Research Paper

Predicting the Impacts of the Changes in Crop Pattern on Water Table Level and Electrical Conductivity of an Unconfined Aquifer Using a Bayesian Decision Network

Mohammad Riki[1], Amir Sadoddin[2]*, Vahedberdi Sheikh[2], Chooghi Bairam Komaki[3]

1. Graduate M.Sc. of Watershed Management, Faculty of Rangeland and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources, Gorgan, Iran
2. Associate Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Rangeland and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources, Gorgan, Iran
3. Assistant Professor, Department of Arid Zone Management, Faculty of Rangeland and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources, Gorgan, Iran

Received: 2021/02/05
Revised: 2021/03/11
Accepted: 2021/04/23

Use your device to scan and read the article online

DOI:
10.30495/wej.2022.27247.2295

Keywords:
Crop pattern management, unconfined aquifer management, Bayesian Decision Networks (BDN), Netica software, the Ali-Abad region (Golestan Province)

Abstract

Introduction: The aim of this research is to predict the effects of cropping pattern changes on the water table level and electrical conductivity of an unconfined aquifer in the Ali-Abad region using a Bayesian Decision Network (BDN) as an integrated approach.

Methods: A conceptual model framework illustrating the relationship among variables in the system was developed and three management scenarios of crop pattern (current condition, high water demand crops, and low water demand crops) were considered for the study area. Marginal probability, Conditional Probability Tables (CPTs) and total probabilities were characterized using observed data, results of CROPWAT model simulation, and expert knowledge. The Netica software was used to run the Bayesian model and to analyze the sensitivity of the model with two criteria namely reduction of variance and belief variance.

Findings: The analysis shows that the probability of groundwater depletion occurring for low water requirement crops will be about five per cent less than that in the current condition. The probability of improvement in electrical conductivity for low water requirement crops will be about two per cent greater than that for the current crop pattern. The sensitivity analysis of the Bayesian model shows that the water requirement of crops plays an important role in unconfined aquifer's characteristics. The results demonstrate that the BDNs are capable to help planners for improved management of groundwater resources by predicting and displaying the effects of crop pattern changes on the quantitative and qualitative characteristics of unconfined aquifers in a probabilistic context.

Citation: Riki M, Sadoddin A, Sheikh V. Komaki Ch. B. Predicting the Impacts of the Changes in Crop Pattern on Water Table Level and Electrical Conductivity of an Unconfined Aquifer Using a Bayesian Decision Network. Water Resources Engineering Journal. 2022;14 (51):99-110

***Corresponding author:** Amir Sadoddin
Address: Department of Watershed Management, Faculty of Range and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources, Gorgan, Iran
Tell: +98911 275 0232
Email: amir.sadoddin@gmail.com / amir.sadoddin@gau.ac.ir

Extended Abstract

Introduction

The groundwater resources play a key role for human life, particularly in arid and semi-arid regions such as many places across the country of Iran. Due to the inherent water shortage from one hand, and the population growth and socio-economic development on the other hand, the prolonged overextraction of groundwater resources has led to many economic, social, and environmental challenges. To this end, policy-makers and decision-making authorities are seeking solutions to improve the land and water quality. There are a variety of solutions, most of them with considerable uncertainty in their effectiveness resulting in difficulty in decision-making. The Bayesian Decision Networks (BDNs) provide a useful tool to support the decision-makers by predicting the effects of many solutions (options) while computing the related uncertainties. The aim of this research is to predict the effects of cropping pattern changes on the water table level and electrical conductivity of an unconfined aquifer in the Ali-Abad region using a BDN as an integrated approach.

Materials and Methods

The study area in this research is Aliabad plain in the Golestan province in northeast of Iran. This plain, with an area of about 37000 ha, is under intensive irrigated agriculture through digging many shallow wells and over-extracting the unconfined aquifers resulting in groundwater depletion and emergence of groundwater salinization due to likely intrusion of brackish groundwaters. This can turn into a severe crisis if suitable land and water management policies, strategies, and actions are not implemented by the authorities and local farmers. Due to the complexity of land and water management systems and uncertainties in decisions, a BDN was designed and implemented. To this end, a conceptual model framework illustrating the relationship among variables in the system was developed and three management scenarios of crop pattern (current condition, high water demand crops, and low water demand crops) were considered for the study area. The current condition was considered as the mean area of the cultivated crops during the last five years. For the high-water demand scenario, the area of rice cultivation in paddy fields and rapeseed cultivation has been increased, and for the low water demand scenario, the area of soybean and wheat cultivation has been increased. The water requirement for all crops and scenarios has been estimated using the CROPWAT model. Marginal probability, Conditional Probability Tables (CPTs) and total probabilities were characterized using observed data, results of CROPWAT model simulation, and expert knowledge. The Netica software was used to run the Bayesian model and to analyze the sensitivity of the model with two criteria namely reduction of variance and belief variance. Moreover, the groundwater table and the electric conductivity fluctuation for the unconfined aquifers were estimated according to each scenario.

Findings

The results of water demand calculation show that the least water demand has been occurred in water year 1992 and the most demand has been occurred in water year 1996. The trend analysis of groundwater table recorded in the piezometric wells of the study area during 1992-2013 indicates that the aquifer depletion has been occurred across whole the studied plain. However, the rate of depletion has high variation ranging between -0.02 and -16.72 m, with an area average of -4.42 m. The diurnal fluctuation is more pronounced in the southern part of the study area. The largest rise in the water table occurs at beginning of spring and the largest

fall in the water table occurs at the beginning of autumn. Consequently, the lowest EC occurs in April and the highest EC occurs in November.

The results of the BDN analysis show that the probability of groundwater depletion occurring for low water requirement crops will be about five per cent less than that in the current condition. The probability of improvement in electrical conductivity for low water requirement crops will be about two per cent greater than that for the current crop pattern. The sensitivity analysis of the Bayesian model shows that the water requirement of crops plays an important role in unconfined aquifer's characteristics. The results demonstrate that the BDNs are capable to help planners for improved management of groundwater resources by predicting and displaying the effects of crop pattern changes on the quantitative and qualitative characteristics of unconfined aquifers in a probabilistic context.

Discussion

Comparing the results of three water demand scenarios indicated that implementation of the low water demand crops across the study area will improve the physical and chemical condition of the groundwater resources. While sticking to the business-as-usual strategy (the current scenario) will deteriorate the groundwater resources condition in future. Of course, intending to shift towards the cultivation of the high-water demand crops will worsen the condition. In fact, by increasing the cultivated area of the wheat and soybean and decreasing the cultivated area of the rice and rapeseed, the groundwater pumping will decline. This will lead to decline in groundwater withdrawal and the rate of water table drawdown, which consequently will result in improvement of the physical and chemical properties of the shallow unconfined aquifers. Therefore, the local authorities and farmers, by implementing an appropriate cultivation approach, can play an important role in improving and sustaining of the very vital groundwater resources which are currently experiencing threatening and glooming condition. To this end, using efficient technical analysis tools such as BDNs can be of prominent support for decision makers.

Conclusion

The main conclusions of this study are:

- Keeping on the current condition of crop cultivation or increasing the area of high-water demand crops will deteriorate the physical and chemical properties of the shallow unconfined aquifers of the study area.
- Increasing the cultivated area of low water demands such as wheat and soybean will result in improvement of the physical and chemical properties of the groundwater resources.
- BDN provides an appropriate analysis tool to soil and water related authorities.

Ethical Considerations compliance with ethical guidelines

The cooperation of the participants in the present study was voluntary and accompanied by their consent.

Funding

Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources

Authors' contributions

Design and conceptualization: Amir Sadoddin, and Mohammad Riki
Methodology and data analysis: Mohammad Riki, Amir Sadoddin, Vahedberdi Sheikh and Chooghi Bairam Komaki
Supervision and final writing: Mohammad Riki, and Amir Sadoddin

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

مقاله پژوهشی

پیش‌بینی اثرات تغییر الگوی کشت بر سطح ایستابی و هدایت الکتریکی آبخوان آزاد با استفاده از شبکه تصمیم بیزی

محمد ریکی[۱]، امیر سعدالدین[۲*]، واحدبردی شیخ[۲]، چوقی بایرام کمکی[۳]
۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۲. دانشیار گروه آبخیزداری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۳. استادیار گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۱۷
تاریخ داوری: ۱۳۹۹/۱۲/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۰۳

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید

DOI:
10.30495/wej.2022.27247.2295

واژه‌های کلیدی:
مدیریت الگوی کشت، مدیریت آبخوان آزاد، شبکه‌های تصمیم بیزی، نتیکا، منطقه علی‌آباد استان گلستان.

چکیده

مقدمه: کاربردهای شبکه‌های بیزی سبب شده است تا به‌عنوان ابزاری قدرتمند برای تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری در حل مسائل منابع طبیعی و زیست‌محیطی گسترش پیدا کنند. هدف از تحقیق حاضر پیش‌بینی اثرات تغییر الگوی کشت بر سطح ایستابی و هدایت الکتریکی آبخوان آزاد در منطقه علی‌آباد استان گلستان از طریق به‌کارگیری رویکرد تلفیق شبکه‌های تصمیم بیزی است.

روش: به‌عنوان اولین گام چارچوب مدل مفهومی و نحوه ارتباط بین متغیرهای آن ترسیم شد و برای منطقه موردمطالعه، سه سناریوی مدیریتی الگوی کشت (الگوی کشت وضع موجود، الگوی کشت با نیاز آبی بالا و الگوی کشت با نیاز آبی کم) تعریف شدند. احتمالات وقوع اولیه، جداول احتمال شرطی و احتمالات کل با استفاده از داده‌های مشاهداتی، نتایج مدل CROPWAT و نظرات کارشناسی تعیین شدند. برای اجرای مدل بیزی و آنالیز حساسیت مدل با دو معیار کاهش واریانس و واریانس باور از نرم‌افزار Netica استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج پیش‌بینی اثرات سناریوهای الگوی کشت نشان داد برای الگوی کشت با نیاز آبی کم، میزان احتمال وقوع سطح ایستابی با وضعیت افزایشی حدود پنج درصد نسبت به الگوی کشت وضع موجود افزایش خواهد یافت. همچنین برای الگوی کشت با نیاز آبی کم، میزان احتمال وقوع هدایت الکتریکی با وضعیت بهبود، حدود دو درصد نسبت به میزان احتمال آن در الگوی کشت وضع موجود، افزایش خواهد داشت. آنالیز حساسیت مدل بیزی نشان می‌دهد نیاز آبی نقشی تأثیرگذار در تغییر خصوصیات آبخوان آزاد دارد. نتایج حاکی از آن است که شبکه‌های تصمیم بیزی قادرند با پیش‌بینی و ارائه اثرات تغییر الگوی کشت بر خصوصیات کمی و کیفی آبخوان آزاد در یک محیط احتمالاتی به برنامه‌ریزان برای مدیریت بهتر منابع آب‌های زیرزمینی کمک کنند.

* **نویسنده مسئول:** امیر سعدالدین
نشانی: گروه آبخیزداری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
تلفن: ۰۹۱۱۲۷۵۰۲۳۲
پست الکترونیکی: amir.sadoddin@gmail.com و amir.sadoddin@gau.ac.ir

مقدمه

تغییرات آب و هوایی در نیمه دوم قرن ۲۱ سبب خواهد شد تا ذخایر آبی جهان ۲۰ درصد کاهش یابد (۱) و افت سطح آب زیرزمینی، تبخیروتعرق آب و نفوذ پساب‌های کشاورزی به زمین سبب خواهد شد تا از طریق زوال کیفیت آب و تأثیر بر کیفیت و کمیت محصولات کشاورزی باعث متروکه شدن مزارع شود (۲). استفاده بی‌رویه و نادرست از منابع آب با کیفیت خوب به این معناست که در آینده، پروژه‌های جدید آبیاری باید از منابع آبی که کیفیت نامناسبی دارند استفاده کنند (۳). در این راستا مدیران آب و خاک برای حفظ تعادل و یا بهبود شرایط در یک منطقه راهکارهای متفاوتی را پیش‌رو دارند. شبکه‌های تصمیم بیزی (BDNs)[1] به دلیل ساده کردن نمایش متغیرهای یک سیستم پیچیده با رسم شبکه‌های ترسیمی و همچنین مدل‌های احتمالاتی بودن در قالب تئوری‌های احتمال، در فرآیند مدیریت منابع آب‌وخاک که سرشار از فاکتورها و متغیرهای پیچیده است مزیت بسیار مهمی برای مدیریت عدم قطعیت برای مدیران به شمار می‌رود (۴). کاستلتی و سانسینی (۲۰۰۶)، سه کاربرد مدل‌سازی، سیستم پشتیبان تصمیم (DSS)[2] و ابزاری بصری برای خلاصه کردن خروجی‌های مدل را برای شبکه‌های تصمیم بیزی معرفی کردند (۵). کاربردهای شبکه‌های بیزی سبب شده است تا به‌عنوان ابزاری قدرتمند برای تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری در حل مسائل منابع طبیعی و زیست‌محیطی گسترش پیدا کنند (۴).

مولینا و همکاران (۲۰۱۳)، شبکه‌های بیزی پویا (DBNs)[3] را به‌عنوان یک ابزار پشتیبان تصمیم برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر سیستم آبخوان Serral-Salinas موردبررسی قرار دادند. در این پژوهش سیستم پشتیبان تصمیم برای ارزیابی اثرات سناریوهای مختلف تغییر اقلیم در سیستم آبخوان که با برداشت شدید آب زیرزمینی در ۳۰ سال گذشته تحت تأثیر قرار گرفته، توسعه داده شد. نتایج نشان داد سیر تکامل ذخیره‌سازی آبخوان برای هر گام زمانی آینده، تحت شرایط متفاوت تغییر اقلیم و تحت مداخلات کنترل‌شده مدیریت آب می‌باشد (۶). صادقی حصار و همکاران (۲۰۱۲) بارش ماهانه را با استفاده از شبکه‌های بیزی در استان خراسان پیش‌یابی نموده و قابلیت شبکه بیزی در تخمین رواناب براساس آمار و اطلاعات بارندگی ماهانه را با الگوریتم یادگیری جستجوی تابو در نرم‌افزار Netica موردبررسی قرار داده و نشان دادند که شبکه بیزی روش مفیدی در تخمین رواناب است (۷). کارمونا و همکاران (۲۰۰۹) برای تهیه یک طرح مدیریت جامع منابع آب در اسپانیا، از مدل شبکه بیزی به همراه یک مدل اقتصاد کشاورزی استفاده کردند. نتایج نشان داد که شبکه تصمیم‌گیری بیزی به عنوان یک سیستم پشتیبانی تصمیم، در نمایاندن و در نظر داشتن رویکردهای مختلف مصرف آب تواناست و می‌تواند با در نظر گرفتن نظرات مصرف‌کنندگان و کارشناسان خبره آب، به بهبود امر تصمیم‌گیری در مدیریت منابع آب و افزایش مشارکت عمومی در منطقه بپردازد (۸). هنریکسن و بارلب (۲۰۰۸) در تحقیقی بازتاب‌های استفاده از شبکه بیزی را برای مدیریت تطبیقی در چهار منطقه دانمارک، ایتالیا، اسپانیا و ایالت کینگ‌دام به صورت موردی بررسی کردند. نتایج نشان داد که شبکه بیزی به‌عنوان ابزاری مفید برای مدیریت آب‌های زیرزمینی همراه با مشارکت مردم می‌باشد (۹). لی و همکاران (۲۰۲۱) مطالعه‌ای با هدف ارزیابی کاربرد مدل‌های شبکه بیزی برای پیش‌بینی غلظت تری‌هالومتان‌ها و طبقه‌بندی محصولات ضدعفونی‌کننده هالوژنه غالب، با استفاده از پارامترهای مختلف کیفیت آب برای سامانه‌های توزیع آب آشامیدنی انجام دادند. نتایج نشان داد با استفاده از شبکه‌های بیزی می‌توان با اطمینان بیشتر غلظت بالقوه تری‌هالومتان‌ها را در سامانه‌های توزیع پیش‌بینی کرد. همچنین پیشنهاد دادند روش استفاده‌شده در مطالعه را برای پیش‌بینی تری‌هالومتان‌ها در سایر سامانه‌های توزیع آب آشامیدنی استفاده شود (۱۰). هاکونسون و همکاران (۲۰۲۰) حجم زیستی سیانوباکتری را با استفاده از ترکیب مدل پواسون–گاما و مدل بیزی از طریق دما و رسانایی آب پیش‌بینی کردند. نتایج نشان داد که مدل برای استفاده در محل پتانسیل دارد و پیش‌بینی زیست‌توده سیانوباکتری را بر اساس دو متغیر اندازه‌گیری شده (دما و رسانایی) فعال می‌کند و برای سامانه‌های هشدار زودرس و استراتژی‌های مدیریت ابزاری مفید می‌سازد (۱۱). ژی و همکاران (۲۰۱۹) کیفیت آب سطحی رودخانه کینجو را با هدف ایجاد یک روش جدید ارزیابی کیفیت آب مبتنی بر شبکه بیزی مطالعه کردند. نتایج نشان داد از روش شبکه بیزی می‌توان برای ارزیابی سریع کیفیت آب استفاده کرد به‌طوری‌که روند ارزیابی ساده و سریع باشد و یک مبنای قابل‌اعتماد برای ارزیابی سریع کیفیت کلی حوزه رودخانه ارائه دهد و داده‌های هیدرولوژیکی کامل‌تری را برای مدیریت محیط آب فراهم کند (۱۲). مهاجرانی و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی مدیریت بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی با استفاده از شبکه تصمیم‌گیری بیزی را در دشت کردکوی واقع در استان گلستان موردمطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که شبکه تصمیم‌گیری بیزی در مدیریت بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی، روشی کاربردی و مؤثر می‌باشد که با مفهوم احتمالاتی، عدم قطعیت‌های موجود را در نظر می‌گیرد (۱۳). سعدالدین و همکاران (۲۰۱۶) پژوهشی بر روی مدیریت خشک‌سالی کشاورزی با استفاده از مدل تصمیم بیزی برای گندم دیم در شرق استان گلستان انجام دادند. نتایج نشان داد که رویکرد مدل تصمیم بیزی می‌تواند ابزاری مفید و ارزشمند برای نمایش سیستم به‌صورت یکپارچه و تلفیق نمودن خروجی‌های حاصل از مدل‌ها و نظرات کارشناسی باشد و برای ارزیابی نتایج اقدامات که لازمه تصمیم‌سازی است مورداستفاده قرار گیرد و نیز برای نمایش عدم قطعیت در خروجی‌ها به کار رود (۱۴). تالدبارگ و همکاران (۲۰۱۳) شبکه‌های باور بیزی را برای تعیین کمیت و نقشه ریسک[4] تهدید خاک در اسکاتلند به کار بردند. نتایج نشان داد که شبکه باور بیزی این امکان را فراهم می‌کند تا داده‌های در دسترس مطالعات استاندارد خاک و پایگاه داده کاربری زمین با دانش تخصصی کیفی ترکیب شده و شرح روشنی برای عدم قطعیت در ارزیابی ریسک ارائه شود (۱۵). بهنودی (۱۳۹۱) برای پیش‌بینی اثرات بیوفیزیکی و اقتصادی – اجتماعی اقدامات مدیریتی بیومکانیکی در آبخیز چهل‌چای استان گلستان از مدل

1 Bayesian Decision Networks
2 Decision Support Systems
3 Dynamic Bayesian Networks
4 Risk map

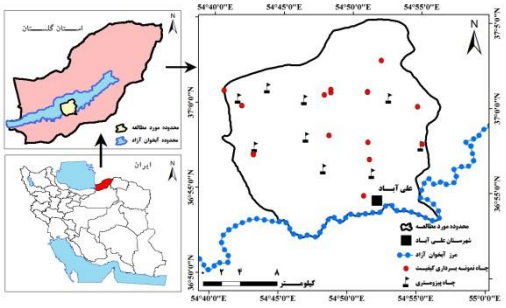
تصمیم بیزی استفاده کرد. نتایج تحقیق نشان داد که مدل تصمیم بیزی به‌عنوان رویکردی کاربردی و سودمند در مدیریت یکپارچه منابع طبیعی کارایی دارد و برای بیان تعامل‌های نسبتاً پیچیده در سامانه‌های طبیعی در شرایط فقدان، کمبود و یا غیرقابل‌اعتماد بودن داده‌ها مناسب می‌باشد (۱۶). مولینا و همکاران (۲۰۱۰) مدل‌سازی مدیریت جامع منابع آب سامانه‌های هیدرولوژیکی را با استفاده از شبکه‌های بیزی شیءگرا[5] انجام دادند. نتایج نشان داد که می‌توان از این رویکرد برای ارزیابی اثرات طیف وسیعی از استراتژی‌های مدیریت آب که در دسترس برنامه‌ریزان محلی است استفاده کرد (۱۷). تایس‌هرست و همکاران (۲۰۰۷) برای دستیابی به توسعه پایدار در دریاچه‌های ساحلی واقع در جنوب شرقی استرالیا از رویکرد بیزی استفاده کردند. آنان دریافتند که دریاچه‌های ساحلی، اکوسیستم‌های توانایی در ایجاد منافع اکولوژیکی، اقتصادی و اجتماعی هستند اما با توسعه شهری در حال تخریب می‌باشند، بنابراین برای مدیریت آن‌ها نیاز به یک رویکرد تلفیقی است که پیچیدگی کمتری داشته باشد. ایشان درنهایت به این نتیجه رسیدند که شبکه بیزی مدلی مناسب برای مدیریت حال و آینده در منطقه محسوب می‌شود (۱۸).

مطالعه حاضر هم در موضوع و هم در روش انجام تحقیق نوآوری دارد و با استفاده از رویکرد شبکه تصمیم بیزی به پیش‌بینی اثرات تغییر الگوی کشت بر کمیت و کیفیت آبخوان آزاد می‌پردازد و با استفاده از رویکرد سناریوسازی و پیش‌بینی اثرات اجرایی احتمالی سناریوهای مختلف قبل از اجرای آن‌ها زمینه انتخاب سناریو و یا سناریوهای برتر مدیریتی را فراهم می‌سازد.

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه

منطقه موردمطالعه، آبخوان آزاد واقع‌شده در پهنه دشتی منطقه علی‌آباد استان گلستان با مساحتی حدود ۳۷۰۰۰ هکتار است. منطقه علی‌آباد استان گلستان به دلیل افزایش رو به رشد سطح زیرکشت اراضی کشاورزی، رشد حفر چاه‌های کم‌عمق و بهره‌برداری فزاینده از آبخوان آزاد به‌واسطه چاه‌های کم‌عمق، کاهش سطح ایستابی آبخوان آزاد، کاهش کیفیت آبخوان آزاد به‌نحوی‌که برای مصارف کشاورزی در محدوده شور و خیلی شور است با بحران جدی در زمینه منابع آب زیرزمینی مواجه است که در صورت اعمال بهره‌برداری‌های مدیریت نشده از آب‌های زیرزمینی و کشت غیراصولی زمین‌های کشاورزی، امکان پیشروی آب خیلی شور به طرف آب‌شور وجود دارد و باعث بروز خسارات جبران‌ناپذیر ازجمله فقدان منابع آب زیرزمینی مطلوب و رها شدن اراضی زراعی در منطقه علی‌آباد استان گلستان خواهد شد (۴). موقعیت جغرافیایی، محدوده آبخوان آزاد، موقعیت چاه‌های نمونه‌برداری کیفیت آبخوان و چاه‌های پیزومتری در شکل (۱) نشان داده‌شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی، محدوده آبخوان آزاد و موقعیت چاه‌های نمونه‌برداری کیفیت و پیزومتری

مدل شبکه بیزی

مدل بیزی توسط توماس بیز[6] (۱۷۰۲-۱۷۶۱) به وجود آمد و اساس شبکه‌های بیزی بکار بستن تئوری بیز شده است. رابطه (۱) این تئوری را نشان می‌دهد (۱۹). ساختار شبکه بیزی در واقع یک نمایش گرافیکی از اثرات متقابل متغیرهایی است که باید مدل شوند و علاوه بر اینکه کیفیت رابطه بین متغیرهای مسئله را نشان می‌دهد، کمیت ارتباط بین این متغیرها را نیز به نمایش می‌گذارد که به‌صورت عددی از توزیع احتمال مشترک[7] آن‌ها استفاده می‌کند (۲۰).

$$P(A|B)=\frac{P(B|A)*P(A)}{P(B)} \qquad (۱)$$

در رابطه (۱) $P(A)$: احتمال وقوع پیشامد A (احتمال پیشین[8])، $P(B)$: احتمال وقوع پیشامد B (احتمال پیشین)، $P(A|B)$: احتمال وقوع پیشامد A به شرطی که پیشامد B اتفاق افتاده باشد (احتمال پسین[9])، $P(B|A)$: احتمال وقوع پیشامد B به شرطی که پیشامد A رخ داده باشد (تابع تشابه[10]) (۲۱).

تشکیل چارچوب مدل و ساخت مدل مفهومی، اولین قدم در ساختن مدل بیزی است و تعیین تعداد کلاس برای گره‌های (متغیر) شبکه بعد از تشکیل چارچوب مدل اتفاق می‌افتد. پس از تعیین تعداد کلاس‌ها برای ایجاد اتصال بین گره‌ها، تعریف و تعیین گره‌های والد و فرزند، الزامی است. چگونگی و احتمال ارتباط بین این دو دسته گره به‌وسیله جداول احتمال شرطی (CPTs)[11] تشریح می‌گردد. منابع مختلفی از اطلاعات به‌منظور ایجاد احتمالات شرطی و توزیع متغیرها به کار گرفته می‌شود که به‌منظور سهولت در محاسبات توزیع احتمال شرطی به‌وسیله جدول احتمال شرطی تنظیم می‌شود. سه راه وجود دارد که بتوان اطلاعات این جداول را به دست آورد: استفاده از داده‌های مشاهداتی، داده‌های خروجی از مدل شبیه‌سازی و قضاوت کارشناسی (۲۲).

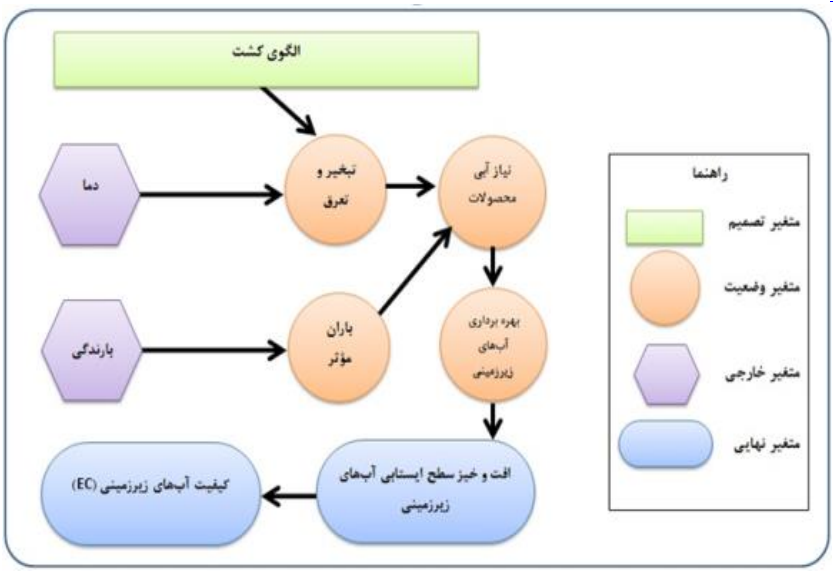
تدوین مدل مفهومی مدیریت منابع آب زیرزمینی منطقه علی‌آباد

اولین گام در ساخت شبکه تصمیم بیزی تدوین چارچوب و ساخت مدل مفهومی از سامانه‌ای است که قرار است مدل شود. درواقع مدل مفهومی

5 Object-Oriented Bayesian Networks (OOBNs)
6 Thomas Bayes
7 Joint Probability
8 Prior Probability
9 Posterior Probability
10 Likelihood function
11 Conditional Probability Tables

نمایش ساده‌ای از یک سیستم پیچیده است که رفتار سیستم را به‌صورت کلی نشان می‌دهد (۴). مدل مفهومی می‌تواند در قالب روابط علت و معلولی، ساختار سیستم موردمطالعه را به‌خوبی نشان دهد. در ساخت مدل مفهومی باید اهداف و مقیاس‌های مدل، همچنین نیازها و نگرانی‌های ذینفعان را در نظر داشت. مدل مفهومی با روشن کردن مفاهیم سیستم و شناسایی تقدم در انجام اقدامات، ضعف‌های دانش موجود را پر می‌کند (۲۳).

شکل (۲) مدل مفهومی شبکه بیزی را نشان می‌دهد که بر مبنای نظرات کارشناسی و میزان داده‌های در دسترس ساخته‌شده است. برای طراحی مدل تصمیم بیزی برای مدیریت آب‌زیرزمینی در منطقه علی‌آباد براساس چهارچوب مدل مفهومی طراحی‌شده با توجه به نظر کارشناسان، متغیرهای شبکه تعریف شدند و ارتباط بین آن‌ها با استفاده از پیوند مشخص شد.



شکل ۲- مدل مفهومی مدیریت منابع آب‌زیرزمینی تحت شرایط تغییر الگوی کشت در منطقه علی‌آباد

برای ساخت نمودار تأثیر مدل تصمیم بیزی و محاسبه روابط احتمالاتی و تشکیل جداول احتمالات شرطی بین متغیرها در این تحقیق از نرم‌افزار نتیکا استفاده شد. برای پیش‌بینی اثرات تغییر الگوی کشت با استفاده از مدل تصمیم بیزی در منطقه موردمطالعه از سه منبع داده‌های واقعی، نتایج مدل و نظرات کارشناسی استفاده شد (جدول ۱).

جدول ۱- مشخصات متغیرهای مدل تصمیم بیزی منطقه علی‌آباد استان گلستان

ردیف	نام متغیر	نوع متغیر	منبع	روش
۱	سناریوهای تغییر الگوی کشت	تصمیم	سطح زیرکشت سالانه محصولات، نظرات مردمی و بازدید از منطقه	نظر کارشناسی
۲	نیاز آبی	وضعیت	تبخیر-تعرق (میانگین دمای حداکثر، دمای حداقل، رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعات آفتابی)، بارش مؤثر (بارندگی ماهانه)	مدل CROPWAT
۳	سطح ایستابی آبخوان آزاد	نهایی	تغییرات ماهانه سطح ایستابی چاه‌های پیزومتری	هیدروگراف معرف
۴	کیفیت (هدایت الکتریکی) آبخوان آزاد	نهایی	تغییرات اردیبهشت و آبان ماه چاه‌های نمونه‌گیری	داده‌های مشاهداتی هدایت الکتریکی و میان‌یابی

تدوین سناریوهای مدیریتی الگوی کشت

سناریوهای مناسب تغییر الگوی کشت برای منطقه علی‌آباد براساس بازدید و مصاحبه حضوری با کشاورزان منطقه، نتایج پایان‌نامه‌های دانشجویان مقطع کارشناسی ارشد گروه مهندسی منابع آب و توصیه-های منابع علمی، نظر کارشناسان واحد اجرا و دانشگاه با توجه به نظرات مردمی به این صورت تدوین گردید که ابتدا میانگین سطح زیرکشت محصولات زراعی پنج سال اخیر به دلیل مشخص شدن رفتار زراعی مردم محاسبه شد و نیاز آبی برای این محصولات برآورد گردید. با توجه به نیاز آبی محصولات زراعی، سطح زیرکشت اراضی و الزامات کشاورزان منطقه علی‌آباد سه سناریو برای منطقه تعریف گردید که در جدول (۲) نحوه تدوین آن‌ها آورده شده است.

جدول ۲- سناریوهای مدیریتی تغییر الگوی کشت پیشنهادی برای منطقه علی‌آباد استان گلستان

شماره	عنوان	میزان تغییرات سطح زیرکشت محصولات زراعی
۱	الگوی کشت وضع موجود	در این سناریو هیچ تغییری در سطح زیرکشت اراضی پیشنهاد نشده است، این سناریو درواقع همان شرایط موجود است که مبنای مقایسه با سناریوهای دیگر محسوب می‌شود.
۲	الگوی کشت با نیاز آبی زیاد*	سه‌چهارم سطح زیرکشت شالی و سویا و نیمی از سطح زیرکشت پنبه، توتون و گوجه‌فرنگی به سطح زیرکشت شالی تخصیص یابد. یک‌چهارم سطح زیرکشت شالی و سویا به سطح زیرکشت سویا تخصیص یابد. سه‌چهارم سطح زیرکشت گندم و کلزا به سطح زیرکشت کلزا و یک‌چهارم به سطح زیرکشت گندم تخصیص یابد.
۳	الگوی کشت با نیاز آبی کم*	سه‌چهارم سطح زیرکشت شالی و سویا و نیمی از سطح زیرکشت پنبه، توتون و گوجه‌فرنگی به سطح زیرکشت سویا تخصیص یابد. یک‌چهارم سطح زیرکشت شالی و سویا به سطح زیرکشت شالی تخصیص یابد. سه‌چهارم سطح زیرکشت گندم و کلزا به سطح زیرکشت گندم و یک‌چهارم به سطح زیرکشت کلزا تخصیص یابد.

* در تدوین سناریوهای ۲ و ۳ سطح زیرکشت محصولات فرعی معادل سطح آن‌ها در وضع موجود (سناریوی ۱) لحاظ شده است.

برآورد نیاز آبی

جهت تعیین دقیق متغیر نیاز آبی از نرم‌افزار جامع CROPWAT استفاده‌شده است. از بین روش‌های تجربی متعدد ارائه‌شده برای محاسبه تبخیروتعرق گیاه مرجع، در سال ۱۹۹۰ از سوی ICID[12] و FAO[13] روش فائو پنمن– مونتیث به عنوان تنها روش استاندارد برای محاسبه تبخیروتعرق گیاه مرجع از روی داده‌های اقلیمی و همچنین برای ارزیابی سایر روش‌ها پیشنهادشده است (۲۴). نرم‌افزار CROPWAT برای محاسبه تبخیروتعرق گیاه مرجع از روش فائو پنمن- مونتیث استفاده می‌کند و پارامترهای تبخیروتعرق مرجع، تبخیروتعرق گیاه، باران مؤثر و نیاز آبی محصول را شبیه‌سازی می‌کند. برای محاسبات ترتیب و طول نسبی دوره‌های مختلف رشد برای گیاهان مختلف از جداول ارائه‌شده در نشریه فائو ۵۴ برداشت شد و با دوره‌های مختلف رشد در منطقه مطالعاتی مورد مقایسه قرار گرفت و درنهایت تعداد روزهای رشد در مراحل مختلف رشد گیاهی با نظر کارشناسی تعدیل گردید و مورداستفاده قرار گرفت. مقادیر ضریب رشد گیاهی برای محصولات مختلف از نشریه فائو ۵۶ استخراج شد و با توجه به مقادیر سرعت باد در ارتفاع دو متری، حداقل رطوبت نسبی در دوره رشد و میانگین ارتفاع گیاه در منطقه مطالعاتی برای هرسال اصلاح گردید. جهت اصلاح ضرایب رشد در دوره‌های میانی و انتهایی از معادلات ارائه‌شده در نشریه فائو ۵۶ استفاده‌شده است. در تحقیق حاضر با استفاده از آمار داده‌های اقلیمی ایستگاه سینوپتیک گرگان شامل میانگین دمای حداقل، دمای حداکثر، سرعت باد، رطوبت نسبی و ساعات آفتابی برای محاسبه تبخیر–تعرق محصولات از سال زراعی ۱۳۷۱–۱۳۷۲ تا ۱۳۸۳–۱۳۸۴ استفاده شد. همچنین در این دوره زمانی برای محاسبه بارندگی مؤثر از داده‌های ایستگاه باران‌سنجی فاضل‌آباد استفاده گردید؛ و در بازه زمانی ۱۳۸۵–۱۳۸۴ تا ۱۳۹۲–۱۳۹۱ به دلیل راه‌اندازی ایستگاه سینوپتیک علی‌آباد از داده‌های این ایستگاه برای محاسبات نیاز آبی محصولات استفاده گردید.

تغییرات سطح ایستابی آبخوان آزاد

هیدروگراف واحد (معرف) آبخوان: برای بررسی روند افت‌وخیز سطح تراز آب‌های زیرزمینی لازم است تا هیدروگراف واحد سطح تراز آب‌های زیرزمینی رسم گردد تا بتوان به‌وسیله آن روند تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی منطقه را در طول زمان مشاهده و بررسی نمود. هیدروگراف معرف آبخوان از رابطه (۲) به دست می‌آید.

$$h_p(y,m)=\lambda_1 * h_{w1}(y,m)+\ldots+\lambda_n * h_{wn}(y,m) \quad (۲)$$

$h_p(y,m)$ = تراز آبخوان در سال y و ماه m، $\lambda_1,\lambda_2,\ldots,\lambda_n$ = وزن چاه‌های مشاهده‌ای $w_1, w_2, \ldots, w_n$، $h_{w1}(y,m)$ = تراز چاه مشاهده‌ای w_1 در سال y و ماه m، $h_{wn}(y,m)$ = تراز چاه مشاهده‌ای w_n در سال y و ماه m.

وزن چاه‌ها براساس مساحت تحت پوشش هر چاه مشاهده‌ای نسبت به مساحت آبخوان تعیین می‌شود. مساحت تحت پوشش هر چاه به کمک چندضلعی‌های تیسن[14] محاسبه می‌شود. وزن‌های محاسبه‌شده را در رابطه (۲) جایگزین کرده و می‌توان در محیط نرم‌افزارهای محاسباتی نظیر اکسل[15] ابعاد هیدروگراف معرف آبخوان را براساس تراز ماهانه سال‌های مختلف به دست آورده و شکل هیدروگراف آن را ترسیم کرد. در ترسیم هیدروگراف معرف آبخوان معمولاً از آمار و اطلاعات چاه‌ها استفاده می‌شود؛ بنابراین اولاً آمار چاه‌ها تا حد امکان درازمدت باشد و ثانیاً از صحت‌وسقم آمار فوق اطمینان حاصل‌شده است (۲۵).

تغییرات ذخیره: تغییرات ذخیره در آبخوان آبرفتی عبارت است از مجموع ورودی (تغذیه) منهای مجموع خروجی (تخلیه) که می‌تواند مثبت و یا منفی باشد که از روابط (۳ و ۴) تعیین می‌گردد.

$$Input-Output=\Delta V \quad (۳)$$

$$\Delta V=S*A*\Delta h \quad (۴)$$

که ΔV تغییرات حجم ذخیره آبخوان برحسب میلیون مترمکعب در سال، A وسعت آبخوان آبرفتی (ناحیه بیلان) برحسب کیلومترمربع،

12 International Committee of Irrigation and Drainage
13 Food and Agricultural Organization
14 Thiessen
15 Excel

Δh نوسانات سطح آب‌زیرزمینی آبخوان برحسب متر و S ضریب ذخیره آبخوان است. ضریب ذخیره آبخوان سطحی (آبخوان آزاد) دشت گرگان – گنبد براساس محاسبات بیلان ۵ درصد برآورد شده است (۲۶). در تحقیق حاضر با استفاده از تغییرات سطح ایستابی چاه‌های پیزومتری، هیدروگراف معرف آبخوان به دست آمد. سپس از تفاضل انتها و ابتدای سال آبی، تغییرات سطح ایستابی آبخوان آزاد برای هرسال آبی برای سناریوی وضع موجود محاسبه شد. همچنین برای محاسبه تغییرات سطح ایستابی به ازای اجرای الگوی کشت با نیاز آبی کم و الگوی کشت با نیاز آبی بالا با استفاده از تغییرات سالانه سطح ایستابی و تغییرات سالانه نیاز آبی الگوی کشت وضع موجود، مقادیر تغذیه سالانه دشت موردمطالعه از سال آبی ۱۳۷۲-۱۳۷۱ تا ۱۳۹۲-۱۳۹۱ برای هرسال آبی محاسبه گردید. سپس با استفاده از تغییرات سالانه نیاز آبی دو الگوی کشت مذکور، تغییرات سالانه سطح ایستابی برای ۲۱ سال آبی برآورد گردید.

محاسبات کیفیت آبخوان آزاد

تعیین یک روش مناسب جهت میان‌یابی و پهنه‌بندی داده‌ها نیاز به حجم زیادی از داده‌های کیفی و جغرافیایی دارد. دراین‌بین سامانه اطلاعات جغرافیایی با ظرفیت ذخیره، سازمان‌دهی، آنالیز، بازیابی، نمایش و تهیه خروجی‌های مناسب، به‌عنوان ابزار مناسبی است که می‌تواند محققین را در دستیابی به روش مناسب میان‌یابی و فهم شرایط هیدرولیکی و محیطی کمک نماید (۲۷). از روش‌های مورداستفاده در آمار مکانی می‌توان به کریجینگ[16] و وزن‌دهی فاصله معکوس[17] اشاره نمود (۲۸). وزن دادن عکس فاصله از روش‌های موجود در محدوده آمار قطعی است که کاربرد زیادی در محاسبات مسائل متنوع در علوم مربوط به منابع آب دارد (۲۹). این روش به دلیل سرعت‌بالا و قابل‌قبول بودن دقت در تجزیه‌وتحلیل مسائل آب‌های زیرزمینی از کریجینگ معمولی کاربردی‌تر است (۳۰). در این روش مقدار متغیر در نقاط نمونه‌برداری نشده از رابطه (۵) مشخص شد.

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^{N} \frac{z_i}{d_i^m}}{\sum_{i=1}^{N} \frac{1}{d_i^m}} \qquad (۵)$$

در رابطه (۵) Z مقدار برآورد متغیر نمونه‌برداری نشده، d_i فاصله نقطه نمونه‌برداری شده تا نقطه تخمین، N تعداد کل نمونه‌ها و m توان فاصله (۳۱) در این مطالعه از داده‌های مشاهده‌ای متغیر هدایت الکتریکی ۱۶ حلقه چاه ثبت‌شده در ماه اردیبهشت و آبان ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۱ استفاده شد. با به‌روزرسانی بانک داده و دریافت داده‌های کیفیت آبخوان در خارج از مرز محدوده منطقه موردمطالعه، برای تعیین میانگین شوری آبخوان برای ماه اردیبهشت و آبان هرسال از روش مجذور معکوس فاصله استفاده شد. به دلیل کم بودن نقاط اندازه‌گیری در داخل محدوده مطالعاتی و اطراف منطقه علی‌آباد روش وزن‌دهی فاصله معکوس انتخاب شد.

احتمالات متغیرهای مدل تصمیم بیزی

برای محاسبات احتمالات شرطی متغیرهای مدل تصمیم بیزی از نتایج محاسبات نیاز آبی، تغییرات سطح ایستابی و هدایت الکتریکی به‌صورت سالانه در نرم‌افزار اکسل فرمول نویسی گردید. به‌این‌ترتیب احتمالات شرطی به‌عنوان اولین کلید محاسبات شبکه بیزی به دست آمد. احتمالات کل نیز با استفاده از قانون بیز در نرم‌افزار نتیکا محاسبه شد.

تجزیه‌وتحلیل حساسیت مدل تصمیم بیزی

هدف از انجام تجزیه‌وتحلیل حساسیت شبکه بیزی در این تحقیق، بررسی اثر تغییرات متغیر والد بر متغیر فرزند است. تجزیه‌وتحلیل حساسیت در شبکه بیزی با چندین معیار انجام می‌گردد که معیار اصلی مقایسات، معیار کاهش واریانس[18] است (۱۵) . معیار کاهش واریانس، درواقع کاهش مورد انتظار در واریانس مقادیر مورد انتظار واقعی Q (متغیر موردبررسی[19]) برای رسیدن به یافته F (متغیر در حال تغییر[20]) است. این معیار اطلاعات پیشین یا همان اطلاعات قبلی موجود در شبکه را بیان می‌کند. دامنه تغییرات این معیار در محدوده [0, V(Q)] متغیر است. در این محدوده V(Q) نماینده واریانس مقادیر واقعی Q قبل از هر یافته جدید است. به‌طوری‌که اگر معیار کاهش واریانس صفر باشد به معنی مستقل بودن Q از F است. معیار واریانس باور، مربع تغییرات مورد انتظار باور Q در همه وضعیت‌ها، برای یافتن F می‌باشد. باور درواقع احتمال پسین را نشان می‌دهد. دامنه تغییرات معیار واریانس باور در محدوده [0, 1] متغیر است. به‌طوری‌که اگر صفر باشد به معنی مستقل بودن Q از F است (۳۲) در این تحقیق از دو معیار کاهش واریانس و واریانس باور[21] برای تحلیل حساسیت شبکه تصمیم بیزی استفاده‌شده است. با انجام تجزیه‌وتحلیل حساسیت مدل بیزی، حساسیت متغیرهای فرزند نسبت به والد را شناسایی کرده و در صورت امکان با تغییر در وضعیت متغیر والد می‌توان خروجی مناسب‌تری را مشاهده نمود.

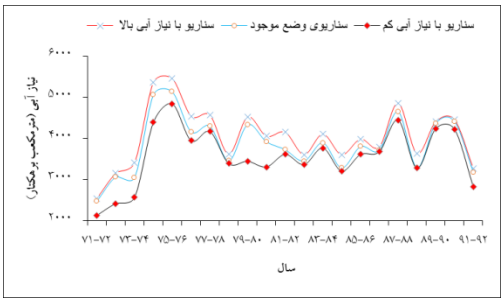
نتایج

مقادیر متغیرهای مدل تصمیم بیزی

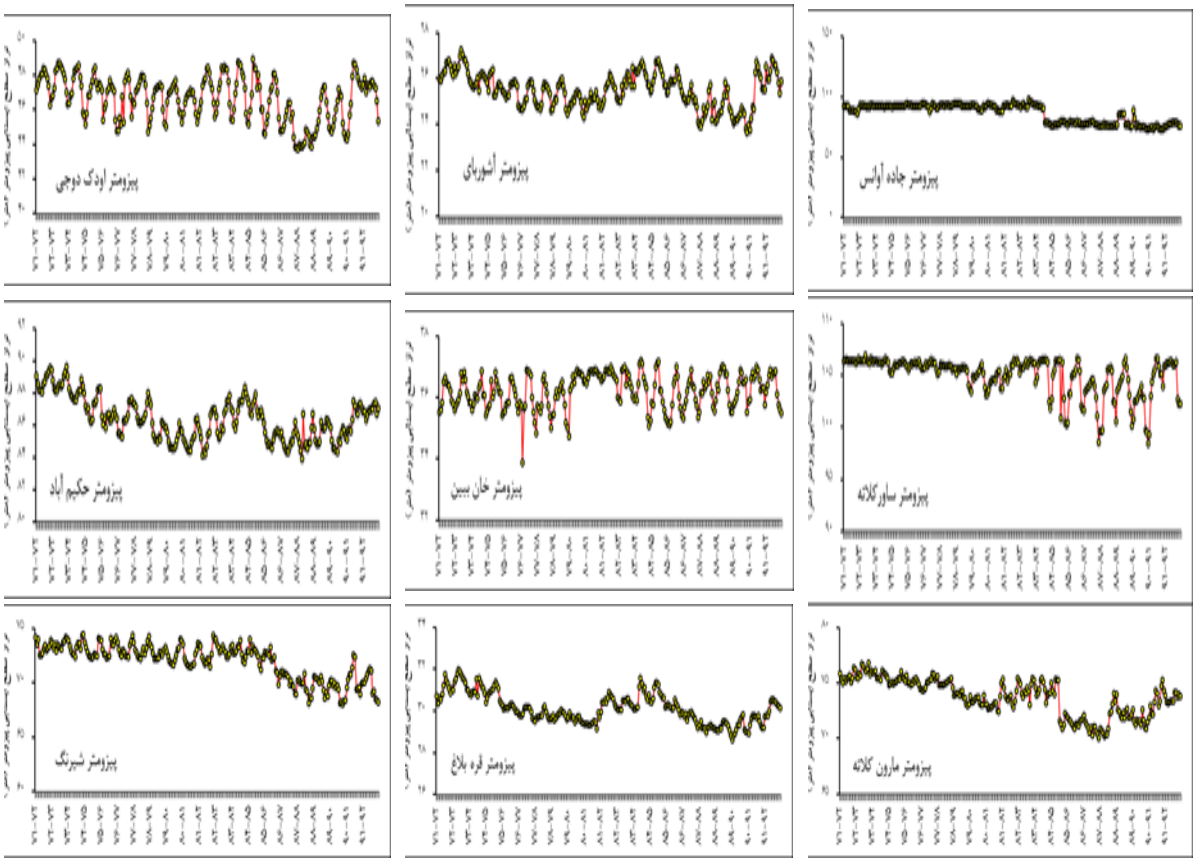
برآورد نیاز آبی سناریوهای تغییر الگوی کشت: برای برآورد نیاز آبی سناریوهای تغییر الگوی کشت، براساس نیاز آبی به‌دست‌آمده برای محصولات هرسال و با در نظر گرفتن مساحت کشت آن‌ها، نیاز آبی نهایی الگوی کشت برای وضع موجود هرسال محاسبه شد. همچنین نیاز آبی الگوی کشت با نیاز آبی بالا و الگوی کشت با نیاز آبی کم با تغییر در سطح زیرکشت محصولات هرسال به همان شیوه‌ای که برای منطقه پیشنهادشده بود محاسبه شد. شکل (۳) جمع‌بندی

16 Kriging
17 Inverse Distance Weighted (IDW)
18 Variance reduction
19 Query variable
20 Varying variable
21 Belief Variance

نهایی و روند تغییرات نیاز آبی سناریوهای تغییر الگوی کشت را نشان می‌دهد.

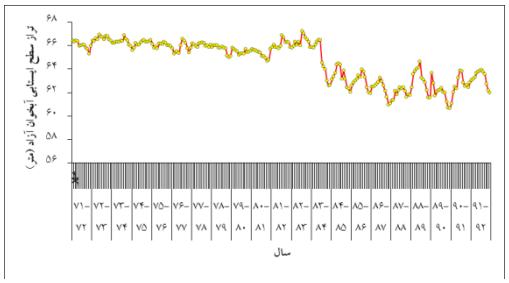


شکل ۳- روند تغییرات نیاز آبی سناریوهای تغییر الگوی کشت طی سال‌های ۱۳۷۱ تا ۱۳۹۱



شکل ٤- هیدروگراف واحد پیزومترهای مختلف شبکه آبخوان آزاد

نتایج تغییر سطح ایستابی هر پیزومتر از مهر ۱۳۷۱ تا شهریور ۱۳۹۲ در هیدروگراف واحد نشان داد چاه‌های سمت جنوبی منطقه نسبت به چاه‌های سمت شمال منطقه دارای نوسانات سطح ایستابی بیشتری هستند. همچنین بیشترین تغییر در تراز سطح ایستابی پیزومتر جاده آوانس با ۱۶/۷۲- متر و کمترین تغییر در تراز سطح ایستابی پیزومتر خان‌بیین با ۰/۰۲- اتفاق افتاده است و این یعنی در تمام پهنه دشت کاهش سطح آب‌های زیرزمینی آبخوان آزاد اتفاق افتاده است.



شکل ۱- هیدروگراف معرف آبخوان آزاد دشت علی‌آباد

هیدروگراف معرف آبخوان آزاد (شکل ۵) نشان می‌دهد که بیشترین کاهش سطح ایستابی در سال آبی ۱۳۸۴-۱۳۸۳ (۳/۲- متر) و بیشترین نتایج نشان می‌دهد در سال زراعی ۱۳۷۶-۱۳۷۵ بیشترین نیاز آبی و در سال زراعی ۱۳۷۲-۱۳۷۱ کمترین نیاز آبی برای هر سه سناریو برای محصولات اتفاق افتاده است.

تغییرات سطح ایستابی آبخوان آزاد: به‌منظور درک بهتر و بررسی بیشتر تغییرات سطح ایستابی آبخوان منطقه، هیدروگراف واحد چاه‌های پیزومتری و تغییرات سالانه آن‌ها تهیه شد (شکل ۴).

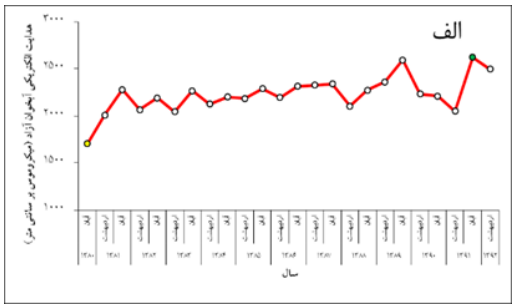
افزایش سطح ایستابی در سال آبی ۱۳۹۱-۱۳۹۰ (۱/۸۱ متر) در آبخوان منطقه رخ داده است. این هیدروگراف نشان می‌دهد که در بیشتر سال‌ها سطح ایستابی در اوایل پاییز کاهش و در اوایل بهار افزایش می‌یابد. همچنین این هیدروگراف نشان می‌دهد از مهر ۱۳۷۱ تا شهریور ۱۳۹۲ (۲۱ سال) کاهش ۴/۴۲ متری سطح ایستابی در آبخوان آزاد اتفاق افتاده است. تغییرات سالانه تراز سطح ایستابی برای الگوی کشت با نیاز آبی بالا و الگوی کشت با نیاز آبی کم با استفاده از نیاز آبی و تغذیه سالانه آبخوان محاسبه شد و میزان تغییرات سطح ایستابی به ازای دو سناریوی مذکور برآورد گردید (جدول ۳).

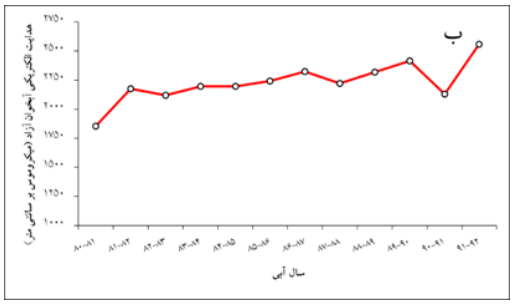
جدول ۳- روند تغییرات سطح ایستابی برای سناریوهای الگوی کشت

سال آبی	سطح ایستابی (متر)		
	الگوی کشت با نیاز آبی بالا	الگوی کشت وضع فعلی	الگوی کشت با نیاز آبی کم
۱۳۷۱ -۱۳۷۲	-۰/۵۸	-۰/۴۵	۰/۲۴
۱۳۷۲ -۱۳۷۳	-۰/۱۳	۰/۰۱	۱
۱۳۷۳ -۱۳۷۴	-۱/۳۲	-۰/۲۶	۱/۱۴
۱۳۷۴ -۱۳۷۵	۰/۱۵	۰/۸۶	۲/۴۲
۱۳۷۵ -۱۳۷۶	-۰/۸۴	-۰/۱۸	۰/۴۳
۱۳۷۶ -۱۳۷۷	-۰/۷۲	۰/۰۴	۰/۴۷
۱۳۷۷ -۱۳۷۸	-۰/۶۷	-۰/۱۱	۰/۲
۱۳۷۸ -۱۳۷۹	-۱/۱۱	-۰/۷۶	-۰/۶۲
۱۳۷۹ -۱۳۸۰	-۰/۶۲	-۰/۲۲	۱/۶۸
۱۳۸۰ -۱۳۸۱	-۰/۳۱	۱/۰۱	۱/۴۹
۱۳۸۱ -۱۳۸۲	-۱/۳۱	-۰/۰۳	-۰/۰۱
۱۳۸۲ -۱۳۸۳	-۰/۳۳	۰/۰۲	۰/۲۱
۱۳۸۳ -۱۳۸۴	-۳/۷۴	-۳/۲	-۲/۸۹
۱۳۸۴ -۱۳۸۵	-۱/۸۳	-۱/۰۵	-۰/۸۶
۱۳۸۵ -۱۳۸۶	-۱/۱۴	-۰/۶۷	-۰/۱۹
۱۳۸۶ -۱۳۸۷	-۱/۶۴	-۱/۴۳	-۱/۳۵
۱۳۸۷ -۱۳۸۸	۰/۰۲	۰/۴۷	۰/۹۱
۱۳۸۸ -۱۳۸۹	-۱/۸۱	-۰/۸۸	-۰/۸۱
۱۳۸۹ -۱۳۹۰	-۳/۱۳	-۳/۰۲	-۲/۶۶
۱۳۹۰ -۱۳۹۱	۱/۶۹	۱/۸۱	۲/۳۵
۱۳۹۱ -۱۳۹۲	-۱/۳۶	-۱/۰۶	۰/۱۳

تغییرات مقادیر کیفیت (هدایت الکتریکی) آبخوان آزاد:

نتایج میانگین پهنه‌بندی هدایت الکتریکی آبخوان آزاد در طی آبان ۱۳۸۰ تا اردیبهشت ۱۳۹۲ و نیز روند تغییرات هدایت الکتریکی آبخوان آزاد در هرسال آبی در شکل (۶) نشان داده‌شده است.





شکل ٦- روند تغییرات هدایت الکتریکی آبخوان آزاد نتایج روش IDW (الف) و میانگین هرسال آبی (ب)

نتایج نشان داد که هدایت الکتریکی آبخوان آزاد در اردیبهشت‌ماه روند نزولی و در آبان ماه روند صعودی دارد و این را می‌توان به دلیل کاهش وقوع بارندگی‌ها در اواخر تابستان و اوایل پاییز نسبت داد که باعث کاهش تغذیه و افزایش تخلیه از حجم آبخوان آزاد می‌شود. همچنین

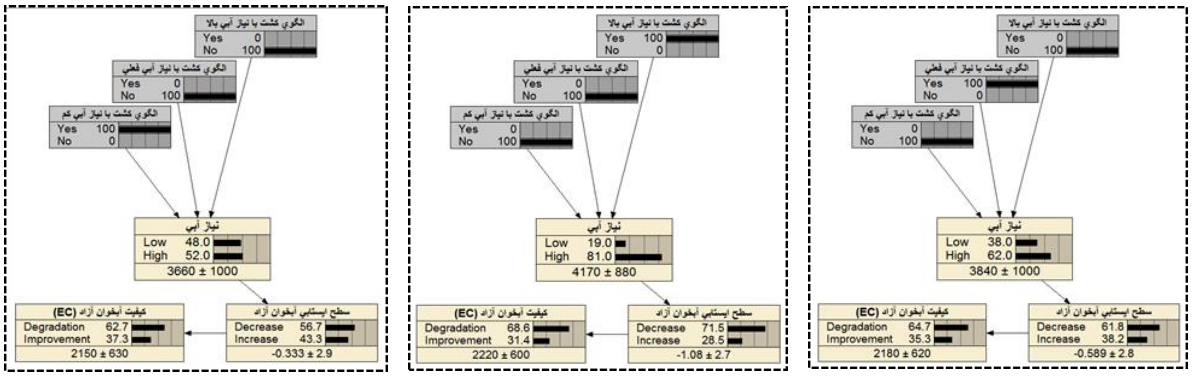
هدایت الکتریکی آبخوان آزاد در سال آبی ۱۳۸۱-۱۳۸۰ با هدایت الکتریکی ۱۸۵۴ میکروموس بر سانتی‌متر در کمترین مقدار و در سال آبی ۱۳۹۲-۱۳۹۱ با ۲۵۵۸ میکروموس بر سانتی‌متر در بیشترین مقدار قرار داشته است.

ساخت جدول احتمال شرطی متغیرهای شبکه تصمیم بیزی:

برای طبقه‌بندی مقادیر متغیرهای شبکه تصمیم بیزی از دامنه اعداد مقادیر هر متغیر، طبقه‌بندی ویلکوکس و نظر کارشناسی استفاده شد. طبقه‌بندی و دامنه تغییرات هر متغیر شبکه تصمیم بیزی در جدول (۴) نشان داده‌شده است. نتایج طبقه‌بندی هر متغیر در شکل (۷) نشان داده‌شده است.

جدول ۱- وضعیت و دامنه تغییرات متغیرها در مدل تصمیم بیزی آبخوان آزاد

نوع متغیر	وضعیت	دامنه تغییرات
نیاز آبی (مترمکعب بر هکتار)	کم	< ۳۵۰۰
	زیاد	≥ ۳۵۰۰
سطح ایستابی (متر)	کاهش	-
	افزایش	+
کیفیت (EC) (میکروموس بر سانتی متر)	تخریب	> ۲۱۵۰
	بهبود	≤ ۲۱۵۰



شکل ۷- وضعیت و دامنه تغییرات متغیر نیاز آبی، سطح ایستابی و کیفیت آبخوان آزاد در مدل تصمیم بیزی

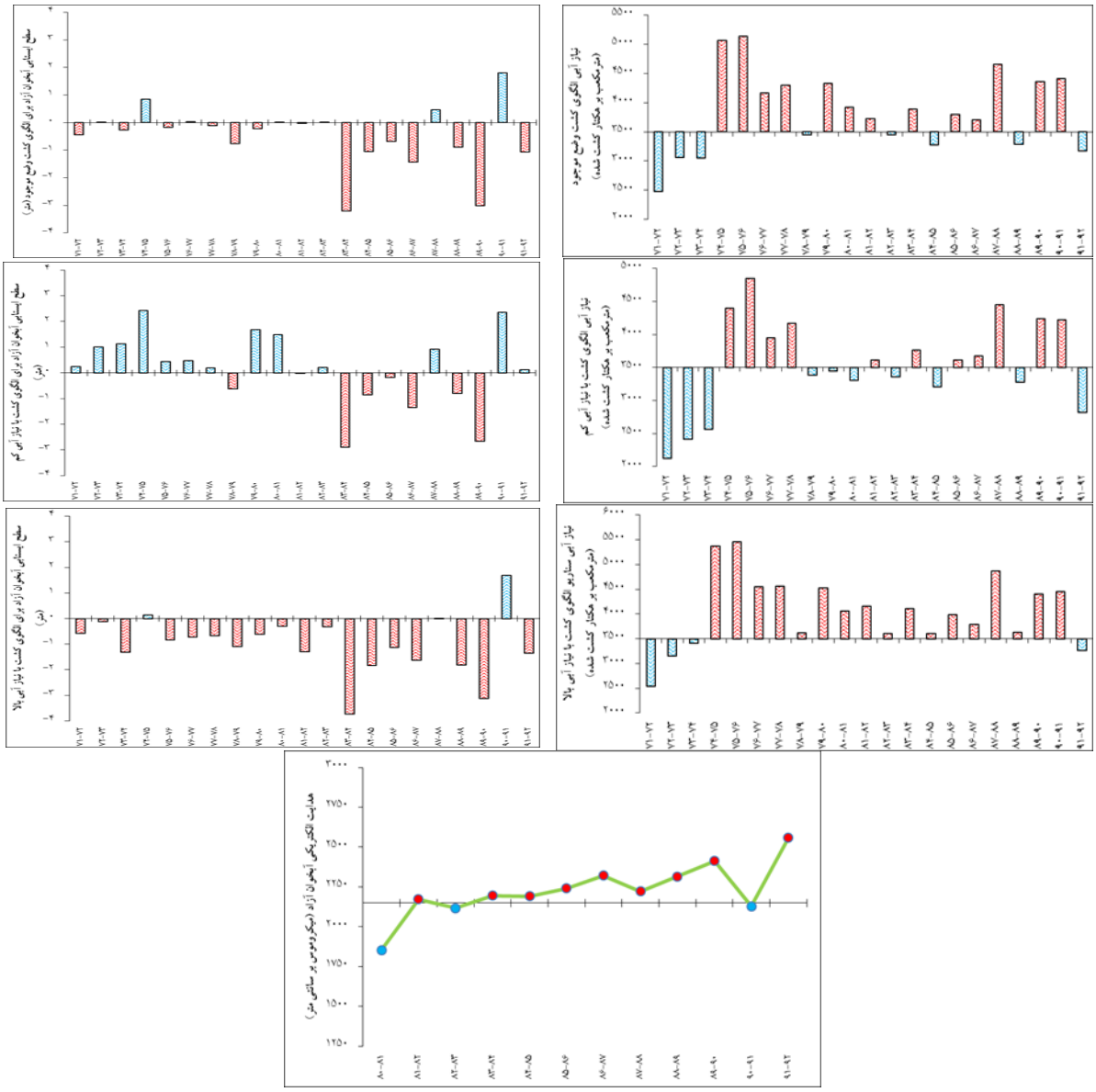
برای محاسبه احتمال شرطی متغیرهای مدل تصمیم بیزی، از نتایج طبقه‌بندی محاسبات نیاز آبی، تغییرات سطح ایستابی و هدایت الکتریکی آبخوان به‌صورت سالانه (سال آبی) استفاده گردید. به‌این‌ترتیب احتمالات شرطی متغیرهای مربوطه محاسبه شد و جدول احتمال شرطی به‌عنوان اولین کلید محاسبات شبکه بیزی به دست آمد. نتایج این محاسبات در جدول (۵) مشاهده می‌شود.

جدول ۵- جدول احتمال شرطی به‌عنوان اولین کلید محاسبات شبکه بیزی

درصد احتمال شرطی بین متغیر الگوی کشت و نیاز آبی در مدل تصمیم بیزی		
سناریو (وضعیت متغیر الگوی کشت)	وضعیت متغیر نیاز آبی	
	کم	زیاد
سناریو ۱ (الگوی کشت فعلی)	۳۸	۶۲
سناریو ۲ (الگوی کشت با نیاز آبی بالا)	۱۹	۸۱
سناریو ۳ (الگوی کشت با نیاز آبی کم)	۴۸	۵۲
درصد احتمال شرطی بین متغیر نیاز آبی و سطح ایستابی در مدل تصمیم بیزی		
وضعیت متغیر نیاز آبی	وضعیت متغیر سطح ایستابی	
	کاهش	افزایش
کم	۳۰	۷۰
زیاد	۸۱	۱۹
درصد احتمال شرطی بین متغیر سطح ایستابی و کیفیت در مدل تصمیم بیزی		
وضعیت متغیر سطح ایستابی	وضعیت متغیر کیفیت	
	تخریب	بهبود
کاهش	۸۰	۲۰
افزایش	۴۰	۶۰

پیش‌بینی اثرات تغییر الگوی کشت در مدل تصمیم بیزی:

برای محاسبه احتمالات نهایی برای سه سناریوی متفاوت در مدل تصمیم بیزی این مدل سه بار در نرم‌افزار نتیکا اجرا گردید. به‌طورکلی احتمالات نهایی متغیرها با استفاده از فرمول بیز و با واردکردن احتمالات شرطی متغیرها به مدل تصمیم بیزی در نرم‌افزار نتیکا، برآورد گردید (شکل ۸).



شکل ۸- پیش‌بینی اثرات تغییر الگوی کشت بر خصوصیات آب‌های زیرزمینی با استفاده از شبکه‌های تصمیم بیزی

نتایج احتمال وقوع سناریوهای مدیریتی در مقایسه با سناریوی یک در نمودارهای تأثیر (شکل ۸) نشان می‌دهد که اگر الگوی کشت وضع موجود در منطقه ادامه پیدا کند با احتمال حدود ۳۸ درصد متغیر سطح ایستابی در وضعیت افزایش و حدود ۶۲ درصد در وضعیت کاهش قرار می‌گیرد و با احتمال حدود ۳۵ درصد متغیر کیفیت در وضعیت بهبود و حدود ۶۵ درصد در وضعیت تخریب قرار می‌گیرد. درحالی‌که اگر الگوی کشت با نیاز آبی بالا در منطقه اجرا شود با احتمال ۲۸/۵ درصد متغیر سطح ایستابی در وضعیت افزایش و ۷۱/۵ درصد در وضعیت کاهش قرار می‌گیرد و با احتمال حدود ۳۱ درصد متغیر کیفیت در وضعیت بهبود و ۶۹ درصد در وضعیت تخریب قرار می‌گیرد. حال اگر الگوی کشت با نیاز آبی پایین در منطقه اجرایی شود سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی با احتمال حدود ۴۳ درصد متغیر در وضعیت افزایش و حدود ۵۷ درصد در وضعیت کاهش قرار می‌گیرد و کیفیت آب‌های زیرزمینی با احتمال حدود ۳۷ درصد در وضعیت بهبود و با احتمال حدود ۶۳ درصد در وضعیت تخریب قرار می‌گیرد. این نتایج نشان داد میزان احتمال وقوع سطح ایستابی با وضعیت افزایشی برای الگوی کشت با نیاز آبی بالا در مقایسه با الگوی کشت موجود حدود ۱۰ درصد کاهش خواهد داشت و در مقابل میزان آن برای الگوی کشت با نیاز آبی پایین حدود ۵ درصد افزایش نسبت به الگوی کشت وضع موجود خواهد یافت. متغیر کیفیت (هدایت الکتریکی) با اجرای الگوی کشت با نیاز آبی بالا نسبت به

سناریوی وضع موجود روند تخریب داشته است و بالعکس با اجرای الگوی کشت با نیاز آبی کم، هدایت الکتریکی آبخوان نسبت به سناریوی وضع موجود روند بهبودی داشته است. به‌طوری‌که میزان احتمال وقوع هدایت الکتریکی با وضعیت بهبود برای الگوی کشت با نیاز آبی بالا در مقایسه با الگوی کشت موجود حدود ۴ درصد کاهش خواهد داشت و در مقابل میزان آن برای الگوی کشت با نیاز آبی پایین حدود ۲ درصد افزایش نسبت به الگوی کشت وضع موجود را نشان می‌دهد. مقایسه بصری نمودارهای تأثیر مبین این مطلب است که تغییر در الگوی کشت می‌تواند به‌عنوان شیوه‌ای مناسب و کاربردی برای مدیریت کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی موردتوجه قرار گیرد. نتایج تجزیه‌وتحلیل حساسیت مدل تصمیم بیزی برای سناریوهای مدیریتی برای مقادیر هر دو معیار کاهش واریانس و واریانس باور نشان می‌دهد که در الگوهای کشت موردبررسی حساسیت نسبت به متغیر نیاز آبی زیاد است و این متغیر نقش تعیین‌کننده در تغییر خصوصیات آبخوان دارد (جدول ۶). نتایج نشان داد که الگوی کشت با نیاز آبی کم سناریوی برتر می‌باشد.

جدول ٦- مقادیر تجزیه‌وتحلیل حساسیت مدل تصمیم بیزی

سناریو	متغیر در حال تغییر	متغیر موردبررسی	کاهش واریانس	واریانس باور
الگوی کشت با نیاز آبی وضع موجود	نیاز آبی	سطح ایستابی	۱/۵۴۷ (۲۶/۲٪)	۰/۰۶۱۹ (۲۶/۲٪)
	سطح ایستابی	کیفیت	۴۷۸۲۰ (۱۶/۵٪)	۰/۰۳۷۷۷ (۱۶/۵٪)
الگوی کشت با نیاز آبی زیاد	نیاز آبی	سطح ایستابی	۱/۰۱۱ (۱۹/۸٪)	۰/۰۴۰۳ (۱۹/۸٪)
	سطح ایستابی	کیفیت	۴۱۲۵۰ (۱۵/۱٪)	۰/۰۳۲۶ (۱۵/۱٪)
الگوی کشت با نیاز آبی کم	نیاز آبی	سطح ایستابی	۱/۶۳۹ (۲۶/۷٪)	۰/۰۶۵۵ (۲۶/۷٪)
	سطح ایستابی	کیفیت	۴۹۷۳۰ (۱۶/۸٪)	۰/۰۳۹۳ (۱۶/۸٪)

بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه اثرات تغییر الگوی کشت بر سطح ایستابی و هدایت الکتریکی آبخوان آزاد با استفاده از مدل بیزی پیش‌بینی شد. اجرای مدل پیش‌بینی کرد که سناریوی الگوی کشت با نیاز آبی پایین نسبت به سناریوی وضع موجود تغییرات نسبتاً مطلوبی در افزایش سطح ایستابی داشته است. علت را می‌توان در سطح زیرکشت محصولات پیشنهادی دانست به‌نحوی‌که با افزایش سطح زیرکشت محصولات زراعی (گندم و سویا) و کاهش سطح زیرکشت محصولات زراعی (کلزا و شالی)، نیاز آبی کاهش پیدا کرده و بالطبع مقدار پمپاژ از چاه‌های کم‌عمق نسبت به الگوی کشت وضع موجود کاهش پیدا می‌کند. این کاهش بهره‌برداری از حجم آبخوان باعث افزایش سطح ایستابی آبخوان آزاد می‌شود. یافته‌های این بخش از پژوهش با نتایج تحقیقات مهاجرانی و همکاران، ۲۰۱۷ (۱۳) و کریمف و همکاران، ۲۰۱۴ (۳۳) مبنی بر احتمال وقوع افزایش سطح ایستابی با الگوی کشت با نیاز آبی کم همخوانی دارد. علت احتمال وقوع بیشتر هدایت الکتریکی در سناریوی الگوی کشت با نیاز آبی بالا نسبت به الگوی کشت با نیاز آبی پایین را می‌توان به دلیل حجم برداشت بیشتر از آبخوان دانست زیرا وقتی حجم تخلیه بیشتر از حجم تغذیه آبخوان باشد سطح ایستابی کاهش پیدا کرده و غلظت املاح محلول در آب افزایش می‌یابد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تغییر در الگوی کشت باعث تغییر در هدایت الکتریکی آب‌های زیرزمینی می‌شود. یافته‌های این بخش از پژوهش با نتایج تحقیق مهاجرانی و همکاران، ۲۰۱۷ (۱۳) تطابق ندارد، این پژوهشگران احتمال برگشت آب با کیفیت مناسب را از لایه‌های آبدار تحتانی دلیل عدم تغییرپذیری کیفیت از الگوی کشت بیان نموده‌اند. این بخش از پژوهش با تحقیقات منده و همکاران، ۲۰۰۷ (۳۴) ، جوربا و ساشان، ۲۰۰۹ (۳۵)، لرنر و هریس، ۲۰۰۹ (۳۶) مبنی بر تأثیر منفی فعالیت‌های انسانی بخصوص کشاورزی بر کیفیت آب‌زیرزمینی هم‌خوانی دارد.

یکپارچه‌سازی و فرآیند چندبخشی تعریف ساختار شبکه، تعیین توزیع‌های احتمال و انجام تجزیه‌وتحلیل حساسیت مدل مهم‌تر از تجزیه‌وتحلیل نتایج خود مدل می‌باشد (۳۷). نتایج تجزیه‌وتحلیل حساسیت سناریوهای تغییر الگوی کشت نشان می‌دهد که نیاز آبی نقش تأثیرگذاری در تغییر خصوصیات آبخوان آزاد دارد. به‌نحوی‌که با کاهش نیاز آبی فعالیت‌های زراعی، حجم ذخیره آبخوان افزایش یافته و عمل پیشروی آب با هدایت الکتریکی زیاد را کندتر می‌کند. درواقع این امر مهم نشان‌دهنده این است که اجرای الگوی کشت با نیاز آبی کم با کاهش برداشت از حجم آبخوان به‌طور غیرمستقیم موجب افزایش سطح ایستابی و بهبود کیفیت آبخوان آزادشده است. تجزیه‌وتحلیل حساسیت مدل تصمیم بیزی به‌طورکلی نشان داد که با اعمال الگوی کشت مناسب می‌توان به‌طور غیرمستقیم سیستم آبخوان آزاد را مدیریت نمود. به‌نحوی‌که با کاهش نیاز آبی محصولات زراعی، بیلان آب‌زیرزمینی را کنترل کرده و در جهت تحقق افزایش سطح ایستابی و بهبود کیفیت آبخوان گام برداشت.

شبکه‌های تصمیم بیزی در وهله اول شبکه‌های ترسیمی هستند که اولین کارکرد آن‌ها نمایش ساده‌ای از متغیرهای یک سیستم پیچیده است و رفتار سیستم را به‌صورت کلی نشان می‌دهند و درعین‌حال مدل‌های احتمالاتی هستند که متغیرهای این سیستم پیچیده را در قالب تئوری‌های احتمالاتی به هم مرتبط می‌سازند این دو قابلیت در فرآیند مدیریت منابع آب‌وخاک که سرشار از فاکتورها و متغیرهای پیچیده است مزیت بسیار مهمی برای مدیریت عدم قطعیت به شمار می‌رود. به‌طورکلی امروزه مدیران در حوزه تصمیم‌گیری‌های مدیریتی منابع طبیعی با منابع عدم قطعیت فراوان ازجمله نبود آمار دقیق و قطعی مواجه هستند. شبکه‌های تصمیم بیزی با استفاده از نظرات کارشناسان

و متخصصان آب‌وخاک در شرایطی که دسترسی و قابلیت اعتماد داده‌ها و اطلاعات محدود است، در مدیریت منابع محیطی کمک مؤثری برای برنامه‌ریزان و مدیران به شمار می‌رود، زیرا ارائه نتایج در یک محیط احتمالاتی برای بیان عدم‌قطعیت مقدور خواهد شد. نتایج حاصل از تحقیق می‌تواند مورداستفاده مدیران و تصمیم‌گیران اجرایی و مروجان بخش کشاورزی در منطقه علی‌آباد قرار گیرد. همچنین این رویکرد برای مدیریت آب‌های زیرزمینی می‌تواند به‌صورت وسیع‌تر در سایر آبخوان‌های ایران به کار رود و انجام تحقیقات تکمیلی در این راستا ضرورت دارد.

پیشنهادها

تغییر الگوی کشت از گونه‌های زراعی با نیاز آبی بالا به گونه‌های با نیاز آبی کم‌تر به‌منظور توقف افت سطح ایستابی و بهبود کیفیت آب‌های زیرزمینی مورد تاکید مولفان می‌باشد. توصیه می‌شود که نتایج تحقیق حاضر از طریق برگزاری کارگاه‌های آموزشی-توجیهی به‌صورت ترسیمی و با ارائه توضیحات به جوامع محلی منتقل شود تا بتوانند اثر تغییر الگوی کشت را به‌صورت عینی مشاهده نموده و در تصمیمات خود برای انتخاب الگوی کشت مد نظر قرار دهند.

ملاحظات اخلاقی پیروی از اصول اخلاق پژوهش

همکاری مشارکت‌کنندگان در تحقیق حاضر به‌صورت داوطلبانه و با رضایت آنان بوده است.

حامی مالی

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مشارکت نویسندگان

طراحی و ایده‌پردازی: امیر سعدالدین، محمد ریکی،
روش‌شناسی و تحلیل داده‌ها: محمد ریکی، امیر سعدالدین، واحدبردی شیخ و چوقی بایرام کمکی،
نظارت و نگارش نهایی: محمد ریکی، امیر سعدالدین

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان، مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.

References

1. Appelo CAJ, Postma D. Geochemistry, Groundwater and Pollution, 2nd Edn., 683 pp. London: Taylor & Francis, Leiden, The Netherlands; 2005. 683 p.
2. Hillel D. Environmental soil physics: Fundamentals, applications, and environmental considerations. Elsevier; 1998.
3. Emamgholizadeh S. Water quality assessment of the Kopal River (Iran). In: International Meeting on Soil Fertility Land Management and Agroclimatology. Turkey: Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi; 2008. p. 827–37.
4. Riki M. Predicting the effects of changing cultivation patterns on groundwater characteristics using Bayesian decision networks [MSc Thesis]. [Gorgan]: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resource; 2006.
5. Castelletti A, Soncini-Sessa R. Bayesian Networks and participatory modelling in water resource management. Environ Model Softw. 2007 Aug 1;22(8):1075–88.
6. Molina J-L, Pulido-Velázquez D, García-Aróstegui JL, Pulido-Velázquez M. Dynamic Bayesian Networks as a Decision Support tool for assessing Climate Change impacts on highly stressed groundwater systems. Journal of Hydrology. 2013 Feb 4;479:113–29.
7. Sadeghi Hesar A, Tabatabaee H, Jalali M. Monthly rainfall forecasting using bayesian belief networks. International Research Journal of Applied and Basic Sciences. 2012;3(11):2226–31.
8. Carmona G, Varela-Ortega C, Bromley J. Stakeholder involvement in water management using Object-oriented Bayesian networks and economic models in Spain. 2009 Conference, August 16-22, 2009, Beijing, China. International Association of Agricultural Economists; 2009 [cited 2022 Jan 11]. (2009 Conference, August 16-22, 2009, Beijing, China). Report No.: 49897.
9. Henriksen HJ, Barlebo HC. Reflections on the use of Bayesian belief networks for adaptive management. Journal of Environmental Management. 2008 Sep 1;88(4):1025–36.
10. Li RA, McDonald JA, Sathasivan A, Khan SJ. A multivariate Bayesian network analysis of water quality factors influencing trihalomethanes formation in drinking water distribution systems. Water Research. 2021 Feb 15;190:116712.
11. Haakonsson S, Rodríguez MA, Carballo C, Pérez M del C, Arocena R, Bonilla S.

Predicting cyanobacterial biovolume from water temperature and conductivity using a Bayesian compound Poisson-Gamma model. Water Research. 2020 Jun 1;176:115710.
12. Xie X, Liu Y, Luo Y, Du Q. Surface Water Quality Evaluation Based on Bayesian Network. Journal of Coastal Research. 2019 Sep 1;93(SI):54–60.
13. Mohajerani H, Kholghi M, Mosaedi A, Farmani R, Sadoddin A, Casper M. Application of Bayesian Decision Networks for Groundwater Resources Management Under the Conditions of High Uncertainty and Data Scarcity. Water Resour Manage. 2017 Apr 1;31(6):1859–79.
14. Sadoddin A, Shahabi M, Sheikh VB. A Bayesian decision model for drought management in rainfed wheat farms of North East Iran. International Journal of Plant Production. 2016;10(4):527–42.
15. Troldborg M, Aalders I, Towers W, Hallett PD, McKenzie BM, Bengough AG, et al. Application of Bayesian Belief Networks to quantify and map areas at risk to soil threats: Using soil compaction as an example. Soil and Tillage Research. 2013 Aug 1;132:56–68.
16. Behboudi S. Applying the decision model to predict the effects of biophysics and economics - the management of management actions is based on the fact that there is something in the water [MSc Thesis]. [Gorgan, Iran]: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resource; 2013.
17. Molina JL, Bromley J, García-Aróstegui JL, Sullivan C, Benavente J. Integrated water resources management of overexploited hydrogeological systems using Object-Oriented Bayesian Networks. Environmental Modelling & Software. 2010 Apr 1;25(4):383–97.
18. Ticehurst JL, Newham LTH, Rissik D, Letcher RA, Jakeman AJ. A Bayesian network approach for assessing the sustainability of coastal lakes in New South Wales, Australia. Environmental Modelling & Software. 2007 Aug 1;22(8):1129–39.
19. Jensen FV, Kjarulff U. Bayesian networks and decision graphs: A 3-week course at Reykjavik University. Group of Machine Intelligence Department of Computer Science, Aalborg University; 2005.
20. Davies PE. Bayesian Decision Networks for Management of High Conservation Assets (National Water Initiative – Australian Government Water Fund. Report 6/6 Report to the Conservation of Freshwater Ecosystem Values Project, Water Resources Division, Department of Primary Industries and Water). Hobart: DPIWE, Hobart and Freshwater Systems; 2007 Oct.
21. Pollino CA, Henderson C. Bayesian networks: A guide for their application in natural resource management and policy. Department of Environment, Water Heritage and the Arts, Australia Gov.: LANDSCAPE LOGIC; 2010 p. 48. Report No.: 14.
22. Kuikka S, Varis O. Uncertainties of climatic change impacts in Finnish watersheds: a Bayesian network analysis of expert knowledge. Boreal Environment Research. 1997;2.
23. Kragt ME. A Beginners Guide to Bayesian Network Modelling for Integrated Catchment Management. Landscape Logic Technical Report No. 9. Australia: Department of Environment, Water Heritage and the Arts; 2009 p. 22. Report No.: 9.
24. Salih AM, Sendil U. Evapotranspiration under extremely arid climates. Journal of irrigation and drainage engineering. 1984;110(3):289–303.
25. Ghodrati M. Training in the application of ArcGIS in water engineering (hydrology and hydrogeology). Vol. 0. Tehran, Iran: Simai Danesh; 2012. 210 p.
26. Civil Research Consulting Engineers. Mohammadi Mohammadi. Golestan Regional Water Company; 2010 p. 93.
27. Ng Smy, Wai Who, Xu Zh, Li Ys, Jiang Yw. Application of GIS for retrieval and display of hydrodynamic and water quality data for the pearl river estuary. In: 4th International Conference on Environmental Informatics, ISEIS 2005. Xiamen, China: International

Society for Environmental Information Sciences; 2005. p. 372–8.
28. Marinoni O. Improving geological models using a combined ordinary–indicator kriging approach. Engineering Geology. 2003 Apr 1;69(1):37–45.
29. Rezaei D, Tajdari K, Aboulpour B. Investigation The Spatial Variability Of Some Important Groundwater Quality Factors In Guilan, Iran. Journal of Water And Soil (Agricultural Sciences And Technology). 2010 Jan 1;24(5):932–41.
30. Wu J, Zheng C, Chien CC. Cost-effective sampling network design for contaminant plume monitoring under general hydrogeological conditions. Journal of Contaminant Hydrology. 2005 Mar 1;77(1):41–65.
31. Mohammadi J. Pedometry: Spatial Statistics. Vol. 2. Tehran, Iran: Pelk; 2007 [cited 2022 Jan 11]. 454 p.
32. Norsys. Netica's help system. Web Page. Norsys Software; 2011.
33. Karimov AKh, Šimůnek J, Hanjra MA, Avliyakulov M, Forkutsa I. Effects of the shallow water table on water use of winter wheat and ecosystem health: Implications for unlocking the potential of groundwater in the Fergana Valley (Central Asia). Agricultural Water Management. 2014 Jan 1;131:57–69.
34. Mende A, Astorga A, Neumann D. Strategy for groundwater management in developing countries: A case study in northern Costa Rica. Journal of Hydrology. 2007 Feb 20;334(1):109–24.
35. Jeyaruba T, Thushyanthy M. The effect of agriculture on quality of groundwater: A case study. Middle-East Journal of Scientific Research. 2009;4(2):110–4.
36. Lerner DN, Harris B. The relationship between land use and groundwater resources and quality. Land Use Policy. 2009 Dec 1;26:S265–73.
37. Barton DN, Saloranta T, Moe SJ, Eggestad HO, Kuikka S. Bayesian belief networks as a meta-modelling tool in integrated river basin management — Pros and cons in evaluating nutrient abatement decisions under uncertainty in a Norwegian river basin. Ecological Economics. 2008 May 15;66(1):91–104.