

Agro-ecological zoning of Iran for plant production

E. Paravar¹, A. Soltani^{2*}, E. Zeinali³, H. Kazemi³, A. Dadrasi⁴

1- PhD student of Agroecology

2- Professor, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

3- Associate Professor Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

4- PhD graduate of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Introduction: For optimal production and maintaining its stability, environmental and weather conditions must be determined from the perspective of capabilities and limitations. For this purpose, it requires reliable regional data such as planting date, ripening time, plant density, soil and meteorological information, which are generally not available for most regions. Obtaining this information is very time-consuming and expensive in many areas and is often simply not possible. Therefore, zoning can facilitate access to this information on a large scale. In other words, if the regions that are similar in terms of climate, soil and management conditions are identified, the time and cost needed to collect information on a wide scale will be minimal.

Materials and Methods: The present study was conducted for the agro-ecological zoning of the country. In this research, the existing climatic zones of the country were analyzed based on GYGA and the existing soil zones of the country were analyzed based on the HC27 method.

Results and Discussion: The combination of climatic zones and soil, 198 polygons or agro-ecological zones were obtained for all agricultural lands of the country. The zones in which more than 1% of the country's agricultural lands are located include 28 zones, and in total, about 80% of the agricultural lands are located in these zones. The highest frequency percentage is related to agro-ecological zone 4103-5 with a frequency of 85.11%. Also, the frequency of agro-ecological codes (climate code 5003 with soil code 5) 5003-5 (28.7%) and (climate code 4003 with soil code 5) 5-4003 (93.4%) were placed next. Zoning can facilitate the selection of points for plant studies and other planning.

Conclusion: Each of these areas has a different climate and soil code, which indicates the specific production conditions of that area. From these agro-ecological zones, in order to improve studies and make agricultural management decisions, it is possible to prepare and complete the climate and soil information bank in each zone for use in simulation models of plant production, to facilitate the collection of information (such as management information, cultivar information plant and...) and the implementation of plant production simulation model in order to be used in studies related to the food security of the country. The current research was conducted with the aim of determining the main agro-ecological areas of agricultural production in the country so that simulation studies and other studies can be carried out in the main production location in each province. Therefore, it is necessary to know where the main production centers of each province were, what kind of climate and soil it has, and which meteorological station is the indicator of that region. In this research, the climate zones of irrigated, rainfed, garden and pasture lands of the country were determined by using Giga climate map. Based on this, more than 50% of water lands are located in climates 5003, 4003, 5002, 8003 and 6003, respectively. Also, the rainy lands are located in 4103, 4003 and 3103 climates respectively. Also, by using the HC27 soil map, the soil areas in the irrigated, rainfed, garden and pasture lands of the country were determined. Therefore, more than 50% of water lands in soil codes 5 and 17; Rainy lands in Kodkhak 5 and 12; Garden lands were located in soil codes 5 and 12 and pastures were located in soil codes 5 and 17. By combining climatic zones and soil zones, agricultural-ecological zoning of the country was done, and finally 198 zones were obtained. The zones in which more than 1% of the country's agricultural lands are located include 28 zones, in total, about 80% of the agricultural lands are located in these zones (Figure 7). The highest frequency percentage (11.85%) was related to the area with agro-ecological code 4103-5, which covered 1789965.8 hectares of agricultural land. Also, after that, the agro-ecological code 5003-5 has the highest frequency (7.28 percent), which covers 1100599.25 hectares of agricultural lands in the country. In this research, after the agro-ecological zoning of the country's agricultural lands, a number of 198 zones were obtained, and after calculating the area covered by each zone, finally, 28

agro-ecological zones have an abundance percentage of more than 1%, and together they are about 80% (11813518.66 hectares). They cover the country's agricultural lands. These climate zones obtained can be used for food security studies and calculating and determining the production capacity of each region. On the other hand, considering that in agricultural studies, extensive and comprehensive information about climate and soil is needed for each region and access to this information is usually expensive and time-consuming, the use of agro-ecological zones resulting from this research can be necessary.

Keywords: Climate, cultivated area, distribution map, production center, soil map

پهنه‌بندی آگرواکولوژیک کشور ایران برای تولید گیاهی

عفت پراور^۱، افشین سلطانی^{۲*}، ابراهیم زینلی^۳، حسین کاظمی^۴، امیر دادرسی^۴

۱- دانشجوی دکتری زراعت (گرایش آگرواکولوژی)

۲- استاد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان (نویسنده مسئول)

۳- دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۴- دانش‌آموخته دکتری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

چکیده

برای تولید مطلوب و حفظ پایداری آن، شرایط محیطی و آب و هوایی از بعد قابلیت‌ها و محدودیت‌ها باید مشخص شوند. به جهت این امر نیازمند داده‌های قابل اعتماد منطقه‌ای از قبیل تاریخ کاشت، زمان رسیدگی رقم، تراکم بوته، اطلاعات خاک و هواشناسی است که به طور کلی همه‌ی این داده‌ها برای اکثر مناطق قابل دسترس نمی‌باشد. بدست آوردن این اطلاعات در بسیاری از مناطق بسیار زمان‌بر و پرهزینه بوده و اغلب به سادگی امکان‌پذیر نمی‌باشد. بنابراین پهنه‌بندی می‌تواند دسترسی به این اطلاعات در سطح وسیع را تسهیل کند. به عبارتی، در صورتی که مناطقی که از نظر شرایط اقلیمی، خاک و مدیریتی مشابه‌اند، شناسایی شوند، زمان و هزینه مورد نیاز برای جمع‌آوری اطلاعات در سطح وسیع به حداقل مقدار خواهد رسید. مطالعه‌ی حاضر به منظور پهنه‌بندی آگرواکولوژیک کشور انجام شد. در این تحقیق ابتدا پهنه‌های اقلیمی موجود کشور براساس پروتکل GYGA و پهنه‌های خاک موجود کشور براساس روش HC27 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. ترکیب پهنه‌های اقلیمی و خاک، ۱۹۸ پلی‌گون یا پهنه آگرواکولوژیک برای کل اراضی کشاورزی کشور بدست آمد. پهنه‌هایی که بیش از ۱ درصد از اراضی کشاورزی کشور در آن قرار دارند شامل ۲۸ پهنه می‌باشد که در مجموع حدود ۸۰ درصد اراضی کشاورزی در این پهنه‌ها قرار دارد. بیشترین درصد فراوانی نیز مربوط به پهنه‌ی آگرواکولوژیک ۵-۴۱۰۳ با فراوانی ۱۱/۸۵ درصد می‌باشد. همچنین درصد فراوانی کدهای آگرواکولوژیک (کد اقلیمی ۵۰۰۳ به همراه کد خاک ۵) (۵-۵۰۰۳/۲۸ درصد) و (کد اقلیمی ۴۰۰۳ به همراه کد خاک ۵) (۵-۴۰۰۳/۹۳ درصد) بعد از آن قرار گرفت. پهنه‌بندی صورت گرفته می‌تواند انتخاب نقاط برای مطالعات گیاهی و سایر برنامه‌ریزی‌ها را تسهیل کند.

کلمات کلیدی: اقلیم، سطح زیرکشت اراضی، مرکز تولید، نقشه پراکنش، نقشه خاک

مقدمه

منطقه‌ای از زمین که اثرات عوامل اقلیمی بر آن موجب برقراری شرایط اقلیمی نسبتاً همگنی شده باشد را اصطلاحاً یک پهنه اقلیمی نامند. اثرات متقابل درازمدت عوامل اقلیمی و خاکی، شرایط زیستی ثابت و مشخصی را به وجود می‌آورد و در هر اقلیم گیاهان معینی با سازگاری خاص مشاهده می‌شود که دارای خصوصیات رشدی و نموی مشابه و مشخص بوده و حدود تحمل به عوامل محیطی خاص خود را دارند (Khajehpour, 2006). به این ترتیب، تصمیم‌گیری‌های زراعی و مدیریت تولید گیاهان زراعی، باید براساس شناخت اقلیمی که تولید در آن صورت می‌پذیرد استوار باشد. بدون شناخت محیط، تصمیم‌گیری زراعی صحیح و دقیق میسر نیست.

برای تولید مطلوب و حفظ پایداری آن، شرایط محیطی و آب و هوایی از بعد قابلیت‌ها و محدودیت‌ها باید مشخص شوند. پس از آن با توجه به شباهت‌های موجود، مناطق همسان در یک گروه قرار می‌گیرند و نوعی طبقه‌بندی یا پهنه‌بندی اقلیمی انجام می‌شود. چنانچه پهنه بندی هم بر مبنای شاخصه های اقلیمی و هم خاکی باشد، پهنه بندی مذکور زراعی- بوم‌شناختی یا زراعی- اکولوژیک می‌نامند که به منظور شناسایی پتانسیل‌ها و محدودیت‌های منابع زمینی در جهت بهبود تولیدات کشاورزی می‌باشد (Williams et al, 2008). طور کلی، مزایای پهنه بندی را می‌توان به شرح زیر بیان کرد (Geerts et al, 2006 ; Seppelt, R., 2000 ; Isoltani, 2012; Williams et al, 2008): (۱) شناسایی نواحی مشابه یا متفاوت برای مقاصد مختلف، (۲) شناسایی اولویت‌های محیطی در هر منطقه (۳) جهت‌دار شدن تحقیقات (۴) تعیین زمان وقوع و طول دوره بروز تنش بر روی گیاهان، (۵) تسهیل انتقال تکنولوژی یا یافته‌های تحقیقاتی. پهنه بندی زراعی- بوم‌شناختی در دهه ۷۰ میلادی برای اولین بار توسط سازمان خوار و بار جهانی (فائو) برای ارزیابی زمین‌ها و تعیین پتانسیل تولید محصولات کشاورزی در مقیاس منطقه‌ای و ملی پیشنهاد شد (FAO, 1978). روش مورد استفاده کاملاً جدید و بر اساس کمی کردن اطلاعات اقلیمی، خاک و سایر عوامل فیزیکی بود. در ادامه، این روش توسط فائو و نیز سایر محققین تکامل یافت (Fisher, J.W et al, 2000) و در حال حاضر از جمله رایج‌ترین راهکارهای تعیین ویژگی‌های زراعی- بوم‌شناختی در مناطق وسیع جغرافیایی برای تولید محصولات زراعی است.

روش‌های مختلفی برای پهنه بندی اقلیمی وجود دارد برخی از پرکاربردترین روش‌های پهنه بندی زراعی- اقلیمی جهانی شامل پهنه بندی اقلیمی FAO، CGIAR-TAC، Prentice، Pappadakis Köppen-Geiger، Holdridge، GAEZ-LGP، HCAEZ، SAGE، GLI و Gens می‌باشند (کو و دیمز، ۲۰۱۳). به جز موارد ذکر شده اخیراً روش جدیدی توسط GYGA برای پهنه بندی اقلیمی با عنوان دامنه برون یابی اطلس جهانی خلاً عملکرد ارائه شده است که در واقع این روش، ترکیب ساده شده‌ای از روش‌های پهنه بندی می‌باشد. بر خلاف روش‌های SAGE و GLI که برای محاسبه واحد دمایی از دمای پایه هر گیاه زراعی استفاده می‌کنند، در GYGA-ED تنها از یک دمای پایه (0 درجه سانتی‌گراد) استفاده می‌شود. بنابراین، در این حالت یک مجموعه واحد از مناطق اقلیمی برای تمام گیاهان زراعی تهیه می‌شود که استفاده از آن را ساده‌تر می‌کند. هر دو روش GYGA-ED و GEnS مخصوص گیاه خاصی نبوده و همچنین همگنی در هر طبقه اقلیمی زیاد می‌باشد (Koo, J., Dimes, J., 2013). همچنین در روش GYGA-ED از شاخص خشکی استفاده می‌شود که مستقیماً از متغیرهای پایگاه اطلاعات هواشناسی بدست می‌آید. این روش دارای 265 پهنه

اقلیمی می باشد. تعداد بیشتر پهنه های اقلیمی و در نتیجه کوچکتر بودن آنها در روش GYGA-ED باعث افزایش دقت پهنه بندی می شود. از جمله مطالعاتی که در ایران از پهنه بندی GYGA استفاده شده است می توان به بررسی عملکرد و پتانسیل و خلا تولید سیب زمینی (Dadrasi et al., 2022)، سوپا (Nehbandani et al., 2021) اشاره نمود.

لزوم مطالعه مقدار تولیدو ظرفیت هر کدام از مناطق کشور برای تولید محصولات کشاورزی با توجه به شرایط اقلیمی، شرایط مدیریتی تولید، زمین قابل دسترس، آب قابل دسترس و ... و برنامه ریزی دقیق کاملا محسوس می باشد. استفاده از مدل های شبیه سازی می تواند در جهت تسریع روند مطالعات امنیت غذایی در کشور، کاهش هزینه های اجرای طرح و همچنین افزایش دقت انجام کار، به مجریان این طرح کمک شایانی کنند. استفاده از مدل های شبیه سازی تولید گیاهان با هر هدفی، نیازمند داده های قابل اعتماد منطقه ای از قبیل تاریخ کاشت، زمان رسیدگی رقم، تراکم بوته، اطلاعات خاک و هواشناسی می باشد که به طور کلی همه ی این داده ها برای اکثر مناطق قابل دسترس نمی باشد (Ramirez-Villegas, J., 2012). پهنه بندی زراعی -بوم شناختی، پهنه بندی می تواند دسترسی به این اطلاعات در سطح وسیع را تسهیل کند. تحقیقات انجام شده در ایران در ارتباط با پهنه بندی و پتانسیل یابی محصولات زراعی به طور عمده بر مبنای پهنه بندی اقلیمی صورت گرفته است و مطالعات بسیار محدودی برای مناطق کوچک در ارتباط با پهنه بندی زراعی -بوم شناختی انجام شده است. این در حالی است که خصوصیات خاک نیز همانند اقلیم یک منطقه و همچنین اثر متقابل این دو، می توانند نقش زیادی بر تولید محصولات کشاورزی داشته باشند. بنابراین مطالعه حاضر با هدف پهنه بندی زراعی -بوم شناختی کشور، تعیین درصد فراوانی اراضی زراعی آبی، دیم، باغی و مراتع موجود در هر پهنه زراعی -بوم شناختی، تهیه و تکمیل بانک اطلاعات اقلیمی و خاک در هر پهنه برای استفاده در مدل های شبیه سازی تولید گیاهان و تعیین مراکز مهم تولید محصولات کشاورزی (محصولات زراعی به تفکیک دیم و آبی و محصولات باغی) و مراتع در جهت تسهیل جمع آوری اطلاعات (از قبیل اطلاعات مدیریتی، اطلاعات ارقام گیاهی و ...) و اجرای مدل های شبیه سازی تولید گیاهی در کشور انجام شد.

مواد و روش ها

در این مطالعه به منظور پهنه بندی اگرواکولوژیک اراضی کشاورزی کشور ابتدا پهنه های اقلیمی و خاک موجود کشور تجزیه و تحلیل شد و درصد فراوانی هر کدام از پهنه ها مشخص گردید. همچنین نقشه پراکنش پهنه های اقلیمی و خاک تهیه شد. سپس با ترکیب پهنه های اقلیمی و پهنه های خاک، پهنه های اگرواکولوژیک اراضی کشاورزی کشور بدست آمد. سپس نتایج بدست آمده از پهنه های اگرواکولوژیک تجزیه و تحلیل شد و درصد فراوانی هر کدام از پهنه های اگرواکولوژیک محاسبه و نقشه پراکنش پهنه های اگرواکولوژیک رسم شد. در ادامه توضیح بیشتر به تفکیک ارائه شده است.

رویکرد GYGA¹ بهره‌گیری از یک طرح ترکیبی پهنه‌بندی به نام دامنه برون‌یابی اطلس جهانی خلأ عملکرد می‌باشد که در واقع ترکیبی از دیگر روش‌های پهنه‌بندی است (www.yieldgap.org). در این راستا، GYGA به دنبال ایجاد پهنه‌های اقلیمی با حداقل غیریکنواختی آب و هوایی است تا نیاز به اطلاعات هواشناسی را به حداقل برساند. در این روش، پهنه‌های اقلیمی بر اساس اطلاعات سه متغیر زیر از هم تفکیک می‌شوند (www.yieldgap.org/web/guest/cz-ted):

۱- واحد دمایی ۲ با دمای پایه صفر درجه سانتی‌گراد

۲- نوسانات دمای فصلی^۳

۳- شاخص خشکی سالیانه^۴

برای یک پهنه اقلیمی مقدار GDD بیشتر نشان می‌دهد که متوسط دمایی آن پهنه اقلیمی در کل سال بالاتر است.

متغیر نوسانات دمای فصلی در واقع همان انحراف معیار میانگین دمای ماهانه می‌باشد.

برای یک پهنه اقلیمی مقدار ضریب نوسانات دمای فصلی بزرگتر، موید این موضوع است که نوسانات دمایی در طول سال در آن پهنه اقلیمی بیشتر

است. به بیان ساده‌تر، اختلاف دمایی بین سردترین و گرمترین ماه از سال بیشتر است.

شاخص سوم مورد استفاده برای پهنه‌بندی به روش دامنه برون‌یابی اطلس جهانی خلأ عملکرد، یک شاخص خشکی است که با تقسیم متوسط

بارندگی سالیانه بر متوسط تبخیر سالیانه و ضرب آن در ۱۰۰۰۰ حاصل می‌شود. در یک پهنه اقلیمی هر چه مقدار AI کوچکتر باشد آن پهنه خشک‌تر

است. لازم به توضیح است که در این رابطه ضریب ۱۰۰۰۰ برای حذف اعداد اعشار و گرد کردن مقدار عددی شاخص، استفاده شده است.

در پروژه GYGA برای محاسبه متغیرهای مورد استفاده برای پهنه‌بندی اقلیمی از داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های واقعی در سرتاسر جهان استفاده

شده است. این داده‌ها از بانک اطلاعاتی WorldClim استخراج شده‌اند (Hijmans et al, 2005). داده‌های هواشناسی مورد استفاده در این روش برای

دوره زمانی ۱۹۶۱-۱۹۹۰ میلادی می‌باشد. جهت کسب اطلاعات بیشتر در مورد نحوه پهنه‌بندی اقلیمی جهت می‌توان به سایت

(www.yieldgap.org/web/guest/cz-ted) مراجعه نمود جدول ۱ کلاس‌های تعریف شده برای هر یک از متغیرهای مورد استفاده در طبقه‌بندی

اقلیمی به روش GYGA را نشان می‌دهد.

جدول ۱- کلاس‌های تعریف شده برای هر یک از متغیرهای مورد استفاده در طبقه‌بندی اقلیمی به روش دامنه برون‌یابی اطلس جهانی خلأ عملکرد

Table 1. Defined classes for each variable used in climate classification using the global atlas performance gap extrapolation domain method.

کد گیگا	GDD*	کد گیگا	شاخص خشکی**	کد گیگا	نوسانات دمای فصلی***
---------	------	---------	-------------	---------	----------------------

1. Global Yield Gap Atlas Extrapolation Domain

2. Growing Degree Days (GDD)

3. Temperature Seasonality

4. Annual Aridity Index (AI)

0-3832	1	0-2695	0	0-2670	1000
3833-8355	2	2696-3893	100	2671-3169	2000
>8359	3	3894-4791	200	3170-3791	3000
		4792-5689	300	3792-4829	4000
		5690-6588	400	4830-5949	5000
		6589-7785	500	5950-7111	6000
		7786-8685	600	7112-8564	7000
		8686-10181	700	8565-9311	8000
		10182-12876	800	9312-9850	9000
		>12877	900	>9851	10000

* محاسبه واحد دمایی بر اساس دمای پایه صفر درجه سانتیگراد

** در صورتی که این اعداد تقسیم بر ۱۰۰۰۰ شوند نسبت بارندگی سالیانه بر پتانسیل تبخیر سالیانه حاصل می‌شود

*** در صورتی که این اعداد بر ۱۰۰۰ تقسیم شود مقدار انحراف معیار دمای ماهانه از متوسط دمای سالیانه حاصل می‌شود

پهنه بندی خاک بر اساس HC27

اطلاعات خاک در بیشتر مدل‌های شبیه‌سازی یکی از کلیدی‌ترین اطلاعات ورودی می‌باشد، اما بدست آوردن این اطلاعات در سطح گسترده بسیار دشوار می‌باشد. به منظور حل مشکل محدودیت اطلاعات پروفیل خاک و محدودیت مکانی اطلاعات برای استفاده در مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی، کو و دیمز ۵ (۲۰۱۳) اقدام به تهیه پروفیل‌های عمومی خاک بر اساس سه معیار بافت خاک، عمق ریشه و کربن آلی کردند که پاسخگوی اکثر مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی است. این نقشه با نام HC27 شناخته می‌شود. ارزیابی HC27 برای شرایط ایران با مدل SSM-iCrop2 توسط نهبندانی و همکاران (۲۰۲۰) گزارش شد و نتایج نشان داد ارزیابی این بانک اطلاعات خاک برای ایران قابل قبول است. این نقشه بر اساس بافت خاک، سه گروه رس، سیلت و شن، بر اساس عمق خاک، در سه گروه عمیق، متوسط و سطحی و بر اساس حاصلخیزی به سه گروه حاصلخیزی زیاد، متوسط و کم طبقه‌بندی شد (جدول ۳-۴). در مجموع، پروفیل‌های عمومی خاک شامل ۲۷ نوع پروفیل است که از ۱ تا ۲۷ شماره‌گذاری شده‌اند که بر اساس فرمت قابل استفاده در مدل‌های شبیه‌سازی DSSAT و APSIM تهیه شده‌اند (جدول ۲). لازم به توضیح است که فرمت اطلاعات تهیه شده در این نقشه خاک، قابل استفاده در مدل شبیه‌سازی SSM (Soltani and Sincler, 2012) نیز می‌باشد.

جدول ۲- پروفایل‌های خاک حاصل از ترکیب کلاس‌های متغیرهای موجود در جدول ۱ و کد آن‌ها در نقشه خاک HC27

Table 2- Soil profiles resulting from the combination of variable classes in Table 2 and their codes in the HC27 soil map

شماره پروفیل	کد پروفیل	شماره پروفیل	کد پروفیل	شماره پروفیل	کد پروفیل
1	Clay HF180	10	Loam HF180	19	Sand HF180
2	Clay HF120	11	Loam HF120	20	Sand HF120
3	Clay HF060	12	Loam HF060	21	Sand HF060
4	Clay MF180	13	Loam MF180	22	Sand MF180
5	Clay MF120	14	Loam MF120	23	Sand MF120
6	Clay MF060	15	Loam MF060	24	Sand MF060
7	Clay LF180	16	Loam LF180	25	Sand LF180
8	Clay LF120	17	Loam LF120	26	Sand LF120
9	Clay LF060	18	Loam LF060	27	Sand LF060

برای تهیه نقشه خاک HC27 همه مناطق جهان با شبکه‌های به اندازه ۵ دقیقه (در حدود ۱۰×۱۰ کیلومتر) شبکه‌بندی شده است. در هر شبکه با توجه به کلاس‌های سه متغیر مورد نظر (بافت خاک، عمق خاک و حاصلخیزی خاک) این نقشه خاک (شکل ۳-۱۳) تولید شد.

ترکیب پهنه‌های اقلیمی و خاک و بدست آوردن پهنه‌های آگرواکولوژیک کشور

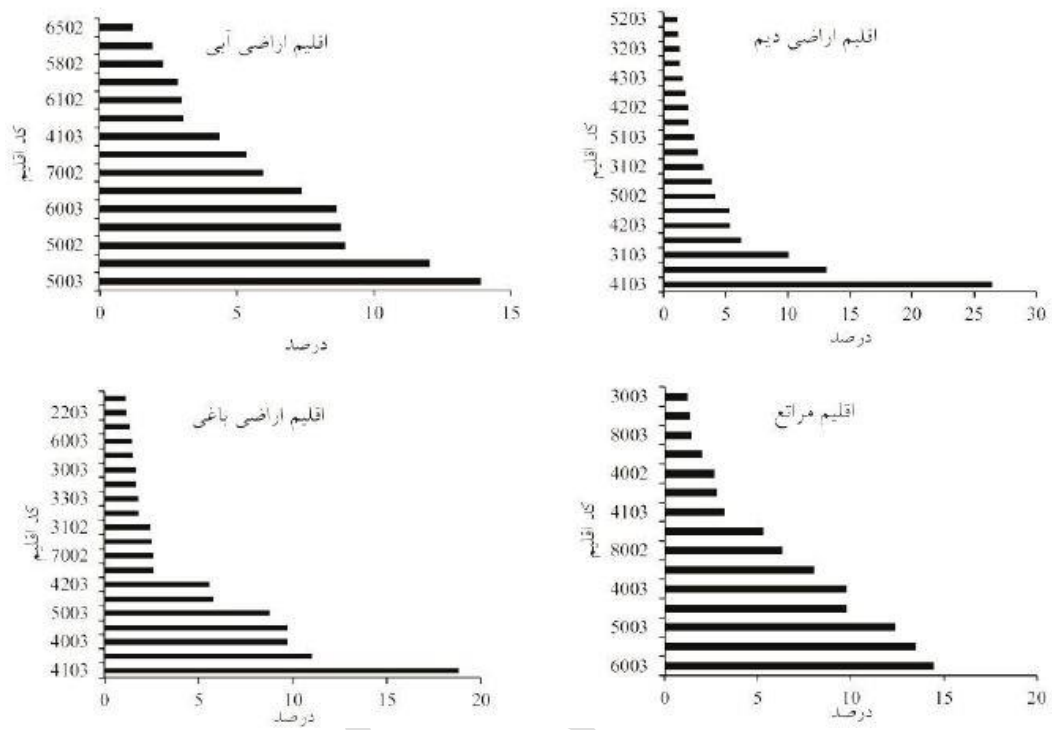
در این مطالعه با استفاده از نقشه اقلیمی GYGA و نیز نقشه خاک HC27 و ترکیب و هم‌پوشانی این دو نقشه در نهایت پهنه‌های آگرواکولوژیک برای کل اراضی کشور بدست آمد. به عبارتی پهنه‌های زراعی - بوم‌شناختی که ترکیبی از پهنه بندی اقلیمی کشور به روش GYGA و پهنه بندی خاک به روش HC27 می‌باشد.

نتایج و بحث

پهنه بندی اقلیمی کشاورزی ایران بر اساس گیگا

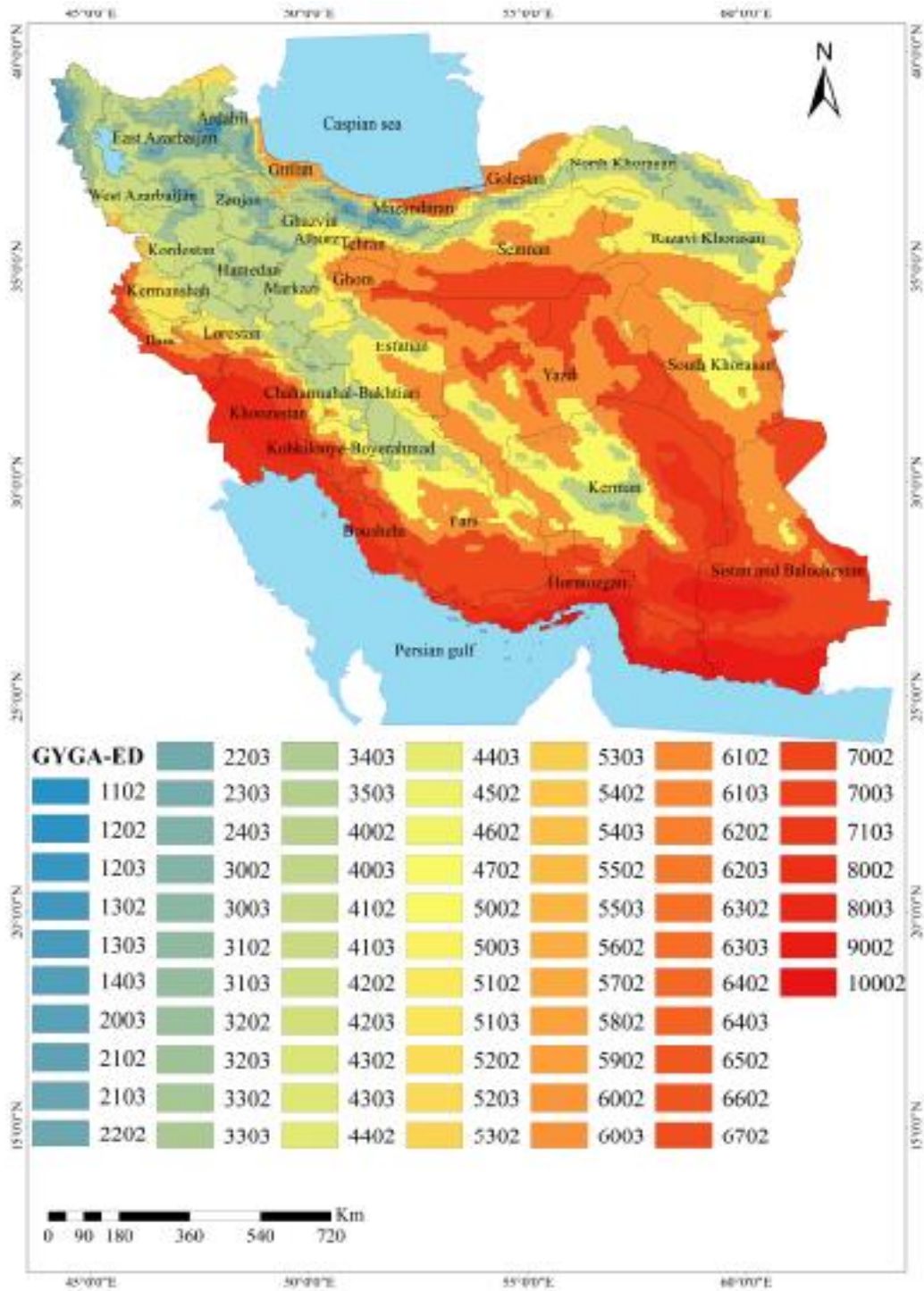
براساس پهنه بندی اقلیمی گیگا، کشور ایران دارای ۷۲ نوع اقلیم می‌باشد (شکل ۲). اراضی کشاورزی ایران در ۶۸ اقلیم قرار گرفته اند. اقلیم‌هایی که بیش از ۱ درصد از اراضی زراعت آبی کشور در آن قرار دارند شامل ۱۵ اقلیم میباشد که در مجموع حدود ۵۰ درصد اراضی آبی به ترتیب در اقلیم‌های ۵۰۰۳، ۴۰۰۳، ۵۰۰۲، ۸۰۰۳ و ۶۰۰۳ قرار دارند. با توجه به کدهای اقلیمی بیش از ۵۰ درصد اراضی آبی در شرایط اقلیمی گرم و خشک قرار دارند. اقلیم‌هایی که بیش از ۱ درصد از اراضی زراعت دیم کشور در آن قرار دارند شامل ۱۹ اقلیم می‌باشد که در مجموع حدود ۵۰ درصد اراضی دیم به ترتیب در اقلیم‌های ۴۱۰۳، ۴۰۰۳، ۳۱۰۳ قرار دارند (شکل ۱).

براین اساس بیش از ۵۰ درصد اراضی دیم در شرایط اقلیمی سرد و نیمه خشک قرار دارند. اقلیم‌هایی که بیش از ۱ درصد از اراضی باغی کشور در آن قرار دارند شامل ۲۰ اقلیم می‌باشد که در مجموع بیش از ۵۰ درصد اراضی باغی به ترتیب در اقلیم‌های ۴۱۰۳، ۳۱۰۳، ۴۰۰۳ و ۵۰۰۲ قرار دارند (شکل ۳). بنابراین براین اساس بیش از ۵۰ درصد اراضی باغی در شرایط اقلیمی سرد و نیمه خشک قرار دارند. همچنین اقلیم‌هایی که بیش از ۱ درصد از مراتع کشور در آن قرار دارند شامل ۱۵ اقلیم می‌باشد که در مجموع بیش از ۵۰ درصد مراتع به ترتیب در اقلیم‌های ۶۰۰۳، ۷۰۰۲، ۵۰۰۲ و ۶۰۰۲ قرار دارند. با توجه به کدهای اقلیمی بیش از ۵۰ درصد مراتع در شرایط اقلیمی گرم و خشک قرار دارند (شکل ۱).



شکل ۱. درصد فراوانی کدهای اقلیمی گیگا در اراضی آبی، باغی، دیم و مراتع کشور

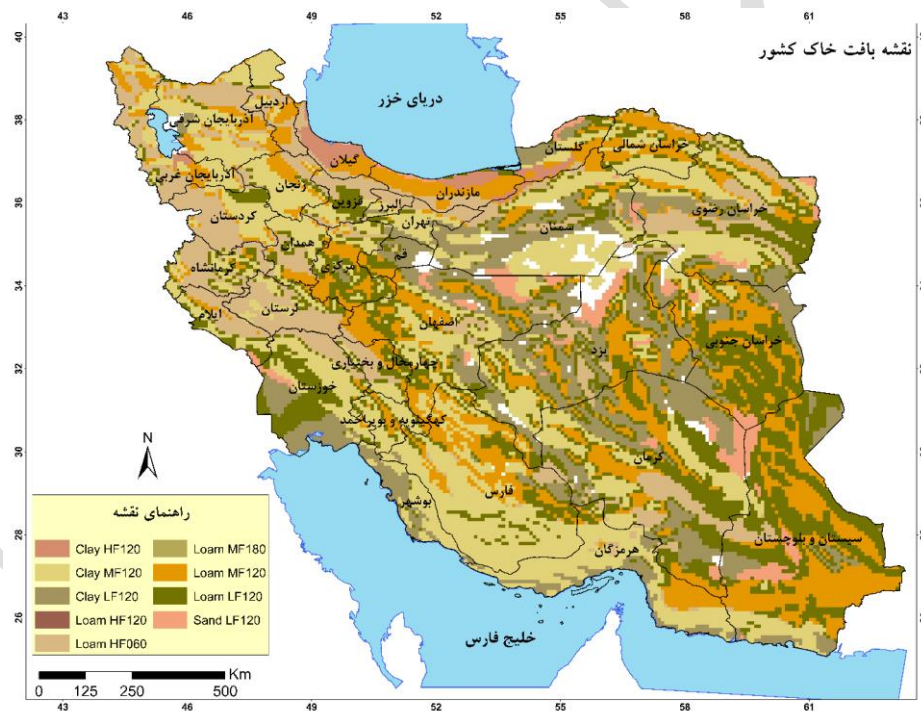
Figure 1. Percentage of Giga climate codes in irrigated, garden, rainfed and pasture lands of IRAN



شکل ۲. پهنه بندی اقلیمی ایران براساس گیگا(سلطانی، ۱۳۹۷)

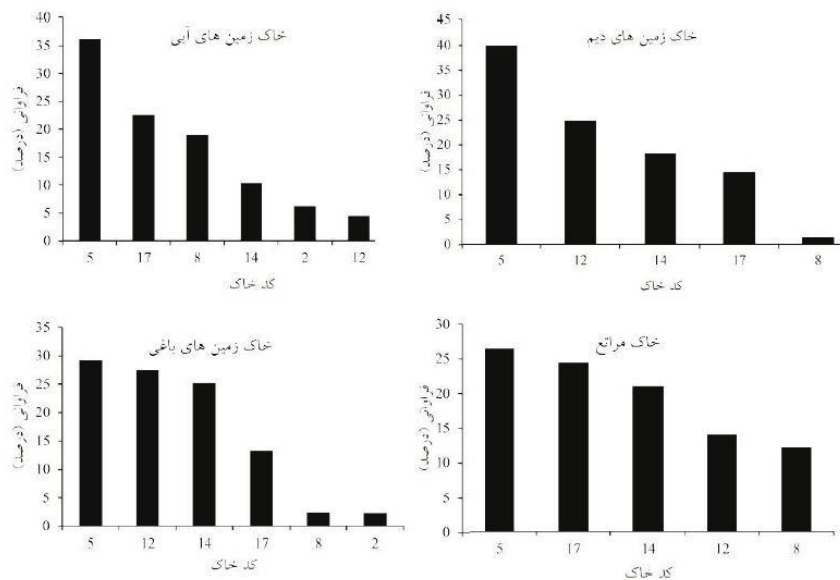
Fig 2. Climatic zoning of Iran based on GYGA(soltani,2018)

براساس پهنه بندی خاک HC27، کشور ایران دارای ۹ کد خاک می باشد (شکل ۳)، کدخاک هایی که بیش از درصد از اراضی زراعت آبی کشور در آن قرار دارند شامل ۶ کد خاک می باشد که در مجموع بیش از ۵۰ درصد اراضی آبی در کد خاک ۵ و ۱۷ قرار داشته و بافت خاک غالب آن ها رسی و لومی است. کد خاک هایی که بیش از ۱ درصد از اراضی زراعت دیم کشور در آن قرار دارند شامل ۵ کد خاک می باشند که در مجموع بیش از ۵۰ درصد اراضی دیم در کد خاک ۵ و قرار داشته و بافت خاک غالب آنها رسی و لومی است. همچنین، ۶ کد خاک می باشد که در مجموع بیش از ۵ درصد اراضی باغی در کد خاک های ۵ و ۱۲ قرار داشته و بافت خاک غالب آنها رسی و لومی است. همچنین، کد خاک هایی که بیش از ۱ درصد از مراتع کشور در آن قرار دارند شامل ۵ کد خاک می باشد؛ در مجموع بیش از ۵۰ درصد مراتع در کد خاک های ۵ و ۱۷ قرار داشته و بافت خاک غالب آنها رسی و لومی است (شکل ۴).



شکل ۳- نقشه مربوط به اطلاعات و بافت خاک کشور (Koo and Dimes, 2013)

Fig3 - Map related to information and soil texture of IRAN (Koo and Dimes, 2013)



شکل ۴. درصد فراوانی کدهای خاک HC27 در اراضی آبی، دیم، باغی، و مراتع کشور.

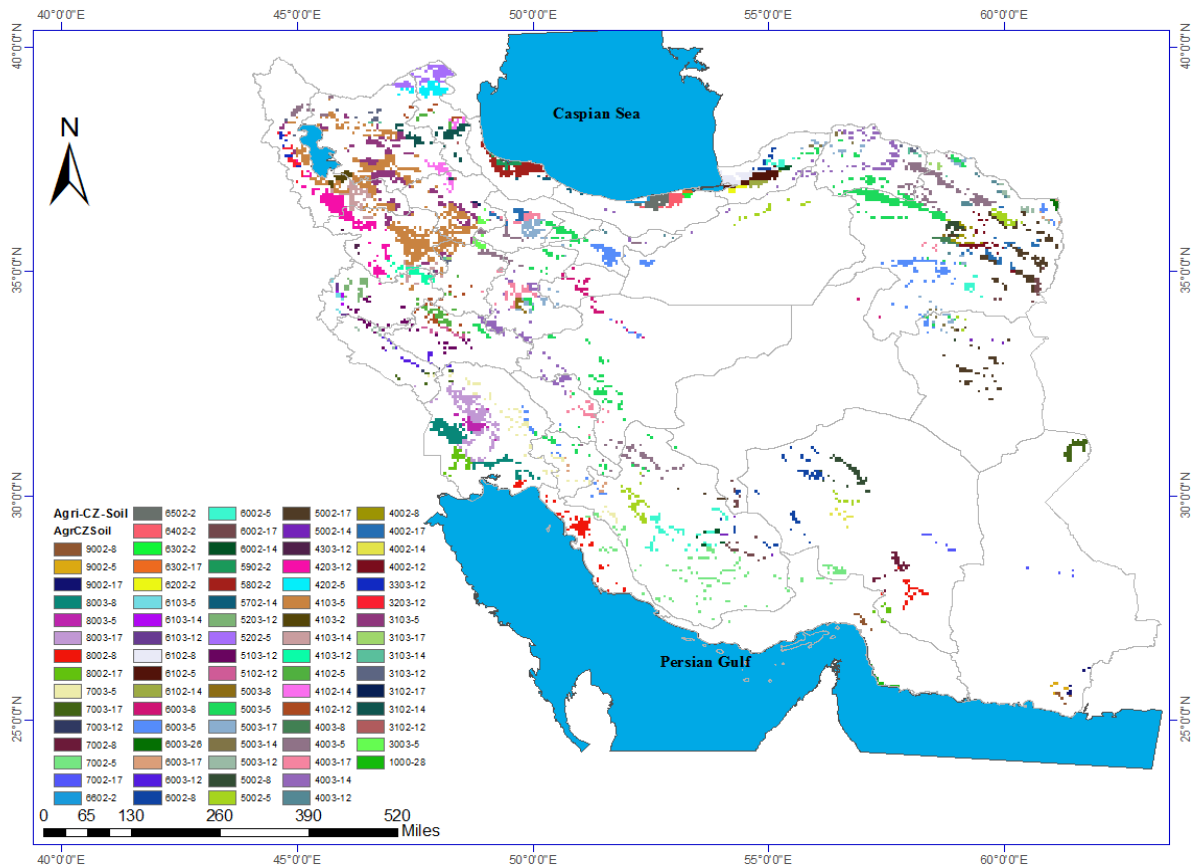
Fig4. The frequency of HC27 soil codes in irrigated, garden, rainfed and pasture lands of IRAN

پهنه بندی آگرواکولوژیک

در این مطالعه با استفاده از نقشه اقلیمی GYGA و نیز نقشه خاک HC27 و ترکیب و هم پوشانی این دو نقشه در نهایت ۱۹۸ پلی گون یا پهنه برای کل اراضی کشور بدست آمد (شکل ۵). به عبارتی پهنه های زراعی - بوم شناختی که ترکیبی از پهنه بندی اقلیمی کشور به روش GYGA و پهنه بندی خاک به روش HC27 می باشد (شکل ۵). مجموع مساحت پهنه های آگرواکولوژیک کشور ۱۵۰۹۹۴۵۵,۳۹ هکتار بدست آمد.

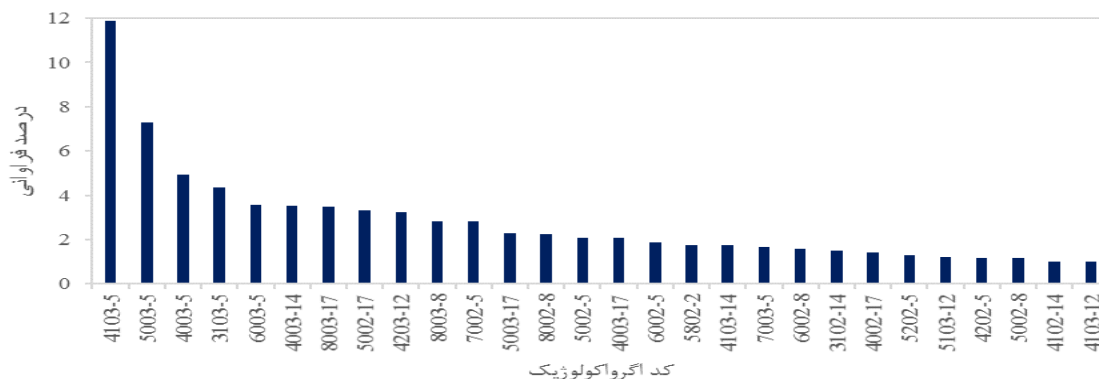
براساس پهنه بندی کشور بر اساس خاک HC27 و اقلیم GYGA، کشور ایران دارای ۱۹۸ پهنه آگرواکولوژیک می باشد، پهنه هایی که بیش از ۱ درصد از اراضی کشاورزی کشور در آن قرار دارند شامل ۲۸ پهنه می باشد که در مجموع حدود ۸۰ درصد اراضی کشاورزی و در این پهنه ها قرار دارد (شکل ۶). بیشترین درصد فراوانی (۱۱,۸۵ درصد) مربوط به پهنه با کد آگرواکولوژیک ۵-۴۱۰۳ بود که ۱۷۸۹۹۶۵,۸ هکتار از اراضی کشاورزی را پوشش داد. همچنین پس از آن کد آگرواکولوژیک ۵-۵۰۰۳ دارای بیشترین درصد فراوانی (۷,۲۸ درصد) می باشد که ۱۱۰۰۵۹۹,۲۵ هکتار از اراضی کشاورزی کشور را در بر می گیرد. نتایج نشان داد پهنه های آگرواکولوژیک ۵-۴۰۰۳ و ۵-۳۱۰۳ به ترتیب ۴,۹۳ و ۴,۳۵ درصد از کل پهنه های آگرواکولوژیک کشور را در بر می گیرند و به ترتیب شامل ۷۴۵۲۴۸,۴۳ و ۶۵۷۱۲۷,۵۳ هکتار از اراضی کشاورزی کشور می باشند. پس از آن کدهای ۵-۶۰۰۳ (۳,۵۸ درصد)، ۱۴-۴۰۰۳ (۳,۵۳ درصد)، ۱۷-۸۰۰۳ (۳,۴۷ درصد)، ۱۷-۵۰۰۲ (۳,۳۰ درصد) و ۱۲-۴۲۰۳ (۳,۲۸ درصد) بیشترین درصد فراوانی را داشتند (شکل ۶).

همچنین درصد فراوانی پهنه های آگرواکولوژیک ۸-۳۰۰۸، ۵-۷۰۰۲، ۱۷-۵۰۰۳، ۸-۸۰۰۲، ۵-۵۰۰۲ و ۱۷-۴۰۰۳ به ترتیب ۲،۸۲ درصد (۴۲۶۰۰۴،۶۷ هکتار)، ۲،۸۰ درصد (۴۲۴۱۴۰،۴۰ هکتار)، ۲،۲۶ درصد (۳۴۲۳۲۶،۵۳ هکتار)، ۲،۲۵ درصد (۳۴۰۰۳۶،۳۹ هکتار)، ۲،۰۹ درصد (۳۱۶۲۷۹،۴۵ هکتار) و ۲،۰۸ درصد (۳۱۴۳۱۳،۲۷ هکتار) بود. نمودار فراوانی پهنه های آگرواکولوژیک در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۵. پهنه بندی آگرواکولوژیک اراضی کشاورزی کشور

Fig 5. Agro-ecological zoning of agricultural lands in IRAN



شکل ۶. درصد فراوانی پهنه های آگرواکولوژیک کشور

Fig 6. Frequency percentage of agro-ecological zones in IRAN

بر اساس تعریف سازمان خوار و بار جهانی، پهنه بندی آگرواکولوژیک عبارت است از؛ تفکیک واحدهای اراضی بر اساس ویژگی های خاک، شکل اراضی، ویژگی های اقلیمی با توجه به نیازهای گیاهان زراعی و سامانه مدیریت کشاورزی موجود در منطقه مورد مطالعه (FAO, 2002). هر واحد اکولوژیک دارای ترکیب مشابهی از محدودیت ها و پتانسیل ها می باشد که تعیین پتانسیل تولید در هر واحد و برنامه ریزی استفاده از این واحدها بر اساس ویژگی های، محدودیت ها و پتانسیل های موجود انجام می گیرد (FAO, 1996). پهنه بندی آگرواکولوژیک با به کارگیری تکنیک های مختلف در تلفیق و تولید اطلاعات و بر اساس روش مهندسی آگرواکولوژیک، چارچوبی علمی برای برنامه ریزی و استفاده بهینه از اراضی را فراهم می کند. پهنه بندی اکولوژی کشاورزی شامل چهار مرحله اصلی تلفیق داده ها و اطلاعات موجود، تولید اطلاعات جدید با توجه به هدف مورد نظر، ارزیابی پتانسیل تولید و برنامه ریزی استفاده از اراضی است. در کشور ما به دلیل عدم شناخت ویژگی های آگرواکولوژیک در هر منطقه و عدم رعایت عوامل تناسب اراضی، امکان تعیین الگوی کشت و برنامه ریزی مناسب برای فعالیت های کشاورزی در راستای کشاورزی پایدار وجود ندارد و از این نظر هر ساله خسارت زیادی به بخش کشاورزی وارد گردیده و باگذشت زمان با پدیده تخریب اراضی و کاهش تولید در واحد سطح مواجه خواهد شد. به طور کلی اولین قدم در رفع چالش موجود در رابطه با برنامه ریزی های بلند مدت و سیاست گذاری های بخش کشاورزی، پهنه بندی آگرواکولوژیک است که به مدیریت پایدار منابع کشاورزی می انجامد. در کشور ایران این نوع مطالعات که اساس توسعه و برنامه ریزی های زراعی را تشکیل می دهد، به جز موارد بسیار محدود انجام نگرفته است و لازم است که برای تمام مناطق مستعد کشاورزی انجام گیرد تا توسعه کاشت محصولات زراعی، افزایش عملکرد، اصلاح الگوی کاشت، تعیین میزان سازگاری گیاهان جدید در یک منطقه وسیع و تعیین پتانسیل تولید مناطق مختلف و در نهایت برنامه ریزی طولانی مدت میسر گردد. همچنین نتایج حاصل از پهنه بندی آگرواکولوژیک را میتوان در برنامه ریزی توسعه کشاورزی در شرایط آینده مورد استفاده قرار داد.

پهنه بندی در تعمیم و کاربرد این نتایج در نواحی مشابه کمک نموده و انتقال تکنولوژی یا یافته تحقیقاتی را تسهیل و تسهیل می نماید. اگر کشت یک رقم خاص در یک پهنه مناسب باشد، به احتمال زیاد کشت همین رقم در سایر پهنه های مشابه نیز مناسب خواهد بود. و یا این که با توصیه ای مشابه در

پهنه‌های مشابه، عملکرد قاعدتاً باید در همه این پهنه‌ها مشابه باشد. نصیری محلاتی و کوچکی (۱۳۸۸) با استفاده از مدل شبیه‌سازی WOFOST و داده‌های آمار هواشناسی درازمدت درجه حرارت حداقل و حداکثر روزانه، تشعشع روزانه و خصوصیات گیاه زراعی اقدام به شبیه‌سازی تولید گندم در استان خراسان نمودند و با استفاده از نتایج شبیه‌سازی استان خراسان را از نظر پتانسیل تولید گندم پهنه‌بندی کردند.

محققان هدف بررسی خصوصیات زراعی - بومشناختی، برآورد پتانسیل عملکرد سیب زمینی و محدودیت‌های افزایش آن و پهنه بندی مناطق کاشت آن در آرژانتین، بیان داشتند که پهنه بندی آگرواکولوژیک ابزار مناسبی برای برآورد عملکرد، تخمین تاریخ کاشت در مناطق مختلف و تخمین پتانسیل عملکرد غده است کالدیز و همکاران (Caldiz, D. O. 2001). برای برنامه ریزی استفاده از منابع آبی در سریلانکا با پهنه بندی کشاورزی-بوم شناختی مناطق دارای پوشش گیاهی، بیان داشتند که اولاً این مناطق بشدت تحت تاثیر عوامل محیطی بوده و ثانیاً با توجه به ارتباط این مناطق با چرخه هیدرولوژی، به خصوص در حوضه های آبریز رودخانه ها، پهنه بندی آگرواکولوژیک ابزار مناسبی برای تعیین ضرورت مصرف آب برای تولید غذا، در مقابل اهمیت آن برای طبیعت می باشد (Muthuwatta, L., and Y. Chemin. 2003).

محققان با روش تحلیل خوشه ای فصول طبیعی استان کرمانشاه را بر مبنای داده های درجه حرارت حداکثر، حداقل و متوسط روزانه چهار ایستگاه به عنوان نماینده طی دوره آماری پانزده ساله مطالعه کردند و به این نتیجه دست یافتند که سال به دو فصل نسبتاً طولانی گرم و سرد تقسیم میشود. همچنین وی با استفاده از تحلیل خوشه ای منطقه آذربایجان را در شمال غرب کشور بر مبنای دماهای میانگین حداقل و حداکثر و دماهای میانگین ماهانه به چهار ناحیه تقسیم کرد (Zolfaqhari, H Moradi, F. 2005).

در ایالت هیماچال پرادش هند با استفاده از رهیافت سیستم اطلاعات جغرافیایی به پهنه بندی اراضی دارای پتانسیل کشت غلات (گندم - جو - ذرت و برنج) پرداختند. در این پژوهش مشخص شد که نواحی واجد پتانسیل کشت گندم معادل 410 هزار هکتار است، در حالیکه عملاً سطح زیرکشت این محصول در این ایالت 360 هزار هکتار می‌باشد، بنابراین افزایش 13 درصدی در سطح زیرکشت این محصول قابل انتظار است. به طور مشابه این رقم در مورد محصولات جو و برنج به ترتیب 384 و 22 هزار هکتار برآورد شد. بر عکس سطح زیرکشت ذرت به میزان 10 درصد (معادل 31 هزار هکتار) بیش از آنچه مناسب کشت این محصول بود تشخیص داده شد (Bagat, M. R. et al., 2009).

در بررسی عملکرد پتانسیل و خلا عملکرد سیب زمینی در استان گلستان از پهنه بندی اقلیمی GYGA استفاده نمودند و با انتخاب ۲۲ ایستگاه و روش درون یابی در نرم افزار Arc GIS توانستند برآورد درستی از مقدار عملکرد واقعی برای هر شهرستان و به دنبال آن عملکرد پتانسیل و خلا عملکرد داشته باشند (Dadrasi, A., 2021). محققان در مطالعه ای مناطق دیم استان فارس را بر اساس شاخص های آگروکلیماتیک (بارندگی و تبخیر و تعرق) پهنه بندی کردند (Sadeghi et al., 2002).

در دهه 70 میلادی سازمان خوار و بار جهانی پهنه بندی آگرواکولوژیک را به عنوان روشی برای تعیین قابلیت های زراعی و محیطی در مقیاس منطقه ای و ملی پیشنهاد نمود. در ادامه این روش توسط فائو (FAO, 1996) و نیز سایر محققین (Fischer et al., 1994; Bouman and Lansigan, 1994). (Caldiz et al., 2001; 2000) تکامل یافت و در حال حاضر از جمله رایج ترین راهکارهای تعیین خصوصیات آگرواکولوژیک در مناطق وسیع جغرافیایی

برای تولید محصولات زراعی است. با توسعه مدل های شبیه سازی رشد گیاهان، بانک های اطلاعاتی مربوط به داده های آب و خاک و اقلیم و سیستم اطلاعات جغرافیایی، محققین تلاش گستردهای را برای پهنه بندی آگرواکولوژیک محصولات مختلف درمقیاس منطقه ای آغاز کرده اند (Van Lanen et al., 1992). در این روش با تقسیم کردن یک منطقه جغرافیایی به واحدها یا پهنه هایی همگن با حداکثر شباهت از نظر خصوصیات خاک و اقلیم، عملکرد پتانسیل محصول زراعی در هر پهنه به وسیله یک مدل شبیه سازی پیش بینی شده و با انتقال نتایج به محیط GIS نقشه پتانسیل عملکرد در مقیاس منطقه ای تهیه می شود (Fischer et al., 2000).

پهنه بندی آگرواکولوژیک یک پایگاه اطلاعاتی جامع ایجاد می کند که می توان بر اساس آن اقدام به برنامه ریزی انطباق فعالیت های زراعی با شرایط بوم شناختی موجود در هر منطقه نمود (Ghaffari, 2008). پهنه بندی آگرواکولوژیک می تواند به عنوان ابزاری برای ارزیابی، برنامه ریزی و مدیریت بهتر از منابع و اراضی مورد استفاده قرار گیرد (فائو، 2002). هدف از پهنه بندی آگرواکولوژیک فراهم آوردن یک پایگاه جامع و کامل از ویژگی های منابع زمینی به منظور برنامه ریزی و سازماندهی بهره برداری بهینه از آنها از طریق تعیین ویژگی ها و مشخص نمودن پتانسیل موجود و محدودیت های اراضی می باشد (فائو، 1996).

در این تحقیق پس از پهنه بندی آگرواکولوژیک اراضی کشاورزی کشور تعداد ۱۹۸ پهنه بدست آمد که پس از محاسبه مساحت تحت پوشش هر پهنه، در نهایت تعداد ۲۸ پهنه آگرواکولوژیک دارای درصد فراوانی بالای ۱ درصد بوده و روی هم رفته حدود ۸۰ درصد (۱۱۸۱۳۵۱۸٫۶۶ هکتار) از اراضی کشاورزی کشور را تحت پوشش قرار می دهند. از این پهنه های اقلیمی بدست آمده می توان برای مطالعات امنیت غذایی و محاسبه و تعیین ظرفیت تولید هر منطقه استفاده کرد. از طرفی باتوجه به اینکه در مطالعات کشاورزی نیاز به اطلاعات وسیع و جامع درمورد اقلیم و خاک برای هر کدام از مناطق می باشد و دسترسی به این اطلاعات معمولاً هزینه بر و وقت گیر می باشد، استفاده از پهنه های آگرواکولوژیک حاصل از این تحقیق می تواند نیاز به این اطلاعات را مرتفع کند.

بنابراین سیاست گذاران و مدیران بخش کشاورزی می توانند از این پهنه ها در مطالعات تحلیل امنیت غذایی و تعیین مراکز مهم تولید گیاهی (باتوجه به خصوصیات آگرواکولوژیک هر پهنه) و تعیین ظرفیت تولید و نوع محصول مناسب هر پهنه در کشور بهره گیرند. همچنین محققان می توانند از نتایج حاصل از این تحقیق به عنوان اطلاعات پایه در مطالعات شبیه سازی با مدل های شبیه سازی گیاهی در راستای تعیین عملکرد، میزان تولید و بهره وری آب و در هر کدام از این پهنه های آگرواکولوژیک استفاده کنند.

با توجه به فواید پهنه بندی و کاربردهای متعدد آن دارای سابقه طولانی مدتی می باشد. مطالعه حاضر نیز در همین راستا انجام شد که نتایج آن پهنه بندی زراعی -بوم شناختی کشور، تعیین درصد اراضی زراعی آبی، دیم، باغی و مراتع موجود در هر پهنه زراعی -بوم شناختی، تعیین مراکز مهم تولید محصولات کشاورزی (محصولات زراعی به تفکیک دیم و آبی و محصولات باغی) و مراتع در جهت مدیریت و برنامه ریزی بهتر منابع و اراضی کشاورزی کشور می باشد.

نتیجه گیری

پژوهش حاضر با هدف تعیین پهنه های آگرواکولوژیک اصلی تولید محصولات کشاورزی در کشور انجام شد تا بتوان مطالعات شبیه سازی و سایر مطالعات را در مکان اصلی تولید در هر استان انجام داد. بنابراین نیاز است که بدانیم مراکز اصلی تولید هر استان کجا بوده، چه اقلیم و خاکی داشته و چه ایستگاه هواشناسی شاخص آن منطقه می باشد. در این تحقیق با استفاده از نقشه اقلیمی گیگا، پهنه های اقلیمی اراضی آبی، دیم، باغی و مراتع کشور مشخص شد. بر این اساس، بیش از ۵۰ درصد اراضی آبی به ترتیب در اقلیم های ۵۰۳، ۴۰۳ و ۳۱۰۳ قرار دارند. همچنین، با استفاده از نقشه خاک HC27، پهنه های خاک در اراضی آبی، دیم، باغی و مراتع کشور مشخص شد. بر این اساس، بیش از ۵۰ درصد اراضی آبی در کد خاک ۵ و ۱۷؛ اراضی دیم در کد خاک ۵ و ۱۲؛ اراضی باغی در کد خاک های ۵ و ۱۲ و مراتع در کد خاک های ۵ و ۱۷ قرار داشتند. با ترکیب پهنه های اقلیمی و پهنه های خاک، پهنه بندی زراعی-بوم شناختی کشور انجام شد که نهایتاً ۱۹۸ پهنه بدست آمد. پهنه هایی که بیش از ۱ درصد از اراضی کشاورزی کشور در آن قرار دارند شامل ۲۸ پهنه می باشد که در مجموع حدود ۸۰ درصد اراضی کشاورزی و در این پهنه ها قرار دارد (شکل ۷). بیشترین درصد فراوانی (۱۱،۸۵ درصد) مربوط به پهنه با کد آگرواکولوژیک ۵-۴۱۰۳ بود که ۱۷۸۹۹۶۵،۸ هکتار از اراضی کشاورزی را پوشش داد. همچنین پس از آن کد آگرواکولوژیک ۵-۵۰۳ دارای بیشترین درصد فراوانی (۷،۲۸ درصد) می باشد که ۱۱۰۰۵۹۹،۲۵ هکتار از اراضی کشاورزی کشور را در بر می گیرد.

هر کدام از این پهنه ها دارای کد اقلیمی و خاک متفاوت هستند که نشان دهنده ی شرایط خاص تولید آن پهنه می باشد. از این پهنه های آگرواکولوژیک می توان جهت بهبود مطالعات و اتخاذ تصمیمات مدیریتی - زراعی، تهیه و تکمیل بانک اطلاعات اقلیمی و خاک در هر پهنه برای استفاده در مدل های شبیه سازی تولید گیاهان، تسهیل جمع آوری اطلاعات (از قبیل اطلاعات مدیریتی، اطلاعات ارقام گیاهی و...) و اجرای مدل شبیه سازی تولید گیاهی به منظور استفاده در مطالعات مرتبط با امنیت غذایی کشور استفاده نمود.

منابع

- Bagat, M. R., Sharda, S., Sood, C., Rana, R. S., Kalia, V., Pradhan, S., Immerzeel, W., Shrestha, B. 2009. Land suitability analysis for cereal production in Himachal Pradesh (India) using geographical information system. *J. Indian Soc. Remote Sens.* 37: 233-240.
- Bouman, B.A.M. and Lansigan, F.P. 1994. Agroecological zonation, characterization and optimization of rice-based cropping systems. *SARP Research Proceedings, Wageningen and Los Banos*, p.1-8.
- Caldiz, D. O. 2001. Agro- ecological zoning and potential yield of single or double cropping of potato in Argentina and Forest Meteorology. 109: 311-320. Available online: [www. Elsevier. Com](http://www.Elsevier.Com).
- Dadrasi, A., Torabi, B., Rahimi, A., Soltani, A. and Zeinali, E., 2022. Modeling Potential production and yield gap of potato using modelling and GIS approaches. *Ecological modeling*, 471 (2022) 110050.
- Dadrasi, A., Torabi, B., Rahimi, A., Soltani, A., and Zeinali, E., 2021. Determination of Potato (*Solanum tuberosum* L.) yield gap in Golestan Province. *Journal of Agroecology* 12(4):613-633 (In Persian).

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) , 1996. *Agro-Ecological Zoning: Guidelines*. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 1997. *Land quality indicators and their use in sustainable agriculture and rural development*, FAO, Rome, Italy. 212.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2002. *World Agriculture: Towards 2015/2030: Summary Report*. FAO, Rome, Italy.

Fisher, J.W., Francis, L.J., Johnson, P., 2000. Assessing spiritual health via four domains of spiritual well-being: the SH4DI. *Pastoral Psychology*. 49, 133-145.

Geerts, S., Raes, D., Garcia, M., Del Castillo, C., Buytaert, W., 2006. Agro-climatic suitability mapping for crop production in the Bolivian Altiplano: a case study for quinoa. *Agric. Forest Meteorol.* 139, 399-412.

Ghaffari, A., 2008. *Agroclimatic zoning of Iran, rainfed crop production areas with particular emphasis to agroecological characterization*. Report, Agricultural Extension, Education and Research Organization (AEERO), Dryland Agricultural Research Institute (DARI). ICARDA Technical Report.

Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G., Jarvis, A., 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *Int. J. Climatol.* 25, 1965-1978.

Khajepour, M.R., 2006 . *Industrial plants (second edition)*. Academic Jihad Publications of Isfahan Industrial Unit

Koo, J., Dimes, J., 2013. *HC27 Generic Soil Profile Database*, <http://hdl.handle.net/1902.1/20299>, Harvard Dataverse, V2.

Muthuwatta, L., and Y. Chemin. 2003. *Vegetation growth zonation of Srilanka for improved water resources planning*. *Agricultural Water Management*. 58,123-143.

Nasiri Mahalati M and Kokhaki, 2009 *Agro-ecological zoning of wheat in Khorasan province: estimation of yield potential and gap*. *Agricultural Researches of Iran*, Volume 7. 695-709.

Nehbandani, A., Soltani, A., Rahemi-Karizaki, A., Dadrasi, A. and Noubakhsh, F., 2021. Determination of soybean yield gap and potential production in Iran using modeling approach and GIS. *Journal of Integrative Agriculture*, 20(2), pp.395-407.

Nehbandani, A. R., Soltani, A., Taghdisi Naghbab, R, Dadrasi, A and Alimagham, S.M. 2020. *Assessing HC27 Soil Database for Modeling Plant Production*, *International Journal of Plant Production*. Doi:10.1007/s42106-020-00114-4.

Norwood, Charles, A., 2000. *Dry land Winter Wheat as Affected by Previous Crops*, *Agronomy Journal*.

Ramirez-Villegas, J., Challinor, A., 2012. *Assessing relevant climate data for agricultural applications*. *Agric. Forest Meteorol.* 161, 26-45.

Rasouli, S.J., and Qaemi, A.R., 2010, rapeseed cultivation zoning based on temperature and climate needs using GIS in Khorasan provinces, *electronic journal of crop production* number 1.

Sadeghi, A.R., Kamgar-Haghighi, A.A., Sepaskhah, A.R., Khalili, D. and Zand-Parsa, Sh. 2002. *Regional classification for dryland agriculture in southern Iran*. *Journal of Arid Environments*, 50: 333-341.

Seppelt, R., 2000. *Regionalised optimum control problems for agroecosystem management*. *Ecol. Model.* 131, 121-132.

Soltani, A., Sinclair, T.R., 2012. *Modeling Physiology of Crop Development*. *Growth and*

Yield, CABI, Wallingford, UK.

Van Lanen, H.A.J., Van DiepenReinds, G.J., De Koning, G.H.J., Bulens, J.D. and Bregt, A.K. 1992. Physical land evaluation methods and GIS to explore the crop growth potential and its effects within the European communities. *Agricultural Systems*, 39: 307-328.

Williams, C.L., Liebman, M., Edwards, J.W., James, D.E., Singer, J.W., Arritt, R., Herzmann, D., 2008. Patterns of regional yield stability in association with regional environmental characteristics. *Crop Sci.* 48, 1545-1559.

Zolfaqhari, H. Moradi, F. 2005. Investigation of thermal comfort in Kermanshah province. *Geography and Regional Development* 43-89