

تأثیر تغییر اقلیم بر شوری‌زایی در پهنه‌های مرکزی و شرق ایران

محمدحسن رحیمیان^{1*}، سمانه پورمحمدی، یوسف هاشمی‌نژاد و محمدعلی مشکوه

کارشناس تحقیقات آبیاری و زهکشی، مرکز ملی تحقیقات شوری؛ mbrahimian@gmail.com

کارشناس ارشد مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه یزد؛ s.poormohammadi@gmail.com

کارشناس ارشد خاکشناسی و عضو هیأت علمی مرکز ملی تحقیقات شوری؛ hashemnejhad@gmail.com

دکتری خاکشناسی و عضو هیأت علمی مرکز ملی تحقیقات شوری؛ yazdmeskat@gmail.com

چکیده

ایران کشوری است که در حال حاضر 34 درصد از وسعت آن را معضل شوری خاک و بیش از نیمی از آن را شرایط حاد محیطی (خشکی و کم آبی) احاطه نموده است. این تحقیق به بررسی رابطه بین شوری خاک و عوامل اقلیمی جهت تعیین اثرات تغییر اقلیم بر پدیده شوری‌زایی در کشور پرداخته است. در ابتدا از نقشه یک میلیونیم منابع و استعداد اراضی و داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های سینوپتیک کشور استفاده و رابطه بین شوری خاک و پارامترهای مختلف اقلیمی با ضرایب رگرسیونی معنی‌دار (بین 0/56 تا 0/72) استخراج شد. سپس به کمک اطلاعات مربوط به بارندگی، دما و تبخیر تعرق حاصله از مدل‌های تغییر اقلیم (HadCM3) در دوره‌های آبی و تحت دو سناریوی مختلف (A2 و B2)، اقدام به پیش‌بینی شوری خاک در دهه‌های آتی شد. بر این اساس مشخص گردید که در سایه تغییرات اقلیمی محتمل در طی نود سال آینده، میزان شوری متوسط خاک بین 1/5 تا 4/7 دسی زیمنس بر متر افزایش خواهد داشت. همچنین در این تحقیق اقدام به بررسی عوامل اقلیمی حاکم بر پدیده‌های واقع در فلات مرکزی ایران به عنوان عرصه‌های طبیعی شور و مناطق شاخص در شوری‌زایی اولیه شد و به کمک اطلاعات درازمدت ایستگاه‌های سینوپتیک کشور، شاخص‌های خشکی یونپ و دمارتون برای آنها محاسبه گردید. بطور مشابه و به کمک اطلاعات مربوط به بارندگی، دما و تبخیر تعرق حاصله از مدل‌های تغییر اقلیم (HadCM3)، اقدام به پیش‌بینی این شاخص‌ها در دهه‌های آتی شد. نتایج این مرحله از تحقیق نیز حاکی از اثرات معنی‌دار تغییر اقلیم بر حادث شدن شرایط محیطی حاکم بر پدیده‌های آبی و به تبع آن افزایش شوری و وسعت این عرصه‌ها در آینده است. نتایج این تحقیق پیشنهادکننده اعمال استراتژی‌ها و راهکارهای مدیریتی برای مقابله با تشدید شوری‌زایی منابع خاک در آینده می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: اقلیم، شوری‌زایی، پدیده (دق)، شاخص‌های خشکی، HadCM3.

مقدمه

بر اساس آخرین اطلاعات شوری خاک کشور در مقیاس سرزمین که از نقشه یک میلیونیم منابع و استعداد خاک-های ایران (بنائی، 1380) استخراج شده است، اراضی دارای خاک‌های با درجات مختلف شوری دارای مساحتی بالغ بر 55/6 میلیون هکتار یعنی 34 درصد مساحت کل ایران را شامل می‌شوند که بیشتر در فلات

ایران کشوری است با وسعت حدود 165 میلیون هکتار که با قرارگیری در بین عرض‌های جغرافیایی 25 تا 40 درجه شمالی و طول‌های جغرافیایی 44 تا 64 درجه شرقی دارای تنوع اقلیمی زیادی است. یکی از مخاطرات عمده بخش کشاورزی ایران شوری خاک است که در زمان و مکان دستخوش تغییرات زیادی بوده و هست.

¹ نویسنده مسئول، آدرس: یزد، انتهای بلوار آزادگان، خ نهالستان، مرکز ملی تحقیقات شوری، ص.پ. 89195-315

* دریافت: بهمن 1390 و پذیرش: شهریور 1391

به ویژه در یک مقیاس وسیع نظیر یک کشور چندان آسان نیست (نل، 2010)، اما بسیاری از محققان فرآیندهای شوری‌زایی و بیابان‌زایی را در ارتباط نزدیک با برخی مشخصه‌های اقلیمی نظیر نسبت بارندگی به تبخیر، تبخیر تعرق و یا دمای هوا دانسته‌اند (مسعودی و همکاران 2006، نل 2010، احمدی و همکاران 2001). خاک‌های شور عموماً در مناطقی وجود دارند که اقلیم گرم و خشک بر آن‌ها حاکم است. در این مناطق عواملی نظیر تبخیر زیاد از آب زیرزمینی کم عمق، کمبود بارندگی، دمای زیاد و رطوبت کم می‌توانند بر بیابان نمک در خاک تأثیر گذاشته و منجر به تشدید شوری‌زایی گردند (فائو/اونسکو، 1973). سایر مناطق شور طبیعی نظیر باتلاق‌ها، کفه‌ها و خروجی طبیعی حوضه‌ها نیز اگرچه ممکن است تحت تأثیر توپوگرافی زمین و سازندهای شور حوزه باشند، اما عوامل اقلیمی نیز در شکل‌گیری آنها مؤثر بوده و حادث شدن شرایط اقلیمی می‌تواند منجر به گسترش وسعت این نواحی گردد. اصولاً پلایاها از جمله مناطقی هستند که در بررسی و درک تغییرات اقلیمی یک کشور می‌توانند مفید واقع شوند (گیلسپای، 2006). ایران شامل حدود 60 پلایا است که دشت کویر و کویر لوت از جمله این نواحی هستند (کرینسل، 1970). بخش مهمی از خاک‌های شور کشورمان نیز در پیرامون این پلایاها قرار دارند (احمدی، 1377). خاک‌های پیرامون پلایا به دلیل بالابودن سطح ایستایی و عدم زهکشی مناسب، به طور مداوم در معرض شورشدهن هستند، زیرا تبخیر شدید (بدلیل حادبودن شرایط محیطی حاکم بر این مناطق) و وجود نیروی کاپیلاریته موجب تراکم نمک در افق‌های مختلف خاک و پهنه‌های سطحی پلایا شده و شرایط اکولوژیکی را برای استقرار گیاهان نامساعدتر می‌کند (دیانت‌نژاد و بهفر، 1366). به دلیل میزان اندک بارندگی، کشاورزان این مناطق مجبور هستند با حفر چاه در حاشیه پلایا و آبیاری اراضی با آب‌های شور، ناخواسته زمینه شور شدن بیشتر خاک‌های مجاور را فراهم سازند (زحمتکش، 1371). در رابطه با بررسی تغییرات اقلیمی در کشور مطالعات فراوانی انجام شده، اما در ارتباط با اثرات این پدیده بر شوری‌زایی خاک اطلاعات اندکی در دست است (رحیمیان، 2010). هدف از انجام این تحقیق بررسی کمی تأثیر عوامل اقلیمی (شامل دما، بارندگی، تبخیر) بر شوری خاک و پیش‌بینی اثر این عوامل بر شوری‌زایی در دهه‌های آتی در مقیاس ملی است.

مرکزی، دشتهای ساحلی جنوب و دشت خوزستان قرار دارند (مومنی، 1389).

عوامل مختلفی از جمله عوامل زمین‌شناختی، توپوگرافی، اقلیمی، هیدرولوژیکی و مدیریتی در نقاط مختلف کشور وجود دارند که منجر به بروز پدیده شوری منابع خاک شده‌اند. این عوامل به طور کلی منجر به شکل‌گیری دو نوع شوری‌زایی به نام‌های شوری‌زایی اولیه¹ (طبیعی) و شوری‌زایی ثانویه² (ناشی از فعالیت‌های انسانی) می‌گردند (سیادت و همکاران، 1997). عوامل طبیعی دخیل در این پدیده شامل توپوگرافی زمین، تأثیرات ناشی از وجود سازندهای زمین‌شناسی، عوامل اقلیمی (تبخیر، بارندگی و باد)، انتقال نمک توسط آب و تداخل آب‌های شور ساحلی با آب‌های شیرین آبخوان-های مجاور دریا می‌باشند. با توجه به قرارگیری سطوح وسیع خاک شور در فلات مرکزی ایران، می‌توان نقش عوامل اقلیمی در این بین را پررنگ‌تر از دیگر عوامل دانست. از عوامل انسانی مؤثر در بروز شوری‌زایی نیز می‌توان به استحصال بی‌رویه آب‌های زیرزمینی و نوسانات شدید کیفی و کمی آن، کشت مداوم محصولات زراعی و باغی و مدیریت ضعیف آب در مزرعه، و همچنین عملیات ناقص زهکشی به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک اشاره نمود.

شوری خاک پدیده‌ای است که در زمان و مکان دستخوش تغییرات زیادی است. نظر محققان کشور که بر نتایج پژوهش‌های پنجاه ساله خاکشناسی ایران تکیه دارد، حاکی از آن است که اگرچه در سطوح شوری اراضی تغییراتی رخ داده، اما تا کنون تغییری در پراکنش جغرافیایی و وسعت پهنه‌هایی که قبلاً مبتلا به شوری بوده‌اند حاصل نشده، به طوری که در مقیاس ملی یک توازن بین شوری‌زایی و شوری‌زدایی در اراضی کشاورزی تاکنون وجود داشته است (مومنی، 1389). نکته‌ای که در این مطالعات به آن اشاره شده این است که عواملی مانند تداوم خشکسالی‌ها، کم‌آبی و سوء مدیریت منابع پایه در آینده منجر به به هم خوردن این توازن به نفع شوری‌زایی خاک در آینده خواهد شد. در حال حاضر اگر چه امکان برگشت به گذشته و همراه شدن با سیر تکاملی خصوصیات خاک وجود ندارد، اما با وجود اطلاعات وسیع و متنوع از اقلیم و خاک در مناطق مختلف دنیا می‌توان به پیش‌تأثیرات اقلیم بر خصوصیات خاک از جمله شوری پرداخت. با وجود این دستیابی به رابطه معنی‌دار بین عوامل اقلیمی و میزان تجمع نمک در خاک

1. Primary (natural) salinization

2. Secondary (anthropogenic) salinization

مواد و روش‌ها

الف- بررسی اثرات تغییر اقلیم بر شوری اولیه خاک

شکل شماره 1 نشان دهنده مراحل مختلف انجام این تحقیق برای بررسی تأثیرات اقلیمی بر شوری خاک در مناطق غیرکشاورزی است. همان‌طوری که در این شکل ملاحظه می‌گردد، ابتدا اقدام به استخراج داده‌های شوری خاک از نقشه یک میلیونیم منابع و استعداد خاک‌های ایران (بنائی، 1380) شد. موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک کشور (33 نقطه) بر روی این نقشه مشخص و سپس به کمک نقشه کاربری اراضی کشور، نزدیکترین ناحیه غیر کشاورزی به هر یک از ایستگاه‌ها شناسایی و میزان شوری خاک مربوط به آن ناحیه مشخص شد. بدین ترتیب 33 مقدار مختلف از شوری متوسط خاک در هر یک از نقاط کشور استخراج و اقدام به بررسی ارتباط آماری آن‌ها با آمار هواشناسی مربوط به نزدیک‌ترین ایستگاه به هر نقطه گردید.

جدول شماره 1 خلاصه‌ای از پارامترهای آماری مورد استفاده در این تحقیق را نشان می‌دهد. با مشخص شدن ارتباط آماری بین شوری خاک و پارامترهای مختلف هواشناسی در هر یک از چهار روش اشاره شده در جدول 1، امکان پیش‌بینی شوری خاک توسط معادلات برازش شده هر یک از این روش‌ها فراهم گردید (جدول 3).

این معادلات به کمک یک یا چند پارامتر هواشناسی، متوسط شوری خاک را پیش‌بینی می‌نمایند. بنابراین در صورت تهیه مقادیر عددی این پارامترها (دما، بارندگی و تبخیر-تعرق) در سال‌های آتی، امکان پیش‌بینی شوری خاک در آینده نیز وجود خواهد داشت. به منظور تهیه داده‌های هواشناسی مربوط به سال‌های آتی، از داده‌های مدل HadCM3 به عنوان یکی از مدل‌های پرکاربرد گردش عمومی جو¹ در ایران (مساح بوانی، 1385) استفاده شده است.² این مدل اقدام به تولید داده‌های هواشناسی برای سال‌های آینده (تا سال 2099 میلادی) از طریق داده‌های مشاهداتی دوره‌های گذشته و در نظر گرفتن سناریوهای مختلف تغییرات جمعیتی و تکنولوژی بشری در آینده می‌نماید. سناریوهای A2 و B2 از جمله پرکاربردترین این سناریوها است که به ترتیب دارای رویکرد افزایش صنعتی و حفظ منابع محیط زیستی هستند.

هر شبکه (سلول) تحت پوشش متغیرهای پیش‌بینی مدل HadCM3 دارای طول و عرض جغرافیایی معادل 3/75 در 2/5 درجه می‌باشند. بنابراین متغیر پیش‌بینی شده توسط HadCM3 (یا هر یک از مدل‌های دیگر گردش عمومی جو) دربرگیرنده مساحت وسیعی بر روی کره زمین می‌باشند که تعمیم آن‌ها به یک منطقه کوچکتر نظیر یک ایستگاه، محدوده شهری، دشت و یا زیر حوزه نیازمند برخی تدابیر ویژه است. این تدابیر که به کوچک مقیاس‌سازی³ معروفند، مهمترین مرحله استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو محسوب می‌گردند. روش‌های مختلفی برای کوچک مقیاس‌سازی وجود دارد که در این تحقیق از روش استفاده شده توسط مساح بوانی (1385) بهره‌گیری شده و از طریق آن مقادیر بارندگی، دمای حداقل، دمای حداکثر و تبخیر-تعرق همگی به صورت ماهانه و سپس سالانه برای دهه‌های آتی بدست آمده است. منظور از تبخیر-تعرق در این تحقیق، مقدار مرجع آن بوده که به روش هارگریوز- سامانی محاسبه شده است. با تعیین این پارامترها برای سال‌های آتی، اقدام به پیش‌بینی شوری خاک توسط معادلات بدست آمده از هر یک از چهار روش اشاره شده در جدول 1 و مقایسه و تفسیر آنها گردید. تفاوت این روش‌ها در تعداد و نوع متغیرهای ورودی هواشناسی برای پیش‌بینی شوری خاک است که در ادامه به آنها اشاره خواهد شد.

ب- بررسی اثرات تغییر اقلیم در نواحی دارای پلایاهای شور

به منظور بررسی وضعیت اقلیمی حاکم بر مناطق دارای شوری ذاتی واقع در فلات مرکزی ایران (پلایا - دق) و پیش‌بینی این وضعیت در دوره‌های آتی، ابتدا اقدام به تعیین نواحی مذکور و سپس بررسی‌های اقلیمی در این نواحی گردید. بدین منظور پلایاهای شور کشور از نقشه یک میلیونیم منابع و استعداد خاک‌های ایران (بنائی، 1380) استخراج گردیدند. شکل شماره 2 نشان‌دهنده این نواحی و پلایاهای جازموریان، ابرقو، سیاه کوه، گاوخونی و دریاچه نمک است که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

در این بخش از تحقیق برای بررسی وضعیت اقلیمی حاکم بر پلایاهای مورد نظر، از دو شاخص شناخته شده در بیابان‌زایی به نام‌های یونپ IUNEP (1992) و دمارتون IDM (1926) استفاده شده است. این شاخص‌ها توسط معادلات زیر محاسبه می‌شوند.

¹ General Circulation Models (GCM)

² برای کسب اطلاعات بیشتر در این زمینه به www.ipcc.org

data.org (هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم) مراجعه شود.

³ Downscaling

400 میلیمتر توصیه می‌گردد. این معادلات امکان پیش‌بینی شوری خاک به کمک پارامترهای مختلف هواشناسی (تبخیرتقرق، بارندگی، دمای حداقل و دمای حداکثر) مربوط به سال‌های آتی را فراهم ساختند.

شکل شماره 3 نشان‌دهنده تغییرات زمانی شوری خاک کشور در مناطق با بارندگی کمتر از 400 میلیمتر است. در این شکل تغییرات شوری خاک از سال 2010 تا 2099 میلادی و بر اساس هر یک از روابط ارائه شده در جدول شماره 3 (روش‌های 1 تا 4) تحت سناریوهای مختلف اقلیمی A2 و B2 ارائه شده است. همان‌طوری که ملاحظه می‌گردد در تمامی این روش‌ها و تحت هر دو سناریو، شوری خاک در دوره‌های آتی روندی افزایشی از خود نشان می‌دهد. همچنین در شکل شماره 4 میانگین شوری خاک پیش‌بینی شده توسط این چهار روش و تحت سناریوهای مختلف نشان داده شده و با مقادیر مشاهداتی شوری در دوره پایه (براساس نقشه منابع و استعداد خاک‌های ایران) مقایسه گردیده است.

افزایش متوسط شوری خاک کشور در دهه‌های آتی در این شکل نیز مشهود است. بر این اساس پیش‌بینی می‌شود که در طی سی سال آینده میزان شوری خاک بین 1/5 تا 1/9 دسی‌زیمنس بر متر و در طی نود سال آینده بین 3/2 تا 4/7 دسی‌زیمنس بر متر افزایش داشته باشد.

صحت و دقت پیش‌بینی‌های مذکور در ارتباط مستقیم با صحت و دقت پیش‌بینی پارامترهای بارندگی، تبخیرتقرق، دمای حداقل و دمای حداکثر است. این مساله که خود با عدم قطعیت‌هایی نیز همراه است، یکی از چالش‌های پیش‌روی مطالعات تغییر اقلیم محسوب می‌گردد. لذا هر گونه تغییر در روند پارامترهای اقلیمی مذکور می‌تواند روند افزایش شوری خاک در آینده را دچار تغییر اساسی نماید. همچنین در هر دوره زمانی، اثر یک یا چند پارامتر می‌تواند نسبت به سایر پارامترهای اقلیمی غالب باشد. شکل شماره 5 نشان‌دهنده درصد تغییر پارامترهای اقلیمی و شوری خاک در سال‌های آتی نسبت به دوره مشاهداتی (1990-1961 میلادی) بر اساس دو سناریوی پیش‌بینی‌کننده A2 و B2 است. در این شکل مقادیر شوری خاک توسط معادله شماره 2 پیش‌بینی گردیده (معادله شماره 2 ضریب همبستگی بالاتری نسبت به سایر معادلات دارد) و با مقدار اولیه در دوره مشاهداتی مقایسه شده است. به کمک این شکل می‌توان سهم هر یک از پارامترهای اقلیمی در پیش‌بینی شوری خاک سال‌های آتی را تعیین کرد. به عنوان مثال در سی سال آینده (2010-2039 میلادی)، میانگین شوری خاک ایستگاه‌های مورد مطالعه بر اساس دو سناریوی پیش‌بینی

$$I_{DM} = \frac{P}{T + 10} \quad \text{معادله (1)}$$

$$I_{UNEP} = \frac{P}{ET} \quad \text{معادله (2)}$$

در این فرمول‌ها ET، P و T به ترتیب پارامترهای تبخیرتقرق (میلیمتر)، بارندگی (میلیمتر) و دما (درجه سانتیگراد) هستند که می‌بایست به صورت سالانه (و یا دراز مدت) تهیه گردند. برای تهیه این پارامترها، از داده‌های درازمدت ایستگاه‌های سینوپتیکی کشور استفاده و با درون‌یابی آن‌ها، نقشه‌های مختلف از پارامترهای هواشناسی ترسیم شد. سپس به کمک آن‌ها نقشه‌های شاخص‌های خشکی یونپ و دمارتون تهیه و در نهایت مقادیر عددی هر یک از پارامترهای اقلیمی و شاخص‌های خشکی مربوط به محل قرارگیری هر یک از پلایاهای مورد مطالعه استخراج شد. جدول شماره 2 نشان‌دهنده ویژگی‌های اقلیمی این پلایاها بر اساس داده‌های دراز مدت ایستگاه‌های سینوپتیکی کشور است.

پس از مشخص شدن وضعیت اقلیمی حاکم بر پلایاها، اقدام به پیش‌بینی این وضعیت در آینده شد. همان‌طور که پیشتر نیز اشاره شد، این کار به کمک داده‌های مدل HadCM3 به عنوان یکی از مدل‌های گردش عمومی جو انجام گرفت. لذا به کمک داده‌های کوچک مقیاس شده این مدل و تحت سناریوهای مختلف A2 و B2، اقدام به تولید داده‌های هواشناسی برای سال‌های آینده (تا سال 2099 میلادی) در هر یک از پلایاهای مورد نظر گردید. سپس مشابه روش تشریح شده در قبل، مقادیر شاخص‌های خشکی یونپ و دمارتون در دهه‌های آتی محاسبه و با مقادیر مشاهداتی آنها در دوره گذشته مقایسه گردید. این اقدام با هدف بررسی وضعیت اقلیمی پلایاهای کشور در آینده و تعیین میزان تغییرات شرایط محیطی حاکم بر آنها و تأثیر آن در گسترش این نواحی صورت پذیرفته است.

نتایج و بحث

الف- اثرات تغییر اقلیم بر شوری خاک

جدول شماره 3 بهترین معادلات برآزش شده برای تخمین شوری خاک بر اساس پارامترهای مختلف هواشناسی را نشان می‌دهد. ضرایب رگرسیونی بدست آمده برای این معادلات نشان‌دهنده تأثیر قابل توجه عوامل اقلیمی بر میزان شوری خاک می‌باشد. در این میان تأثیر همزمان دما، بارندگی و تبخیرتقرق از بقیه مشهودتر است. از نکات حائز اهمیت در کاربرد این معادلات توجه به میزان بارندگی سالانه است که برای بارش‌های کمتر از

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

این تحقیق اذعان می‌دارد که اگر چه تغییرات شوری خاک در آینده همچون دوره‌های گذشته متأثر از سایر عوامل بجز اقلیم نیز هست (توپوگرافی، زمین‌شناسی، سطح ایستابی، آبیاری و زهکشی، روش‌های مدیریتی و غیره)، اما در سایه تغییرات اقلیمی محتمل در آینده، احتمال افزایش شوری خاک در نقاط مختلف کشور و نیز گسترش عرصه‌های طبیعی شور در فلات مرکزی ایران بواسطه تغییر در میزان بارندگی و افزایش دما وجود دارد.

امروزه در نقاط مختلف دنیا اقداماتی برای مدیریت و کاهش اثرات شوری‌زایی در بخش‌های کشاورزی و منابع طبیعی و تقلیل درازمدت شوری خاک صورت گرفته است. به عنوان مثال در منطقه‌ای در کالیفرنیا، با بررسی و مقایسه تغییرات شوری خاک طی یک دوره آماری 60 ساله، مشخص شد که طی این مدت شوری خاک بدلیل استفاده از روش‌های مدیریتی صحیح در مزرعه کاهش یافته است (کلرک و همکاران، 2003). در مناطقی از اسپانیا نیز طی 24 سال عملیات کشاورزی و به دلیل اعمال روش‌های مدیریتی صحیح، متوسط شوری خاک این مناطق کاهش یافته است (هررو و پرز، 2005). به منظور ارائه راهکارهای کنترل و مدیریت شوری، آبرز و وستکات (1985) یک نشریه فنی با عنوان "کیفیت آب برای کشاورزی" تهیه کرده‌اند. در این نشریه روش‌های مدیریتی مختلفی جهت کنترل شوری ارائه شده است. تحقیقات رودز، کاندیا و ماشالی (1992)، هانسون و گراتان (1999) و شال‌هوت (1994) نیز در این زمینه چشم‌گیر است. اوستر (1994) نیز در مقاله‌ای با عنوان "آبیاری با آب شور" راه‌حلهایی را بر اساس تجارب کشاورزان در آبیاری با آب‌های شور پیشنهاد می‌نماید. در تمامی این تحقیقات راهکارهای کنترل و مدیریت درازمدت و کوتاه‌مدت شوری در مدیریت بهینه آبیاری در مزرعه و افزایش راندمان کاربرد آب، مدیریت و اصلاح شوری خاک، آیشویی مکانی خاک‌های شور برای جلوگیری از ورود بی‌رویه آب به خاک و سپس ماندابی و شورشدن آب زیرزمینی و خاک در مناطق مستعد این امر، انجام اقدامات زهکشی، معرفی ارقام مناسب زراعی و علوفه مقاوم به شوری جهت توصیه به کشاورزان و بهره‌برداران ساکن در مناطق خشک و شور، افزایش نوبت‌های آبیاری، تسطیح اراضی، توجه به زمان کوددهی و روش‌های کاشت، توجه به تکنیک‌های شوری‌زدایی و استفاده بهینه از منابع آب شور در کشاورزی از جمله اقدامات عملی برای مقابله با اثرات طبیعی تغییر اقلیم بر

کننده A2 و B2 به ترتیب حدود 36 و 41 درصد افزایش خواهد یافت. در این دوره تغییرات دما و تبخیر-تعرق مشهودتر از تغییرات بارندگی بوده و شوری خاک را تحت تأثیر خود قرار خواهند داد. در سایر دوره‌های زمانی (2040-2069 و 2070-2099 میلادی)، علاوه بر افزایش دما و تبخیر-تعرق، کاهش بارش نیز وجود داشته و روند افزایش شوری را تشدید خواهد کرد.

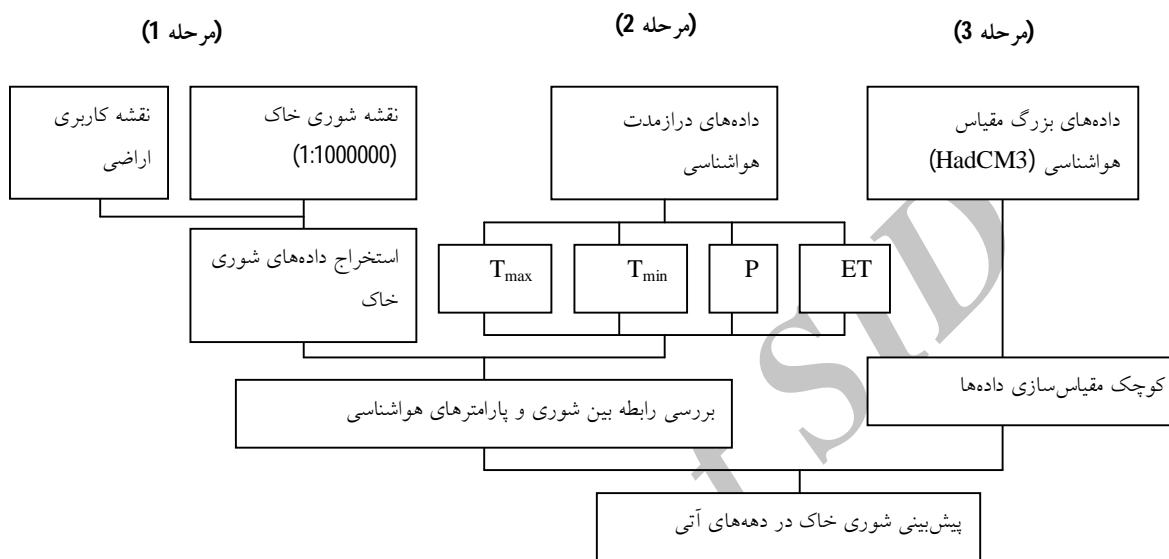
ب- تغییرات اقلیمی در نواحی دارای پلایاهای شور

شکل شماره 6 نشان‌دهنده نقشه درون‌یابی شده شاخص خشکی یونپ بر اساس اطلاعات هواشناسی ایستگاه‌های سینوپتیک ایران و تقسیم‌بندی این شاخص به کلاس‌های نیمه مرطوب، نیمه مرطوب خشک، نیمه خشک، خشک و خیلی خشک می‌باشد. همانطوری که ملاحظه می‌گردد بخش اعظم پلایاهای کشور در کلاس خشک و نیمه خشک قرار می‌گیرند که نشان از اهمیت اقلیم در شکل‌گیری این پلایاها و همچنین نقش پارامترهای اقلیمی بر وضعیت فعلی و آینده این عرصه‌ها از نظر گسترش و یا کاهش وسعت این نواحی دارد.

به همین منظور اقدام به تعیین شاخص‌های خشکی دمارتون و یونپ در طی دوره‌های آتی در هر یک از نواحی مورد نظر گردید. شکل شماره 7 نشان‌دهنده مقایسه بین این شاخص‌ها در سال‌های آتی نسبت به دوره مشاهداتی (بر اساس داده‌های درازمدت) در هر یک از پلایاهای جازموریان، ابرقو، سیاه‌کوه، گاوخونی و دریاچه نمک تحت سناریوهای مختلف A2 و B2 می‌باشد. کاهش مقادیر این شاخص‌ها به منزله حادث‌تر شدن شرایط محیطی و غلبه خشکی بر رطوبت در هر منطقه است. به استثنای جازموریان که در یک دوره زمانی (سال‌های 2039-2010) اندکی افزایش در مقدار عددی شاخص‌های یونپ و دمارتون نسبت به دوره مشاهداتی دیده می‌شود، کاهش مقادیر این شاخص‌ها در سال‌های آتی نسبت به دوره مشاهداتی مشهود است. جدول شماره 4 نیز درصد تغییرات مقادیر عددی بارندگی، دما، تبخیر-تعرق و شاخص‌های یونپ و دمارتون در دوره نود ساله آتی (2010-2099) نسبت به دوره مشاهداتی در هر یک از پلایاهای مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

در این جدول کاهش بارندگی، افزایش دما و تبخیر-تعرق و به تبع آنها کاهش مقادیر عددی شاخص‌های یونپ و دمارتون در سال‌های آتی به‌طور کامل مشهود است. این تغییرات همگی در جهت حادث‌تر شدن شرایط محیطی حاکم بر این پلایاها و در نتیجه ایجاد شرایط برای گسترش این نواحی در طی سال‌های آینده می‌باشند.

شور شدن منابع خاک کشور در آینده نه چندان دور است که می‌بایست در برنامه‌ریزی‌های خرد و کلان کشور به آنها توجه گردد.



شکل 1- مراحل مختلف انجام تحقیق برای بررسی اثرات تغییر اقلیم بر شوری خاک

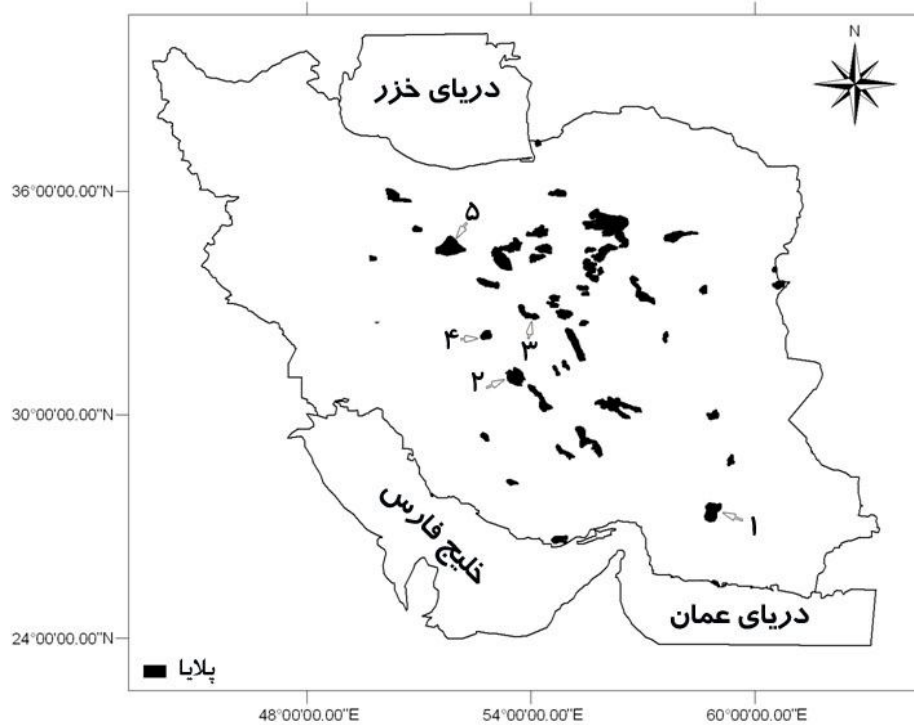
جدول 1- خلاصه‌ای از تعداد مشاهدات و روش تحلیل آماری هر یک از روش‌های استفاده شده برای بررسی ارتباط

بین شوری خاک و پارامترهای هواشناسی

| شماره روش | متغیرهای مورد استفاده* | تعداد مشاهدات | روش تحلیل آماری |
|-----------|-------------------------------|---------------|-------------------|
| 1 | T_{max} , T_{min} , P, ET | 33 | رگرسیون چندمتغیره |
| 2 | T_{max} , P, ET | 30 | رگرسیون چندمتغیره |
| 3 | T_{max} | 30 | رگرسیون تک متغیره |
| 4 | P | 33 | رگرسیون تک متغیره |

*: T_{max} و T_{min} , P, ET به ترتیب تبخیرتعرق، بارندگی، دمای حداقل و دمای حداکثر است که به صورت سالانه و از طریق

آمار درازمدت ایستگاه‌های سینوپتیک کشور محاسبه شده است



شکل 2- موقعیت قرارگیری پلایا(دق)های مورد مطالعه (1) جازموریان (2) ابرقو (3) سیاه کوه (4) گاوخونی و (5) دریاچه نمک

جدول 2- خصوصیات اقلیمی پلایاهای مورد مطالعه

| شماره | نام | بارندگی (میلیمتر) | دمای حداکثر | دمای حداقل | تبخیرتعرق | I _{UNEP} | I _{DM} |
|-------|------------|-------------------|-------------|------------|-----------|-------------------|-----------------|
| 1 | جازموریان | 81 | 34/7 | 18/5 | 1713 | 0/05 | 2/21 |
| 2 | ابرقو | 68/3 | 26/4 | 10/6 | 1294 | 0/05 | 2/40 |
| 3 | سیاه کوه | 68/7 | 28/0 | 12/0 | 1358 | 0/05 | 2/29 |
| 4 | گاوخونی | 76/1 | 24/2 | 86/6 | 1174 | 0/06 | 2/88 |
| 5 | دریاچه نمک | 151/1 | 25/9 | 10/2 | 1215 | 0/12 | 5/39 |

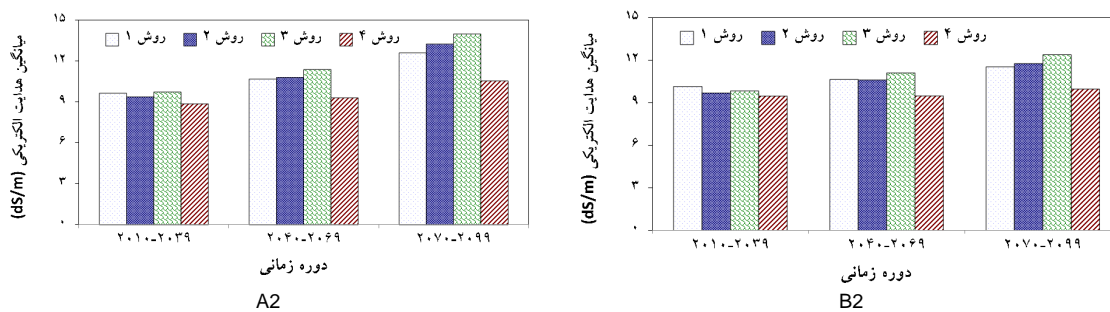
در این جدول I_{UNEP} شاخص یونپ و I_{DM} شاخص دما تون می باشد که از طریق معادلات 1 و 2 قابل محاسبه است.

جدول 3- بهترین معادلات برازش شده برای تخمین شوری خاک بر اساس پارامترهای مختلف هواشناسی

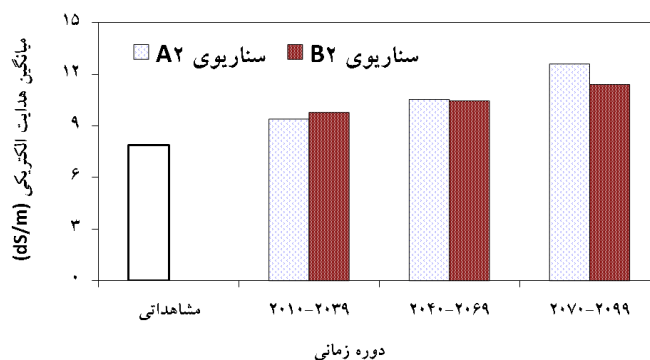
| روشن | معادله | R ² | توضیحات |
|------|--|----------------|----------|
| 1 | $S = 2.18T_{max} - 0.043P - 1.169T_{min} - 0.015ET - 8.87$ | 0/64** | P<400 mm |
| 2 | $S = 1.094T_{max} - 0.027P - 0.006ET - 7.272$ | 0/72** | P<400 mm |
| 3 | $S = 1.1716T_{max} - 21.181$ | 0/63** | P<400 mm |
| 4 | $S = -0.0523P + 18.149$ | 0/56** | P<400 mm |

در این جدول S، ET، P، T_{max} و T_{min} به ترتیب شوری خاک (دسی زیمنس بر متر) تبخیرتعرق، بارندگی، دمای حداقل و دمای حداکثر است که به صورت سالانه و از طریق آمار درازمدت ایستگاه‌های سینوپتیک کشور محاسبه شده است.

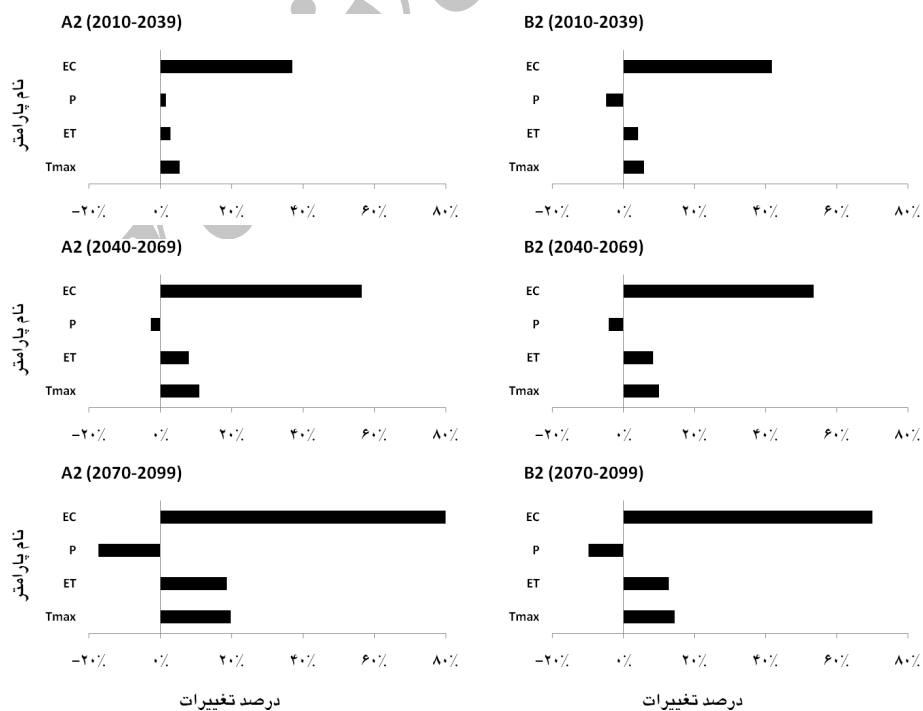
*: معنی دار بودن همبستگی‌ها در سطح اطمینان 1 درصد



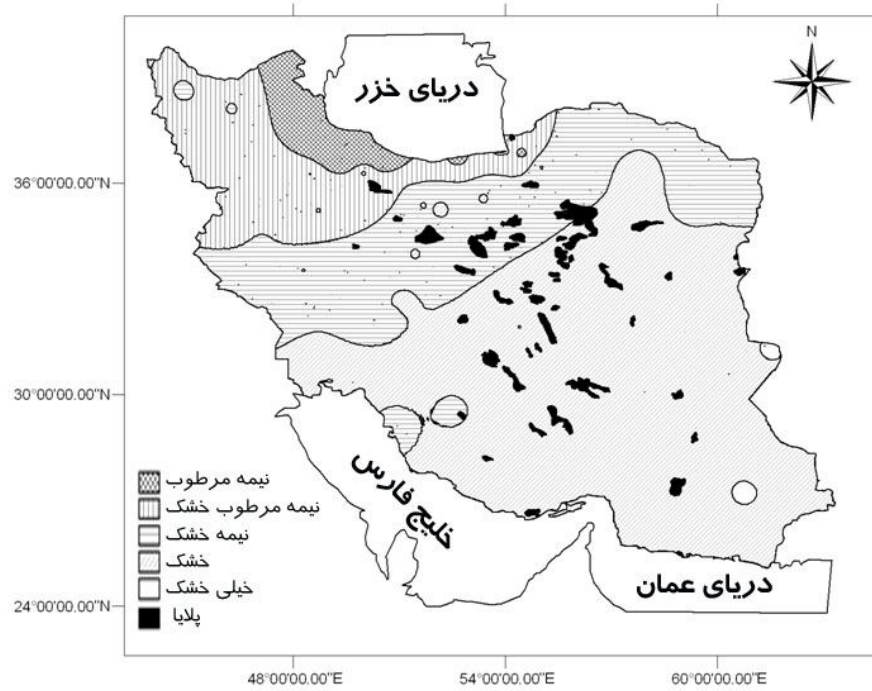
شکل 3- نتایج پیش‌بینی شوری خاک در دوره‌های آبی تحت سناریوهای مختلف اقلیمی A2 و B2 و بر اساس روش‌ها (روابط) مختلف ارائه شده در این تحقیق



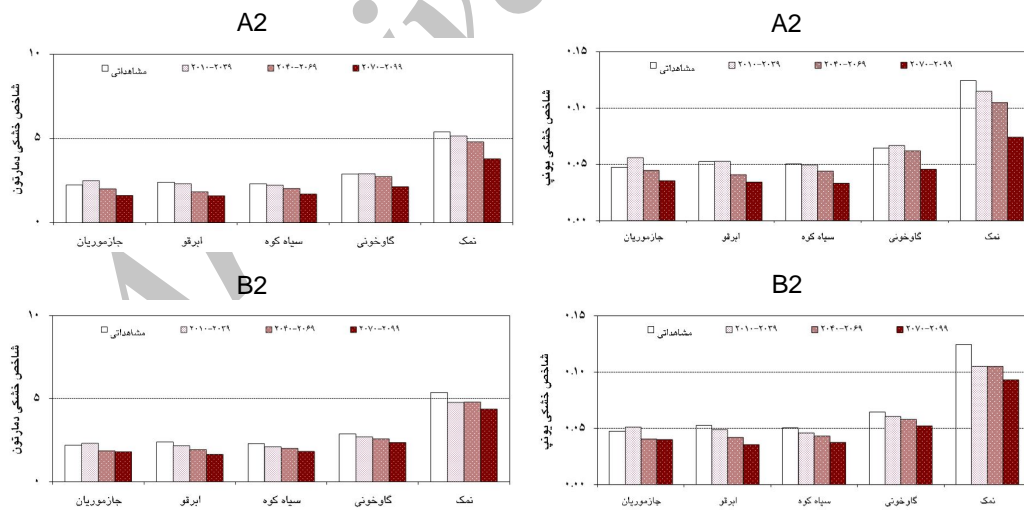
شکل 4- میانگین مشاهداتی و پیش‌بینی شده شوری خاک در دوره‌های آبی تحت سناریوهای مختلف اقلیمی A2 و B2



شکل 5- درصد تغییرات پارامترهای مختلف اقلیمی و شوری خاک پیش‌بینی شده در سال‌های آبی نسبت به دوره مشاهداتی بر اساس دو سناریوی A2 و B2



شکل 6- نقشه طبقه‌بندی شده شاخص خشکی یونپ بر اساس اطلاعات درازمدت هواشناسی ایستگاه‌های سینوپتیک و موقعیت قرارگیری پلایاهای کشور بر روی آن



شکل 7- پیش‌بینی شاخص‌های خشکی یونپ و دمارتون در سال‌های آتی توسط داده‌های مدل HadCM3 تحت سناریوهای مختلف A2 و B2 و مقایسه آنها نسبت به دوره مشاهداتی در هر یک از پلایاهای مورد مطالعه

جدول 4- درصد تغییرات بارندگی (P)، دما (T)، تبخیر تعرق (ET)، شاخص‌های یونپ (I_{UNEP}) و دمارتون (I_{DM}) پیش‌بینی شده تحت سناریوهای مختلف A2 و B2 در نود سال آینده (2010-2099) نسبت به دوره مشاهداتی در هر یک از پلایاهای مورد مطالعه

| سناریوی B2 | | | | | سناریوی A2 | | | | | نام پلایا |
|-----------------|-------------------|------|------|------|-----------------|-------------------|------|------|------|------------|
| I _{DM} | I _{UNEP} | ET | T | P | I _{DM} | I _{UNEP} | ET | T | P | |
| -18% | -18% | +9% | +13% | -10% | -27% | -25% | +9% | +18% | -18% | جازموریان |
| -31% | -35% | +20% | +19% | -22% | -34% | -35% | +20% | +27% | -22% | ابرقو |
| -20% | -31% | +30% | +17% | -11% | -26% | -34% | +30% | +23% | -14% | سیاه کوه |
| -18% | -25% | +24% | +21% | -7% | -26% | -30% | +24% | +30% | -13% | گاوخونی |
| -19% | -34% | +39% | +21% | -8% | -30% | -40% | +39% | +29% | -17% | دریاچه نمک |
| -21% | -29% | +25% | +18% | -11% | -29% | -33% | +25% | +25% | -17% | میانگین |

فهرست منابع:

- احمدی ح. 1377. تعیین رابطه رخساره‌های کویری با نوع نمک و میزان رطوبت موجود در خاک (کویر سیاه کوه). مرکز تحقیقات مناطق کویری و بیابانی ایران، معاونت پژوهشی.
- بنائی م. ح. 1380، نقشه منابع و استعداد خاکهای ایران. موسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، 6 برگ.
- دیانت‌نژاد ح. ع. بهفر. 1366. بررسی بوم‌شناسی گیاهان در محیط‌های شور (ترجمه). مرکز تحقیقات مناطق کویری و بیابانی، شماره 21.
- زحمتکش ق. 1371. مواد معدنی دارای ارزش اقتصادی در ارتباط با شکل‌گیری مناطق کویری و بیابانی. مجموعه مقالات بررسی مسائل مناطق بیابانی و کویری.
- مساح‌بوانی ع. ر. 1385. ارزیابی ریسک تغییر اقلیم و اثرات آن بر منابع آب، مطالعه موردی: حوزه رودخانه زاینده رود. رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، ص. 189.
- مومنی ع. 1389. پراکنش جغرافیایی و سطوح شوری منابع خاک ایران. مجله پژوهش‌های خاک (ویژه شوری-الف)، ج 24، شماره 3، 203-215.
- Ahmadi H., M.R. Abbasabadi, M. Onaq, M.R. Ekhtesasi. 2001. Quantitative assessment of desertification in Aq Qala and Gomishan plain: Proposing a regional model. Sustainable development of desert communities: A Regional Symposium, Iran.
- Ayers R.S., D.W. Westcott. 1985. Water quality for agriculture. Irrigation and Drainage paper, No. 29, Rev. 1, FAO, Rome.
- Bates B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu, J.P. Palutikof. 2008. Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva, 210 pp.
- Clerck F., M.J. Singer, P. Lindert. 2003. A 60-year history of California soil quality using paired samples. Geoderma, 114: 215-230.
- Dastorani M.T., A.R. Massah Bavani, S. Poormohammadi, M.H. Rahimian. 2010. Study the Impact of climate change on drought trend in Yazd station, Iran. Proceedings of International conference on climate change and agriculture, India.
- De Martonne E. 1926. Ique: L' indice d'aridite. La Meteorologie, 449-458.
- FAO/UNESCO. 1973. Irrigation, drainage and salinity. An international sourcebook, 510 pp.
- Ghassemi F., A.J. Jakeman, H.A. Nix. 1995. Salinization of Land and Water Resources: Human Causes, Extent, Management and Case Studies. The Australian National University, Canberra, Australia, and CAB International, Wallingford, Oxon, UK.
- Hanson B.R., S.R. Grattan. 1999. Agricultural salinity and drainage. University of California, Irrigation Program.

16. Hasheminejhad Y., M.H. Rahimian, S. Poormohammadi. 2010. Potential impacts of climate change on primary soil salinization at Iran's national scale. Global Forum on Salinization and Climate Change, Valencia, Spain.
17. Herrero J., O. C. Perez. 2005. Soil salinity changes over 24 years in a Mediterranean irrigated district. *Geoderma*, 125: 287-308.
18. IPCC. 2010. IPCC-DDC GCM Data Archive. available in: http://www.mad.zmaw.de/IPCC_DDC/html/ddc_gcmdata.html
19. Krinsley D.B. 1970. A geomorphological and paleoclimatological study of the playa of Iran. U.S. Government printing office Washington D.C., 20, 402.
20. Le Houerou H.N. 1996. Climate change, drought and desertification. *Journal of Arid Environments*, 34: 133-185
21. Masoudi M., A.M. Patwardhan, S.D. Gore. 2006. A new methodology for producing of risk maps of soil salinity, Case study: Payab Basin, Iran. *J. Appl. Sci. Environ. Mgt.*, 10 (3) 9 – 13.
22. Moameni A., H. Siadat, M.J. Malakouti. 1999. The extent distribution and management of salt affected soils of Iran. FAO global network on integrated soil management for sustainable use of salt affected soils, Izmir Turkey.
23. Nell J.P. 2010. Quantification of the salt content of the soils under different climate conditions on a national scale. International conference on soil classification and reclamation of degraded land in arid environments.
24. Oster J.D. 1994. Irrigation with poor quality water. *Agr. Water Mgt.*, 25:271-297.
25. Rahimian M.H. 2010. Salinization, Climate Change and Remote Sensing in Iran (A country Report). International workshop of "Monitoring of Global Environmental Changes through the Application of Remote Sensing for OIC Countries and IOR Region", Tehran. Iran
26. Rahimian M.H., S. Poormohammadi. 2012. Assessing the impact of climate change on evapotranspiration and soil salinization. book chapter in : "Climate Change and the Sustainable Use of Water Resources", *Climate Change Management*, Part 1, 69-76, DOI: 10.1007/978-3-642-22266-5_5
27. Rhoades J.D., A. Kandiah, A.M. Mashali. 1992. The use of saline waters for crop production. *Irrigation and Drainage paper*, No. 48, FAO, Rome.
28. Shalhevet J. 1994. Using water of marginal quality for crop production: major issues. *Agr. Water Mgt.*, 25:233-269.
29. Siadat H., M. Bybordi, M.J. Malakouti. 1997. Salt-affected soils of Iran: a country report. A paper presented in the Seminar on the Salt Affected Soils, September, 1997, Cairo, Egypt.
30. Sumner D.M., G. Belaineh. 2005. Evaporation, Precipitation, and Associated Salinity Changes at a Humid, Subtropical Estuary. *Journal of Estuaries*, Vol. 28, No. 6, p. 844-855
31. UNEP. 1992. *World Atlas of Desertification*. Nairobi: UNEP, and London: Edward Arnold. 69 plates.