهای مکانی تقاضای تعریف‌شده، تعیین می‌شود. در این مطالعه، نرم‌افزار GAMS 23.7 برای برنامه‌نویسی و حل مدل برنامه‌ریزی خطی به‌کار گرفته شد.

۲-۴- تخصیص محصولات کشاورزی

در تحقیق حاضر با بررسی منابع مرتبط (نظیر خواجه‌پور، ۲۰۰۳) و با درنظرگرفتن الگوی موجود تناوب زراعی در منطقه، تناوب محصولات کشاورزی برای تعیین مکان مناسب هر محصول در هر سال، مدنظر قرار گرفت. بدین منظور ابتدا تناوب‌های عام که شامل سطح زیرکشت عمده نظیر گندم و جو هستند، برای منطقهٔ مطالعه‌شده با استفاده از منابع موجود (Isfahan Agricultural Development Plan, 2001) تهیه شدند (جدول ۳).

در مرحلهٔ بعد، راهبرد تخصیص براساس اولویت ارزش کاربری به‌کار گرفته شد، که در آن محصولی که بیشترین مساحت زیر کشت را در سال‌های اخیر دارا بود، به‌عنوان محصولات با اولویت بالاتر برای تخصیص انتخاب شد. در این مرحله، سه الگوی تناوب زراعی شماره ۱، ۲ و ۴ (جدول ۳) درنظر گرفته شد و با توجه به هریک از آنها، تخصیص محصولات کشاورزی در منطقه به‌صورت گام‌های زمانی سالانه به این شکل انجام شد:

- مرحلهٔ ۱: تخصیص جداگانهٔ سطح موردنیاز هر کاربری به‌تفکیک دهستان، حداکثر تا سطحی که میزان تقاضای آن کاربری در آن دهستان تأمین شود.
- مرحلهٔ ۲: اگر پیکسلی در هر دهستان به چند کاربری تخصیص داده شده باشد، محصول با بیشترین میزان تناسب برای آن پیکسل انتخاب می‌گردد.
- مرحلهٔ ۳: در مرحلهٔ قبل اگر چندین محصول دارای میزان تناسب برابر باشند، محصولی که سطح زیر کشت بالاتری دارد، به‌عنوان کاربری پیکسل موردنظر انتخاب می‌گردد و به میزان تقاضای کاربری‌های انتخاب‌نشده اضافه می‌شود.
- مرحلهٔ ۴: بازگشت به مرحلهٔ اول تا زمانی که میزان تقاضای تمام کاربری‌ها تأمین شود.

جدول ۳. تناوب‌های زراعی رایج در شهرستان برخوار و میمه

ردیف	تناوب زراعی
۱	گندم یا جو ° یونجه ° سیب زمینی
۲	گندم ° آیش ° جو ° آیش ° گندم
۳	گندم و جو ° شبدر ° گندم و جو ° شبدر ° گندم و جو ° یونجه (۵ سال)
۴	گندم یا جو + ذرت علوفه‌ای ° آیش ° یونجه (۶ سال)
۵	گندم یا جو ° آیش یک‌ساله ° آفتابگردان (ذرت) ° آیش - یونجه

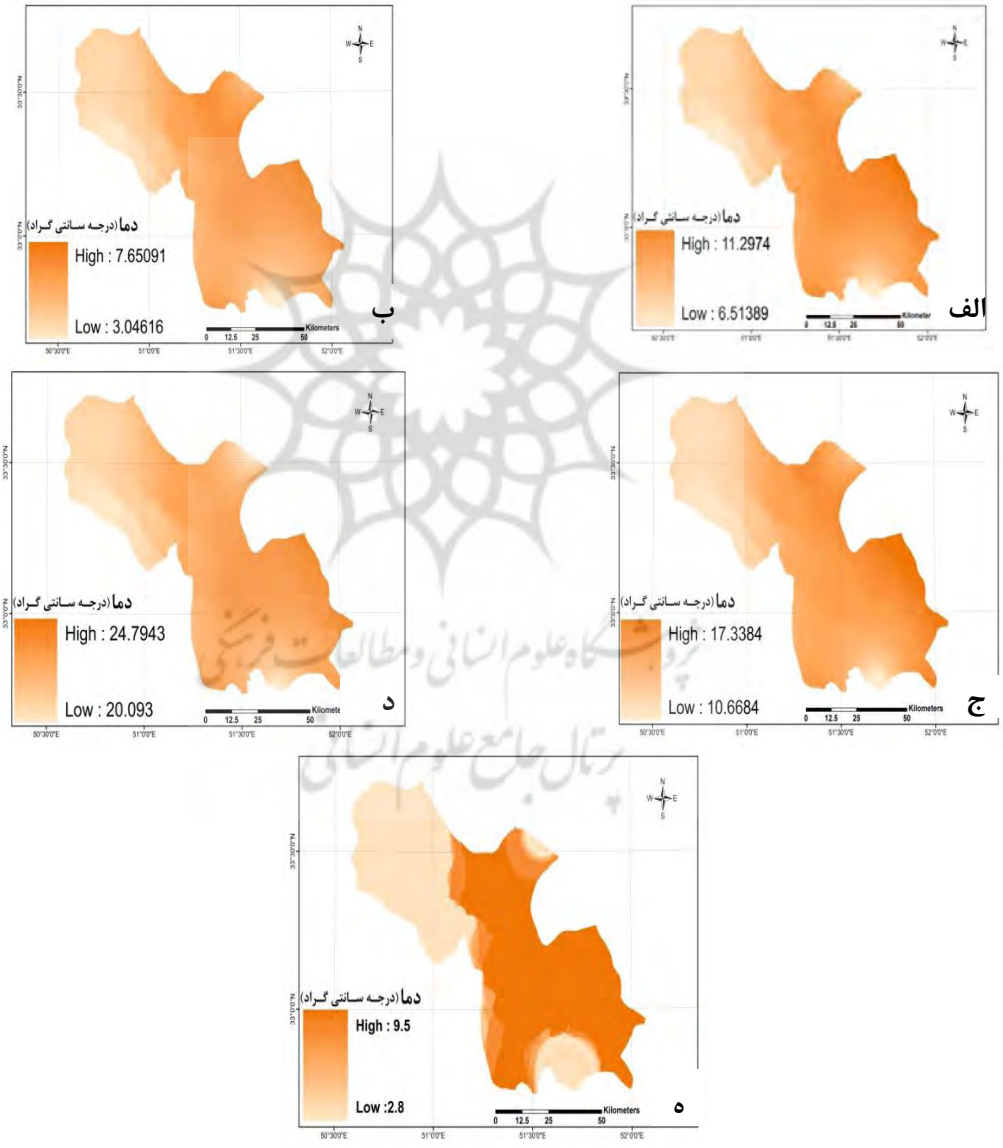
منبع: Isfahan Agricultural Development Plan, 2001

۳- نتایج و بحث

مدل پیشنهادی در این تحقیق در شهرستان برخوار و میمه واقع در استان اصفهان پیاده‌سازی شد. در ادامه، نتایج به‌دست آمده از اجرای مدل ارائه شده‌اند.

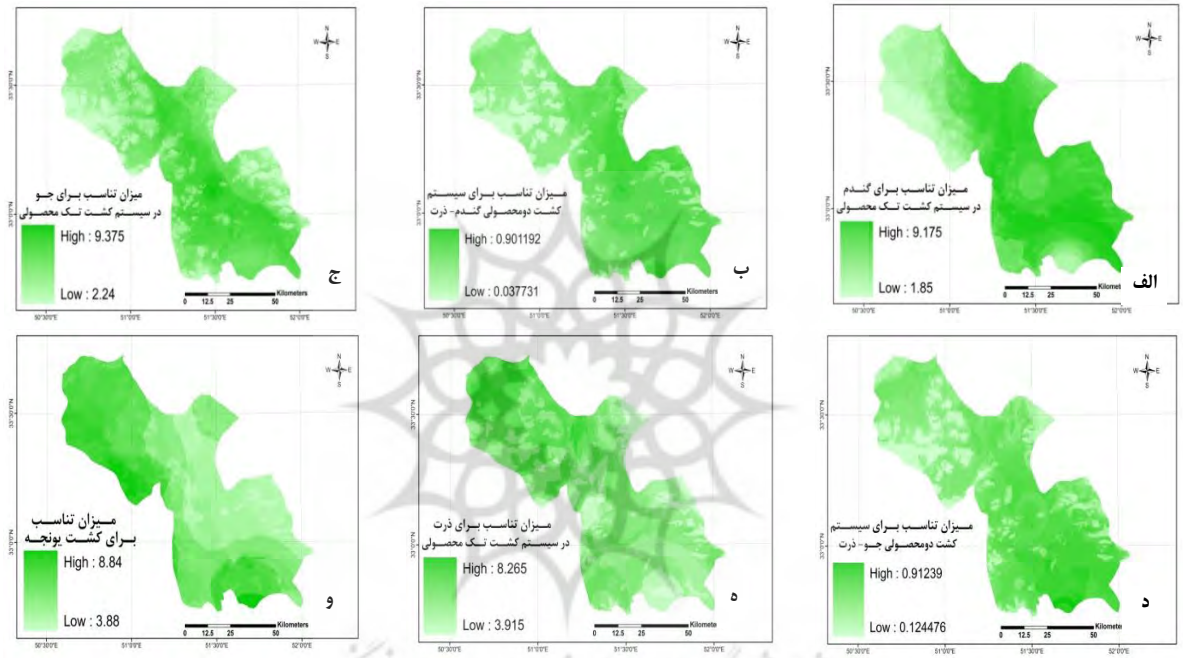
۳-۱- تعیین تناسب اراضی برای محصولات کشاورزی

با توجه به آنچه در بخش ۲-۱ گفته شد، نقشه‌های معیار عوامل مؤثر برای هریک از معیارها با استفاده از روش IDW تهیه شدند. شکل ۴ (الف تا د)، به‌ترتیب نقشهٔ معیار دما برای گندم در سیستم کشت دومحصولی را نشان می‌دهد. با توجه به آنچه در این شکل‌ها مشاهده می‌شود، میزان دما در طول مراحل مختلف رشد محصول متفاوت است. بنابراین، لزوم متغیر درنظرگرفتن پارامترهای اقلیمی آشکار می‌شود. همچنین با استفاده از تحلیل‌های مکانی در GIS، نقشه‌های معیار عوامل مربوط به زمین برای هر محصول تهیه گردید (شکل ۵).



شکل ۴. الگوی تغییرات دما در طول مراحل مختلف رشد گندم: طول دورهٔ رشد (الف)؛ رشد سبزینه‌ای (ب)؛ گل‌دهی (ج)؛ برداشت محصول در سیستم دومحصولی (د)؛ و میزان تناسب دما برای گندم در سیستم دومحصولی (ه)

شکل ۵. نقشه‌های معیار عوامل مربوط به زمین برای گندم



شکل ۶. نقشه‌های تناسب به‌دست‌آمده برای محصولات گندم (الف)، گندم- ذرت (ب)، جو (ج)، جو- ذرت (د)، ذرت (ه)، و یونجه (و)

در مرحلهٔ بعد، نقشه‌های معیار تهیه‌شده، طبقه‌بندی شدند و پس از وزن‌دهی با استفاده از روش AHP، معیارهای وزن‌دهی‌شده در هر گروه با استفاده از روش WLC تلفیق شدند، تا تناسب زمین برای هر گروه از معیارها تعیین گردید. شکل ۴ (ه) نقشهٔ تناسب دما برای گندم در سیستم کشت دومحصولی را نشان می‌دهد. در این شکل مشاهده می‌شود که رژیم دما در کل محدودهٔ مطالعه‌شده تناسب بالایی برای کشت گندم در سیستم کشت دومحصولی ندارد و مناطقی که دارای تناسب بالای دما برای کشت این محصول هستند، در بخش‌های مرکزی و جنوب‌شرقی منطقه واقع شده‌اند. این در حالی است که مناطق حاشیهٔ شمال‌غربی منطقه تناسب پایینی برای کشت این محصول دارند. سپس معیارهای ورودی (تناسب زمین نسبت به هر گروه معیار) و شاخص تناسب، وارد سیستم استنتاج‌گر فازی می‌شود تا میزان تناسب برای هر محصول در هر سیستم کشت محاسبه گردد. در پایان نیز به‌منظور تهیهٔ نقشهٔ تناسب برای سیستم‌های کشت دومحصولی، نقشه‌های خروجی مربوط به تناسب هریک از دو محصول تلفیق می‌شوند. شکل ۶، نقشه‌های تناسب به‌دست‌آمده برای هر محصول را نشان می‌دهد.

جدول ۴. کل مساحت اختصاص داده‌شده به هر دهستان و مساحت اختصاص داده‌شده به هر محصول در هر دهستان در سال ۱۳۹۰

دهستان	مساحت اختصاص داده‌شده به هر محصول (هکتار)							مجموع
	گندم	گندم-ذرت	جو	جو- ذرت	ذرت	یونجه	سیب‌زمینی	
برخوار شرقی	۲۳۲۹	۷۸۵	۳۳۲۴	۱۰۵۷	۰	۷۵	۰	۷۵۷۰
مرکزی	۵۷۷۷	۲۶۷۳	۱۳۷۹	۱۶۵۳	۰	۱۶۶	۵۷	۱۱۷۰۵
زرکان	۰	۰	۰	۰	۰	۱۵۰۴	۰	۱۵۰۴
ونداده	۰	۰	۰	۰	۱۶۲۴	۳۲۵	۰	۱۹۴۹
برخوار غربی	۲۷۴۹	۲۵۴۸	۰	۱۰۲۳	۰	۱۵۲	۴۷	۶۵۱۹
مورچه خورت	۲۹۵	۱۱۵۵	۰	۰	۰	۰	۷۳۶	۲۱۸۶
مجموع	۱۱۱۵۰	۷۱۶۱	۴۷۰۳	۳۷۳۳	۱۶۲۴	۲۲۲۲	۸۴۰	۳۱۴۳۳

۳-۲- تعیین تقاضای محصولات کشاورزی

در این بخش مدل برنامه‌ریزی چندهدفه اجرا شده است. جدول ۴ نتایج به‌دست‌آمده برای سال ۱۳۹۰ را نشان می‌دهد. در این جدول، میزان کل تقاضای محصولات انتخابی در واحدهای تقاضای تعریف‌شده تا سطح دهستان ادغام شده است.

۳-۳- تخصیص محصولات کشاورزی

پس از محاسبهٔ میزان تناسب زمین و برآورد میزان تقاضا برای انواع محصولات انتخابی، به اجرای مدل برای تعیین نقشهٔ کاربری محصولات کشاورزی نیاز است. بدین‌منظور براساس الگوریتم ارائه‌شده در بخش ۲-۴، نقشهٔ کاربری محصولات کشاورزی برای سال ۱۳۸۴ به‌عنوان نقشهٔ پایه تولید شد (شکل ۷). سپس با در اختیار داشتن نقشهٔ کاربری کشاورزی سال‌های ۱۳۹۰-۱۳۸۴ و با درنظرگرفتن سه نوع تناوب زراعی موجود در منطقه (الگوی شماره ۱، ۲ و ۴)، محصولات انتخابی برای سال ۱۳۹۰ به‌صورت سالیانه در سطح دهستان تخصیص یافتند (شکل ۸).

بررسی نتایج تخصیص تحت سه الگوی تناوب زراعی نشان می‌دهد که با توجه به میزان تقاضای محصولات انتخابی برای سال ۱۳۹۰، مساحت اختصاص داده‌شده به محصولات گندم، گندم ـ ذرت، جو، جو ـ ذرت، ذرت، یونجه و سیب‌زمینی، به‌ترتیب برابر ۲۷/۸۲، ۲۱/۶۴، ۷/۲۷، ۵/۸۵، ۷/۳۶، ۶/۳۶ و ۱/۷۴ درصد از کل مساحت اختصاص داده‌شده به کاربری کشاورزی در منطقه است. این مساحت برای سال هدف در سه الگو ثابت اما توزیع مکانی محصولات در آنها متفاوت است، که می‌تواند به‌دلیل تفاوت در نوع تناوب‌های زراعی درنظر گرفته‌شده باشد.

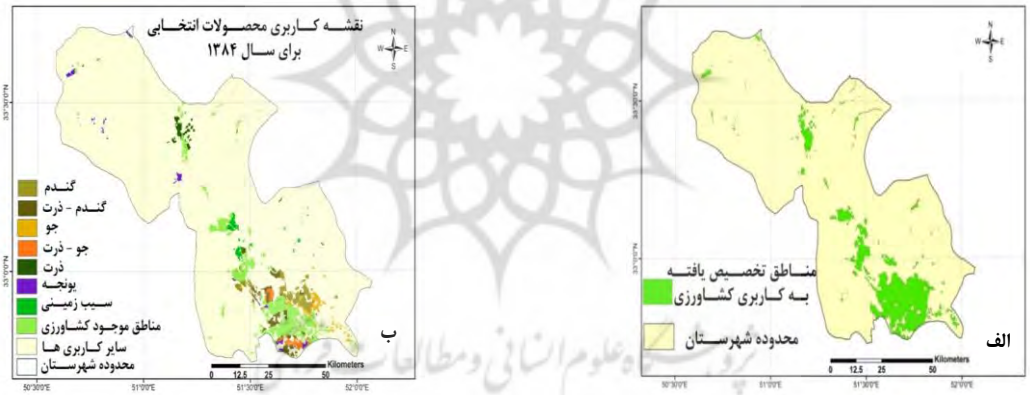
افزون بر این، با بررسی نتایج به‌دست‌آمده، مشخص می‌شود که به‌منظور دستیابی به اهداف درنظر گرفته‌شده در پژوهش حاضر، کشت گندم، جو و ذرت به‌صورت سیستم کشت دومحصولی، می‌بایست در قسمت جنوبی شهرستان و کشت یونجه و ذرت عمدتاً در قسمت‌های شمالی شهرستان صورت گیرد. یکی از دلایل این امر، نبود شرایط اقلیمی مناسب و مشخصاً رژیم بارندگی مناسب (که لازمهٔ سیستم‌های کشت دومحصولی است)، در بخش‌های شمالی و شمال‌غربی منطقه است. بنابراین به‌منظور دستیابی به این نوع نظام کشت در بخش‌های گفته‌شده می‌توان برنامه‌ریزی برای ایجاد شبکهٔ آبیاری جدید را در دستور کار قرار داد.

۳-۴- ارزیابی مدل

ارزیابی مدل تخصیص کاربری شامل کالیبراسیون و اعتبارسنجی است. در این پژوهش، پارامترهای کالیبراسیون مدل با استفاده از نتایج طرح جامع توسعهٔ کشاورزی استان اصفهان (Isfahan Agricultural

Development Plan, 2001) و دانش کارشناسان بخش کشاورزی و جمعیت طرح آمایش سرزمین استان اصفهان تعیین شدند. اعتبارسنجی مدل ارائه‌شده در تحقیق، به‌صورت مقایسهٔ عددی نتایج مدل با داده‌های اندازه‌گیری‌شده در همان زمان از منطقه، به‌دلیل نبود داده غیرممکن است. اما بازبینی مدل نشان می‌دهد که نتایج مدل، منطقی و مناسب برای محیط و شرایط موجود منطقه است. الگوی مکانی به‌دست‌آمده در منطقه درنتیجهٔ تخصیص با درنظرگرفتن سه نوع تناوب زراعی موجود نیز صحت این مسئله را تأیید کرد.

به‌منظور مقایسه و بررسی صحت نتایج، با دراختیار داشتن نقشهٔ کاربری کشاورزی در طول سال‌های ۱۳۹۰-۱۳۸۴، نقشهٔ کاربری محصولات کشاورزی برای سال‌های مختلف در بازهٔ زمانی مطالعه‌شده بادرنظرگرفتن هریک از سه الگوی تناوب زراعی، تولید و مقایسه شدند. نتایج این امر برای الگوی اول در شکل ۹ مشاهده می‌شود. همان‌طور که شکل نشان می‌دهد، توزیع مکانی محصولات کشاورزی برای الگوی سوم (شامل تناوب زراعی گندم یا جو ـ یونجه ـ سیب‌زمینی)، که تناوب زراعی ۳ساله دارد، برای سال‌های ۱۳۸۴، ۱۳۸۷ و ۱۳۹۰ تغییر چندانی نداشته است، که صحت مدل ارائه‌شده را تأیید می‌کند. صحت این امر برای الگوی دوم (شامل تناوب زراعی گندم ـ آیش ـ جو ـ آیش ـ گندم) و الگوی سوم (شامل تناوب زراعی گندم یا جو + ذرت علوفه‌ای ـ آیش ـ یونجه (۶ سال)) که به‌ترتیب تناوب زراعی ۴ سال و ۸ سال دارند، بررسی شده است. بنابراین می‌توان ادغان کرد که مدل پیشنهادی در این بخش صحت کافی دارد.



شکل ۷. تخصیص کاربری صورت‌گرفته برای سال ۱۳۸۴. با داشتن نقشه کاربری کشاورزی در سال ۱۳۸۴ (الف)، تخصیص محصولات انتخابی برای سال ۱۳۸۴ صورت می‌پذیرد (ب)

شکل ۸. نقشهٔ کاربری محصولات کشاورزی برای سال ۱۳۹۰ برای الگوی اول (الف)، دوم (ب) و سوم (ج)

شکل ۹. الگوی مکانی به‌دست‌آمده درنتیجهٔ تخصیص محصولات کشاورزی برای سال‌های ۱۳۸۴، ۱۳۸۷، ۱۳۹۰ برای الگوی اول

جدول ۵. آمار واقعی و شبیه‌سازی کشت محصولات در سال ۱۳۸۴ برای شهرستان برخوار و میمه

نوع محصول	آمار شبیه‌سازی محصول (هکتار)	آمار واقعی محصول (هکتار)
	۱۳۸۴	۱۳۸۴
گندم	۱۱۶۷۹	۱۱۹۰۰
جو	۲۶۵۹	۲۷۵۰
ذرت	۲۴۸۸	۲۵۸۰
یونجه	۱۶۲۰	۱۵۰۰
سیب زمینی	۴۶۴	۴۱۰

افزون بر این، به‌منظور اعتبارسنجی مدل تقاضا، نتایج مدل برنامه‌ریزی با آمار مساحت‌های کشت‌شده در سال‌های مختلف که کشاورزان خود تصمیم به کشت می‌گرفتند و با استفاده از اطلاعات جهاد کشاورزی استان اصفهان به‌دست‌آمده بود، با اطلاعات سال ۱۳۸۴ مقایسه شد (جدول ۵). با توجه به آنچه در این جدول ملاحظه می‌شود، اختلاف بسیار ناچیزی بین آمار شبیه‌سازی و آمار واقعی کشت محصولات در منطقه دیده می‌شود.

۴- نتیجه‌گیری

افزایش جمعیت و محدودبودن زمین‌های قابل استفاده، در کنار تغییرات سریع جوامع و توسعهٔ کاربری‌ها، بر اهمیت برنامه‌ریزی صحیح زمین و تصمیم‌گیری هدفمند در تخصیص آن به بهترین کاربری می‌افزاید. در کشور ما به‌دلیل رشد روزافزون جمعیت و توسعهٔ شهرها از امکان گسترش سطح زیرکشت به‌مرور زمان کاسته می‌شود و درنتیجه نیاز به استفادهٔ بهینه از اراضی موجود تشدید می‌شود. به‌منظور دستیابی به این هدف، در پژوهش حاضر مدلی ارائه شد که در آن تخصیص محصولات کشاورزی صورت می‌پذیرد. برای این منظور، با فرض دراختیار داشتن نقشهٔ کاربری کشاورزی منطقهٔ مطالعه‌شده و با درنظرگرفتن اطلاعات مربوط به مراحل رشد هر محصول و استفاده از سیستم استنتاج‌گر قاعده‌مبنای فازی، تناسب محصولات گوناگون در منطقه تعیین شد. سپس با تعیین میزان تقاضای هر محصول و با توجه به توالی کشت محصولات در بازهٔ زمانی برنامه‌ریزی، نوع محصول کشاورزی در مناطق دارای کاربری کشاورزی مشخص شد.

با اجرای مدل تخصیص ارائه‌شده و درنظرگرفتن سه نوع تناوب زراعی موجود در منطقه، مشخص شد که این نتایج تا حد زیادی به یکدیگر شباهت دارند و عدم انطباق کامل نتایج، به‌دلیل تفاوت در نوع تناوب‌های زراعیِ درنظر گرفته شده است. افزون بر این، با بررسی نتایج به‌دست آمده مشخص می‌شود که قسمت جنوبی

منطقه به‌دلیل دارابودن شرایط اقلیمی مناسب برای کشت محصولات در سیستم دومحصولی، و قسمت شمالی منطقه عمدتاً برای کشت محصولات کشاورزی در سیستم کشت تک‌محصولی مناسب است.

مقایسهٔ نتایج تحقیقات مرتبط در زمینهٔ تعیین تناسب زمین در بخش کشاورزی نشان داد که در بیشتر مدل‌های موجود، اطلاعات مربوط به مراحل رشد محصول در نظر گرفته نمی‌شوند و منجر به تعیین تناسب زمین برای محصولات به‌صورت ثابت با زمان و فقط برای سیستم‌های کشت تک‌محصولی شده‌اند. نتایج این مدل‌ها به‌دلیل محاسبه‌نکردن میزان تقاضا، منجر به تخصیص محصولات نشده‌اند. در پژوهش حاضر، شاخص‌های مربوط به اقلیم در بخش تعیین تناسب، دقیق‌تر مدل‌سازی شدند و مسئله تخصیص محصولات در نظر گرفته شد. افزون بر این، برخلاف مطالعات پیشین در این زمینه، در اینجا نوع محصول در مناطقی که به کاربری کشاورزی تخصیص یافته‌اند، مشخص شده و توالی کشت محصولات در بازهٔ برنامه‌ریزی نیز تعیین شده است.

افزون بر این، به‌کارگیری منطق فازی در این تحقیق، استفاده از اطلاعات کیفی را در تعیین تناسب زمین امکان‌پذیر ساخته و نتایج تحلیل تناسب را به واقعیت نزدیک‌تر کرده است. به‌دلیل مشارکت عوامل متعدد در مسئله تخصیص کاربری زمین، GIS با تعیین مکان دقیق هر کاربری و نشان‌دادن نتایج در سطح واحدهای مکانی، بستری مناسب برای تلفیق اطلاعات و تحلیل نتایج فراهم می‌کند. در این فرایند، تعیین مکان هر کاربری به‌گونه‌ای انجام می‌شود که بیشترین انطباق را با شرایط محیطی و تقاضای کاربری‌ها داشته باشد. بنابراین، مزیت مدل ارائه‌شده را می‌توان تعیین مناسب‌ترین محصول برای هر ناحیهٔ مشخص برشمرد. از این مدل می‌توان به‌منظور تعیین بهترین محصول برای کشت در منطقه‌ای مشخص و درنتیجه دستیابی به تولید بهینه در بخش کشاورزی استفاده کرد.

از مهم‌ترین مشکلات پیش‌رو در انجام این تحقیق، دسترسی‌نداشتن به داده‌های مربوط به وضعیت فعلی محصولات کشت‌شده در منطقه است، که بر روند آزمون مدل تأثیر می‌گذارد و باعث می‌شود ارزیابی دقت شبیه‌سازی مدل برمبنای مقایسه‌های ذهنی و منطقی انجام گیرد. بنابراین پیشنهاد می‌شود درصورت دراختیار داشتن داده‌های مربوط به موقعیت فعلی محصولات کشت‌شده در منطقه، از روش‌هایی دقیق‌تر همانند زنجیرهٔ مارکوف برای تعیین احتمال تناوب زراعی محصولات استفاده شود. در این تحقیق از نقشه‌های کاربری موجود منطقه به‌عنوان ورودی مدل استفاده شده است؛ از این رو پیشنهاد می‌شود از روش‌هایی دقیق به‌منظور تهیهٔ این نقشه‌ها استفاده شود تا بتوان مدل را برای پیش‌بینی نقشهٔ کاربری محصولات کشاورزی به‌کار گرفت. تلفیق اطلاعات تجربی کشاورزان و دانش کارشناسی در تمام مراحل مدل می‌تواند نتایج را بهبود بخشد. افزون بر این، با داشتن هزینهٔ محصولات انتخابی در بازه‌های زمانی مطالعه‌شده ازلحاظ اقتصادی می‌توان به برنامه‌ریز در انتخاب بهینه‌ترین الگوی کشت کمک کرد. در این صورت، برحسب هدف، و شرایط اقتصادی و پیامدهای محیطی، نوع کاربری مناسب برای هر قطعه زمین انتخاب می‌شود.

۵- منابع

Agrell, P.J., Stam, A., Fischer, G.W., 2004, **Interactive Multi-objective Agro-ecological Land Use Planning: The Bungoma Region in Kenya**, European Journal of Operational Research 158, PP. 194-217.

Aurbacher, J., Dabbert, S., 2011, **Generating Crop Sequences in Land-use Models Using Maximum Entropy and Markov Chains**, Agricultural Systems 104, PP. 470-479.

Bhagat, R.M., Singh, S., Sood, C., Rana, R.S., Kalia, V., Pradhan, S., Immerzeel, W., Shrestha, B., 2009, **Land Suitability Analysis foe Cereal Production in Himachal Pradesh (India) using Geographical Information System**, J. Indian Soc. Remote Sens, 37, PP. 233-240.

Biswas, A., Pal, B.B., 2005, **Application of Fuzzy Goal Programming Technique to Land use Planning in Agricultural System**, Omega 33, PP. 391-398.

Ceballos-Silva, A., Lopez-Blanco, J., 2003a, **Delineation of Suitable Areas for Crops Using a Multi-Criteria Evaluation Approach and Land Use/cover Mapping: A Case Study in Central Mexico**, Agricultural Systems 77, PP. 117-136.

Ceballos-Silva, A., Lopez-Blanco, J., 2003b, **Evaluating Biophysical Variables to Identify Suitable Areas for A\Oat in Central Mexico: A Multi-criteria and GIS Approach**, Agriculture, Ecosystems and Environment 95, PP. 371-377.

Da-Cheng, W., Cun-jun, L., Xiao-yu, S., Ji-hua, W., Xiao-dong, Y., Wen-jiang, H., 2011, **Assessment of Land Suitability Potentials for Selecting Winter Wheat Cultivation Areas in Beijing, China, Using RS and GIS**, Agricultural Sciences in China, 10(9), PP. 1419-1430.

Farhadi Bansouleh, B., 2009, **Development of a Spatial Planning Support System for Agricultural Policy Formulation Related to Land ad Water Resources in Borkhar&Meymeh District, Iran**, Ph.D. Thesis, International Institute for Geo-Information Science & Earth Observation (ITC), Enschede, Wageningen University, The Netherlands.

F.A.O., 1976, **A Framework for Land Evaluation**, F.A.O soils bulletin,Pb No 32. Rome.

Isfahan Agricultural Development Plan, 2001, **Synthesis Studies (Volume XVIII)**, Institute of programming research and Agricultural Economics, Ministry of Agriculture, Tehran, Iran.

Jalalian, A., Rostami nia, M., Ayobi, Sh., Mozaffar-Amini, A., 2008, **Qualitative, Quantitative and Economic Assessment of Land Suitability for Wheat, Maize and Sesame in Mehran Plain, Ilam**, Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources, Vol. 11, No. 42, PP. 393-403.

Jing-Song, S., Guang-Sheng, Z., Xing-Hua, S., 2012, **Climatic Suitability of the Distribution of the Winter Wheat Cultivation Zone in China**, Europ. J. Agronomy 43, PP. 77-86.

Karimi, M., Mesgari, M.S., Sharifi, M.A., 2009, **Developing a GIS-based Model for Regional Land use Planning (Case study area: Borkhar and Meymeh Townships)**, Iranian Journal of Remote Sensing & GIS, Vol. 1, No. 4, Winter 2010, PP. 21-40.

Karimi, M., 2010, **Developing Multi-Criteria Decision Analysis Methods for Land Use Allocation**, Ph.D. Thesis in Geographic

Information System, Faculty of Geodesy and Geomatics, K.N. Toosi University of Technology.

Karimi, M., Sharifi, M.A., Mesgari, M.S., 2012, **Modeling Land Use Interaction Using Linguistic Variables**, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 16, PP. 42-53.

Kkaje Pour, 2003, **Principles of Cultivation**, Isfahan University press, Second Edition.

Liu, Y., Lv, X., Qin, X., Guo, H., Yu, Y., Wang, J., Mao, G., 2007, **An Integrated GIS-based Analysis System for Land-use Management of Lake Areas in Urban Fringe**, Landscape and Urban Planning 82, PP. 233˚246.

Mendas, A., Delali, A., 2012, **Integration of MultiCriteria Decision Analysis in GIS to Develop Land Suitability for Agriculture: Aplication to Durum Wheat Cultivation in the Region of Melta in Algeria**, Computers and Electronics in Agriculture 83, PP. 117-126.

Malczewski, J., 2006, **Ordered Weighted Averaging With Fuzzy Quantifiers: GIS-based Multicriteria Evaluation for Land-use Suitability Analysis**, International journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 8, PP. 227-270.

Menhaj, M.B., 2008, **Fuzzy Computing: Computational Intelligence**, Danesh Negar Press, First Edition.

Mohammadi, J., Givi, J., 2001, **Land Suitability Evaluation for Irrigated Wheat in Felaverjan (Isfahan) Using the Theory of Fuzzy Sets**, Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources, Vol. 5, No. 1, PP. 103-115.

Mwenge Kahinda, J., Lillie, E.S.B., Taigbenu, A.E., Taute, M., Boroto, R.J., 2012, **Developing Suitability Maps for Rainwater Harvesting in South Africa**, Physics and Chemistry of the Earth 33, PP. 788-799.

NisarAhamed, T.R., GopalRao, K., Murthy, J.S.R., 2000, **GIS-based Fuzzy Membership Model for Crop-land Suitability Analysis**, Agricultural Systems 63, PP. 75-95.

Reshmidevi, T.V., Eldho, T.I., Jana, R., 2009, **A GIS-integrated Fuzzy Rule-based Inference System for Land Suitability Evaluation in Agricultural Watersheds**, Agricultural Systems 101, PP. 101-109.

Sadeghi, S.H.R., Jalili, Kh.,Nikkami, D., 2009, **Land use Pptimization in Watershed Scale**, Land Use Policy 26, PP. 186-193.

Sante-Riveira, I., Crecente-Maseda, R., Miranda-Barros, D., 2008, **GIS-based Planning Support System for Rural Land-use Allocation**, Computer and Electronics in Agriculture, PP. 257-273.

Sante, I., Crecente, R., 2007, **LUSE, A Decision Support System for Exploration of Rural Land use Allocation: Application to the Terra Cha District of Galicia (N. W. Spain)**, Agricultural Systems 94, PP. 341-356.

SCI, 2008, **Housing and Population Census (HPC) 2006**, Statistical Center of Iran (SCI).

Sicat, R.S., Carranza, E.J.M., Nidumolu, U.B., 2005, **Fuzzy Modeling of Farmers' Knowledge for Land Suitability Classification**, Agricultural Systems 83, PP. 49-75.

Sys, C., van Ranst, E., Debaveye, J., Beernaert, F., 1993, **Land Evaluation-Part III- Crop Requirements**, Agricultural Publications-No 7, General Administration for Development Cooperation, Brussels.

Thanh Tuan, N., Jian-jun, Q., Verdoodt, A., Van Ranst, E., 2011, **Tempreture and Precipitation Suitability Evaluation for Winter Wheat and Summer Maize Cropping System in the Huang-Huai-Hai Plain of China**, Agricultural Sciences in China, 10(2), PP. 275-288.

Van Delden, H., Luja, P., Engelen, G., 2007, **Integration of Multi-scale Dynamic Spatial Models of Socio-economic and Physical Processes for River Basin Management**, Environmental Modelling& Software 22, PP. 223-238.

Verburg, P.H., Soepboer, W., Veldkamp, A., Limpiada, R., Espaldon, V., Mastura, S.S.A., 2002, **Modelling the Spatial Dynamics of Regional Land Use: The CLUE-S Model**, Environ. Manage, 30 (3), PP. 391- 405.

Verburg, P.H., Overmars, K.P., 2009, **Combining Top-down and Bottom-up Dynamics in Land use Modeling: Exploring the Future of Abandoned Farmlands in Europe With the Dyna-CLUE Model**, Landscape Ecol, DOI 10.1007/s10980-009-9355-7.

Wang, X., Yu, S., Huang, G.H., 2004, **Land Allocation Based on Integrated GIS-optimization Modeling at a Watershed Level**, Landscape and Urban Planning 66, PP. 61-74.

Xu, X., Gao, Q., Liu, Y.H., Wang, J.A., Zhang, Y., 2009, **Coupling a land use Model and an Ecosystem Model for a Crop-pasture Zone**, Ecological Modelling 220, PP. 2503-2511.

Zeng, X., Kang, S., Li, F., Zhang, L., Guo, P., 2010. **Fuzzy Multi-objective Linear Programming Applying to Crop Area Planning**, Agricultural Water Management 98, PP. 134-142.