

Research Article



Preparation of a spatio-temporal map of the expansion of modern irrigation systems in the provinces of Iran using the t-map package of the R-Studio software

Iman Ahmadi

Department of Agronomy, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

Corresponding Author email: i_ahmadi_m@yahoo.com

© The Author(s) 2025

Received: 21 Nov 2024

Accepted: 03 Feb 2025

Published: 06 Feb 2025

Extended Abstract

Introduction

The rapid advancement of technology has revolutionized data analysis, enabling researchers to tackle complex problems across various fields. In agriculture, the adoption of modern irrigation systems has become a critical factor in enhancing water use efficiency and ensuring sustainable farming practices. However, the uneven distribution of these systems across different regions poses challenges for policymakers and agricultural planners. Understanding the spatial and temporal dynamics of modern irrigation systems is essential for effective resource allocation and strategic decision-making.

This study focuses on developing spatiotemporal maps to visualize the expansion of modern irrigation systems in Iran's provinces from 2009 to 2022. By leveraging the t-map library in R-Studio, the study aims to provide a dynamic representation of the progress made in adopting advanced irrigation technologies. Additionally, the study clusters Iran's provinces based on three key criteria: the percentage of completion of modern irrigation systems, the development of irrigation and drainage networks, and the coverage of traditional canals and waterways. This clustering approach offers valuable insights for policymakers, enabling them to design targeted strategies for regions with similar characteristics.

The integration of spatiotemporal analysis and clustering techniques provides a comprehensive framework for understanding the current state of modern irrigation systems in Iran. By identifying trends and patterns, this study contributes to the broader goal of improving agricultural water management and ensuring the sustainability of water resources in the face of growing demand and climate change challenges.

Materials and Methods

The study utilized two primary datasets: spatially referenced data on the development of modern irrigation systems in Iran's provinces from 2009 to 2022 and geographical map data delineating the boundaries of these provinces. The spatially referenced data were obtained from the Agricultural Jihad Ministry's Statistics Center and organized into an Excel file. The cumulative area equipped with modern irrigation systems in each province was calculated, and the percentage of completion was derived by dividing this area by the total irrigated agricultural land in the province. The final dataset, consisting of 434 rows and 23 columns, was saved in CSV format for analysis in R-Studio.

The spatiotemporal maps were developed using the t-map library in R-Studio. The process involved integrating the Excel data with the geographical map data and applying the t-map functions to create dynamic visualizations. The study also employed clustering techniques, including K-means, K-medians,



and hierarchical clustering, to group provinces based on the three criteria mentioned above. Before clustering, the data were normalized to ensure consistency. The clustering process was facilitated by the factoextra library in R-Studio, which provides tools for standardizing data and visualizing clustering results.

Results and Discussion

By 2022, 2,469,835 hectares (41%) of Iran's 6,014,211 hectares of irrigated agricultural land had been equipped with modern irrigation systems. The development of irrigation and drainage networks and the coverage of traditional canals and waterways stood at 15% and 0.5%, respectively. The spatiotemporal maps revealed significant disparities in the adoption of modern irrigation systems across provinces. For instance, provinces with extensive irrigated agricultural land, such as Khuzestan and Fars, showed lower adoption rates (9% and 18%, respectively) compared to other regions.

The clustering results highlighted the high variability in the development of modern irrigation systems. Provinces like Hormozgan and South Khorasan achieved nearly 100% completion, while others, such as Gilan and Mazandaran, had close to 0%. The coefficients of variation for the development of irrigation and drainage networks and the coverage of traditional canals were 128% and 124%, respectively, indicating significant regional disparities.

The spatiotemporal maps provided a visual representation of the trends in modern irrigation system adoption. They revealed that provinces with larger irrigated areas were slower to adopt these systems, possibly due to the higher costs and logistical challenges associated with large-scale implementation. However, the deployment of modern irrigation systems alone is insufficient to improve groundwater conditions. Effective monitoring of water extraction through smart meters is essential to ensure the sustainability of groundwater resources.

Conclusion

The ability to create dynamic spatiotemporal maps in R-Studio offers a powerful tool for visualizing large datasets and identifying trends in the adoption of modern irrigation systems. This study demonstrated the utility of such maps in analyzing the expansion of advanced irrigation technologies in Iran's provinces from 2009 to 2022. The clustering of provinces based on key criteria provided valuable insights for policymakers, enabling them to design targeted strategies for regions with similar characteristics.

In conclusion, the integration of spatiotemporal analysis and clustering techniques provides a comprehensive framework for understanding the current state of modern irrigation systems in Iran. By identifying trends and patterns, this study contributes to the broader goal of improving agricultural water management and ensuring the sustainability of water resources. However, the successful implementation of modern irrigation systems requires strict monitoring of water extraction to ensure the long-term sustainability of groundwater resources.

Keywords: Modern irrigation systems, Clustering, R-Studio software, Spatial-temporal map



Preparation of a spatio-temporal map of the expansion of modern irrigation systems in the provinces of Iran using the t-map package of the R-Studio software

Iman Ahmadi

Department of Agronomy, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

Corresponding Author email: i_ahmadi_m@yahoo.com

© The Author(s) 2025

Received: 21 Nov 2024

Accepted: 03 Feb 2025

Published: 06 Feb 2025

Abstract

The purpose of this research is to create a spatio-temporal map illustrating the expansion of modern irrigation systems across Iran's provinces using the t-map package in R-Studio. The raw data used in this research was obtained from the statistical tables provided by the statistics center of the Ministry of Agricultural Jihad regarding the development of advanced irrigation systems in Iran from 2009 to 2022. First, an Excel file was prepared using the raw data, ensuring its compatibility with the geographical information of Iran's provinces. This data was then integrated with geographic information in R-Studio software, and spatio-temporal maps were generated using the functions of the t-map package. For clustering analysis, functions from the factoextra package were used. This package allows for data standardization before clustering using various methods. Moreover, in this research, Iran's provinces were clustered according to three criteria: the percentage of completion of modern irrigation systems, the percentage of development of irrigation and drainage networks, and the percentage of coverage of traditional irrigation canals in 2022. The findings indicate that out of 6,014,211 hectares of irrigated agricultural land, 2,469,835 hectares have been equipped with modern irrigation systems, reflecting an average implementation rate of 41% nationwide. Furthermore, the development percentages of irrigation and drainage networks and the coverage of traditional canals were found to be 15% and 0.5%, respectively. The spatio-temporal map of modern irrigation system implementation revealed that provinces with the most extensive irrigated agriculture exhibited lower adoption rates of these systems compared to others. For example, Khuzestan and Fars, which cumulatively account for 31% of the country's irrigated lands, have only progressed by 9% and 18%, respectively, in establishing new irrigation systems. It is important to note that while advanced irrigation systems enhance irrigation efficiency at the farm level, their significant effect on levels of groundwater table requires the presence of smart meters for agricultural wells that supply these systems.

Keywords: Modern Irrigation Systems, Clustering, R-Studio Software, Spatial-Temporal Map



ایجاد نقشه مکانی- زمانی گسترش سامانه‌های آبیاری نوین در استان‌های ایران با استفاده از کتابخانه t-map نرم افزار R-Studio

ایمان احمدی

گروه زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران.

ایمیل نویسنده مسئول: i_ahmadi_m@yahoo.com

© The Author(s) 2025

چاپ: ۱۴۰۳/۱۱/۱۸

پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۵

دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۰۱

چکیده

هدف از پژوهش حاضر ایجاد نقشه مکانی- زمانی گسترش سامانه‌های آبیاری نوین در استان‌های ایران با استفاده از کتابخانه t-map نرم افزار R-Studio است. داده‌های خام مورد استفاده در این پژوهش از جداول آماری ارائه شده توسط مرکز آمار وزارت جهاد کشاورزی در مورد توسعه سامانه‌های آبیاری پیشرفته در استان‌های ایران در دوره زمانی سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۴۰۱ به دست آمد. همچنین در این پژوهش خوشه‌بندی استان‌های کشور با توجه به معیارهای درصد تکمیل سامانه‌های آبیاری مدرن، درصد توسعه شبکه‌های آبیاری و زه‌کشی و درصد پوشش انهار و کانال‌های سنتی به صورت تجمعی تا سال ۱۴۰۱، انجام شد. به صورت اجمالی روش کار به این صورت بود که ابتدا با استفاده از داده‌های خام، فایل اکسلی آماده‌سازی شد که محتوای آن سازگار با اطلاعات جغرافیایی مربوط به استان‌های ایران باشد. سپس به کمک توابع نرم‌افزار R-Studio ادغام محتوای فایل اکسل و اطلاعات جغرافیایی انجام شد و در نهایت با استفاده از توابع کتابخانه t-map، نقشه‌های مکانی- زمانی تهیه شد. برای انجام خوشه‌بندی، از توابع کتابخانه factoextra استفاده شد. توابع موجود در این کتابخانه قادر به استانداردسازی داده‌ها قبل از انجام فرآیند خوشه‌بندی به روش‌های مختلف هستند. بر اساس نتایج به دست آمده از ۶۰۱۴۲۱۱ هکتار زمین‌های زراعی دارای کشت آبی، ۲۴۶۹۸۳۵ هکتار به سیستم‌های آبیاری نوین تجهیز شده‌اند که بیانگر تکمیل ۴۱ درصدی این سامانه‌ها در کل کشور است. درصد توسعه شبکه‌های آبیاری و زه‌کشی و درصد پوشش انهار و کانال‌های سنتی به ترتیب برابر با ۱۵٪ و ۰/۵٪ به دست آمد. از سوی دیگر نقشه مکانی- زمانی درصد تکمیل سامانه‌های آبیاری نوین نشان داد که در استان‌های پیشرو در کشت آبی استقبال از این سامانه‌ها کمتر از سایر استان‌ها بوده است، مثلاً استان‌های خوزستان و فارس که به صورت تجمعی ۳۱ درصد از اراضی کشت آبی را در اختیار دارند بترتیب ۹٪ و ۱۸٪ در استقرار سامانه‌های آبیاری نوین پیشرفت داشته‌اند. لازم به ذکر است که هرچند استقرار سامانه‌های آبیاری پیشرفته به افزایش راندمان آبیاری در سطح مزرعه منجر می‌شود، اما با توجه به گزارش‌های سایر محققین، برای موثر بودن استقرار این سامانه‌ها بر روی افزایش سطح سفره‌های آب زیرزمینی، وجود کنترلهای هوشمند برای چاه‌های کشاورزی تغذیه کننده این سیستم‌های آبیاری الزامی است.

واژه‌های کلیدی: سامانه‌های آبیاری پیشرفته، خوشه‌بندی، نرم افزار R-Studio، نقشه مکانی- زمانی

۱- مقدمه

امروزه با توجه به دسترسی به حجم زیادی از داده، روش‌های تحلیل داده توانایی خود را در حل برخی از مسائل نشان داده‌اند. به عنوان مثال مفهوم پردازش داده‌های کلان در رشته‌های مختلفی چون بیمه، بانکداری، بهداشت و درمان و مطالعات زیست محیطی (Batko & Ślęzak, 2022; Waga & Rabah, 2014; Cooper et al., 2013) نیز پژوهشگران مشتاق انجام مطالعات در زمینه پردازش داده‌های کشاورزی هستند. به عنوان مثال (Tsfaye et al., 2016)، (Kempenaar et al., 2016) و (Frelat et al., 2016) به ترتیب از مفهوم کلان داده برای بررسی مسائلی در زمینه تغییرات آب و هوایی و اقلیمی، پژوهش‌های علوم دامی و امنیت غذایی استفاده کردند. برای تحلیل کلان داده‌ها از مجموعه‌ای از نرم افزارها و ابزار رایانه‌ای مانند نرم‌افزارهای تحلیل تصویر، یادگیری ماشین، سکوه‌های ابری برای ذخیره سازی و پردازش کلان داده، سامانه اطلاعات مکانی (GIS)، مدل‌سازی و شبیه‌سازی، ابزارهای آماری و تحلیل سری‌های زمانی استفاده می‌شود (Kamilaris et al., 2017). یکی از سکوه‌های قوی برای انجام پردازش‌های کلان داده‌ای مورد نیاز در زمینه یادگیری ماشین و انجام عملیات آماری، زبان برنامه‌نویسی R است که در دسته زبان‌های برنامه‌نویسی متن باز قرار می‌گیرد. البته به منظور استفاده از قابلیت ویرایش کد، بهتر است برنامه‌نویسی در محیط نرم افزار R-Studio صورت پذیرد. همچنین این نرم افزار ابزار مناسبی برای مشهودسازی داده در اختیار کاربر قرار می‌دهد (Guleria & Kaur, 2021). به عنوان مثال (Lemenkova (2020 از کتابخانه‌های مختلف R به عنوان نرم‌افزاری که در دسترس همه قرار دارد، برای آموزش علم جغرافیا استفاده کرده است. همچنین (Ahmadi (2023 از کتابخانه t-map برای مشهودسازی مکانی- زمانی سهم فعالیت‌های کشاورزی در تولید CO₂ در سطح قاره‌های جهان بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۹ استفاده کرده است.

از سوی دیگر یکی از راه‌های افزایش راندمان آبیاری در بخش کشاورزی به‌کارگیری سامانه‌های پیشرفته آبیاری است که شامل سامانه‌های آبیاری بارانی و قطره‌ای می‌شود (Shahnoushi et al., 2020). در صورت در اختیار بودن داده‌های چندین ساله از میزان تجهیز اراضی به سامانه‌های آبیاری نوین و با توسعه نقشه‌های مکانی- زمانی، امکان مقایسه دقیق‌تر استان‌های ایران از لحاظ تکمیل این‌گونه سامانه‌ها فراهم می‌شود. به‌خصوص اینکه نقشه‌های مکانی- زمانی حالت پویا داشته و در صورت وجود روندهای با تغییرات مکانی- زمانی در داده‌ها، امکان مشاهده این روندها با ایجاد این نقشه‌ها تسهیل می‌شود (Ahmadi, 2023). در پژوهش انجام شده توسط (Ghimire et al., 2025) به نمونه‌ای از کاربردهای مفهوم تغییرات مکانی- زمانی در مبحث آبیاری پرداخته شده است. آنها بر اساس این مفهوم تغییرات پیوسته کشت آبی (در مقابل کشت دیم) در کشور نپال را به منظور انجام برنامه‌ریزی دقیق‌تر در استفاده از آب کشاورزی مد نظر قرار دادند. در پژوهش دیگری (Pandey et al., 2020) به موضوع توزیع مکانی- زمانی آب در دسترس در حوضه آبریز Karnali-Mohana پرداختند تا تاثیر تغییرات آب و هوایی در مقدار آب در دسترس با وضوح بیشتری مشخص گردد. توسعه نقشه‌های مکانی- زمانی در این پژوهش‌ها با توجه به نوع داده‌ها، با استفاده از امکانات سکوی (GEE) Google Earth Engine انجام شده است، در حالیکه داده‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر سازگار با سکوی GEE نیست. بنابراین در این پژوهش ایجاد نقشه مکانی- زمانی با استفاده از امکانات نرم‌افزار R-Studio دنبال شد. هدف از پژوهش حاضر توسعه نقشه‌های مکانی- زمانی مساحت پوشش داده شده و درصد تکمیل سامانه‌های آبیاری نوین در استان‌های کشور در دوره زمانی سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۴۰۱ با استفاده از کتابخانه tmap نرم افزار R-Studio است. همچنین در این پژوهش خوشه‌بندی استان‌های کشور با توجه به سه عامل درصد تکمیل سامانه‌های آبیاری نوین، درصد ایجاد شبکه‌های آبیاری و زه‌کشی و درصد پوشش انهار و کانال‌های سنتی به کمک نرم‌افزار R-Studio انجام شده است. با خوشه‌بندی استان‌ها، سیاستگذار قادر به تدوین سیاست‌های مدیریتی مشابه برای استان‌های قرار گرفته در هر خوشه می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

برای توسعه نقشه‌های مکانی- زمانی به دو سری داده احتیاج است که عبارتند از: داده‌های مرجع‌یابی مکانی شده در زمان‌های مختلف و داده‌های مربوط به نقشه جغرافیایی. در این پژوهش، داده‌های مربوط به توسعه سامانه‌های آبیاری پیشرفته در استان‌های ایران در دوره زمانی ۱۳۸۸ تا ۱۴۰۱ (۱۳ سال) به عنوان داده‌های مرجع‌یابی مکانی شده در زمان‌های مختلف و فایل مربوط به مرز جغرافیایی استان‌های ایران به عنوان نقشه جغرافیایی در نظر گرفته شد. ساختار داده‌ای دو بعدی نهایی که در ایجاد نقشه‌های مکانی- زمانی مورد استفاده قرار گرفت، ساختاری دارای ۴۳۴ سطر و ۲۳ ستون بود که بخشی از آن در شکل (۱) نشان داده شده است.

شکل ۱- نمایش بخشی از ساختار داده‌ای مورد استفاده در ایجاد نقشه‌های مکانی- زمانی

Shape_Leng	Shape_Area	ADM1_EN	ADM1_FA	year	province	area_covered_hect	percentage	A
4.346753	0.5231094	Alborz	البرز	1401	Alb	21255	57	
10.218890	1.8452731	Ardabil	اردبیل	1401	Ard	78387	40	
16.019141	2.0885448	Bushehr	بوشهر	1401	Bush	20292	77	
7.087819	1.5558969	Chaharmahal and Bakhtiari	چهارمحال و بختیاری	1401	Ch_Bakh	63546	85	
14.145806	4.6466061	East Azerbaijan	آذربایجان شرقی	1401	E_Azar	108116	75	
17.564258	11.3668556	Fars	فارس	1401	Far	109146	18	
7.177306	1.4272721	Gilan	گیلان	1401	Gil	16841	6	
7.950242	2.0493169	Golestan	گلستان	1401	Gol	79598	24	

Fig 1. Presentation of a part of the data frame used for developing spatio-temporal maps

ایجاد نقشه مکانی- زمانی به وسیله نرم افزار R-Studio انجام شد. کدهای مربوط به ایجاد نقشه مکانی- زمانی در پیوست مقاله آورده شده است.

برای جمع آوری و تحلیل داده‌های مربوط به توسعه سامانه‌های آبیاری پیشرفته در استان‌های ایران مراحل زیر انجام شد: از داده‌های آماری وزارت جهاد کشاورزی در زمینه مقدار توسعه سامانه‌های آبیاری پیشرفته بر حسب هکتار در سال‌های مختلف دوره زمانی ۱۳۸۸ تا ۱۴۰۱ در استان‌های ایران به عنوان داده‌های خام استفاده شد. داده‌ها به گونه‌ای وارد کاربرگ نرم‌افزار اکسل شد که ستون اول آن سال، ستون دوم آن نام استان و ستون سوم آن مساحت زمین‌های کشاورزی تجهیز شده به سامانه‌های آبیاری پیشرفته در یک استان و در یک سال باشد. سپس داده‌های کل کاربرگ با روش مرتب‌سازی دو عاملی ابتدا بر حسب سال به ترتیب نزولی و سپس بر حسب نام انگلیسی استان مرتب شدند. سپس با فرمول‌نویسی مقدار مساحت تجمعی زمین‌های کشاورزی تجهیز شده به سامانه‌های آبیاری پیشرفته در استان‌های مختلف بر حسب سال محاسبه شد. در نهایت از تقسیم مساحت تجمعی اراضی تحت سامانه‌های آبیاری پیشرفته در هر استان به مساحت کل زمین‌های دارای کشت آبی آن استان، درصد تجهیز تجمعی اراضی کشاورزی آبی آن استان به سامانه‌های آبیاری پیشرفته در هر سال به دست آمد. در نهایت فایل به دست آمده با پسوند CSV ذخیره شد و برای ایجاد نقشه مکانی- زمانی در مسیر کاری نرم‌افزار R-Studio قرار داده شد. با توجه به داده‌های موجود در فایل اکسل، دو سری نقشه مکانی- زمانی به دست خواهد آمد که عبارتند از نقشه مکانی- زمانی مساحت تجمعی زمین‌های تجهیز شده به سامانه‌های آبیاری پیشرفته بر حسب هکتار و نقشه مکانی- زمانی درصد پیشرفت تجمعی زمین‌های تجهیز شده به سامانه‌های آبیاری پیشرفته. نکته مثبت ایجاد نقشه‌های مکانی- زمانی در این است که به علت پویا بودن این نقشه‌ها، به کارگیری آن‌ها باعث استخراج روندهای موجود در داده‌ها به صورت دیداری می‌شود.^۱

^۱ شایان ذکر است که از راه‌های زیر می‌توان به نقشه‌های مکانی- زمانی مربوط به این گزارش دسترسی پیدا کرد:

کافی است آدرس زیر را در نوار آدرس مرورگر وب وارد کنید

https://drive.google.com/file/d/1MS76rk60QLgHucEuK3rwB5ColHhozvGr/view?usp=drive_link

در این پژوهش علاوه بر ایجاد نقشه‌های مکانی- زمانی مقدار و درصد پوشش مساحتی روش‌های آبیاری پیشرفته در استان‌های ایران، خوشه‌بندی استان‌ها با توجه به سه معیار درصد تکمیل سامانه‌های آبیاری مدرن، درصد توسعه شبکه‌های آبیاری و زه‌کشی و درصد پوشش انهار و کانال‌های سنتی به صورت تجمعی در سال ۱۴۰۱ به شیوه‌های تقسیم‌بندی و سلسله‌مراتبی صورت گرفت. روش خوشه‌بندی تقسیم‌بندی به نوبه خود به روش‌های خوشه‌بندی K- میانگین و K- میانه تقسیم می‌شود. ذکر این نکته اهمیت دارد که قبل از اعمال هر کدام از روش‌های خوشه‌بندی، ابتدا باید داده‌های اولیه نرمال‌سازی شوند، یعنی تبدیل به داده‌هایی با میانگین صفر و واریانس یک شوند. در اجرای روش خوشه‌بندی K- میانگین ابتدا K عدد به طور تصادفی به عنوان مرکز خوشه‌ها تعیین شده و با محاسبه معیاری برای سنجش شباهت نمونه‌ها، مثل فاصله اقلیدسی بین نمونه‌ها، فاصله بین تمام نقاط و هر یک از مراکز محاسبه می‌گردد. سپس هر نقطه به مرکزی نسبت داده می‌شود که فاصله کمتری از آن داشته باشد. سپس با میانگین‌گیری از نمونه‌های متعلق به هر خوشه، مراکز جدید متعلق به خوشه‌ها محاسبه شده و دوباره فاصله نمونه‌ها از مراکز جدید محاسبه می‌گردد و هر نمونه به مرکز دارای کمترین فاصله اختصاص داده می‌شود و این عمل آنقدر تکرار می‌شود که یا تغییری در نمونه‌های متعلق به هر خوشه به وجود نیاید و یا تعداد تکرار محاسباتی کامل شود. ویژگی روش K- میانگین این است که این روش به داده‌های دارای فاصله زیاد از مرکز حساس بوده و وجود این داده‌ها در نمونه‌ها باعث تاثیرگذاری بر نتیجه خوشه‌بندی خواهد شد. روشی که این ویژگی K- میانگین را در فرآیند خوشه‌بندی ندارد، روش K- میانه است که تفاوت مراحل آن با روش K- میانگین در این است که به جای استفاده از میانگین نمونه‌های قرار گرفته در هر خوشه به عنوان مرکز آن خوشه، از میانه نمونه‌های قرار گرفته در آن خوشه به عنوان مرکز خوشه استفاده می‌شود. با این کار چون میانه از داده‌هایی که دارای فاصله زیاد از مرکز هستند و در مجموعه داده‌ها وجود دارند، تاثیر نمی‌پذیرد، خوشه‌بندی با این روش نیز این خاصیت را خواهد داشت.

در روش خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی ابتدا هر نمونه به عنوان یک خوشه در نظر گرفته شده و سپس به عنوان معیار شباهت، فاصله اقلیدوسی بین زوج نمونه‌ها محاسبه می‌گردد و نمونه‌هایی که کمترین فاصله را از هم دارند با هم ادغام شده و تشکیل یک خوشه در سطح بالاتر را می‌دهند و این عمل آنقدر ادامه داده می‌شود که در نهایت تمام نمونه‌ها در یک خوشه قرار گیرند. البته پس از تشکیل درخت سلسله‌مراتبی، امکان شکستن تک خوشه‌ای که کل نمونه‌ها را در بر گرفته به خوشه‌های زیر مجموعه وجود دارد.

۳- نتایج و بحث

ابتدا به نتایج مربوط به کارهای انجام شده درباره استقرار سامانه‌های آبیاری نوین، ایجاد شبکه‌های آبیاری و زه‌کشی و پوشش انهار و کانال‌های انتقال آب سنتی در سطح کشور پرداخته می‌شود. تا سال ۱۴۰۱ تکمیل سامانه‌های آبیاری پیشرفته در سطح ۲۴۶۹۸۳۵ هکتار، ایجاد شبکه‌های آبیاری و زه‌کشی در سطح ۸۹۵۹۹۷ هکتار و پوشش انهار و کانال‌های سنتی در سطح ۲۸۳۱۸ هکتار از ۶۰۱۴۲۱۱ هکتار اراضی زراعی کشت آبی صورت گرفته است، در نتیجه درصد تکمیل سامانه‌های آبیاری نوین در سطح کشور تا سال ۱۴۰۱ برابر با ۴۱٪، درصد ایجاد شبکه‌های آبیاری و زه‌کشی برابر با ۱۵٪ و درصد پوشش انهار و کانال‌های سنتی

تا از طریق فضای ابری Google drive به نقشه‌های پویای مربوط به این گزارش دسترسی داشته باشید. البته فایل تصاویر به فرمت فشرده ذخیره شده است و برای مشاهده باید از حالت فشرده خارج شود. همچنین می‌توانید از QR-code زیر استفاده کرده و به فضای ابری Google drive دسترسی پیدا کنید:



برابر با ۰/۵٪ بوده است. از سوی دیگر ضریب پراکندگی در درصد تکمیل سامانه‌های آبیاری پیشرفته در استان‌های ایران بالاست که شامل استان‌هایی با درصد تکمیل نزدیک ۱۰۰٪ مثل استان‌های هرمزگان و خراسان جنوبی، همچنین درصد تکمیل نزدیک صفر مثل استان‌های گیلان و مازندران می‌شود. از نظر عددی مقدار ضریب پراکندگی محاسبه شده برای این شاخص برابر با ۵۵/۶٪ به دست آمد. ضرایب پراکندگی به دست آمده برای درصد ایجاد شبکه‌های آبیاری و زه‌کشی و درصد پوشش انهار و کانال‌های سنتی نیز بسیار بالاست (به ترتیب ۱۲۸ و ۱۲۴ درصد) که نشان دهنده پراکندگی زیاد در درصد اجرای این پروژه‌ها بین استان‌های مختلف ایران است.

به کمک داده‌های مساحت پوشش داده شده و درصد تکمیل روش‌های آبیاری پیشرفته و استفاده از کد آورده شده در پیوست، امکان ایجاد نقشه‌های مکانی- زمانی مساحت پوشش داده شده و درصد تکمیل روش‌های آبیاری پیشرفته فراهم شد. به علت اینکه نقشه‌های مکانی- زمانی حالت پویا دارند و در فایل word قابل درج نیستند، برای مشاهده آن‌ها از روش توضیح داده شده در پاورقی فصل مواد و روش‌ها استفاده کنید. بنابراین در شکل (۲) فقط نقشه‌های مکانی مساحت پوشش داده شده و درصد تکمیل روش‌های آبیاری پیشرفته در استان‌های ایران برای سال ۱۴۰۱ نشان داده شده است. در یک نقشه مکانی- زمانی، مقدار پارامتر مورد نظر در هر استان با توجه به رنگ آن مشخص می‌شود. رنگ‌ها به گونه‌ای انتخاب می‌شوند که اطلاعات دیداری مناسبی به خواننده منتقل شود. در این گزارش مقادیر کوچک و بزرگ به ترتیب با رنگ‌های روشن و تیره نشان داده شده‌اند. به کمک این شیوه نمایشی، امکان تشخیص روندهای مخفی در داده‌های ارائه شده وجود دارد.

شکل ۲- نقشه‌های مکانی (a) مساحت پوشش داده شده و (b) درصد استقرار سامانه‌های آبیاری پیشرفته در هر استان در سال ۱۴۰۱

(برای مشاهده نقشه‌های مکانی- زمانی از روش توضیح داده شده در پاورقی فصل مواد و روش‌ها استفاده کنید)

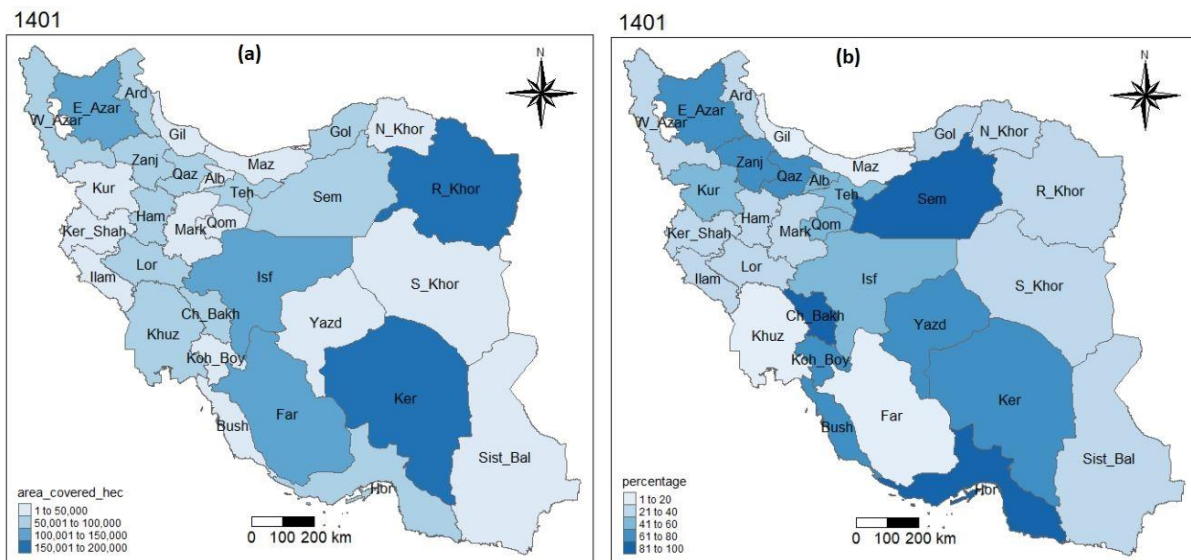


Fig 2. Spatial maps of showing a) the area covered and b) the percentage of the implementation of modern irrigation systems in Iran's provinces in 2022

نتیجه‌ای که می‌توان از نقشه مکانی- زمانی توسعه سامانه‌های آبیاری مدرن در استان‌های ایران به دست آورد این است که این سامانه‌ها با استقبال کمی در استان‌های پیشرو در زراعت محصولات دارای سیستم کشت آبی مواجه بوده‌اند. به عنوان مثال استان‌های خوزستان و فارس که به صورت تجمعی ۳۱٪ از اراضی زراعی دارای کشت به شیوه آبی را در اختیار دارند، از نظر مساحتی بترتیب ۹٪ و ۱۸٪ در استقرار سامانه‌های آبیاری نوین پیشرفت داشته‌اند. دو استان پیشرو بعدی در کشت آبی محصولات زراعی یعنی استان‌های خراسان رضوی و آذربایجان غربی نیز پیشرفت کمتر از ۳۰٪ در تجهیز اراضی به سامانه‌های آبیاری نوین داشته‌اند.

ذکر این نکته لازم است که صرف پیشرفت در استقرار سامانه‌های آبیاری نوین به بهبود شرایط در زمینه سطح آب‌های زیرزمینی منجر نمی‌شود. چون با استقرار این سامانه‌ها کشاورزان به افزایش وسعت زمین‌های کشاورزی اقدام می‌کنند و همان مقدار آبی که در حالت عدم وجود سامانه آبیاری نوین مصرف می‌کرده‌اند را با وجود سامانه‌های آبیاری نوین مصرف می‌کنند. از سوی دیگر چون نفوذ آب به سفره‌های آب زیرزمینی و مقدار آب خارج شده از مزرعه در اثر زه‌کشی در سامانه‌های آبیاری نوین کمتر از سامانه‌های آبیاری سنتی است، با الگوی بالا وضعیت سفره‌های آب زیرزمینی بدتر خواهد شد. نکته کلیدی در موثر بودن استقرار سامانه‌های آبیاری نوین به وجود نظارت صددرصدی روی مقدار برداشت از آب‌های زیرزمینی برمی‌گردد که این مهم با نصب کنتورهای هوشمند روی چاه‌های کشاورزی قابل انجام است. با این کار هم بازده مزرعه‌ای آب مصرف شده افزایش خواهد یافت و هم سطح سفره‌های آب زیرزمینی به تدریج افزایش خواهد یافت. به این موضوع در پژوهش (Kiani & Shaker, 2022) نیز اشاره شده است.

نتایج به دست آمده برای خوشه‌بندی استان‌های ایران با توجه به معیارهای درصد تکمیل سامانه‌های آبیاری مدرن، درصد توسعه شبکه‌های آبیاری و زه‌کشی و درصد پوشش انهار و کانال‌های انتقال آب سنتی در دو حالت خوشه‌بندی از طریق قسمت‌بندی (Partitioning) به روش‌های K- میانگین و K- میانه و حالت سلسله مراتبی در شرایط هفت خوشه‌های در شکل (۳) نشان داده شده است.

با توجه به شکل (۳)، چون شکل و موقعیت مرکز خوشه‌بندی‌های انجام شده به روش‌های K- میانگین (شکل ۳a) و K- میانه (شکل ۳b) متفاوت است، وجود داده‌های دارای فاصله زیاد از مرکز در مجموعه داده‌ها محتمل می‌باشد، این وضعیت با شعاع‌های بیرون زده از ناحیه خوشه‌بندی در نمودارهای مربوط به روش K- میانگین خود را نشان داده است. از نظر کاربرد مدیریتی نتیجه به دست آمده برای فرآیند تصمیم‌گیری راجع به انتخاب یکی از روش‌های K- میانگین و K- میانه باید از معیار اطمینان به صحت داده‌های اولیه ای که خوشه‌بندی براساس آن‌ها انجام شده است، استفاده کرد: به این معنی که اگر به صحت داده‌های اولیه اطمینان بالایی وجود داشته باشد، خوشه‌بندی به روش K- میانگین باید برای دسته بندی استان‌ها مورد استفاده قرار گیرد و اگر به صحت داده‌های اولیه اطمینان کمی وجود داشته باشد، روش K- میانه انتخاب بهتری است.

علیرغم وجود شباهت‌هایی بین نتایج خوشه‌بندی به روش‌های مبتنی بر تقسیم‌بندی و سلسله مراتبی، تفاوت‌هایی نیز بین آنها وجود دارد. دلیل این مطلب می‌تواند متفاوت بودن فرآیند خوشه‌بندی روش سلسله مراتبی با روش‌های مبتنی بر تقسیم‌بندی باشد. چون در روش سلسله مراتبی ابتدا هر نمونه در یک خوشه قرار داده می‌شود و سپس با حرکت از پائین به بالا و با توجه به مشابهت بین نمونه‌ها، کار ادغام نمونه‌ها انجام می‌شود، در صورتیکه در روش‌های مبتنی بر تقسیم بندی، ابتدا K مرکز به تصادف انتخاب شده و سپس با فرآیند تکراری اختصاص نمونه‌ها به مراکز و محاسبه مراکز جدید عمل خوشه‌بندی کامل می‌شود.

نکته دیگر این‌که در نمودارهای K- میانگین و K- میانه دو محور با نام‌های Dim1 و Dim2 وجود دارند که در واقع دو امتدادی هستند که به عنوان Principal axes توسط نرم افزار در نظر گرفته می‌شوند. نحوه تشکیل این محورها به این صورت است که نرم‌افزار محوری را که بیشترین پراکندگی داده‌ها در راستای آن رخ می‌دهد به عنوان محور Dim1 انتخاب کرده و محور Dim2 عمود بر محور Dim1 در نظر گرفته می‌شود. البته لازم نیست که داده‌های اولیه حتماً دارای دو بعد باشند تا این محورها شکل بگیرند. اگر داده‌های اولیه بردارهایی با بیش از دو بعد هم باشند نرم افزار قادر به اختصاص محوره‌های Dim1 و Dim2 به داده‌ها می‌باشد. مزیت این کار در این است که چون داده‌های مسئله در یک شکل دو بعدی بر حسب این دو محور جانمایی می‌شوند، نمایش داده‌ها در این نمودارها براحتی قابل انجام است.

دلیل اینکه تعداد خوشه‌های در نظر گرفته شده در این پژوهش برابر با ۷ لحاظ شده این است که همانطور که در شکل (۴) مشاهده می‌شود بیشترین مقدار برای متوسط عرض پارامتر Silhouette در تعداد خوشه برابر با ۷ حاصل شده است، به این معنی که بیشترین فاصله بین خوشه‌های با در نظر گرفتن تعداد خوشه برابر با ۷ به دست می‌آید.

شکل ۳- خوشه‌بندی استان‌های ایران از نظر استقرار سامانه‌های آبیاری و زه‌کشی به روش‌های (a) میانگین هفت کلاسه، (b) -K میان هفت کلاسه، و (c) سلسله مراتبی هفت کلاسه

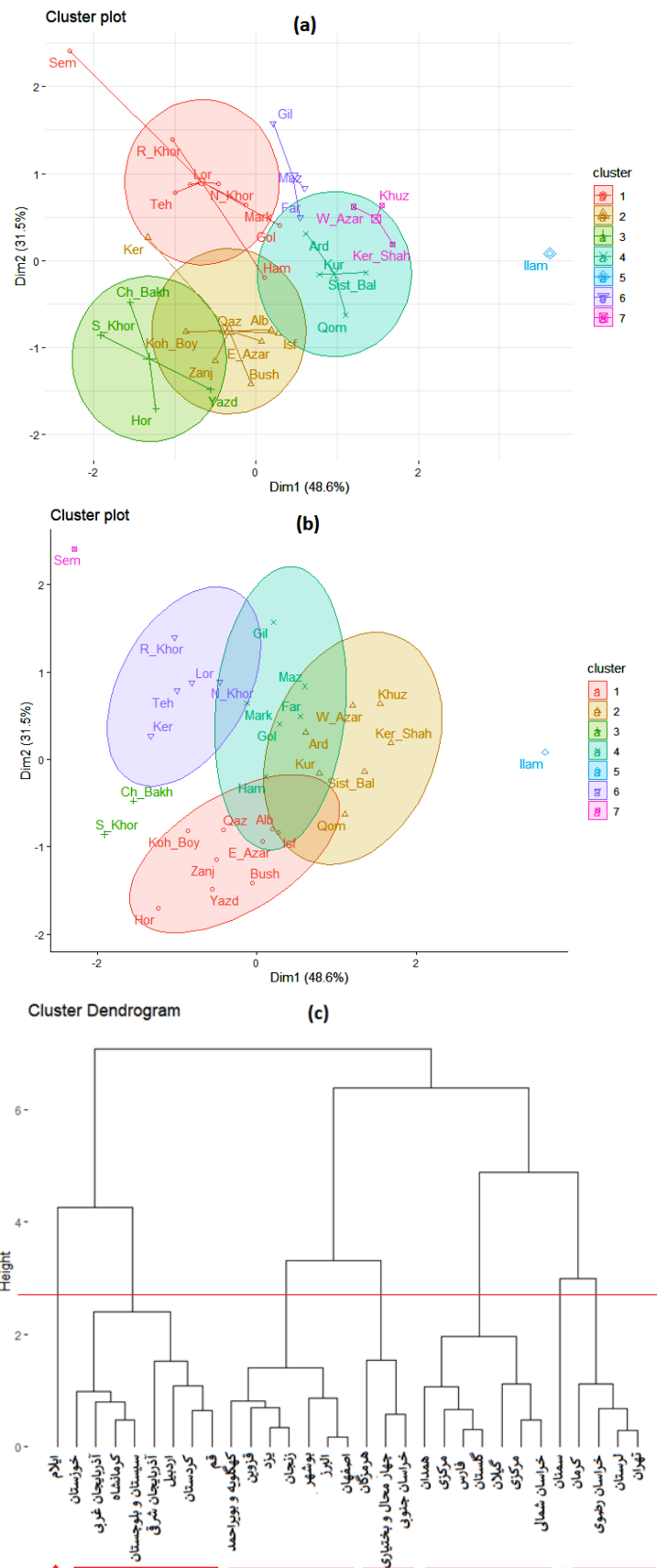


Fig 3. Clustering of Iran's provinces regarding to the implementation of irrigation and drainage systems using a) seven-class K-means, b) seven-class K-medians, and c) seven-class dendrogram

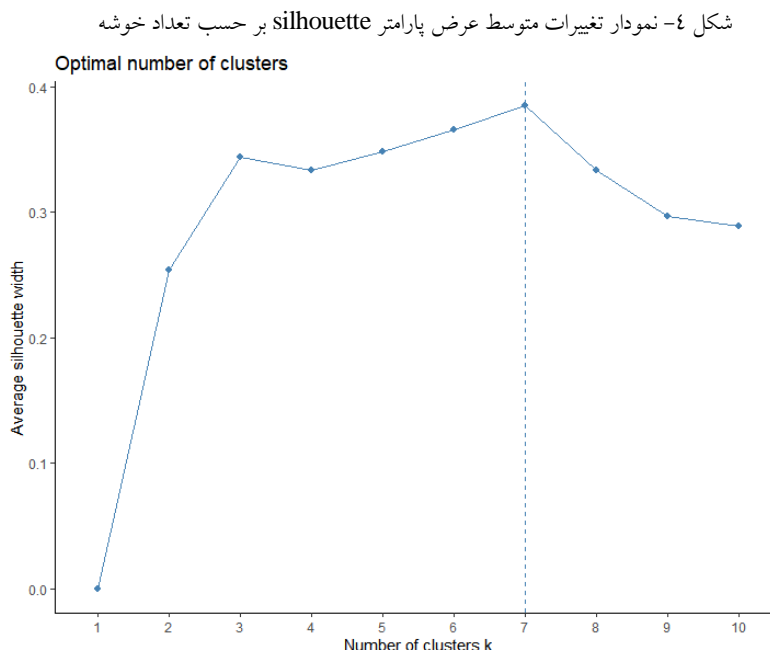


Fig 4- Variation of average silhouette width with respect to the number of clusters

از سوی دیگر مقدار شاخص Hopkins با انجام خوشه‌بندی ۷ خوشه‌ای برابر با $0/82$ به دست آمد که نشان‌دهنده وقوع خوشه‌بندی مناسب است.

خوشه‌بندی استان‌های ایران بر اساس معیارهای سه گانه ذکر شده در اعمال سیاست‌های مدیریتی کلان می‌تواند کاربرد داشته باشد، جایی که سیاستگذار می‌تواند سیاست‌های مدیریتی مشابهی را برای استان‌های قرار گرفته در هر خوشه تدوین کند و خواستار اجرای آنها توسط استان‌های قرار گرفته در آن خوشه شود.

۴- نتیجه‌گیری

قابلیت رسم نقشه‌های مکانی- زمانی پویای نرم افزار R-Studio می‌تواند به نمایش دیداری مناسبی از حجم زیادی داده مترکم در جداول آماری در زمان کم بیانجامد، این نقشه‌ها نسبت به جداول آماری در به دست آوردن روند تغییرات داده‌ها بهتر عمل می‌کنند. در این پژوهش از این قابلیت برای ایجاد نقشه‌های مکانی- زمانی مقدار و درصد تکمیل سامانه‌های آبیاری مدرن در استان‌های ایران استفاده و نتایج حاصل ارائه داده شده است. همچنین در این پژوهش خوشه‌بندی استان‌های ایران با توجه به سه عامل درصد تکمیل سامانه‌های آبیاری مدرن، درصد ایجاد شبکه‌های آبیاری و زه‌کشی و درصد پوشش انهار و کانال‌های سنتی به روش‌های K- میانگین و K- میانه و سلسله مراتبی صورت گرفت و شباهت و تفاوت‌های این روش‌ها از نظر الگوریتم‌های به کار رفته و نتایج حاصله تشریح شد. می‌توان این‌طور جمع‌بندی کرد که در صورت موجود بودن داده‌های آماری مطمئن و با توسعه نقشه‌های مکانی- زمانی و خوشه‌بندی، دید درستی از وضعیت موجود ارائه شده که به تصمیم‌گیران کلان بخش کشاورزی در جهت تدوین سیاست‌های مدیریتی صحیح می‌تواند یاری برساند.

۵- تضاد منافع نویسندگان

نویسنده این مقاله اعلام می‌دارد که هیچ تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارد.

۶- منابع

- Ahmadi, I. (2023). A spatiotemporal analysis of the continent-wide contribution of agriculture in CO₂-eq production from 1990 to 2019 using the t-map package of R software. *Journal of nature and spatial sciences*, 3(2), 17–24. <https://doi.org/10.30495/jonass.2023.1974762.1060>
- Batko, K., & Ślęzak, A. (2022). The use of Big Data Analytics in healthcare. *Journal of Big Data*, 9(3). <https://doi.org/10.1186/s40537-021-00553-4>
- Cooper, J., Noon, M., Jones, C., Kahn, E., & Arbuckle, P. (2013). Big data in life cycle assessment. *Journal of Industrial Ecology*, 17 (6), 796–799. <https://doi.org/10.1111/jiec.12069>
- Frelat, R., Lopez-Ridaura, S., Giller, K E., Herrero, M., Douxchamps, S., Andersson Djurfeldt, A., Erenstein, O., Henderson, B., Kassie, M., Paul, B K., Rigolot, C., Ritzema, R S., Rodriguez, D., van Asten, P J., & van Wijk, M T. (2016). Drivers of household food availability in sub-Saharan Africa based on big data from small farms. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(2), 458-463. <https://doi.org/10.1073/pnas.1518384112>
- Ghimire, P., Karki, S., Pandey, V P., & Pradhan, A M S. (2025). Mapping Spatio-Temporal dynamics of irrigated agriculture in Nepal using MODIS NDVI and statistical data with Google Earth Engine: A step towards improved irrigation planning. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 136. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2024.104345>
- Guleria, D., & Kaur, G. (2021), Bibliometric analysis of ecopreneurship using VOS viewer and R-Studio Bibliometrix, 1989–2019, *Library Hi Tech*, 39(4), 1001-1024. <https://doi.org/10.1108/LHT-09-2020-0218>
- Kamilaris, A., Kartakoullis, A., & Prenafeta-Boldú F X. (2017). A review on the practice of big data analysis in agriculture. *Computers & Electronics in Agriculture*, 143, 23-37. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.09.037>
- Kempenaar, C., Lokhorst, C., Bleumer, E. J B., Veerkamp, R F., Been, Th., Evert, F K. van, Boogaardt, M J., Ge, L., Wolfert, J., Verdouw, C N., Bekkum, M A. van, Feldbrugge, L. , Verhoosel, J P C., Waaij, B D. van der, Persie, M. van, & Noorbergen, H. (2016). Big data analysis for smart farming. Wageningen University & Research Publications, Wageningen.
- Kiani, A R., & Shaker, M. (2022). Evaluating the effectiveness of pressurized irrigation system in Iran. *Water Management in Agriculture*, 8(2), 167-182. (In Persian)
- Lemenkova, P. (2020). Using R packages ‘t-map’, ‘raster’ and ‘ggmap’ for cartographic visualization: an example of dem-based terrain modelling of Italy, apennine peninsula. *Zbornik radova - Geografski fakultet Univerziteta u Beogradu*, 68, 99-116. 10.5937/zrgfub2068099L
- Pandey, V P., Dhaubanjari, S., Bharati, L., & Thapa, B R. (2020). Spatio-temporal distribution of water availability in Karnali-Mohana Basin, Western Nepal: Climate change impact assessment (Part-B). *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 29, 100691. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100691>
- Shahnoushi, N., Taherpour, H., Fatemi, M., & Allameh, A S. (2020). An investigation on effects of implementing under-pressure irrigation projects on agriculture sector productivity in Khorasan Razavi. *Agricultural Economics*, 13(4), 1-18. <https://doi.org/10.22034/iaes.2020.47190.1332>. (In Persian)
- Tesfaye, K., Sonder, Kai., Cairns, J., Magorokosho, C., Tarekegn, A., Kassie, Girma T., Getaneh, F., Abdoulaye, T., Abate, T., & Erenstein, O. (2016). Targeting drought-tolerant maize varieties in southern Africa: a geospatial crop modeling approach using big data. *International Food and Agribusiness Management Review*, 19(A), 1–18.
- Waga, D., & Rabah, K. (2014). Environmental conditions’ big data management and cloud computing analytics for sustainable agriculture. *World Journal of Computer Application and Technology*, 2(3), 73–81. <https://doi.org/10.13189/wjcat.2014.020303>

پیوست: کدهای مورد نیاز برای ایجاد نقشه و خوشه‌بندی استان‌های کشور

```

library(sf)
library(tmap)
setwd("C:/Users/acer/Documents") #Setting the address of the working directory#
getwd()

iran <- st_read("irn_admbnda_adm1_unhcr_20190514.shp")

centroid<-st_centroid(iran$geometry)
x_y<-st_coordinates(centroid)
iran2<-cbind(iran,centroid)

N<-c("Alb", "Ard", "Bush", "Ch_Bakh", "E_Azar", "Far", "Gil", "Gol", "Ham", "Hor", "Ilam", "Isf", "Ker",
      "Ker_Shah", "Khuz", "Koh_Boy", "Kur", "Lor", "Mark", "Maz", "N_Khor", "Qaz", "Qom", "R_Khor", "Sem",
      "Sist_Bal", "S_Khor", "Teh", "W_Azar", "Yazd", "Zanj")

iran3<-cbind(iran2,N)

newcolumn1<-read.csv("ab1.csv")

library(dplyr)
modifyframe<-bind_rows(replicate(14, iran3, simplify = FALSE))
finalframe1<-cbind(modifyframe,newcolumn1)

library(gifski)
ab1<-tm_shape(finalframe1)+tm_polygons(col="area_covered_hect",palette = "Blues")+
  tm_facets(along = "year", free.coords = FALSE)+
  tm_text("N", remove.overlap = FALSE)+
  tm_compass(type = "8star", position = c("right", "top"),size=5) +
  tm_scale_bar(breaks = c(0, 100, 200), position = c("center", "bottom"),size= 2)

tmap_animation(ab1, filename = "ab3.gif", delay = 120)

ab2<-tm_shape(finalframe1)+tm_polygons(col="percentage",palette = "Blues")+
  tm_facets(along = "year", free.coords = FALSE)+
  tm_text("N", remove.overlap = FALSE)+
  tm_compass(type = "8star", position = c("right", "top"),size=5) +
  tm_scale_bar(breaks = c(0, 100, 200), position = c("center", "bottom"),size= 2)

tmap_animation(ab2, filename = "ab4.gif", delay = 120)

getwd()
data <- read.csv("AB.csv", row.names = 1)
df<- scale(data)
head(df, n = 3)

library(factoextra)
fviz_nbclust(df, kmeans, method = "wss") +geom_vline(xintercept = 0,linetype = 2)
set.seed(123)

km.res <- kmeans(data, 7, nstart = 25)
print(km.res)

fviz_cluster(km.res, data = df,
              ellipse.type = "euclid", # Concentration ellipse
              star.plot = TRUE, # Add segments from centroids to items
              repel = TRUE, # Avoid label overplotting (slow)
              ggtheme = theme_minimal()
)

res.dist <- dist(df, method = "euclidean")
res.hc <- hclust(d = res.dist, method = "ward.D2")
fviz_dend(res.hc, cex = 0.5)

fviz_dend(res.hc, cex = 0.5, k = 7,

```

```
k_colors = "jco", type = "circular")

fviz_dend(res.hc, cex = 0.5, k = 7,          # Cut in seven groups
          k_colors = "jco")

library (cluster)

fviz_nbclust(df, pam, method = "silhouette")+
  theme_classic()

pam.res <- pam(df, 7)
print(pam.res)

fviz_cluster(pam.res,
             ellipse.type = "t",          # Concentration ellipse
             repel = TRUE,              # Avoid label overplotting (slow)
             ggtheme = theme_classic()
)

library(hopkins)
# Compute Hopkins statistic
set.seed(123)
hopkins(df)

fviz_dist(dist(df), show_labels = FALSE)
```