doi: 10.22124/CR.2021.19255.1654

(مقاله پژوهشی)

تحقیقات غلات

دوره یازدهم/ شماره دوم/ تابستان ۱۴۰۰ (۱۶۲-۱۴۹)

امکان‌سنجی کشت سورگوم علوفه‌ای (*Sorghum bicolor* L.) بعد از برداشت غلات پاییزه در مناطق نیمه‌خشک با استفاده از منطق فازی

حسین پورهادیان

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۲۵

چکیده

امکان‌سنجی اراضی شرایط را برای تصمیم‌گیری دقیق هر کشت و مدیریت آن در هر منطقه فراهم می‌کند. به‌همین منظور برای امکان‌سنجی کشت سورگوم علوفه‌ای بعد از برداشت غلات پاییزه در اراضی استان لرستان از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) و منطق فازی استفاده شد. ابتدا اطلاعات مربوط به دمای کمینه، بیشینه، متوسط، ارتفاع از سطح دریا، شیب، اسیدیته، بافت، پتاسیم قابل‌دسترس، فسفر قابل‌دسترس، ماده آلی و نیتروژن کل خاک جمع‌آوری شد و پس از انتقال آن‌ها به محیط GIS لایه‌های اولیه رستری آن‌ها در محدوده اراضی زراعی تهیه گردید و با کمک منطق فازی استانداردسازی شدند. وزن هر عامل محیطی با استفاده از ANP مشخص شد و در نهایت با ترکیب لایه‌های وزن‌دار شده لایه نهایی تناسب‌بندی محدوده مورد مطالعه تولید شد و به چهار طبقه خیلی‌مناسب، مناسب، ضعیف و نامناسب تقسیم گردید. نتایج حاصل از ارزیابی اراضی نشان داد بیشترین سطح از محدوده مورد مطالعه در طبقه مناسب (۹۲/۳۸ درصد) قرار گرفت و طبقات خیلی‌مناسب و ضعیف به‌ترتیب با ۶/۹۹ و ۰/۶۳ درصد از کل اراضی مورد مطالعه را شامل شدند. طبقه خیلی‌مناسب در مرکز، جنوب غربی و شمال شرقی استان، طبقه مناسب در کل استان و طبقه ضعیف در شرق استان مشاهده شد. بررسی عوامل مؤثر بر کشت سورگوم علوفه‌ای در استان لرستان نشان داد تنوع این عوامل در مناطق مختلف موجب کاهش استعداد اراضی از طبقه خیلی‌مناسب به مناسب و ضعیف شد و دمای کمینه در اواخر دوره رشد، ماده آلی، نیتروژن کل و ارتفاع از سطح دریا بیشترین محدودیت را ایجاد کردند.

واژه‌های کلیدی: اقلیم، سامانه اطلاعات جغرافیایی، فرآیند تحلیل شبکه‌ای

۱- استادیار، گروه کشاورزی، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران

* نویسنده مسئول: hpoorhadian@yahoo.com

مقدمه

از زمانی که انسان برای تأمین برخی از مواد غذایی مورد نیاز خود به گروهی از حیوانات وابستگی پیدا کرد، تهیه و تولید برخی گیاهان علوفه‌ای مفید و پرارزش برای تغذیه حیوانات وابسته به انسان مورد توجه بیشتری قرار گرفت و در این مورد بیشتر گیاهانی اهمیت پیدا نمودند که علاوه بر بالا بردن مقدار محصول آن‌ها در واحد سطح، در طول سال زراعی نیز از نظر کیفیت مواد غذایی مورد نیاز حیوانات در وضعیت بسیار مناسب و بالایی قرار داشتند (Khodabandeh, 2009). یکی از این گیاهان مهم سورگوم است که به‌صورت‌های دانه‌ای، علوفه‌ای و سیلو مورد استفاده قرار می‌گیرد و سازگاری بالایی به شرایط محیطی چون خشکی، شوری و انواع خاک‌ها نسبت به ذرت دارد و می‌تواند جایگزین مناسبی برای ذرت علوفه‌ای (مهم‌ترین غله علوفه‌ای) باشد و در زمان و مکان‌های مختلف مورد زراعت قرار گیرد (Khajehpour, 2013). یکی از روش‌های افزایش تولید، افزایش تولید در واحد زمان است که می‌توان به کمک کشت دوم بعد از غلات پاییزه به این مهم دست یافت (Khodabandeh, 2009; Khajehpour, 2013).

امروزه علاوه بر توجه به افزایش تولید محصولات، لحاظ کردن استفاده بهینه منابع بخش کشاورزی و توجه به شرایط محیط زیست از ملزومات کشت هر محصولی می‌باشد (Kamkar and Mahdavi Damghani, 2008). برای دست یافتن به این موضوعات اولین کار امکان‌سنجی کشت هر گیاه در منطقه مورد نظر می‌باشد. استعدادسنجی به‌عنوان پایه و اساس توسعه کشاورزی و الگوی مناسب و با اهمیت برای ارزیابی منابع اراضی، برنامه‌ریزی و مدیریت بهتر منابع مورد استفاده قرار می‌گیرد (Pilevar *et al.*, 2020; Nabati *et al.*, 2020). هدف از پهنه‌بندی فراهم آوردن یک پایگاه جامع و کامل از ویژگی‌های اراضی برای برنامه‌ریزی و سامان‌دهی بهینه اراضی و تعیین پتانسیل موجود و محدودیت‌های آن‌ها می‌باشد (FAO, 1993). این مهم را می‌توان به کمک فناوری‌های نوین مانند سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) انجام داد. به‌طوری که مطالعه‌های گوناگون در مناطق مختلف (Zhang *et al.*, 2015; Yohannes and Soromessa, 2018; Pourhadian, 2020) نشان داده‌اند GIS توانایی بالایی در تحلیل و شناسایی عوامل مؤثر در قابلیت اراضی برای کشت گیاهان دارا می‌باشد. رضوانی و همکاران (Rezvan *et al.*, 2018) امکان‌سنجی کشت جو لخت در اراضی کشاورزی شهرستان گرگان به کمک GIS و AHP انجام دادند و دریافتند ۳۲/۶۴ درصد از اراضی دارای شرایط خیلی‌مناسب و ۹/۹۹ درصد دارای شرایط نامناسب هستند. ایعالم (Elaalem, 2012) پهنه‌بندی اراضی غرب دشت جفارای لیبی برای کشت سورگوم به کمک منطق فازی در محیط GIS با استفاده از ۱۵ عامل محیطی انجام داد و دریافت ۸۷/۷ درصد دارای شرایط خیلی‌مناسب و مناسب و ۷/۱۳ درصد دارای شرایط نامناسب بود و استعداد پنج درصد از وسعت اراضی این منطقه ناشناخته ماند.

امکان‌سنجی کشت ذرت علوفه‌ای در چهار حوضه آبریز استان گلستان توسط پورهادیان (Pourhadian, 2018) به‌کمک GIS، تحلیل شبکه‌ای (ANP) و منطق فازی صورت گرفت. این محقق بیان داشت که بیش‌ترین سطح محدوده مورد مطالعه در طبقه مناسب (۸۴/۵۹ درصد) و کم‌ترین سطح در طبقه ضعیف (۴/۳۹ درصد) قرار دارد و عوامل خاکی و شیب اراضی باعث محدودیت کشت ذرت علوفه‌ای در این منطقه می‌شود. کاسی و همکاران (Kahsay *et al.*, 2018) با ارزیابی اراضی مناطق نیمه‌خشک شمال اتیوپی برای کشت سورگوم به‌کمک GIS، AHP و منطق فازی دریافتند که دمای هوا، عوامل توپوگرافی و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک باعث محدودیت کشت این گیاه می‌شوند، به‌طوری که تنها ۳۰/۵۴ درصد از محدوده مورد مطالعه دارای شرایط مناسب و بقیه دارای شرایط ضعیف و نامناسب بودند. به‌منظور تعیین مکان‌های کشت زعفران در شهرستان تربت حیدریه، مطالعه‌ای با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی به‌کمک عوامل محیطی اقلیمی، خاکی، آبی و توپوگرافی انجام شد (Rashid Sorkh Abadi *et al.*, 2016). نتایج نشان داد که به‌کمک این روش و با استفاده از پارامترهای مورد نظر می‌توان پهنه‌های مطلوب و نامطلوب را شناسایی کرد و برای ایجاد مزارع در هر کدام این پهنه‌ها برنامه‌ریزی و مدیریت لازم را اعمال کرد. دیگر مطالعات انجام شده به‌کمک GIS، نرم‌افزارهای تصمیم‌گیری چندمعیاره و منطق فازی نشان دادند که می‌توان استعداد هر منطقه را به‌خوبی شناسایی و با شناخت عامل یا عوامل محدودکننده کشت در هر محدوده، گیاه مناسب را براساس نیاز اکولوژی آن انتخاب کرد و با اعمال مدیریت درست، دقیق و هدفمند براساس توانایی اراضی بهره لازم را برد و در پایداری کشاورزی موفق بود (Ahmed and Jeb, 2014; Zhang

et al., 2015; Pourhadian, 2018; Tadesse and Negese, 2020).

با توجه به دامپرور بودن استان لرستان و نیاز به تأمین علوفه زیاد، ویژگی‌های مثبت سورگوم از جمله نیاز آبی کم، ترویج گیاهان علوفه‌ای با سازگاری بالا توسط جهاد کشاورزی در بخش‌هایی از لرستان و توانایی بالای ترکیب GIS، نرم‌افزارهای تصمیم‌گیری چندمعیاره و منطق فازی برای شناخت مناطق مستعد کشت، این پژوهش با هدف امکان‌سنجی کشت دوم سورگوم علوفه‌ای بعد از برداشت غلات پاییزه طراحی و انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

معرفی سطح مورد مطالعه

این پژوهش به‌منظور شناسایی مناطق مستعد کشت سورگوم علوفه‌ای بعد از برداشت غلات پاییزه در اراضی زراعی در منطقه نیمه‌خشک (استان لرستان) (Nabati *et al.*, 2020) بین طول شرقی ۴۶ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۰۱ دقیقه و عرض شمالی ۳۲ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۳ دقیقه انجام گرفت (شکل ۱). استان لرستان از دیدگاه اقلیمی یک استان چهار فصل محسوب می‌شود، میانگین بارش سالانه در حدود ۵۰۰ میلی‌متر است و این استان دارای تنوع اقلیمی زیادی می‌باشد که این تنوع از شمال به جنوب و از غرب به شرق آن کاملاً مشهود است. در این استان اختلاف بین دماهای حداقل مطلق که در بلند مدت ۳۱- و حداکثر مطلق که ۴۷/۸ زیاد است. آب و هوای سرد و کوستانی در شمال و شرق و آب و هوای معتدل در نواحی مرکزی و آب و هوای گرم در جنوب و جنوب شرق استان غالب می‌باشند هر چند که خرد اقلیم‌های زیاد دیگری نیز در مناطق مختلف آن وجود دارد. متوسط تبخیر سالیانه در سطح استان ۱۹۸۴/۷و متوسط ساعات آفتابی سالیانه ۳۰۲۰/۳ ساعت می‌باشد (General Department of Meteorology of Lorestan Province, 2021). وسعت اراضی زراعی استان لرستان حدود ۶۹۱۳۱۲ هکتار است که عمده محصولات زراعی کشت شده در آن‌ها شامل گندم، جو، نخود، لوبیا، عدس، چغندرقند، سیب‌زمینی، یونجه، شبدر و ذرت می‌باشد.

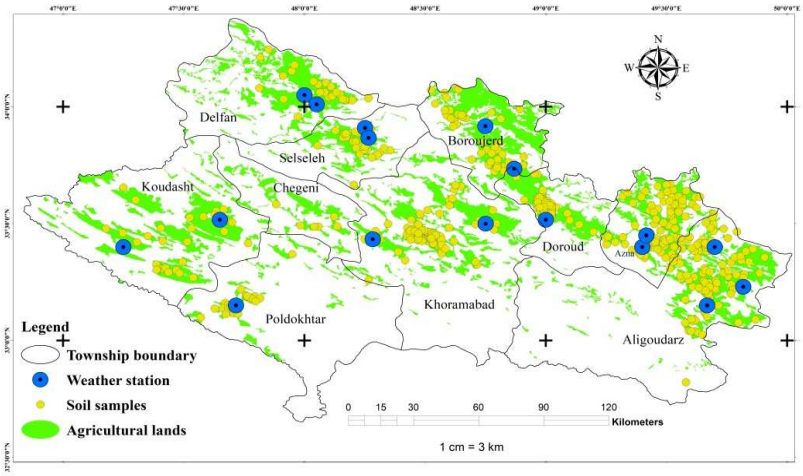
توصیف آماری اطلاعات محیطی

قبل از تولید لایه‌های رستری عوامل محیطی مورد استفاده در امکان‌سنجی کشت سورگوم علوفه‌ای، نرمال بودن اطلاعات در محیط GIS به‌وسیله شاخص‌های آماری میانه، میانگین، چولگی و کشیدکی مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۱). در این تحقیق، بحث نرمال بودن بیش‌تر با تکیه بر میانه و میانگین صورت گرفت و هر چه این دو شاخص به هم نزدیک‌تر باشند، مطلوب‌تر است.

جدول ۱- آمار توصیفی متغیرهای محیطی مورد نیاز سورگوم علوفه‌ای

Table 1. Descriptive statistics of environmental variables required for forage sorghum

Environmental variables	Distribution/transformation type	Median	Mean	Kurtosis	Skewness	Max	Min
Average temperature	Log	3.09	3.09	3.32	0.58	3.50	2.83
Minimum temperature	Log	2.48	2.45	2.44	0.26	3.22	1.79
Maximum temperature	Log	3.43	3.46	2.77	0.85	3.69	3.37
Available potassium	Normal	310	302.24	3.36	-0.48	490	37.51
Available phosphorus	Log	2.48	2.42	3.48	0.07	4.44	0.33
Organic matter	Normal	1.01	1.03	3.41	0.31	2.09	0.04
Total nitrogen	Normal	0.10	0.10	9.04	1.68	0.37	0.004
pH	Normal	7.73	7.72	5.08	0.30	8.89	6.8



شکل ۱- توزیع مکانی ایستگاه‌های هواشناسی، نمونه‌های خاک، اراضی زراعی و مرز شهرستان‌های استان لرستان
Figure 1. Spatial distribution of meteorological stations, soil samples, agricultural lands and township boundary of Lorestan province

لایه‌های اقلیمی

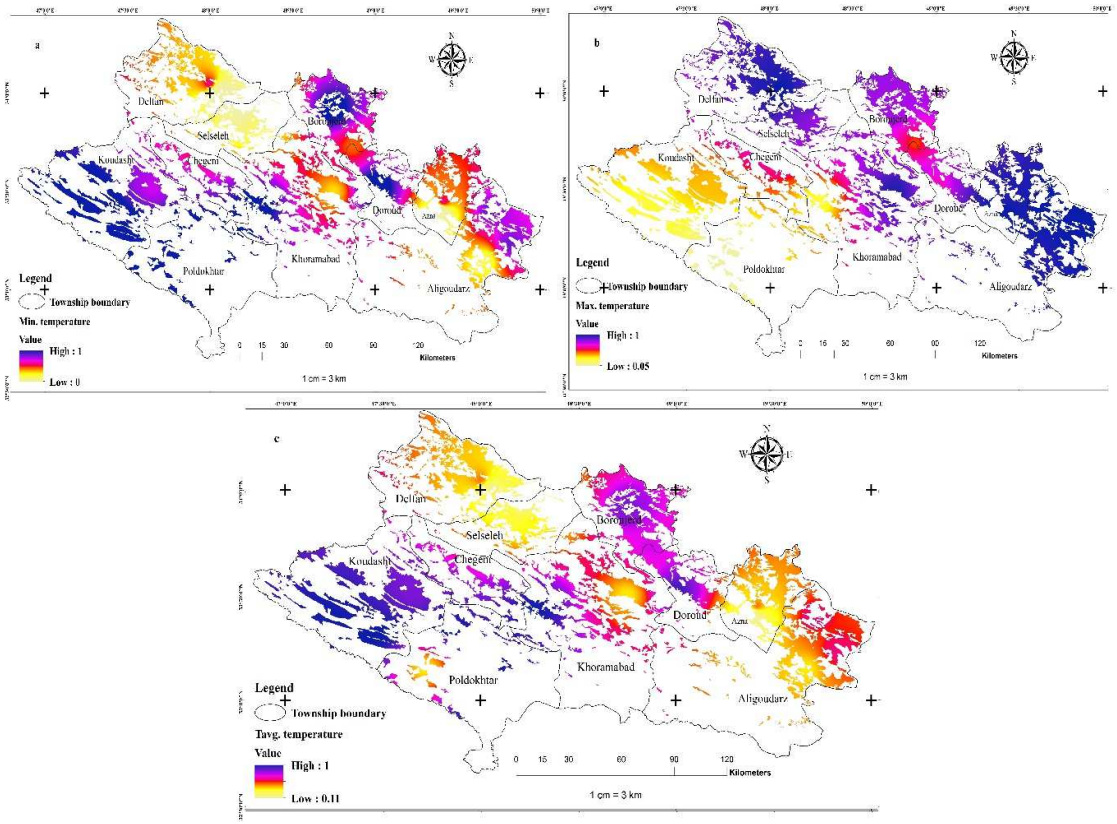
ابتدا اطلاعات آماری دمایی ۸ ایستگاه تبخیرسنجی و ۹ ایستگاه سینوپتیک طی سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۸۳ واقع در محدوده اراضی استان لرستان برای تهیه لایه‌های رستری دمای کمینه، بیشینه و متوسط تهیه شد (شکل ۱) و میانگین اطلاعات ماهانه این عوامل از محیط صفحه گسترده اکسل به محیط ArcGIS10.5 منتقل شد و بعد از آن اطلاعات دمایی تعداد ماه‌های مورد نظر براساس طول دوره رشد سورگوم علوفه‌ای با دو چین (۹۲ روز: از اول مردادماه تا پایان مهرماه) با هم جمع شد و سپس با استفاده از روش میان‌یابی وزن‌دهی فاصله معکوس (Inverse Distance Weighted) در محدوده اراضی زراعی استان به لایه رستری تبدیل گردید. در نهایت فازی‌سازی لایه‌های دمای کمینه، بیشینه و متوسط براساس نیاز اقلیمی گیاه سورگوم با استفاده از افزونه Spatial Analyst Tools و تابع Overlay و مدل Fuzzy Membership در محیط GIS به‌ترتیب به کمک توابع فازی خطی افزایشی، گوسی و گوسی استانداردسازی فازی شدند (شکل ۲).

لایه‌های توپوگرافی

نقشه ارتفاع از سطح دریا و شیب محدوده اراضی زراعی مورد نیاز از مدل رقومی ارتفاع (Digital Elevation Model) ۳۰ متر، استان لرستان و در محیط GIS نسخه ۱۰/۵ تهیه گردید و این دو لایه به با استفاده از تابع فازی خطی کاهشی به کمک مدل فازی (Fuzzy Membership) استانداردسازی فازی شد که نتیجه آن در شکل ۳ ارایه شده است.

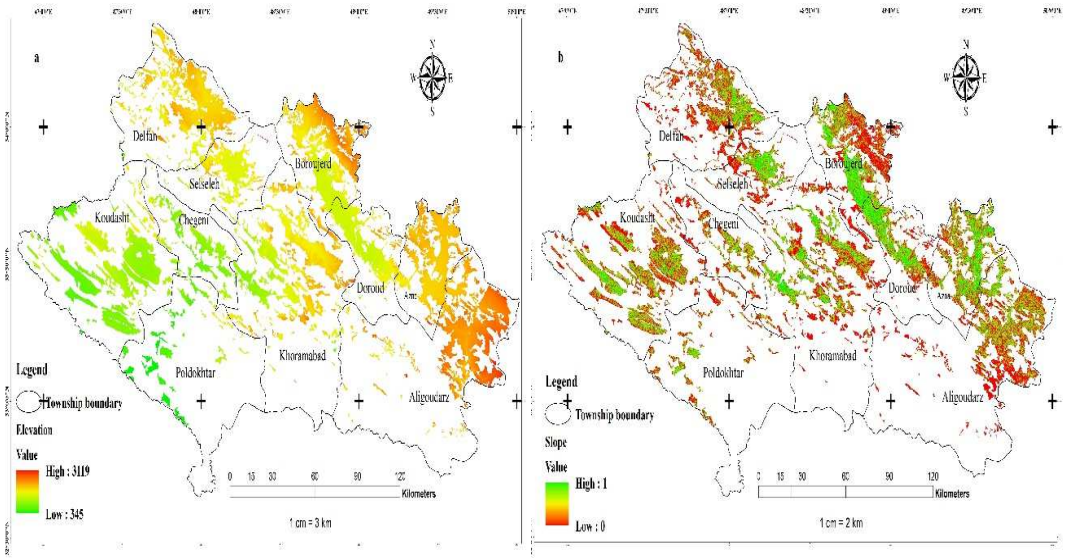
لایه‌های خاک

به‌منظور تهیه نقشه اسیدیته، بافت، ماده آلی، نیتروژن کل، پتاسیم و فسفر قابل‌دسترس خاک از اطلاعات ۶۰۳ نقطه نمونه‌برداری شده خاک (بخش آب و خاک مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، نتایج آزمایش خاک کشاورزان، Amirian Chakan, 2011; Rahman Salari and Omidvari, 2016) استفاده گردید (شکل ۱) و لایه رستری این عوامل خاک به کمک روش کریجینگ معمولی در محیط GIS در محدوده اراضی زراعی تولید شد. برای تولید لایه بافت خاک ابتدا به کمک روش مثلث‌بندی تیسن (Thiessen) لایه برداری از نوع پلی‌گونی در محیط GIS تولید گردید پس از تبدیل کردن به لایه رستری در محدوده اراضی زراعی برش داده شد. لایه‌های این عوامل خاک با استفاده از تابع عضویت خطی افزایشی استانداردسازی فازی شدند و این لایه‌های فازی در شکل ۴ نمایش داده شده‌اند.



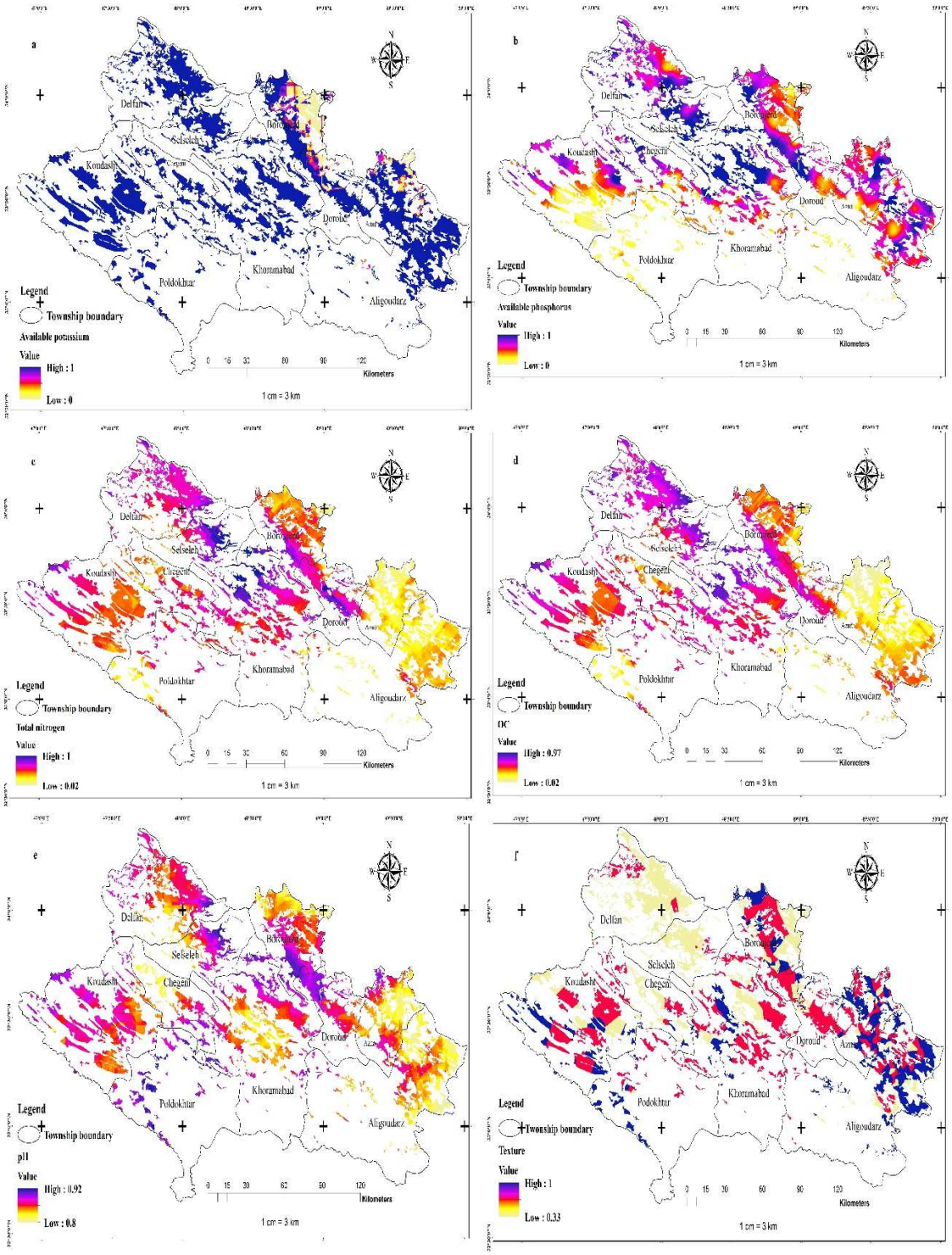
شکل ۲- نقشه فازی دمای کمینه (a)، بیشینه (b) و متوسط (c) در اراضی استان لرستان

Figure 2. Fuzzy map of minimum (a), maximum and average temperatures in the lands of Lorestan province



شکل ۳- نقشه فازی ارتفاع از سطح دریا (a) و شیب (b) در اراضی استان لرستان

Figure 3. Fuzzy map of altitude (a) and slope (b) in the lands of Lorestan province



شکل ۴- نقشه فازی پتاسیم (a)، فسفر (b)، نیتروژن (c)، ماده آلی (d)، اسیدیته (e) و بافت خاک (f) در اراضی استان لرستان

4. Fuzzy map of potassium (a), phosphorus (b), nitrogen (c), organic matter (d), pH (e) and soil texture (f) in the lands of Lorestan province

تهیه جدول نیازمندی‌های بوم‌شناختی سورگوم

در این پژوهش با استفاده از منابع علمی مختلف نیازهای اکولوژیکی گیاه سورگوم شامل دمای کمینه، دمای بیشینه، دمای متوسط، شیب اراضی، ارتفاع از سطح دریا، بافت، پتاسیم قابل‌دسترس، فسفر قابل‌دسترس، ماده آلی، نیتروژن کل و pH خاک گردآوری شد و حد بحرانی و مطلوب این عوامل محیطی برای رشد سورگوم مشخص گردید و در نهایت لایه رستری فازی این عوامل برای کشت سورگوم براساس این حدود در محیط ArcMap تولید شد (جدول ۲).

وزن‌دهی به عوامل محیطی با روش فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP)

برای اجرای فرآیند ANP و تعیین وزن معیارها و زیرمعیارها از پرسش‌نامه استفاده گردید. بدین منظور از طریق تکمیل پرسش‌نامه ANP، نظر ۱۵ نفر از محققان و کارشناسان کشاورزی بر اساس طیف ۹ درجه ساعتی گرفته شد. سپس تجزیه و تحلیل این پرسش‌نامه به کمک نرم‌افزار Super Decision 2.2.6 انجام گرفت. بدین‌صورت که اطلاعات هر پرسش‌نامه به‌طور جداگانه وارد نرم‌افزار شد و اگر ضریب ناسازگاری آن کمتر یا مساوی ۰/۱ بود به‌عنوان پرسش‌نامه معتبر مورد استفاده قرار گرفت؛ در غیر این صورت کنار گذاشته شد. با میانگین‌گیری از وزن معیارها و زیرمعیارهای تمام پرسش‌نامه‌های معتبر، وزن هر متغیر مشخص شد.

نحوه امکان‌سنجی اراضی

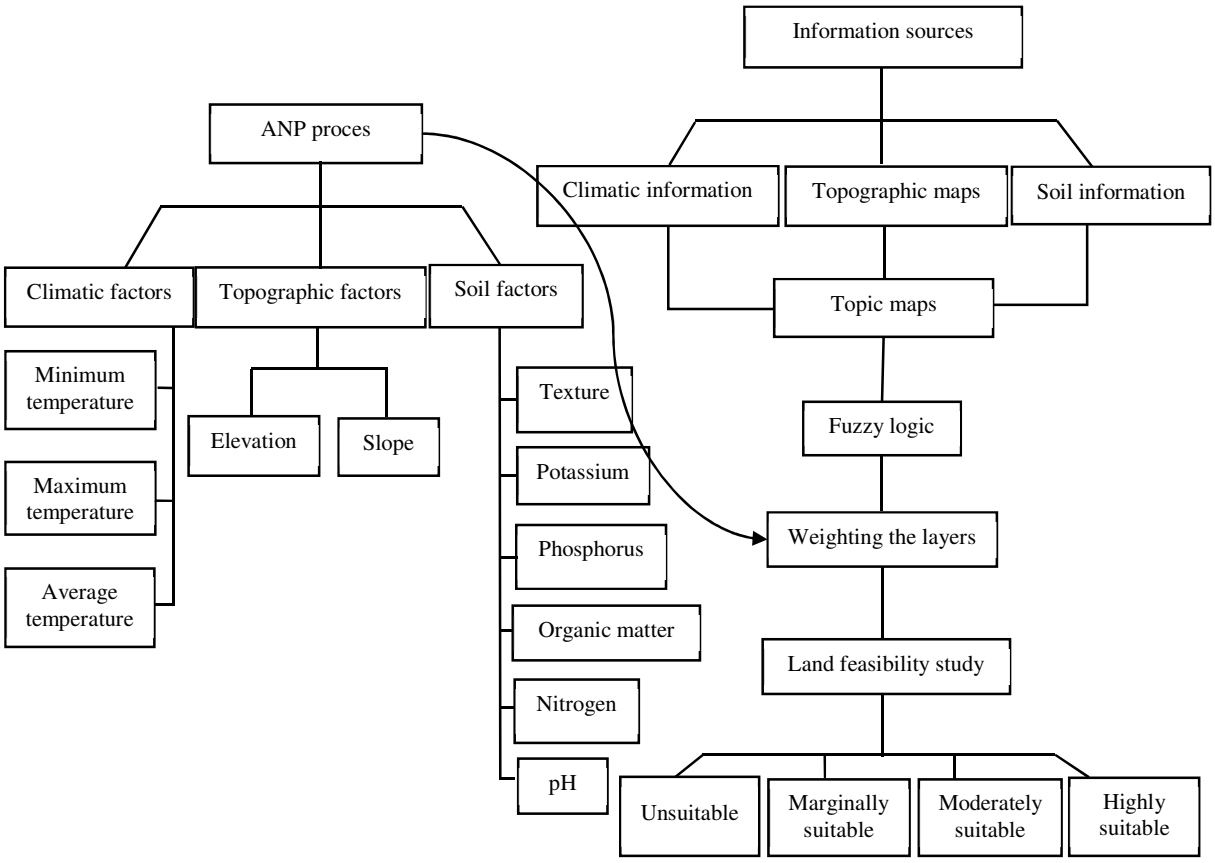
پس از تهیه لایه‌های رستری عوامل اقلیمی (دمای کمینه، بیشینه و متوسط)، توپوگرافی (ارتفاع از سطح دریا و شیب) و خاکی (بافت، پتاسیم قابل‌دسترس، فسفر قابل‌دسترس، ماده آلی، نیتروژن کل و pH)، این لایه‌ها فازی‌سازی شدند و سپس به کمک ابزار حسابگر شبکه‌ای (Raster Calculator) و اختصاص وزن هر لایه حاصل از ANP تلفیق تمام این لایه‌ها صورت گرفت و لایه نهایی امکان‌سنجی اراضی زراعی استان لرستان تهیه گردید. در پایان لایه نهایی به چهار طبقه با ارزش فازی: خیلی‌مناسب (۰/۷۵ تا ۱)، مناسب (۰/۵۰ تا ۰/۷۵)، ضعیف (۰/۲۵ تا ۰/۵۰) و نامناسب (۰ تا ۰/۲۵) تقسیم شد (Sharififar *et al*, 2016) و مساحت هر طبقه در محیط GIS محاسبه و استخراج گردید و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مراحل انجام این تحقیق در شکل ۵ ارایه شده است.

جدول ۲- نیازمندی‌های سورگوم و طبقات ارزیابی هر عامل در محدوده مورد مطالعه براساس منطق فازی

Table 2. Sorghum requirements and evaluation classes of each factor in the study area based on fuzzy logic

Environmental variables	Critical limit	Optimal limit
Minimum temperature (°C)	8<	15
Maximum temperature (°C)	40>	24-34
Average temperature (°C)	40	21-32
Elevation (m)	2400>	1000<
Slope (%)	6	2
Texture	Sandy	Loam, Sandy loam, Silty loam
Available potassium (mg kg-1)	150	250
Available phosphorus (mg kg-1)	5	15
Organic matter (%)	0.5	1.5
Total nitrogen (%)	0.5	0.15
pH	5.2<, 8.5>	6-7

Givi, 1997; Malakoti and Ghibi, 1997; Makhdoom, 2012; Khajehpour, 2013; Ghibi *et al.*, 2014; Zolfagharnejad and Kazemi, 2016; Ahmad, 2015; Esa and Assen, 2017; Seyed Jalai *et al.*, 2019; Tadesse and Negese, 2020.



شکل ۵- نمودار جریانی امکان‌سنجی اراضی لرستان برای کشت سورگوم علوفه‌ای
Figure 5. Flowchaut Feasibility study of Lorestan lands for forage sorghum cultivation

نتایج و بحث

نتایج بررسی عوامل مؤثر بر کشت سورگوم علوفه‌ای بعد از برداشت غلات پاییزه با استفاده از نظر متخصصان کشاورزی از طریق پرسش‌نامه و تجزیه و تحلیل با نرم‌افزار ANP نشان داد که معیار اقلیم با وزن ۰/۵۶۴ بیش‌ترین تأثیر را داشت و معیارهای خاک و توپوگرافی به‌ترتیب با وزن‌های ۰/۳۲۸ و ۰/۰۹۸ در رتبه‌های بعدی اهمیت قرار گرفتند. در بین سه زیرمعیارهای اقلیمی دمای بیشینه با وزن ۰/۵۳۸ دارای بیش‌ترین اهمیت و دمای کمینه با وزن ۰/۲۲۹ دارای کم‌ترین اهمیت بود. در بین شش زیر معیار خاک، ماده آلی و پتاسیم قابل‌دسترس به‌ترتیب بیش‌ترین (۰/۳۰۹) و کم‌ترین (۰/۰۹۸) ارزش وزنی را داشتند. متخصصان کشاورزی از بین دو زیرمعیار توپوگرافی، بیش‌ترین ارزش وزنی (۰/۵۱۴) را برای شیب اراضی زراعی قائل شدند (جدول ۳). اولین عامل مؤثر بر کشت هر گیاه در هر منطقه، شرایط عوامل اقلیمی از جمله دما است که تعیین‌کننده سازگاری گیاه و فراهم‌کننده شرایط برای بروز توانایی آن می‌باشد. عوامل خاک به‌سبب مهیا ساختن بستری برای استقرار گیاه و تأمین نیاز غذایی گیاه از اهمیت مهمی بعد از عوامل اقلیمی برخودار هستند. همچنین عوامل توپوگرافی مانند ارتفاع از سطح دریا به‌دلیل تأثیری که بر عواملی اقلیمی و شیب به‌علت مؤثر بودن بر شیوه آبیاری و فرسایش خاک در درجه اهمیت بعد از عوامل خاک قرار دارند. پورهادیان (Pourhadian, 2018) با بررسی اهمیت معیارها و ریزمعیارهای خاکی و توپوگرافی برای کشت ذرت علوفه‌ای در اراضی زراعی چهار حوضه استان گلستان به کمک ANP دریافت که معیار خاک (با ارزش وزنی ۰/۷۷۸) نسبت به توپوگرافی (با ارزش وزنی ۰/۲۲۲) دارای اهمیت بیش‌تری است. ایشان بیان داشت که بیش‌ترین اهمیت در بین عوامل خاک به شوری (۰/۱۱۹) و ماده آلی (۰/۱۰۵) و کم‌ترین اهمیت به فسفر قابل دسترس (۰/۰۹۲) تعلق دارد. در مطالعه کاسی و همکاران (Kahsay *et al.*, 2018)

ارزش وزنی سه معیار اقلیم، خاک و توپوگرافی برای کشت سورگوم در اتیوپی به‌ترتیب ۰/۴۱۲۶، ۰/۳۲۷۵ و ۰/۲۹۷۰ برآورد شد و زیرمعیارهای طول دوره رشد (۰/۵۳۹۶)، شیب (۰/۶) و ماده آلی (۰/۱۹۴۱) به‌ترتیب از معیارهای اصلی اقلیم، توپوگرافی و ویژگی‌های شیمیایی خاک بیش‌ترین اهمیت را داشتند. یوهانس و سورومسا (Yohannes and Soromessa, 2018) با بررسی اهمیت عوامل محیطی بر کشت گندم و جو در حوضه آبریز اندیت تید کشور اتیوپی با استفاده از ANP گزارش کردند که دمای هوا، عمق خاک و شیب اراضی به‌ترتیب از بین عوامل اقلیمی، خاکی و توپوگرافی دارای بیش‌ترین ارزش وزنی بودند.

امکان‌سنجی نهایی

ارزیابی تناسب‌بندی اراضی زراعی استان لرستان با استفاده از عوامل اقلیمی، توپوگرافی و خاکی برای کشت سورگوم علوفه‌ای بعد از غلات پاییزه در شکل ۶ ارایه شده است. نتایج این ارزیابی نشان داد که از کل وسعت محدوده مورد مطالعه ۶/۹۹ درصد (معادل ۴۸۲۹۸/۹۵ هکتار) دارای شرایط خیلی‌مناسب با ارزش فازی بین ۰/۷۵ تا ۰/۸۹ بود (جدول ۴). این طبقه خیلی‌مناسب بیش‌تر در شمال غرب شهرستان‌های کوهدشت و خرم‌آباد و مرکز شهرستان‌های بروجرد و دورود قرار داشت. بررسی انجام شده نشان داد که کشت سورگوم علوفه‌ای به‌دلیل مقاومت بالا نسبت به ذرت علوفه‌ای در این ناحیه مناسب‌تر است (متوسط عملکرد سورگوم علوفه‌ای و ذرت علوفه‌ای در استان لرستان به‌ترتیب ۶۷/۷ و ۴۵ تن در هکتار می‌باشد). در مساحت‌های ذکر شده این پهنه، عوامل محیطی مؤثر بر ایجاد تنوع در تناسب اراضی زراعی شامل عوامل اقلیمی، توپوگرافی و خاک برای کشت سورگوم علوفه‌ای مطلوب بودند و موجبات استفاده بهینه از اراضی زراعی را برای کشت این گیاه فراهم کردند. اما برای استفاده حداکثری از توان تولیدی این ناحیه، اعمال مدیریت دقیق و حساب شده لازم است، چرا که به‌کارگیری مدیریت زراعی اصولی، لازمه استفاده بهینه از استعداد بالای ذاتی هر منطقه است. احمد و جب (Ahmed and Jeb, 2014) با ارزیابی تناسب‌بندی منطقه بانکوره از ایالت کانو کشور نیجریه به‌کمک منطق فازی دریافتند که ۸/۶۹ درصد از محدوده مورد مطالعه دارای شرایط خیلی‌مناسب برای کشت سورگوم بودند. این محققین بیان داشتند که شرایط مطلوب فیزیکی و شیمیایی خاک و توپوگرافی منطقه موجب فراهمی نیازهای گیاه سورگوم به‌صورت طبیعی در این پهنه می‌شود. در تحقیق تناسب‌بندی انجام شده توسط پورهادیان (Pourhadian, 2018) در چهار حوضه آبریز استان گلستان به‌کمک GIS، ANP و منطق فازی، از کل محدوده مورد مطالعه، ۱۱/۰۲ درصد معادل ۲۰۹۴۶/۲۰ هکتار در طبقه خیلی‌مناسب واقع شد. ایشان گزارش کرد که این طبقه در مرکز ناحیه مورد مطالعه قرار دارد و اندازه‌گیری میدانی عملکرد علوفه مزارع کشاورزان نیز گواه براین موضوع بود.

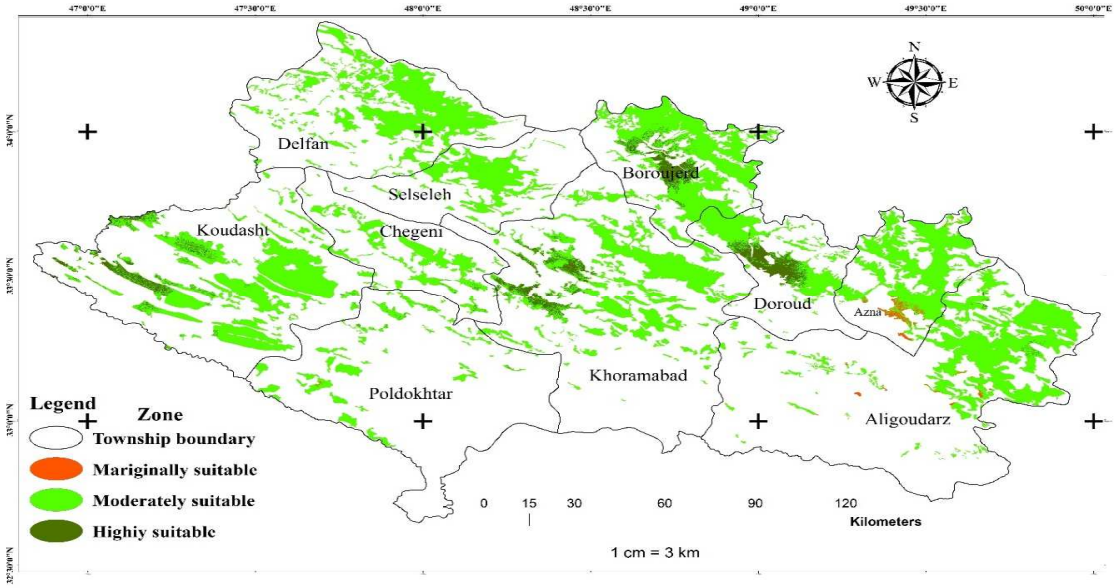
طبقه مناسب (ارزش فازی ۰/۵۰ تا ۰/۷۵)، با وسعت ۹۲/۳۸ درصدی (۶۳۸۶۲۹/۰۲ هکتار) بیش‌ترین سطح از کل اراضی زراعی مورد مطالعه برای کشت سورگوم علوفه‌ای را به‌خود اختصاص داد (شکل ۶ و جدول ۴). این پهنه زراعی در تمام شهرستان‌های استان لرستان دارای بیشترین سهم بود. عواملی چون پایین بوددن دمای کمینه و متوسط (به‌ویژه در شمال‌غرب و شرق)، بالا بودن دمای بیشینه (به‌ویژه در جنوب و جنوب‌غرب)، زیاد بودن ارتفاع از سطح دریا (به‌ویژه در مناطق شرق، شمال و شمال غرب)، کم بودن ماده آلی و نیتروژن کل (به‌ویژه در شرق و شمال)، کم بودن فسفر قابل‌دسترس (به‌ویژه در جنوب) و نامناسب بودن بافت خاک (به‌ویژه در شمال غرب) موجب کاهش استعداد اراضی زراعی برای کشت سورگوم علوفه‌ای از شرایط خیلی‌مناسب به شرایط مناسب شد. با توجه به این که عوامل اقلیمی و توپوگرافی توسط کشاورزان قابل تغییر نیستند. بنابراین برای استفاده حداکثری از این پهنه بایستی مدیریت عوامل خاک به‌درستی انجام داد و از این طرق به عملکرد مناسب دست یافت. همچنین با وجود مناسب بودن استعداد این پهنه برای کشت دوم سورگوم علوفه‌ای با دو چین در مناطق سردسیر استان مانند شهرستان‌های ازنا، الیگودرز، سلسله و دلفان، توجه به برداشت زودتر گندم و جو بایستی مدنظر قرار گیرید تا از انطباق نیازهای دمایی سورگوم در اواخر دوره رشد چین دوم مطمئن شد. در این مناطق برداشت گندم و جو در نیمه دوم تیرماه موضوع بسیار مهمی برای فراهم کردن تهیه بستر سورگوم و کاشت به‌موقع این گیاه می‌باشد. پیله‌ور و همکاران (Pilevar *et al.*, 2020) با مطالعه اراضی جنوب شرقی نیشابور به‌کمک منطق فازی دریافتند که از محدوده مورد مطالعه ۶۱/۵۱ و ۷۸/۲۳ درصد به‌ترتیب برای کشت ذرت و گندم مناسب می‌باشد. تحلیل این محققین حاکی از اهمیت بیش‌تر عوامل خاک بر کاهش استعداد شرایط خیلی‌مناسب به مناسب بود، چرا که گزارش کردند شرایط اقلیمی مطلوب می‌باشد و شرایط توپوگرافی

تنها ۲/۵۳ و ۸/۶۷ درصد از تغییر شرایط از مطلوب به مناسب به‌ترتیب برای گندم و ذرت می‌شود، اما عوامل خاک موجب کاهش ۸۷/۳۵ درصدی استعداد مطلوب برای کشت گندم و ۵۹/۴۰ درصدی برای کشت ذرت می‌شوند. پورهادیان (Pourhadian, 2020) با بررسی اراضی استان لرستان برای کشت تابستانه سورگوم علوفه‌ای با استفاده از دماهای کمینه، بیشینه و متوسط گزارش کرد که ۴۸/۰۸ درصد از اراضی این منطقه دارای شرایط مناسب می‌باشند و دمای کمینه را به‌عنوان مهم‌ترین عامل کاهش استعداد منطقه از پهنه خیلی‌مناسب به مناسب معرفی کرد. در مطالعه تادسه و نگسه (Tadesse and Negese, 2020) ۷۱/۴۲ درصد از حوضه آبخیز آگامسای اتیوپی دارای شرایط مناسب برای کشت سورگوم بود که این تنزل از طبقه خیلی‌مناسب به مناسب از پایین بودن فسفر قابل‌دسترس و مواد آلی خاک و بالا بودن شیب ناشی شد.

جدول ۳- ارزش وزن معیارها و زیرمعیارهای مربوط به عوامل مؤثر در کشت سورگوم علوفه‌ای در محدوده مورد مطالعه براساس فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP)

Table 3. Weighted value of criteria and sub-criteria related to the effective factors in forage sorghum cultivation in the study area based on network analysis process (ANP)

Criteria	Sub-criteria	Weighted
Climatic factors		0.564
	Minimum temperature	0.229
	Maximum temperature	0.538
	Average temperature	0.232
Topographic factors		0.098
	Elevation	0.486
	Slope	0.005
Soil factors		0.328
	Texture	0.145
	Available potassium	0.098
	Available phosphorus	0.102
	Organic matter	0.309
	Total nitrogen	0.226
	pH	0.118



شکل ۶- نقشه امکان‌سنجی کشت سورگوم علوفه‌ای بعد از غلات پاییزه در اراضی زراعی استان لرستان

Figure 6. Feasibility study of forage sorghum cultivation after autumn cereals in agricultural lands of Lorestan province

جدول ۴- مساحت پهنه‌های طبقه‌بندی‌شده برای کشت سورگوم علوفه‌ای در منطقه مورد مطالعه بر اساس منطق فازی

Table 4. Area of classified areas for forage sorghum cultivation in the study area based on fuzzy logic

Zone	Area (ha)	Area (%)
Highly suitable	4384.35	6.99
Moderately suitable	638629.02	92.38
Marginally suitable	48298.95	0.63
Unsuitable	0	0

ارزیابی اراضی زراعی استان لرستان نشان داد که ۰/۶۳ درصد معادل ۴۳۸۴/۳۵ هکتار دارای شرایط ضعیف (ارزش فازی ۰/۴۱ تا ۰/۵۰) برای کشت دوم سورگوم علوفه‌ای با دو چین بود (جدول ۴) که مکان این پهنه در شرق استان و در شهرستان‌های ازنا و الیگودرز واقع شده است (شکل ۶). این پهنه به‌سبب ارزش پایین اراضی برای کشت سورگوم و توفیق کم در برداشت محصول مناسب، بهتر است به کشت دوم سورگوم اختصاص نیابد. اما در صورت تغییر تاریخ کاشت از تیرماه به نیمه دوم اردیبهشت تا اواخر خرداد می‌توان محصول مناسبی به‌عنوان کشت اول بهاره برداشت کرد، چرا که عامل اصلی محدودیت در این پهنه عوامل اقلیمی می‌باشد و با تغییر تاریخ کاشت دمای مناسب برای رشد سورگوم علوفه‌ای را می‌توان تأمین و شرایط را برای حصول عملکرد مورد نظر فراهم کرد. مطالعات مختلف بیان داشتند که از بین عوامل متفاوت مؤثر بر رشد گیاه، عوامل اقلیمی و توپوگرافی توسط کشاورز غیرقابل تغییر هستند و بنابراین برای کاهش تأثیر این عوامل، تغییر تاریخ کاشت بهترین مدیریت می‌باشد (Khodabandeh, 2009; Khajehpour, 2013).

در مطالعه تناسب‌بندی اراضی برای سورگوم به‌کمک منطق فازی و با استفاده از ویژگی‌های خاک که توسط احمد و جب (Ahmed and Jeb, 2014) انجام گرفت، ۲۴/۲۹ درصد از اراضی منطقه مورد پژوهش دارای شرایط ضعیف بودند و عواملی چون شوری، زهکشی ضعیف و حاصل‌خیزی کم خاک این شرایط را به‌وجود آورده بودند. در ارزیابی دیگری (Kahsay *et al.*, 2018) برای کشت سورگوم که به‌کمک ترکیب GIS، AHP و منطق فازی صورت گرفت، ۳۶/۱۷ درصد از اراضی پتانسیل پایین (ضعیف) داشتند و عامل اصلی محدودیت در ناحیه، طول دوره رشد کوتاه منطقه بود، اما عواملی دیگری چون قطر سنگ‌ریزه، ظرفیت نگهداری آب، ماده آلی، نیتروژن کل و فسفر قابل‌دسترس نیز مزید بر علت شدند. نباتی و همکاران (Nabati *et al.*, 2020) با مطالعه پهنه‌بندی زراعی- بوم‌شناسی استان لرستان با استفاده از منطق فازی و عوامل اقلیمی، توپوگرافی و خاکی، دریافتند که ۲۷/۵۳ و ۱۷/۹۶ درصد از اراضی این استان به‌ترتیب دارای شرایط ضعیف برای کشت نخود بهاره (کشت آبی) و پاییزه (کشت دیم) هستند. این محققین دریافتند که پهنه‌بندی اراضی به‌کمک منطق فازی و GIS شرایط را برای برنامه‌ریزی دقیق جهت استفاده منابع و اطلاعات موجود برای رسیدن به‌کمک اقتصادی فراهم می‌کند.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به اهمیت استان لرستان از جنبه دامپروری و نیاز بالا به تأمین علوفه دام‌ها و استفاده بهینه از منابع کشاورزی از طریق گیاه سورگوم به‌عنوان کشت دوم، ارزیابی اراضی این استان به‌کمک سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) و منطق فازی انجام گرفت. اهمیت عوامل محیطی مؤثر بر کشت دوم سورگوم علوفه‌ای به‌کمک نظر متخصصین مشخص شد. استعداد منطقه مورد مطالعه دارای سه ناحیه بود که ناحیه بسیار مناسب با وسعت ۶/۹۹ درصدی (معادل ۴۸۲۹۸/۹۵ هکتار) در بخش‌هایی از شهرستان‌های کوهدشت، خرم‌آباد، بروجرد و دورود، ناحیه مناسب با مساحت ۶۳۸۶۲۹/۰۲ هکتاری (۹۲/۳۸ درصد) در سطح وسیعی از استان و ناحیه ضعیف با وسعت ۰/۶۳ درصد (معادل ۴۳۸۴/۳۵ هکتار) در شهرستان‌های ازنا و الیگودرز واقع شد. در کل نتیجه این مطالعه نشان داد که مساحت زیادی از استان لرستان (۹۹/۳۷ درصد شامل پهنه‌های خیلی مناسب و مناسب)، پتانسیل بالایی برای کشت سورگوم علوفه‌ای بعد از برداشت غلات پاییزه دارد، اما با توجه به تنوع پهنه‌های عوامل اقلیمی، توپوگرافی و خاکی در این منطقه، مدیریت هدفمند و برنامه‌ریزی شده به‌منظور برداشت محصول مناسب بر اساس توانایی‌ها و محدودیت‌های عوامل مؤثر، ضروری به‌نظر می‌رسد.

تضاد منافع

نویسنده (گان) تایید می‌کنند که این تحقیق در غیاب هر گونه روابط تجاری یا مالی که می‌تواند به‌عنوان تضاد منافع بالقوه تعبیر شود، انجام شده است.

رعایت اخلاق در نشر

نویسنده (گان) اعلام می‌کنند که در نگارش این مقاله به‌طور کامل از اخلاق نشر از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پیروی کرده‌اند.

همچنین این مقاله حاصل یک کار تحقیقاتی اصیل بوده و تا کنون به‌طور کامل به هیچ زبانی و در هیچ نشریه یا همایشی چاپ و منتشر نشده و هیچ اقدامی نیز برای انتشار آن در هیچ نشریه یا همایشی صورت نگرفته و نخواهد گرفت.

اجازه انتشار مقاله

نویسنده (گان) با چاپ این مقاله به صورت دسترسی باز موافقت کرده و کلیه حقوق استفاده از محتوا، جدول‌ها، شکل‌ها، تصویرها و غیره را به ناشر واگذار می‌کنند.

References

Ahmad, M. 2015. Land suitability classification for sorghum (*Sorghum bicolor* L. moench) in Bunkure, Kano state, Nigeria. M. Sc. Dissertation, Department of Geography, Faculty of Science, Ahmadu Bello University, Zaria, Nigeria.

Ahmed, M. and Jeb, D. N. 2014. Land suitability for sorghum using multicriteria evaluation (MCE) and analytical hierarchy process (AHP) in Bunkure Kano state, Nigeria. **IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science** 7 (9): 25-37.

Amirian Chakan, A. 2011. Spatial modeling of land suitability using fuzzy set theory and geostatistical techniques (Case study: Silakhor plain of Dorud city, Lorestan province). Ph. D. Dissertation, Tehran University, Iran. (In Persian).

Elaalem, M. 2012. Land suitability evaluation for sorghum based on boolean and fuzzy-multi-criteria decision analysis methods. **International Journal of Environmental Science and Development** 3 (4): 357-361.

Esa, E. and Assen, M. 2017. A GIS based land suitability analysis for sustainable agricultural planning in Gelda catchment, Northwest Highlands of Ethiopia. **Journal of Geography and Regional Planning** 10 (5): 77-91.

FAO. 1993. Guidlines: Agro-ecological assessment for national planning: The example of kenya. FAO Soils Bulletin 67. Rome, FAO. Available at: http://www.fao.org.

General Department of Meteorology of Lorestan Province. 2021. Available at: http://www.lorestanmet.ir/index.php/fa/

Ghibi, M. N., Asadi, F. and Tehrani, M. M. 2014. Guidance integrated management soil fertility and maize nutrient. Soil and Water Research Institute, Iran. 55 p. (In Persian).

Givi, J. 1997. Qualitative assessment of land suitability for crops and orchards. Ministry of Agriculture-Jahad, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Soil and Water Research Institute. 114 p. (In Persian).

Kahsay, A., Haile, M., Gebresamuel, G. and Mohammed. M. 2018. Land suitability analysis for sorghum crop production in northern semi-arid Ethiopia: Application of GIS-based fuzzy AHP approach. **Cogent Food and Agriculture** 4: 1507184.

Kamkar, B. and Mahdavi Damghani, A. M. 2008. Fundemental of Sustainable Agriculture. Jehad Daneshgahi Press of Mashhad. 315 p. (In Persian).

Khajehpour, M. R. 2013. Cereal crops. University Jihad Publication of Isfahan Technology University. 763 p. (In Persian).

Khodabandeh, N. 2009. Forages crops. Publication of Iranian Agricultural Sciences, Tehran, Iran. (In Persian).

Makhdoom, M. 2012. Land use planning fundamental. University of Tehran Press, Tehran, Iran. (In Persian).

Malakoti, M. J. and Ghibi, M. N. 1997. Determining the critical limit of nutrients in strategic products and fertilizer recommendations in the country. Publication of Agricultural Education, Karaj, Iran. 63 p. (In Persian).

Nabati, J., Nezami, A., Neamatollahi, E. and Akbari, M., 2020. GIS-based agro-ecological zoning for crop suitability using fuzzy inferencesystem in semi-arid regions. **Ecological Indicators** 117: 106646.

Pilevar, A. R., Matinfar, H. Z., Sohrabi, A. and Sarmadian, F. 2020. Integrated fuzzy, AHP and GIS techniques for land suitability assessment in semi-arid regions for wheat and maize farming. **Ecological Indicators** 110: 105887.

Pourhadian, H. 2018. Yield gap analysis of forage maize using crop modeling, remote sensing and geographical information system approaches (A case study: Four basins of Golestan province). Ph. D. Dissertation, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran. (In Persian).

Pourhadian, H. 2020. Ability evaluation of lorestan province climatic for second cultivation of forage sorghum. 16th National Iranian Crop Science Congress. January 25-27, 2020, Malathi, Iran. (In Persian).

Rahman Salari, K. and Omidvari, Sh. 2016. Study of the efficiency of geostatistical methods (kriging and IDW) in preparing the fertility map of Kamalvand plain of Khorramabad. International Conference on Architecture, Urbanism, Civil Engineering, Art, Environment; Future Horizons and retrospect. March 7, 2016, Tehran, Iran. (In Persian).

Rashid Sorkh Abadi, M., Shahidi, A. and Khashei-Siuki, A. 2016. Determining suitable places for saffron planting using fuzzy hierarchical analysis process in the city of Torbat Heydarieh. **Saffron Agronomy and Technology** 3 (4): 261-272.

Rezvan, S., Kazemi, H. and Ghaderi-Far, F. 2018. Temporal and spatial feasibility of hull-less barley cropping in agricultural lands of Gorgan township. **Cereal Research** 8 (1): 127-138.

Seyed Jalai, S. A., Navidi, M. N., Zeinadini Meymand, A. and Mohammad Esmail, Z. 2019. Field crops requirements. Soil and Water Research Institute. 250 p. (In Persian).

Sharififar, A., Ghorbani, H. and Sarmadian, F. 2016. Soil suitability evaluation for crop selection using fuzzy sets methodology. **Acta Agriculturae Slovenica** 107 (1): 159-174.

Tadesse, M. and Negese, A. 2020. Land suitability evaluation for sorghum crop by using GIS and AHP techniques in Agamsa subwatershed. Ethiopia. **Cogent Food and Agriculture** 6: 1743624.

Yohannes, H. and Soromessa, T. 2018. Land suitability assessment for major crops by using GIS-based multi-criteria approach in Andit Tid watershed, Ethiopia. **Cogent Food and Agriculture** 4: 1470481.

Zhang, J., Su, Y., Wu, J. and Liang, H. 2015. GIS based land suitability assessment for tobacco production and fuzzy set in Shandong province of China. **Computers and Electronics in Agriculture** 114: 202-211.

Zolfagharnejad, H. and Kazemi, H. 2016. Evaluation of environmental variables to identify suitable areas for corn cropping using spatial analysis of geographic information system. **Journal of Agroecology** 6 (2): 197-211.

University of Guilan
Faculty of Agricultural Sciences

doi: 10.22124/CR.2021.19255.1654

(Research Article)

Cereal Research
Vol. 11, No. 2, Summer 2021 (149-162)

Feasibility of forage sorghum (*Sorghum bicolor* L.) cultivation post-harvest of autumn cereals in semi-arid regions using fuzzy logic

Hossein Pourhadian[1*]

Received: March 30, 2021 Accepted: August 16, 2021

Abstract

Land feasibility provides the conditions for accurate decision making of each crop and its management in each area. For this purpose, Geographic Information System (GIS), Network Analysis Process (ANP) and fuzzy logic were used to evaluate the feasibility of cultivating forage sorghum after autumn grain harvest in Lorestan province. First, data minimum, maximum and average temperature, elevation, slope, pH, texture, available potassium, available phosphorus, organic matter and total nitrogen of soil were collected and after transferring them to GIS, their initial raster layers were prepared in the field of agricultural lands and sing fuzzy functions was standardized. The weight of each environmental factor was determined using ANP. Finally, by combining the weighted layers, the final land suitability layer of study area was produced and zoned into four highly suitable, moderately suitable, marginally suitable and unsuitable classes based on fuzzy logic. The results of land evaluation showed that the highest level of the study area was in the moderately suitable class (92.38%) and highly suitable and marginally suitable were included with 6.99 and 0.63% of the total studied lands, respectively. highly suitable class was observed in the center, southwest and northeast of the province, moderately suitable class in the whole province and marginally suitable class in the east of the province. The study of effective factors on forage sorghum cultivation in Lorestan province showed that the diversity of these factors in different regions reduced the potential of highly suitable class to moderately suitable and marginally suitable and minimum temperature at the end of the growing season, organic matter, total nitrogen and altitude were the most limiting.

Keywords: Climate, Geographic information system, Network analysis process

1. Assist. Prof., Dept. of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran
[*] Corresponding author: hpoorhadian@yahoo.com