



Effects of increasing salinity of groundwater resources on cropping patterns in the Urmia Plain

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article	Objectives: The degradation of groundwater quality is one of the greatest challenges of the present century (Oki and Akana, 2016). As harmful resources introduced into natural environments and groundwater by humans have caused the salinization of freshwater resources (Bamri et al., 2015) and in addition to surface waters, the quantity and quality of groundwater are also affected by environmental pollutants (Kathy, 2005). With the increase in EC of groundwater and the disruption of the balance of nutrients and ions, the yield of agricultural products and plants decreases. Because the absorption of water by plants decreases, as a result, the plant becomes toxic and burns due to excessive absorption of salts. In addition to groundwater salinity, irrigation water quality, irrigation system, cultivated plants, soil type and groundwater depth are among the factors that cause salinity in the root zone of plants and affect their yield. Statistics show that the EC trend in groundwater in the Urmia Plain has increased from 1380 to 1400 (West Azerbaijan Province Regional Water Company, 1400) and groundwater EC have reached above 700 micro-Siemens/cm. These statistics reveal the need to investigate the effects of salinity on agriculture, especially crop yield.
Article history: Received 18 March 2022 Received in revised form 10 June 2022 Accepted 16 June 2022 Published online 25 June 2022	Methods: Research conducted in the field of groundwater quality and salinity has been examined from three aspects: "hydrological-environmental", "economic-statistical" and "combined". The results of the studies show that the most important factor in the deterioration of water resources is salinity, and determining the salinity of water resources by different methods has a significant impact on decision-making for cultivation in sensitive areas. The present study, using a combination of agricultural and economic methods, investigated the effects of groundwater salinity on the cultivation pattern in the Urmia Plain in the 1400-1401 crop year. For this purpose, the effect of the scenario of increasing groundwater salinity on crop yield was initially investigated with the Aquacrop model, and then the changed yields were entered into the economic model, and based on the changed yields, changes in crop area and the total value of the objective function were determined, and suitable areas for crop cultivation were obtained based on the lowest changes in the total value of the objective function.
Keywords: Urmia Plain, Groundwater Salinity, Agro-Economic Model.	Results: First, the AquaCrop agricultural model was simulated for regional conditions and based on the yield potential of five crops in terms of dry weight (DYP) in the Urmia Plain and eight districts. The results of applying the scenario of increasing salinity (decreasing water quality) showed that the yield of all crops decreases. Also, the least change in the yield of irrigated wheat and sugar beet and the greatest change in the yield of corn, sunflower and tomato has occurred. It can be concluded that irrigated wheat and sugar beet are more resistant to salinity than other crops and in severe salinity conditions, these crops can be replaced by sensitive crops. After simulating the yield of crops by applying salinity stress, the simulated yields were entered into the economic model and the economic results of changing the crop pattern were examined.
	Discussion: Crops that showed an increasing trend in their cultivated area with increasing salinity were selected as suitable areas for cultivating that crop. Similar to the decrease in the total cultivated area with the application of the salinity scenario, the gross margin was also associated with a decrease of 0.5 to 11 percent compared to the optimal state, resulting in losses for farmers. The results also show that as the salinity of irrigation water increases to a very low level, the total area under cultivation of crops in regions 3, 6, 7 and 8 decreases and increases in other regions, and it is possible to cultivate crops in regions 1, 2, 4 and 5 in high salinity conditions. In general, the salinization of groundwater resources, in addition to the decrease in crop yield, will cause great losses to farmers by reducing gross output. Therefore, by introducing methods to prevent the increase in groundwater salinity of agricultural origin, in addition to maintaining the quality of water resources, the decrease in crop yield can also be prevented.

Cite this article: Author, A. A., Author, B. B., & Author, C. C. (year). Article title. *Journal Title*, 56 (1), 1-20. DOI: <http://doi.org/000000000000000000>



© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <http://doi.org/0000000000000000000000>

مقاله پذیرفته شده در مجله انتشار

اثرات افزایش شوری منابع آب زیرزمینی بر الگوی کشت در دشت ارومیه

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۲۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۱/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۲۸

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱/۲۵

افزایش شوری آب زیرزمینی به عنوان یکی از عوامل کیفیت آب آبیاری، در تصمیم‌گیری برای کشت در نواحی حساس تأثیر بسزایی دارد. حوزه آبریز دریاچه ارومیه، با مشکلات جدی در زمینه مدیریت و مصرف منابع آب مواجهه است. با توجه به اهمیت موضوع، مطالعه حاضر با هدف بررسی آثار افزایش شوری منابع آب زیرزمینی بر الگوی کشت در دشت ارومیه با استفاده از یک مدل زراعی-اقتصادی انجام شده است. برای این منظور ابتدا با استفاده از مدل شبیه‌سازی زراعی، رابطه بین میزان شوری آب زیرزمینی و عملکرد محصولات مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که گندم و چغندرقد در منطقه مورد مطالعه نسبت به سناریوهای افزایش شوری مقاوم‌تر هستند، اما تغییرات معنی‌داری در عملکرد محصولات آفتابگردان، ذرت و گوجه‌فرنگی ایجاد می‌شود. با توجه به این تغییرات، در سناریوهای مختلف شوری آب زیرزمینی، الگوی کشت بهینه با استفاده از مدل اقتصادی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که میزان تغییرات در الگوی کشت هر منطقه به دو عامل میزان شوری و بارده اقتصادی آن وابسته است و با افزایش شوری آب زیرزمینی، بارده ناخالص کشاورزان به میزان ۰٫۵ تا ۱۱ درصد نسبت به حالت بهینه کاهش می‌یابد. با توجه به روند رو به رشد شوری آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه، اتخاذ سیاست‌های سازگار با شوری پیشنهاد شده است.

کلیدواژه‌ها:

حوزه آبریز دریاچه ارومیه، کیفیت آب آبیاری، مدل زراعی-اقتصادی

استناد: نام خانوادگی، نام؛ و نام خانوادگی، نام (سال). عنوان مقاله، عنوان مجله، ۲ (۴)، ۲۰-۱.

DOI: <http://doi.org/0000000000000000000000000000000000>

© نویسندگان.

DOI: <http://doi.org/0000000000000000000000000000000000>

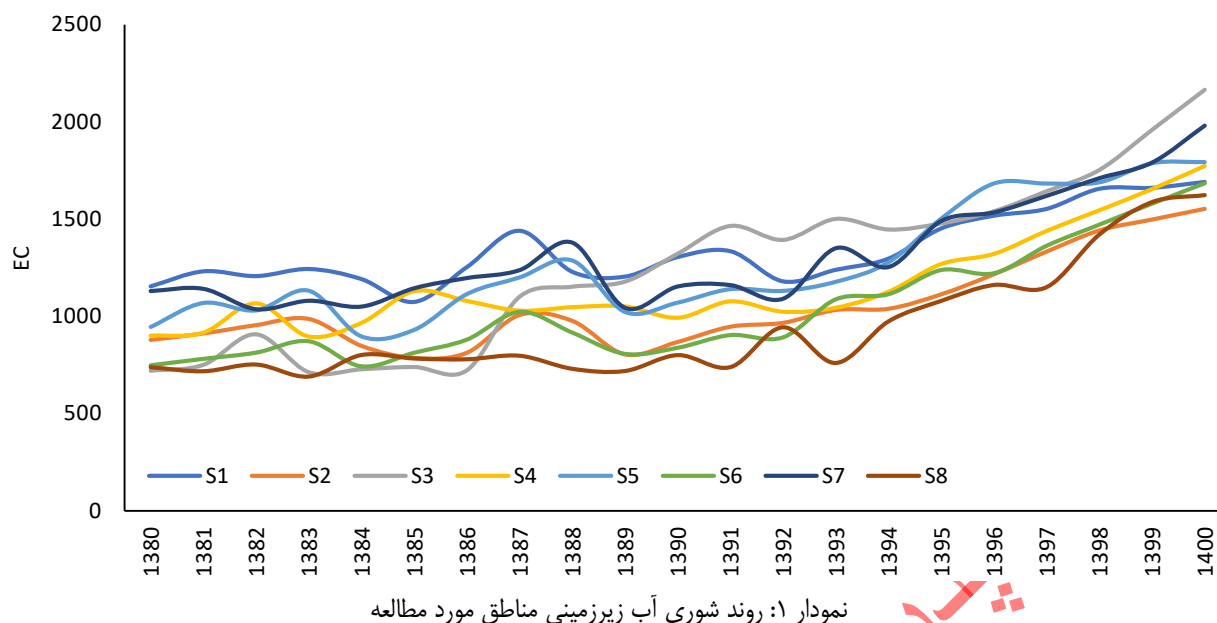
ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

۱. مقدمه

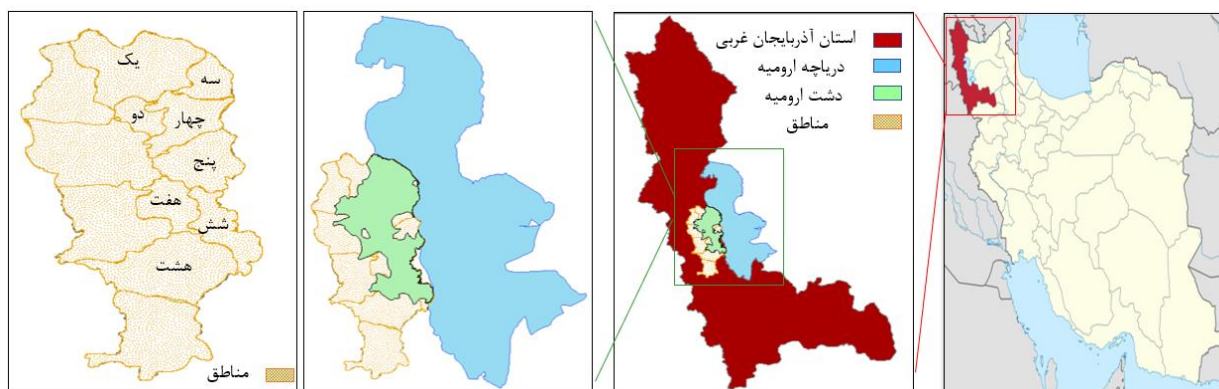
مسئله تنزل کیفیت آب‌های زیرزمینی یکی از بزرگترین مسائل قرن بیست و یکم می‌باشد (Oki and Akana, 2016; Yazdanparast and Ghorbani, 2024). بطوریکه منابع زیان‌آور وارد شده بر محیط‌های طبیعی و آب‌های زیرزمینی توسط انسان بطور عمد یا غیرعمد و در نتیجه سهل‌انگاری و ناآگاهی موجب شور شدن منابع آب شیرین شده است (Bameri and Piri, 2015) و علاوه بر آب‌های سطحی، کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی نیز از عوامل آلوده‌کننده محیطی تأثیر پذیرفته‌اند (Noorbakhsh et al., 2024, Abbasmiri et al., 2024, Kathy, 2005).

معمولاً مقدار کمی از نمک‌های محلول در آب‌های زیرزمینی وجود دارند. انواع و کیفیت این نمک‌ها به منابع تغذیه آب زیرزمینی و لایه‌هایی که در آن جریان می‌یابد، بستگی دارد. مقادیر زیاد نمک‌های محلول ممکن است برای بسیاری از گیاهان زیان‌آور باشد (Karunanidhi et al, 2013). یکی از شایع‌ترین و شاید مهمترین فرآیندهایی که کیفیت آب زیرزمینی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و در آینده باعث به خطر افتادن برداشت آب از چاه‌ها می‌شود، نفوذ آب شور می‌باشد (Mehdizadeh and Vafaie, 2016). افزایش تقاضا برای منابع آبی، موجب افزایش برداشت از آب‌های زیرزمینی شده و همین امر کاهش سطح این منابع آبی، فرونشست دشت‌ها، شور شدن آب و به تبع آن شور شدن خاک را بدنبال داشته است (Alizadeh, 2015). نفوذ آب دریا، ارتباط با آب شور، انحلال نمک‌های محلول طبیعی، آبیاری، جریانات آب برگشتی، برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی، آلودگی‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی (کود دهی، مدیریت نامناسب آبیاری و ...)، اثرات غشای فیلتر نمک، اثرات زمین‌گرمایی و تبخیر و تعرق از مهمترین عوامل شوری آب زیرزمینی به‌شمار می‌روند (Li et al, 2020). یکی از پارامترهای اصلی هیدروشیمیایی برای ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی، هدایت الکتریکی (EC) است (Nasr and Zahran, 2014). با افزایش EC آب زیرزمینی و بهم خوردن تعادل عناصر غذایی و یونی، عملکرد محصولات کشاورزی و گیاهان کاهش می‌یابد. زیرا جذب آب توسط گیاه کاهش می‌یابد، در نتیجه گیاه با جذب زیاد نمک‌ها سمی شده و دچار سوختگی می‌گردد. علاوه بر شوری آب زیرزمینی، کیفیت آب آبیاری، سیستم آبیاری، گیاه مورد کشت، نوع خاک و عمق آب زیرزمینی از جمله عواملی هستند که موجب شور شدن ناحیه ریشه گیاه شده و در عملکرد آنها موثر هستند (Ali et al, 2000; Demir et al, 2009).

افزایش دما و به تبع آن تبخیر، بر کاهش سطح دریاچه ارومیه اثر گذاشته و این امر موجب کاهش کیفیت آب، لب‌شور و غیرقابل برداشت شدن آن در چاه‌های حاشیه دریاچه شده و آینده بهره‌برداری از منابع آب مورد تهدید واقع شده است (Sokouti Oskoei, 2012). بر اساس استانداردهای ارائه شده کیفیت آب آبیاری (Ayers and Westcot, 1994) اگر میزان هدایت الکتریکی (EC) کمتر از ۷۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر باشد، هیچ محدودیتی در مصرف آب برای محصولات وجود ندارد. اگر بین ۷۰۰-۳۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر باشد، باید برای جلوگیری از افزایش بیش از حد شوری تدابیر مدیریتی برای منابع آب زیرزمینی را آغاز کرد و اگر به بیش از ۳۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر برسد، باید نسبت به اتخاذ محدودیت در مصرف آب برای آبیاری محصولات حساس به شوری اقدام نمود. نمودار یک نشان می‌دهد که روند EC موجود در آب‌های زیرزمینی دشت ارومیه به تفکیک مناطق از سال ۱۳۸۰ تا ۱۴۰۰ افزایشی می‌باشد (West Azerbaijan Province Regional Water Company, 2021) و مقادیر EC آب‌های زیرزمینی در تمام مناطق به بالاتر از ۷۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر رسیده است. این آمار، لزوم بررسی آثار شوری بر کشاورزی بخصوص عملکرد محصولات را آشکار می‌سازد.



دشت ارومیه با مساحت ۹۶۲ کیلومترمربع، در استان آذربایجان غربی، اراضی ساحلی و کم‌شیب ضلع غربی دریاچه ارومیه واقع شده است. جهت تعیین دقیق موقعیت جغرافیایی دشت ارومیه، از نرم‌افزار ArcGIS 6/1.1 استفاده شد. غیر از نقشه کشور، سایر نقشه‌های بخش (منطقه مورد مطالعه) با پلیگون‌بندی در نرم‌افزار تهیه شده‌اند که هدف از تهیه آن‌ها، تقسیم‌بندی دشت ارومیه بر اساس دهستان‌ها و نوع کاربری اراضی می‌باشد. بر این اساس ۸ دهستان که بیشتر در محدوده دشت بودند، انتخاب شدند. نازلوچای شمالی (۱)، نازلوچای جنوبی (۲)، طلاتپه (۳)، باش‌قلعه (۴)، بکشلوچای (۵)، ترکمان (۶)، باراندوزچای شمالی (۷) و باراندوزچای جنوبی (۸) مناطق منتخب مطالعه بودند. شکل یک موقعیت دشت ارومیه و دهستان‌ها را نشان می‌دهد. منابع آب مورد استفاده شامل آب‌های زیرزمینی و سطحی می‌باشد. آبخوان دشت ارومیه دارای دو نوع سفره آزاد و تحت فشار بوده که بیشترین وسعت دشت را سفره آزاد با مساحت ۷۶۴ کیلومترمربع تشکیل می‌دهد و منابع آب‌های سطحی دشت ارومیه را رودخانه‌های نازلوچای، روضه چای، شهرچای و باراندوزچای با مجموع تخلیه متوسط سالیانه معادل ۸۳۰ میلیون مترمکعب تشکیل داده‌اند (Resources Planning Office, 2010)



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی دشت ارومیه و دهستان‌ها

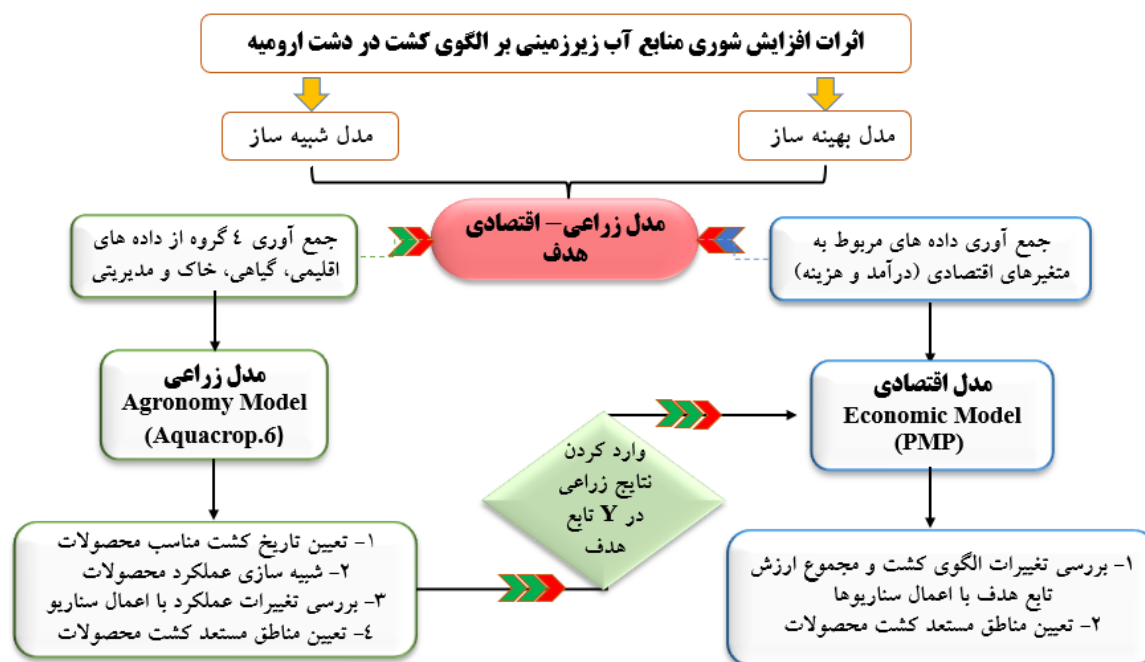
پژوهش‌های انجام گرفته در زمینه کیفیت و شوری آب‌های زیرزمینی از سه جنبه مورد بررسی قرار گرفته است؛ اول جنبه هیدرولوژیکی- زیست‌محیطی؛ دوم جنبه اقتصادی- آماری؛ و سوم جنبه ترکیبی. در این مطالعه به چند مورد از این تحقیقات اشاره می‌شود:

۱- جنبه هیدرولوژیکی- زیست‌محیطی: در این دسته از مطالعات، سه روش مدل‌سازی و شبیه‌سازی، روش زمین‌آماری بر پایه GIS و روش اندازه‌گیری و آنالیز شیمیایی و فیزیکی بکار رفته‌اند. Jalalkamali and Sheykhbahei, 2022 با کاربرد سیستم استنتاج فازی عصبی تطبیقی (ANFIS) با مدل بهینه‌سازی ازدحام جزئی (PSO) به مدل‌سازی شوری آب زیرزمینی در دشت ساحلی خلیج فارس پرداختند و به این نتیجه رسیدند که دقت مدل در نواحی همگن‌تر بیشتر است. Askari and Egdernezhad (2022) جهت شبیه‌سازی سطح و شوری آب زیرزمینی دشت دزفول- اندیمشک از شبکه عصبی مصنوعی با الگوریتم ژنتیک استفاده کردند و این نوع مدل را کم‌خطا با صرفه‌جویی در زمان و هزینه برآورد کردند. Saeidi et al., 2016 جریان آب زیرزمینی را با MODFLOW و میزان EC را با MT3DS همراه بهینه‌ساز الگوریتم فاخته در آبخوان ارومیه شبیه‌سازی کردند و نشان دادند که گرادیان غلظت EC با اعمال سیاست برداشت بهینه نسبت به عدم اعمال آن، ۱۲٪ کاهش می‌یابد. Gharechaei et al., 2022 با تهیه نقشه‌های احتمال خطر شوری آب زیرزمینی نشان دادند که ۴/۱۳ کیلومترمربع از مناطق آبیاری شده در منطقه احتمال خطر بسیار زیاد است. وجود خطر شوری در ۳۴٪ کل زمین‌های کشاورزی فسا در استان فارس با روش کریجینگ شاخص در مطالعه Delbari et al., 2016 تعیین شد. Hoseinifarda and Aminian, 2015 در دشت رفسنجان با اندازه‌گیری پارامترهای اثرگذار بر کیفیت آب زیرزمینی، حداکثر میزان شوری را در منطقه انار و حداقل آن را در قسمت شرقی شهر ارزیابی کردند. استفاده از روش اندازه‌گیری و مقایسه با استانداردها برای بررسی غلظت فلزات سنگین در دشت سیرجان، میزان EC و TDS را بیش از حد استاندارد برآورد کرد (Malakootian and Mohammadi Senjedkooh, 2014).

۲- جنبه اقتصادی- آماری: در این دسته از مطالعات، از مدل‌های اقتصادی و آزمون‌ها و پارامترهای آماری برای بررسی آثار شوری استفاده شده است. برای هر روش، به‌ترتیب سه مطالعه آورده شده است. در مطالعه Hassanli et al., 2020 ارزش اقتصادی آب با در نظر گرفتن شوری به روش باقیمانده محاسبه شد. همچنین نتایج نشان داد که قیمت آب در شوری‌های بیشتر از مقادیر ذکر شده باید کمتر باشد و انتخاب محصول متناسب با میزان شوری در نظر گرفته شود. کاهش بیش‌تر از نصف سطوح کشت و عملکرد محصولات به دلیل افت سطح آب زیرزمینی و شور شدن آب تا ۲۵۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر در سال ۱۳۹۲ در دشت داراب فارس، موجب شد تا Najafi et al., 2018 به بررسی آثار اقتصادی و اجتماعی آن بپردازند و نشان دهند که هزینه‌های تولید، هزینه‌های انتقال آب، فقر و مهاجرت افزایش یافته و بدنبال کاهش محصولات، درآمد سالیانه، سودآوری کشاورزان و اشتغال کاهش یابد. Del Saz-Salazar (2009) با روش ارزشگذاری مشروط و مدل توبیت، تمایل به پرداخت و تمایل به پذیرش غرامت را برای بهبود کیفیت آب رودخانه در چارچوب رهنمود آب را بدست آوردند و اجرای این سیاست را در اسپانیا قابل قبول دانستند. تحلیل‌های آماری و آنالیزهای شیمیایی بوسیله ایزوتوپ‌های آب زیرزمینی در مطالعه Maguette Dienga et al., 2017 نشان داد که آلودگی و شوری توسط بشر و نفوذ آب دریا صورت می‌گیرد و آب زیرزمینی در سنگال تحت تأثیر تبخیر و تعرق است. Dinpasho et al., 2015 با آزمون ناپارامتری من- کندال نشان دادند که غلظت عناصر شیمیایی از جمله شوری در حاشیه جنوبی دشت شبستر- صوفیان که مشرف به دریاچه ارومیه است، بیشتر می‌باشد.

۳- جنبه ترکیبی: در این دسته از مطالعات نیز ترکیب روش‌های ذکر شده در بالا مورد استفاده قرار گرفته است. ترکیب روش‌های آماری با زمین‌شیمی برای مطالعه وضعیت شوری در مکزیک انجام گرفت و اثرات متقابل آب و سنگ، فاضلاب، کوددهی و دنیتریفیکاسیون واکنش‌های اولیه مربوط به شوری بودند (Ledesma-Ruiz et al., 2015). (El Yaouti et al., 2009) از پرتونگاری مقطعی نیز برای بررسی فرآیندهای شوری در آبخوانی واقع در موروکو استفاده کردند و به وجود شوری در هر دو ناحیه ساحلی و بالارود پی بردند. همچنین پرتونگاری نشان داد که شوری با عمق آب و درون خط ساحلی به دلیل نفوذ آب دریا افزایش می‌یابد. Gholami et al., 2012 با دو روش رگرسیون چندمتغیره و شبکه عصبی مصنوعی (ANN) به بررسی شوری آب‌های زیرزمینی در سواحل استان مازندران پرداختند. نتایج این روش‌ها، تشکیلات آبخوان، فاصله از دریا و شوری آب سطحی را از عوامل اصلی شوری آب زیرزمینی عنوان کردند.

نتایج مطالعات انجام گرفته نشان می‌دهد که مهمترین عامل بی کیفیت شدن منابع آبی، شوری می‌باشد و تعیین میزان شوری منابع آبی با روش‌های مختلف، در تصمیم‌گیری برای کشت در نواحی حساس تأثیر بسزایی دارد. در مطالعات انجام گرفته، از انواع مدل‌های شبیه‌ساز، شبکه عصبی مصنوعی، شاخص‌ها و معیارهای اندازه‌گیری، مدل‌های بهینه‌ساز اقتصادی و آماری و ... استفاده شده است. تمام مطالعات تنها با یک مدل و روش به بررسی شوری پرداخته‌اند و مطالعات اندکی بطور ترکیبی از مدل استفاده کرده‌اند. همانطوریکه شکل دو نشان می‌دهد، مطالعه حاضر بصورت ترکیبی از روش‌های زراعی و اقتصادی به بررسی آثار شوری منابع آب زیرزمینی بر الگوی کشت در دشت ارومیه در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ پرداخته است. بدین منظور، در ابتدا اثر سناریوی افزایش شوری آب زیرزمینی بر عملکرد محصولات با مدل Aquacrop بررسی شد و سپس عملکردهای تغییر یافته در مدل اقتصادی وارد شدند و بر اساس عملکردهای تغییر یافته، تغییرات سطح زیرکشت محصولات و مجموع ارزش تابع هدف مشخص گردید و مناطق مناسب کشت محصولات بر اساس کمترین تغییرات مجموع ارزش تابع هدف بدست آمد.



شکل ۲- چارچوب نظری تحقیق

از آنجائیکه تنزل کیفیت منابع آبی بر روی میزان تولیدات کشاورزی تأثیر بسیاری دارد و اقتصاد کشور را با تهدید روبرو می‌کند، لذا باید کیفیت این منابع همواره مورد پایش و بررسی قرار بگیرد. حوزه آبریز دریاچه ارومیه بدلیل شرایط خاص منطقه و کم آب شدن دریاچه، با مشکلات جدی در زمینه مدیریت و مصرف این منابع مواجه است. از این رو، یکی از ضروریات اصلی مدیریت این حوزه، بررسی منظم میزان تغییرات کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی است تا بتوان تصمیمات صحیح جهت استفاده از این منابع اتخاذ نمود (Mehri et al., 2015).

۳. روش‌شناسی تحقیق

از جمله مدل‌های اقتصادی که می‌توان برای تحلیل سیاست‌ها در شرایط حاضر استفاده کرد، مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی^۱ (PMP) می‌باشد (Buysse et al., 2007). در کشاورزی نیز می‌توان از این مدل‌ها برای تحلیل سیاست‌های قیمت‌گذاری، تقاضای آب و الگوی کشت استفاده کرد. PMP یک روش برای کالیبره کردن مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی به رفتار مشاهده شده در سال پایه است که با استفاده از متغیرهای دوگان محدودیت کالیبره این کار را انجام می‌دهد (Paris, and Howitt, 1998)؛ (Howitt, 1995). سپس با استفاده از این اطلاعات، تابع هدف درجه دو ساخته می‌شود که با محدودیت‌های موجود جواب سال پایه را می‌دهد. مدل تجربی مطالعه حاضر به صورت روابط ۱ تا ۶ نشان داده شده است و هدف حداکثر کردن سود ناخالص محصولات مورد مطالعه بر اساس محدودیت‌های موجود می‌باشد:

$$\text{Max } Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m X_{ij} (P_j Y_{ij} - C_{ij}) \quad (1)$$

subject to:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m X_{ij} \leq TX_i \quad (2)$$

$$X_{ij} \geq 0 \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m W_{ij} X_{ij} \leq W_S + W_G \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m IN_{ij} X_{ij} \leq B_i \quad (5)$$

$$X \leq X_0 + \varepsilon \quad (6)$$

در روابط فوق، Z بازده ناخالص سالیانه کل محصولات زراعی آبی (گندم آبی، ذرت علوفه‌ای، چغندر قند، آفتابگردان و گوجه‌فرنگی) در دهستان i ، X_{ij} میزان سطح زیر کشت محصول j در دهستان i بر حسب هکتار، P_j قیمت محصول j بر حسب ریال، Y_{ij} عملکرد محصول j در دهستان i بر حسب کیلوگرم بر هکتار، C_{ij} کل هزینه‌های تولید محصول j در دهستان i بر حسب تومان، رابطه ۵ مربوط به محدودیت سطح زیر کشت محصولات و مثبت بودن آن است. TX_i مربوط به کل سطوح زیر کشت محصولات در منطقه i ، W_{ij} میزان آب استفاده برای محصول j در دهستان i بر حسب مترمکعب، W_S ، W_G کل منابع آبی سطحی و زیرزمینی مصرف

شده برای محصول Z در دهستان IN_{ij} محدودیت سایر نهاده‌ها مانند نیروی کار، کودهای شیمیایی، سموم، ماشین‌آلات و سرمایه می‌باشد و رابطه ۶ بیانگر محدودیت کالیبراسیون می‌باشد که E در آن مقدار مثبت کوچکی را نشان می‌دهد.

مدل فوق، جهت بررسی تغییرات الگوی کشت ۵ محصول عمده زراعی در ۸ دهستان با توجه به تغییر در شوری منابع آب زیرزمینی بکار رفته است. اطلاعات موردنیاز از طریق مراجعه حضوری و مصاحبه با کشاورزان جمع‌آوری شده است. تعداد 180 کشاورز به روش نمونه‌گیری طبقه‌بندی تصادفی انتخاب شدند و اطلاعات سال زراعی (۱۴۰۱-۱۴۰۰) برای ۵ محصول جمع‌آوری شد. از آنجائیکه هدف از مطالعه حاضر بررسی اثر شوری بر روی الگوی کشت دشت ارومیه می‌باشد، لذا ابتدا تأثیر سناریوی افزایش شوری بر عملکرد محصولات با مدل زراعی AquaCrop بررسی شد و سپس عملکردهای تغییر یافته وارد مدل اقتصادی شدند. معیارهای واسنجی و اعتبارسنجی مدل زراعی دقت بالای مدل را تأیید کردند. بطوریکه مقادیر $RMSE$ (جذر میانگین مربعات خطا) طی هر دو مرحله مثبت بوده و تقریباً نزدیک به صفر می‌باشند. مقادیر $NRMSE$ (جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده) در بازه ۰/۱ تا ۰/۲ قرار داشته و نشان‌دهنده ارزیابی خوب مدل است. همچنین مقادیر آماره R^2 نیز نزدیک به یک بوده و نشان‌دهنده همبستگی بالای مقادیر واقعی و شبیه‌سازی شده می‌باشد. بنابراین مدل از دقت کافی جهت شبیه‌سازی عملکرد محصولات برخوردار بوده و لذا می‌توان از آن برای بررسی گزینه‌های مدیریتی استفاده کرد. اساس محاسبه عملکرد در مدل AquaCrop رابطه زیر است (Doorenbos & Kassam, 1979):

$$\left(\frac{Y_x - Y_a}{Y_x}\right) = K_y \left(\frac{ET_x - ET_a}{ET_x}\right) \quad (7)$$

در این رابطه، Y_x و Y_a به ترتیب برابر با عملکرد حداکثر و واقعی محصول (تن بر هکتار)، ET_x و ET_a به ترتیب برابر با تبخیر و تعرق حداکثر و واقعی گیاه (میلیمتر بر روز) و K_y ضریب نسبی میزان کاهش محصول نسبت به میزان کاهش تبخیر و تعرق (ضریب واکنش عملکرد گیاه به آب) است. شبیه‌سازی عملکرد ۵ محصول با این مدل انجام گرفته است و شوری آب آبیاری و آب زیرزمینی هر دو مدنظر بودند. تنش شوری در همه مراحل رشد بررسی شد. جهت اعمال این سناریو نیز از قابلیت خود مدل زراعی استفاده شده است. بطوریکه در ابتدا عملکرد محصولات با شوری کمتر از ۰/۷ شبیه‌سازی شد که همان عملکرد بدون محدودیت بوده، سپس با تنظیم شوری بر اساس دستورالعمل شوری آب در محدوده کیفیت متوسط (۱-۲ دسی زیمنس بر متر)، ضعیف (۱-۲/۳ دسی زیمنس بر متر) و خیلی ضعیف (۴-۳/۱) تغییرات عملکرد محاسبه شدند. همچنین این مدل با چهار گروه از داده‌های اقلیمی، گیاهی، خاک و مدیریتی که هر کدام بطور جداگانه جمع‌آوری شده‌اند، اجرا شده است. عملکردهای بدست آمده از این مدل، وارد تابع هدف مدل اقتصادی شده است. بطوریکه با اعمال سناریوی شوری و تغییر عملکرد در مدل زراعی، عملکرد تغییر یافته وارد تابع هدف شده و تغییرات الگوی کشت و مجموع ارزش تابع هدف بررسی شده است.

۴. یافته‌های پژوهشی و بحث

در ابتدا شبیه‌سازی مدل زراعی AquaCrop برای شرایط منطقه‌ای و بر اساس پتانسیل عملکرد پنج گیاه زراعی بر حسب وزن خشک (DYP) در دشت ارومیه و هشت دهستان انجام شد. عملکردهای بدست آمده برای محصولات نشان داد که عملکرد شبیه‌سازی شده با کمترین میزان خطای نسبی نسبت به عملکرد محصولات در منطقه می‌باشد. لذا مدل می‌تواند جهت بررسی چگونگی واکنش عملکرد نسبت به تنش شوری آب در منطقه بکار رود. ابتدا عملکرد گیاهان در تاریخ‌های مختلف کاشت شبیه‌سازی شده و مناسب‌ترین تاریخ که در آن حداکثر عملکرد حاصل می‌شد، بعنوان تاریخ کاشت در نظر گرفته شده است. جدول ۱ اطلاعات

مربوط به سطح زیر کشت، تاریخ مناسب کاشت و میزان آب مورد نیاز محصولات را نشان می‌دهد. میزان آبی که در هر نوبت آبیاری استفاده می‌شود، با استفاده از رابطه زیر محاسبه شده است:

$$I = W * D * f * 10000 \quad (8)$$

در این رابطه، I مقدار آبی است که در هر نوبت آبیاری باید به یک هکتار داد بر حسب مترمکعب بر هکتار، W توانایی ذخیره آب هر مترمکعب خاک، D عمق توسعه ریشه بر حسب متر، f ضریب آب سهل الوصول و ۱۰۰۰ برای تبدیل رابطه به مترمکعب در هکتار است (Taifeh Rezaei, 2014).

جدول ۱- اطلاعات زراعی محصولات

نام محصول	سطح زیر کشت (هکتار)	تاریخ مناسب کاشت	میزان آب مورد نیاز (مترمکعب در هکتار)
گندم آبی	۳۸۵۰	۳۰ مهر (21 October)	۲۸۰۹
ذرت علوفه‌ای	۳۴۷۰	۲۰ خرداد (10 June)	۵۵۷۸
چغندر قند	۷۶۰	۱۵ فروردین (4 April)	۶۶۸۰
آفتابگردان	۲۸۷۷	۲۰ اردیبهشت (10 May)	۵۳۵۹
گوجه‌فرنگی	۳۲۳۶	۳۰ اردیبهشت (20 May)	۶۰۹۳

منبع: یافته‌های تحقیق

نتایج حاصل از شبیه‌سازی عملکرد محصولات زراعی بدون اعمال تنش شوری در جدول ۲ آمده است. نتایج دهستان‌های نازلوی شمالی، نازلوی جنوبی و باش قلعه و همچنین دهستان‌های طلاتپه و ترکمان به دلیل شباهت نوع بافت خاک و سایر خصوصیات گیاهی مشابه بود. گندم آبی در دهستان‌های طلاتپه و ترکمان حداکثر عملکردی به اندازه ۵/۶ تن در هکتار و ذرت علوفه‌ای نیز در این دهستان‌ها حداکثر عملکردی به میزان ۶۵/۱۵ تن در هکتار داشته‌اند. چغندر قند در دهستان باراندوزچای جنوبی عملکرد حداکثری ۵۱/۸۲ تن در هکتاری داشته و آفتابگردان و گوجه‌فرنگی در دهستان بکشلوچای حداکثر عملکرد را داشته‌اند که مقدار آن‌ها به ترتیب برابر با ۱/۹۸ و ۴۳/۹۱ تن در هکتار بوده است. کمترین عملکرد تمامی محصولات نیز در باراندوزچای شمالی بدست آمده است. این نتایج بسیار نزدیک به عملکرد محصولات منطقه بود.

جدول ۲- نتایج شبیه‌سازی عملکرد محصولات زراعی (تن در هکتار)

دهستان و دشت	نوع بافت خاک	گندم آبی	ذرت علوفه‌ای	چغندر قند	آفتابگردان	گوجه‌فرنگی
نازلوچای شمالی	لوم رسی	۴/۳	۶۰/۷	۵۱/۷	۱/۸۹	۴۰/۷۵
نازلوچای جنوبی	لوم رسی	۴/۳	۶۰/۷	۵۱/۷	۱/۸۹	۴۰/۷۵
طلاتپه	لومی	۵/۶	۶۵/۱۵	۴۹/۹۴	۱/۹۳	۳۹/۳۶
باش قلعه	لوم رسی	۴/۳	۶۰/۷	۵۱/۷	۱/۸۹	۴۰/۷۱
بکشلوچای	لوم رسی شنی	۵/۴۳	۶۲	۵۰/۹۵	۱/۹۸	۴۳/۹۱
ترکمان	لومی	۵/۶	۶۵/۱۵	۴۹/۹۴	۱/۹۳	۳۹/۳۶
باراندوزچای شمالی	رس سیلتی	۴/۳۲	۴۹/۹	۴۵/۳۱	۱/۶۶	۳۶/۵۵
باراندوزچای جنوبی	لوم رسی سیلتی	۴/۳۱	۶۱/۲۵	۵۱/۸۲	۱/۹۲	۴۱/۶۳

منبع: یافته‌های تحقیق (۱۴۰۱)

اعمال سناریوی افزایش شوری (کاهش کیفیت آب): با اعمال این سناریو و بر اساس نتایج جدول ۳ عملکرد تمامی محصولات کاهش یافته است. با افزایش هر چه بیشتر شوری و کاهش کیفیت، عملکردها سیر نزولی یافته‌اند. همچنین کمترین تغییر در عملکرد گندم آبی و چغندرقد و بیشترین تغییر در عملکرد ذرت علوفه‌ای، آفتابگردان و گوجه‌فرنگی روی داده است. می‌توان نتیجه گرفت که گندم آبی و چغندرقد نسبت به سایر محصولات به شوری مقاوم‌تر هستند و در شرایط شوری شدید می‌توان این محصولات را جایگزین محصولات حساس نمود. Kumar et al., 2014 با سنجش حساسیت محصولات به شوری به نتیجه مشابه با این مطالعه دست یافتند که گندم نسبت به ذرت، آفتابگردان و گوجه‌فرنگی مقاوم‌تر می‌باشد. Mohammadian et al., 2014 میزان EC آب و خاک موثر در کاهش عملکرد چغندرقد را به ترتیب ۴/۷ و ۷ دسی‌زیمنس بر متر توصیه کرده‌اند. در این مطالعه نیز همانطوریکه مشهود است، عملکرد چغندرقد در EC های پایین‌تر از ۴ دسی‌زیمنس بر متر کاهش قابل توجهی نداشته است. بر اساس کمترین درصد تغییر هر یک از محصولات با افزایش شوری، مناطق مناسب کشت انتخاب شدند. بنابراین، گندم آبی در مناطق ۶ و ۸، ذرت علوفه‌ای، چغندرقد و گوجه‌فرنگی در منطقه ۷ و آفتابگردان در مناطق ۱، ۲ و ۸ برای کشت در شرایط شوری انتخاب شده‌اند.

جدول ۳- عملکرد محصولات با اعمال سناریوی شوری (تن بر هکتار)

سناریو	کیفیت متوسط	کیفیت ضعیف	کیفیت خیلی ضعیف	کیفیت متوسط	کیفیت ضعیف	کیفیت خیلی ضعیف	کیفیت متوسط	کیفیت ضعیف	کیفیت خیلی ضعیف	کیفیت متوسط	کیفیت ضعیف	کیفیت خیلی ضعیف
دهستان	نازلوچای شمالی			نازلوچای جنوبی			طلاتپه			باش قلعه		
گندم آبی	۴/۳	۴/۱۶	۴/۱۲	۳/۴	۴/۳۱	۴/۱۷	۵/۶	۵/۵۲	۵/۲۹	۴/۳	۴/۱۶	۴
ذرت	۵۸/۰۵	۵۰/۵۵	۴۲/۶	۵۸/۹	۵۲/۱	۴۴/۹۵	۵۶	۴۶/۵	۳۶/۵	۵۷/۸	۵/۱۵	۴/۰۵
علوفه‌ای												۲
چغندرقد	۵۱/۷	۵۱/۶۸	۵۱/۱۸	۵۱/۷	۵۱/۶۸	۵۱/۳۴	۴۹/۹۴	۴۹/۹۴	۴۹/۴۳	۵۱/۷	۵/۶۱	۵/۱۳
آفتابگردان	۱/۷۵	۱/۵۳	۱/۳۴	۱/۸۱	۱/۶۸	۱/۵۱	۱/۷۳	۱/۴۵	۱/۲	۱/۷۳	۱/۵	۱/۲۹
ن												
گوجه-فرنگی	۳۸/۲۹	۳۳/۱۲	۲۷/۵۲	۳۹/۱	۳۵/۰۹	۲۹/۷	۳۵/۱۹	۳۰/۳۸	۲۵/۶۸	۳۸/۰۴	۳/۶۳	۲/۹۸
												۶
بکشلوچای	ترکمان			باراندوزچای شمالی			باراندوزچای جنوبی					
گندم آبی	۵/۴۳	۵/۳۹	۵/۲۱	۵/۶	۵/۵۶	۵/۴۸	۴/۳۲	۴/۲۱	۴/۰۴	۴/۳۱	۴/۳۱	۴/۲۳
ذرت	۵۸/۵۵	۵۰/۲۵	۴۱/۲۵	۵۸/۴	۴۹/۲	۳۹/۹۵	۵۳/۲	۴۷/۳۵	۴۳/۱۵	۵۹/۱	۵۱/۹	۴/۳۵
علوفه‌ای												۴
چغندرقد	۵۰/۹۸	۵۰/۸۴	۵۰/۲	۴۹/۹۵	۴۹/۹۴	۴۹/۵	۴۵/۳۱	۴۵/۳۱	۴۵/۳۲	۵۱/۸۲	۵/۲۹	۵/۲۸
آفتابگردان	۱/۸۹	۱/۶۶	۱/۴۳	۱/۸۱	۱/۵۹	۱/۳۸	۱/۵۶	۱/۴۲	۱/۳۱	۱/۸۶	۱/۷۴	۱/۵۸
ن												

گوجه - فرنگی	۳۸/۷	۳۳/۳	۲۸/۲۱	۳۶/۵۵	۳۱/۹۲	۲۸/۰۶	۳۶/۰۵	۳۳/۱۹	۲۸/۶۴	۳۹/۹۴	۳/۸۵	۲/۹۹
											۴	۹

منبع: یافته‌های تحقیق

پس از شبیه‌سازی عملکرد محصولات با اعمال تنش شوری، عملکردهای شبیه‌سازی شده وارد مدل اقتصادی شدند و نتایج اقتصادی تغییر الگوی کشت بررسی شد. جدول ۴ نتایج حاصل از مدل اقتصادی را نشان می‌دهد. در این جدول در دهستان نازلوچای شمالی، سطح زیرکشت ذرت علوفه‌ای، آفتابگردان و گوجه‌فرنگی با افزایش شوری، افزایش یافته‌اند و سطح زیرکشت چغندرکند در شوری ضعیف، کاهش و با افزایش شوری افزایش یافته است. بنابراین بجز گندم سطح زیرکشت سایر محصولات در این دهستان با افزایش شوری، افزایش می‌یابد. در دهستان نازلوچای جنوبی نیز بجز چغندرکند، سطح زیرکشت سایر محصولات با افزایش شوری، افزایش داشته‌اند. در دهستان طلاتپه، بجز گندم، سطح زیرکشت سایر محصولات با افزایش شوری افزایش یافته است و در دهستان باش قلعه افزایش شوری بجز چغندرکند موجب افزایش سطح زیرکشت سایر محصولات شده است. در دهستان بکشلوچای، با افزایش شوری سطح زیرکشت همه محصولات بجز گندم آبی افزایش یافته است. همچنین افزایش شوری موجب کاهش سطح زیرکشت گندم آبی و ثابت ماندن سطح زیرکشت ذرت علوفه‌ای و چغندرکند و افزایش یک هکتاری سطح زیرکشت آفتابگردان و گوجه‌فرنگی در دهستان ترکمان شده است. افزایش شوری در باراندوزچای شمالی تنها موجب افزایش سطح زیرکشت آفتابگردان شده، گندم آبی از الگو حذف و سطح زیرکشت سایر محصولات کاهش یافته است. در باراندوزچای جنوبی نیز سطح زیرکشت آفتابگردان و گوجه‌فرنگی افزایشی و سطح زیرکشت سایر محصولات کاهشی بوده است.

جدول ۴- نتایج الگوی کشت حاصل از اعمال سناریوی شوری

منطقه	سناریو	سطح زیرکشت و درصد الگوی کشت هر محصول				ارزش تابع هدف
		گندم آبی	ذرت علوفه‌ای	چغندرکند	آفتابگردان	گوجه‌فرنگی
نازلوچای شمالی	الگوی بهینه	۱۴۱۶	۱۶۱۷	۶۳۰	۱۵۷۴	۱۲۱۸
		۲۱,۹۳٪	۲۵٪	۹,۷۵٪	۲۴,۳۸٪	۱۸,۸۶٪
	متوسط	۱۴۱۴	۱۶۱۷	۶۲۴	۱۵۸۴	۱۲۱۹
	ضعیف	۱۴۲۷	۱۶۲۰	۵۹۸	۱۶۰۱	۱۲۲۳
نازلوچای جنوبی	خیلی ضعیف	۱۴۳۵	۱۶۲۲	۶۰۷	۱۶۰۴	۱۲۲۷
	الگوی بهینه	۱۷۳	۴۰۴	۹۲	۴۶۰	۲۷۰
		۱۲,۳۶٪	۲۸,۸۷٪	۶,۵۷٪	۳۲,۸۸٪	۱۹,۲۹٪
	متوسط	۱۷۲	۴۰۴	۹۱	۴۶۱	۲۷۱
طلاتپه	ضعیف	۱۷۰	۴۰۴	۹۱	۴۶۲	۲۷۱
	خیلی ضعیف	۱۷۵	۴۰۵	۸۵	۴۶۴	۲۷۲
	الگوی بهینه	۳۰۴	۳۴۱	۶۱	۴۲۹	۲۷۱
		۲۱,۶۲٪	۲۴,۲۵٪	۴,۳۳٪	۳۰,۵۱٪	۱۹,۲۷٪
باش قلعه	متوسط	۳۰۳	۳۴۱	۶۱	۴۲۹	۲۷۲
	ضعیف	۲۹۶	۳۴۲	۶۲	۴۳۰	۲۷۴
	خیلی ضعیف	۲۷۹	۳۴۴	۶۵	۴۳۲	۲۷۷
	الگوی بهینه	۱۵۰	۳۶۴	۸۲	۴۰۰	۲۵۴

	۲۰,۳۲٪	۳۲٪	۶,۵۶٪	۲۹,۱۲٪	۱۲٪		
۱۸۵	۲۵۴	۴۰۲	۸۱	۳۶۳	۱۴۸	متوسط	
۱۵۹	۲۵۵	۴۰۶	۷۵	۳۶۴	۱۵۳	ضعیف	
۱۳۳	۲۵۵	۴۰۸	۷۱	۳۶۴	۱۵۷	خیلی ضعیف	
۳۹	۳۷	۱۵	۱۶	۹۸	۴۳	الگوی بهینه	بکشلوچای
	۱۷,۷٪	۷,۱۷٪	۷,۶۵٪	۴۶,۸۸٪	۲۰,۵۷٪		
۳۷	۳۷	۱۴	۱۶	۹۸	۴۲	متوسط	
۳۲	۳۹	۲۱	۱۸	۱۰۱	۴۵	ضعیف	
۲۷	۴۰	۲۲	۱۹	۱۰۲	۴۰	خیلی ضعیف	
۱۳۵	۱۰۳	۲۹	۲۳	۴۵۲	۱۶۳	الگوی بهینه	ترکمان
	۱۳,۳۷٪	۳,۷۶٪	۲,۹۸٪	۵۸,۷٪	۲۱,۱۶٪		
۱۲۳	۱۰۳	۲۹	۲۳	۴۵۲	۱۶۲	متوسط	
۱۰۴	۱۰۴	۳۰	۲۳	۴۵۲	۱۵۹	ضعیف	
۸۷	۱۰۴	۳۰	۲۳	۴۵۲	۱۵۶	خیلی ضعیف	
۵۲	۱۵۷	۳۵	۵۳	۴۱	۲۷	الگوی بهینه	باراندوزچای شمالی
	۵۰,۱۵٪	۱۱,۱۸٪	۱۶,۹۳٪	۱۳٪	۸,۶۳٪		
۵۲	۱۵۷	۳۵	۵۲	۴۱	۲۶	متوسط	
۴۸	۱۵۸	۳۶	۵۴	۴۱	۱۹	ضعیف	
۴۲	۱۳۷	۵۲	۱۲	۲۸		خیلی ضعیف	
۳۷	۵۳	۹	۱۷	۳	۶۵	الگوی بهینه	باراندوزچای جنوبی
	۳۶٪	۶,۱۲٪	۱۱,۵۶٪	۲٪	۴۴,۲۱٪		
۳۲	۵۳	۹	۱۴	۳	۵۴	متوسط	
۲۵	۵۰	۷	۱۳	۲	۴۸	ضعیف	
۲۱	۵۱	۲۰	۱۱	۲	۳۲	خیلی ضعیف	

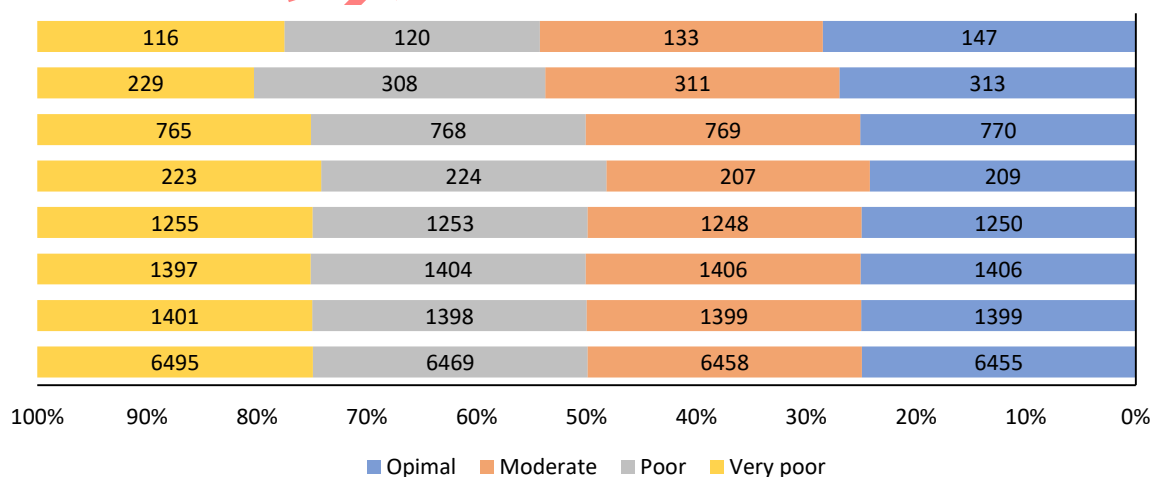
منبع: یافته‌های تحقیق (واحد: هکتار، میلیارد تومان)

بر اساس نتایج بدست آمده از مدل اقتصادی، سطح زیرکشت گندم آبی با افزایش شوری تا حد متوسط نسبت به حالت بهینه کاهش یافته است. همچنین روند تغییرات سطح زیرکشت تا کیفیت خیلی ضعیف در تمام دهستان‌ها کاهشی و در دهستان‌های نازلوچای شمالی و جنوبی و باشقلعه افزایشی بود. بافت خاک این دهستان‌ها لوم رسی می‌باشد. پس می‌توان نتیجه گرفت که کشت گندم با افزایش شوری در این دهستان‌ها بازده اقتصادی داشته است. سطح زیرکشت ذرت علوفه‌ای در شوری متوسط نسبت به حالت بهینه در تمام دهستان‌ها ثابت و فقط در دهستان باشقلعه کاهش یک هکتاری داشته است. روند تغییرات سطح زیرکشت نیز در دهستان‌های باراندوزچای شمالی و جنوبی کاهشی، در دهستان ترکمان ثابت و برابر با ۴۵۲ هکتار و در سایر دهستان‌ها افزایشی بود. انتظار می‌رفت با کاهش عملکرد حاصل از شبیه‌سازی مدل زراعی که نتایج آن در جدول ۳ آمده است، سطح زیرکشت ذرت علوفه‌ای در تمام دهستان‌ها کاهش یابد، ولی بدلیل بالا بودن بازده اقتصادی، کاهشی در سطح زیرکشت آن مشاهده نشد. بنظر می‌رسد، با شور شدن آب‌های زیرزمینی تنها در دهستان‌هایی که بافت خاک رس سیلتی و لوم رس سیلتی دارند، کشت ذرت علوفه‌ای مقرون به‌صرفه نباشد. با کاهش کیفیت آب زیرزمینی تا حد متوسط، سطح زیرکشت چغندر قند نسبت به حالت بهینه در تمام دهستان‌ها کاهش یافته و در دهستان‌های طلاتپه، بکشلوچای و ترکمان ثابت بوده است. روند تغییرات سطح زیرکشت با

افزایش شوری در دهستان‌های طلاتپه و بکشلوچای افزایشی و در دهستان ترکمان ثابت برابر با ۲۳ هکتار و در سایر دهستان‌ها کاهش یافته است. برخلاف ذرت علوفه‌ای در مورد چغندرقد نیز انتظار می‌رفت که دلیل کاهش کمتر عملکرد با افزایش شوری نسبت به سایر محصولات، سطح زیرکشت آن افزایش یابد، ولی تنها در سه دهستان سطح زیرکشت افزایش نشان داد. عبارتی بافت خاک‌های لومی و لوم رسی شنی با شور شدن آب زیرزمینی برای کشت چغندرقد مناسب بوده و کشت در این نوع بافت‌ها بازده بالاتری ایجاد می‌کند.

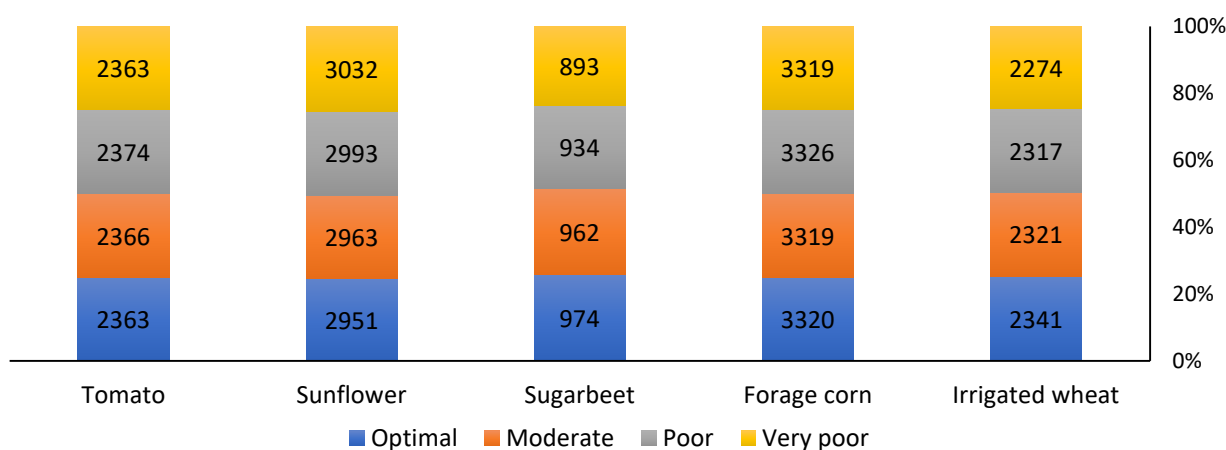
روند تغییرات سطح زیرکشت آفتابگردان در تمام دهستان‌ها افزایشی بوده و نشان می‌دهد تمام انواع بافت خاک دهستان‌ها با شور شدن آب زیرزمینی برای کشت آفتابگردان مناسب بوده و دارای بازده اقتصادی بوده‌اند و سرانجام روند تغییرات سطح زیرکشت گوجه‌فرنگی در تمام دهستان‌ها بجز باراندوزچای شمالی و جنوبی افزایشی بوده است و همانند ذرت علوفه‌ای کشت گوجه‌فرنگی در بافت خاک‌های رس سیلتی و لوم رس سیلتی بازده اقتصادی ندارد. Hassanli et al., 2020 در شهرستان ورامین به نتیجه مشابه با مطالعه حاضر دست یافتند، بطوریکه با محاسبه ارزش اقتصادی آب در شرایط شوری، به کشت محصولات متناسب با شوری تأکید کردند. هم‌اکنون که اطلاعات جدول ۴ نشان می‌دهد، مجموع ارزش تابع هدف در تمامی سطوح شوری کاهش یافته و شور شدن آب زیرزمینی علاوه بر کاهش سطح زیرکشت محصولات، موجب زیان به کشاورزان نیز شده است. بازده ناخالص در سطح متوسط نسبت به سطوح ضعیف و خیلی ضعیف، حداکثر مقدار را داشته، ولی نسبت به حالت بهینه کاهش ۰/۵ تا ۱۱ درصدی داشته است. نتیجه مطالعه Najafi et al., 2018 در دشت داراب فارس نیز نشان داد که شور شدن آب موجب کاهش محصولات و درآمد کشاورزان می‌شود. بطور کلی در نمودار دو تغییرات الگوی کشت دهستان‌ها با اعمال سناریوی افزایش شوری آب آبیاری نشان داده شده است.

در نمودار شماره (۲) حداکثر سطح زیرکشت مناطق یک تا هشت به ترتیب در سطوح شوری خیلی ضعیف، خیلی ضعیف، بهینه، ضعیف، بهینه و بهینه می‌باشد. به بیان دیگر، با افزایش هر چه بیشتر شوری آب آبیاری تا سطح خیلی ضعیف، مجموع سطح زیرکشت محصولات در مناطق ۳، ۶، ۷ و ۸ کاهش و در سایر مناطق افزایش یافته است و می‌توان در شرایط شوری زیاد، محصولات متناسب با سطح شوری در مناطق ۱، ۲، ۴ و ۵ کشت کرد. حداکثر درصد سطح زیرکشت در حالت بهینه مربوط به منطقه ۸ و در شوری خیلی ضعیف مربوط به منطقه ۵ می‌باشد.



نمودار ۲. مقدار حداکثر سطح زیرکشت در سطوح مختلف شوری در هر منطقه

در نمودار ۳ نیز تنها مجموع سطح زیرکشت آفتابگردان با افزایش شوری تا حد خیلی ضعیف و سطح زیرکشت ذرت علوفه‌ای و گوجه‌فرنگی نیز تا سطح ضعیف افزایش یافته و با افزایش شوری کاهش یافته‌اند. حداکثر سطح زیرکشت برای گندم آبی، ذرت علوفه‌ای، چغندرقد، آفتابگردان و گوجه‌فرنگی به ترتیب در حالت بهینه، ضعیف، بهینه، خیلی ضعیف و ضعیف می‌باشد. بر این اساس، با افزایش شوری آب آبیاری بجز گندم آبی و چغندرقد کشت سایر محصولات دارای بازده اقتصادی می‌باشد. حداکثر درصد سطح زیرکشت در حالت بهینه مربوط به چغندرقد و در خیلی ضعیف مربوط به آفتابگردان می‌باشد.



نمودار ۳. حداکثر سطح زیرکشت محصولات در هر سناریو برای هر محصول

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به وضعیت کنونی حوزه آبریز دریاچه ارومیه و افزایش شوری آب‌های زیرزمینی، تصمیم‌گیری برای کشت در این منطقه اهمیت بسیاری دارد. از این رو، مطالعه حاضر با هدف بررسی آثار افزایش شوری منابع آب زیرزمینی بر الگوی کشت در دشت ارومیه با دو مدل زراعی و اقتصادی انجام شد. در مدل زراعی نتیجه تأثیر افزایش شوری در سه سطح بر عملکرد ۵ محصول بررسی شد. بر این اساس، در بین محصولات، گندم آبی و چغندرقد در شوری‌های پائین‌تر از ۴ دسی‌زیمنس بر متر افت عملکرد چندانی نداشته و مقاوم‌تر بودند. Kamali et al., 2021 با مدل شبیه‌ساز SALTMED واکنش گندم به شوری را در بیرجند بررسی کردند و همانند مطالعه حاضر، به این نتیجه رسیدند که در شوری‌های کم (۱/۴ دسی‌زیمنس بر متر) افت عملکرد بسیار کمتر از شوری‌های زیاد (۹/۶ دسی‌زیمنس بر متر) بود. Gharedaghi et al., 2016 نیز از مدل‌های SALTMED و SWAP برای شبیه‌سازی عملکرد ذرت علوفه‌ای در شرایط شوری آب در کرج استفاده کردند و نشان دادند که با افزایش تنش شوری، عملکرد محصول کاهش یافت. در این مدل، مناطق مناسب کشت بر اساس کمترین درصد تغییر هر یک از محصولات با افزایش شوری، انتخاب شدند. پس از شبیه‌سازی عملکردها با اعمال سناریوی شوری، عملکردهای تغییر یافته وارد مدل اقتصادی شدند و تأثیر آنها بر الگوی کشت محصولات در دهستان‌های ۸ گانه بررسی شد. محصولاتی که با افزایش شوری، در سطح زیرکشت آنها روند افزایشی روی می‌داد بعنوان مناطق مناسب کشت آن محصول انتخاب شدند. همانند کاهش مجموع سطوح زیرکشت با اعمال سناریوی شوری، بازده ناخالص نیز با افت ۰/۵ تا ۱۱ درصدی نسبت به حالت بهینه همراه بود و زیان‌هایی برای کشاورزان به همراه داشت. Dhakal (2016) در لوئیزیانا خسارت افزایش شوری در ۳۰ سال بعد را ۵۰۰ میلیون دلار در کل تولید برآورد کرد. نمودار تغییر سطح زیرکشت دهستان‌ها نیز نشان داد که با افزایش شوری آب آبیاری تا سطح خیلی ضعیف، مجموع سطح زیرکشت در مناطق ۳، ۶، ۷ و ۸ کاهش و در سایر مناطق افزایش یافته بود. بنابراین در شرایط شوری زیاد، بهتر است کشت محصولات متناسب با

شوری در مناطق ۱، ۲، ۴ و ۵ انجام گیرد. همچنین ترکیب الگوی کشت محصولات نیز نشان داد که مجموع سطح زیرکشت آفتابگردان تا شوری خیلی ضعیف و سطح زیرکشت ذرت علوفه‌ای و گوجه‌فرنگی نیز تا شوری ضعیف افزایش یافته و امکان کشت این محصولات در این شرایط وجود دارد. در حالیکه گندم آبی و چغندرقد حداکثر سطح زیرکشت خود را در حالت بهینه داشتند و در شوری‌های بالاتر دارای بازده اقتصادی نبودند. همانطوریکه مشخص است، گندم آبی و چغندرقد مقاوم به شوری بوده و در مدل زراعی کمترین افت عملکرد را داشتند، اما نتیجه حاصل از مدل اقتصادی در برخی دهستان‌ها، کاهش سطح زیرکشت یا حذف این محصولات از الگوی کشت است. دلیل این امر، تأثیر سایر عوامل بجز عملکرد (مانند هزینه‌ها) در مدل اقتصادی می‌باشد که موجب دستیابی به چنین الگوی کشتی شده است.

بطور کلی، شور شدن منابع آب زیرزمینی، علاوه بر افت عملکرد محصولات، با کاهش بازده ناخالص، زیان بسیاری متوجه کشاورزان دشت خواهد کرد. لذا با شناساندن روش‌های جلوگیری از افزایش شوری آب زیرزمینی با منشأ کشاورزی (عدم استفاده از کودهای حاوی کلراید، مصرف تناوبی آب شور و غیر شور و ...)، علاوه بر حفظ کیفیت منابع آبی، از افت عملکرد محصولات نیز جلوگیری خواهد شد. همچنین نتایج مدل‌های زراعی و اقتصادی، کشاورزان را در تعیین مناطق مناسب کشت محصولات در منطقه یاری خواهد کرد، توصیه می‌شود از نتایج مدل اقتصادی که نتایج مدل زراعی را نیز در بر دارد در انتخاب الگوی کشت در منطقه استفاده شود و تغییر در الگوی کشت محصولات و کشت محصولات متناسب با شوری، هرچند در راستای وضعیت منطقه خواهد بود، ولی به کیفیت منابع آبی کمکی نخواهد کرد. بنابراین توصیه می‌شود کشت محصولات گندم و چغندرقد که مقاوم به شوری هستند در شرایط شوری زیاد جایگزین سایر محصولات شوند.

۶. منابع

7. Abbasmiri, S. S., Mortazavi, S. A., Najafi Alamdarlo, H., and Vakipoor, M. H. (2024). Economic and Environmental Effects of Using Treated Wastewater with Robust Feasibility Chance Constraint Programming. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 55(3): 467-488. doi: 10.22059/ijaedr.2024.367113.669262. (In Persian).
8. Ali, R., Elliot, R. L., Ayars, J. E., and Stevens, E. W. (2000). Soil salinity modeling over shallow water tables. II: Applications of LEACHC. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 126: 234-242.
9. Alizadeh, A. (2015). Principles of Applied Hydrology. Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, 40th edition. (In Persian).
10. Askari, J., and Egdernezhad, A. (2022). 'Groundwater modeling using artificial intelligence methods (Case study: Dezful-Andimeshk plain), *Journal of Research in Environmental Health*, 8(2):160-171. doi: 10.22038/jreh.2022.61396.1457. (In Persian).
11. Ayers, R.S., and Westcot, D.W. (1994). Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper.
12. Bameri, A., Piri, H. (2015). 'Assessment Of Groundwater Pollution In Bajestan Plains For Agricultural Purposes Using Indicator Kriging', *Journal of Water and Soil Conservation*, 22(1): 211-229. (In Persian).
13. Buysse, J., Huylenbroeck, G. V., and Lauwers, L. (2007). Normative, positive and econometric mathematical programming as tools for incorporation of multifunctionality in agricultural policy modeling. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 120: 70-81.

14. Del Saz-Salazar, S., Hernandez-Sancho, F., and Sala-Garrido, R. (2009). The social benefits of restoring water quality in the context of the Water Framework Directive: A comparison of willingness to pay and willingness to accept. *Science of the Total Environment*. 407: 4574–4583.
15. Delbari, M., Amiri, M., and Bahraini Motlagh, M. (2016). Assessing groundwater quality for irrigation using indicator kriging method. *Applied water science*, 6: 371–381.
16. Demir, Y., Erşahin, S., Güler, M., Cemek, B., Günal, H., and Arslan, H. (2009). Spatial variability of depth and salinity of groundwater under irrigated ustifluvents in the Middle Black Sea Region of Turkey. *Environ Monit Assess*, 158(1-4):279-94.
17. Dhakal, R. (2016). Economic impacts of groundwater salinity in Louisiana. LSU Master's thesis.
18. Dinpasho, Y., Fakhari Fard, A., Hassanpoor Eghdam, M. A., Beheshtee Vayghan, V. (2015). 'Trend Analysis of Groundwater Quality of Shabestar- Soofian Plain', *Irrigation Sciences and Engineering*, 38(1): 55-69. doi: 10.22055/jise.2015.11153. (In Persian).
19. El Yaouti, F., El Mandour, A., Khattach, D., Benavente, J., and Kaufmann, O. (2009). Salinization processes in the unconfined aquifer of Bou-Areg (NE Morocco): A geostatistical, geochemical, and tomographic study. *Applied Geochemistry*, 24: 16–31.
20. Gharechaei, H. R., Nazari Samani, A., Khalighi Sigaroodi, S., Ahmadaali, K., and Fathabadi, A. (2022). 'Groundwater Salinity Risk Assessment in the Southern Plains of the Bakhtegan Watershed Using Statistical and Data Mining Models and Fuzzy Hierarchical Analysis Process', *Watershed Management Research*, 35(3): 2-14. doi: 10.22092/wmrj.2021.355779.1432. (In Persian).
21. Gharedaghi, M., Tabatabaei, M., and Hasanli, M. (2016). 'Simulation of Soil Salinity and Maize Yield under Saline Water Application Using SWAP and SALTMED Models', *Journal of Water Research in Agriculture*, 30(1): 51-64. doi: 10.22092/jwra.2016.106201. (In Persian).
22. Gholami, V., Derakhshan, S., and Davari, Z. (2012). 'Multivariate Regression Method and Artificial Neural Network (ANN) in Modeling Ground Water Salinity in the Coastal Areas of Mazandaran Province, Iran', *Journal of Water Research in Agriculture*, 26(3): 355-365. doi: 10.22092/jwra.2012.118987. (In Persian).
23. Hassanli, M., Afrasiab, P., Sabuhi, M., and Ebrahimian, H. (2020). 'Groundwater Valuation Using Residual Method and Considering Water Salinity in Varamin County', *Journal of Water Research in Agriculture*, 34(2): 301-315. doi: 10.22092/jwra.2020.122265. (In Persian).
24. Hosseinfard, S. J., and Mirzaei Aminiyan, M. (2015). Hydrochemical Characterization of Groundwater Quality for Drinking and Agricultural Purposes: A Case Study in Rafsanjan Plain, Iran. *Water Qual Expo Health*. 7: 531–544.
25. Howitt, R. E. (1995) Positive mathematical programming. *American Journal of Agricultural Economics*. 77:329-342.
26. Jalalkamali, A., and Sheykhbahaei, A. (2022). Modeling of groundwater salinity on the Persian Gulf coastal plain by using linear moments and ANFIS-PSO. *International Journal of Coastal Offshore and Environmental Engineering*, 7:43-49.

27. Kamali, H. R., Abdolahipour, M., and Nahvinia, M. J. (2022). 'Evaluation of SALTMED model in estimation of wheat yield under deficit irrigation and salinity stress in arid areas (Case study: Birjand)', *Water and Irrigation Management*, 11(4): 815-827. doi: 10.22059/jwim.2022.330654.922. (In Persian).
28. Karunanidhi, D., Vennila, G., Suresh, M., and Subramanian, S.K. (2013). Evaluation of the groundwater quality feasibility zones for irrigational purposes through GIS in Omalur Taluk, Salem District, South India. *Environ Sci Pollut Res*, 20: 7320–7333.
29. Kathy, P. (2005). Water recreation and disease plausibility of associated infections: acute effects, sequelae and mortality. World Health Organization.
30. Kumar, P., Sarangi, A., Singh, D. K., and Parihar, S. S., (2014). Evaluation of AquaCrop model in predicting Wheat yield and water productivity under irrigated saline regimes. *Journal of Irrigation and Drainage*, 63: 474- 487.
31. Ledesma-Ruiz, R., Pasten-Zapata, E., Parra, R., Harter, Th., And Mählknecht, J. (2015). Investigation of the geochemical evolution of groundwater under agricultural land: A case study in northeastern Mexico. *Journal of Hydrology*, 521: 410–423.
32. Li, CH., Gao, X., Li, S., and Bundschuh, J. (2020). A review of the distribution, sources, genesis, and environmental concerns of salinity in groundwater. *Environmental science and pollution research*, 27: 41157- 41174.
33. Maguette Dienga, N., Orban, Ph., Otten, J., Stumpp, Ch., Faye, S., and Dassargues, A. (2017). Temporal changes in groundwater quality of the Saloumcoastal aquifer. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 9: 163–182.
34. Malakootian, M., and Mohammadi Senjedkooh, S. (2014). Quality Assessment of SIRJAN Plain Groundwater Resources to Evaluate Their Contamination to Heavy Metals. 2 (2) :31-39 (In Persian).
35. Mehdizadeh, S. S., and Vafaie, F. (2016). Experimental and Numerical Investigation on Saltwater Intrusion into Unconfined Coastal Aquifers. *Journal of Oceanography*, 7 (25) :67-76. (In Persian).
36. Mehri, S., Alesheikh, A. A., and Javadzade, Z. (2015). 'An Assessment of Changes in Groundwater Quality and Groundwater Levels in Lake Urmia Basin', *Iranian journal of Ecohydrology*, 2(4):395-404. doi: 10.22059/ije.2015.58065. (In Persian).
37. Mohammadian, R., Fath-ol-Allah Taleghani, D., Noshad, H., Mahmoudi, B., Orazizadeh, M. R., Abdolhayan Noqabi, M., Ghalibi, S., Sadrghaen, H. and Najafi, H. (2014). Guide to sugar beet cultivation in different regions of the country. Research, Extension and Education Organization, Deputy of Agricultural Promotion and Education, Agricultural Education Publication. 1-52. (In Persian).
38. Motevalli, A., Moradi, H. R., and Javadi, S. (2018). A Comprehensive evaluation of groundwater vulnerability to saltwater up-coning and sea water intrusion in a coastal aquifer (case study: Ghaemshahr-juybar aquifer). *Journal of Hydrology*, 557: 753–773.
39. Najafi, B., Shajari, S., and Mohammad Cheraghi, S. A. (2018). Investigating the economic, social and environmental effects of groundwater table decline in Fars Province. *Planning and Sustainable Development*, 1: 19– 36. (In Persian).
40. Nasr, M., and Zahran, HF. (2014). Using of pH as a tool to predict salinity of groundwater for irrigation purpose using artificial neural network. *Egypt J Aquat Res*, 40:111–115.

41. Noorbakhsh Zameleh, S., Salehi, L., and Monavvarifard, F. (2024). 'Farmers' Social Responsibility to Sustainable Use of Water in Bilevar Plain: Multi-Groups Analyses', *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 55(1), pp. 15-37. doi: 10.22059/ijaedr.2024.366120.669256. (In Persian).
42. Oki, A.O., and Akana, T.S. (2016). Quality assessment of groundwater in Yenagoa, Niger delta, Nigeria. *Geosciences* 6: 1–12.
43. Paris, Q., and Howitt, R.E. (1998) An analysis of ill posed production problems using maximum entropy, *American Journal of Agricultural Economics*, 80: 124-138.
44. Saeidi, H., Akbarpour, A., Baghvand, A., Niksokhan, M., and Sadeghi tabas, S. (2016). 'Simulation-Optimization Quantitative and qualitative model operation of aquifer in order to adjust pollutant concentrations using Cuckoo algorithm', *Journal of Water and Soil Conservation*, 23(5), pp. 87-103. doi: 10.22069/jwfst.2017.6508.1863. (In Persian).
45. Sokouti Oskoe, R. (2012). Temporal and spatial variability of groundwater salinity in Urmia plain. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 1(4): 19-25. SID. <https://sid.ir/paper/232307/en>. (In Persian).
46. Taifeh Rezaei, H. (2014). Irrigation planning for garden and agronomy crops. Agricultural Jihad Organization of West Azerbaijan.
47. Water Resources Planning Office, 2010.
48. West Azerbaijan Province Regional Water Company (2021). (In Persian).
49. Yazdanparast, M., and Ghorbani, M. (2024). 'Designing and Development of a Dynamic Water Security Model Based on Social-Ecological System Interactions (Neyshabur Plain watershed)', *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 55(2), pp. 183-204. doi: 10.22059/ijaedr.2023.350655.669188. (In Persian).

Effects of increasing salinity of groundwater resources on cropping patterns in the Urmia Plain

The increase in groundwater salinity, as one of the factors of irrigation water quality, has a significant impact on decision-making for cultivation in sensitive areas. The Urmia Lake basin faces serious problems in the management and consumption of water resources. Given the importance of the issue, the present study aimed to investigate the effects of the increase in groundwater salinity on the cultivation pattern in the Urmia Plain using an agro-economic model. For this purpose, first, using an agronomic simulation model, the relationship between groundwater salinity and crop yield was investigated. The results show that wheat and sugar beet are more resistant to salinity increase scenarios, but significant changes are made in the yield of sunflower, corn and tomato crops. Considering these changes, in different groundwater salinity scenarios, the optimal cultivation pattern was evaluated using an economic model. The results show that the amount of change in the cultivation pattern of each region depends on two factors: salinity and economic profit, and with increasing groundwater salinity, farmers' gross margin decreases by 0.5 to 11 percent compared to the optimal state. Considering the increasing trend of groundwater salinity in the study area, it is suggested to adopt policies compatible with salinity.

Keywords: Urmia lake watershed, Irrigation water quality, Agro-Economic Model.