

## تبادل بخشی منابع آب زیرزمینی دشت فریمان - تربت جام با رویکرد مدیریتی در سطح مزرعه

روزبه موذن زاده<sup>1\*</sup> و امین علیزاده<sup>2</sup>

تاریخ دریافت: 1393/11/28 تاریخ پذیرش: 1394/5/28

### چکیده

کشاورزی به عنوان یکی از محورهای اساسی توسعه نقش مهمی در پیشرفت اقتصادی کشورها دارد. برای دستیابی به توسعه کشاورزی، ایجاد تحول و نوسازی در آن ضرورتی اجتناب ناپذیر است. پراکنش نامناسب مکانی و زمانی بارندگی، سیاست‌های ناصحیح مدیریتی در رابطه با استفاده از رواناب سطحی و برداشت بی‌رویه منابع آب زیرزمینی، اکثر دشت‌های کشورمان را از نقطه نظر تراز آب زیرزمینی در وضعیت بحرانی و خطر قرار داده است. در این تحقیق تأثیر رویکردهای مدیریتی در سطح مزرعه شامل اصلاح الگوی کشت و ارتقاء راندمان آبیاری از حدود 37 درصد به حدود 55 درصد در قالب یک مدل مدیریتی بر روی تبادل بخشی منابع آب زیرزمینی دشت فریمان - تربت جام به مساحت 6355 کیلومتر مربع مورد بررسی قرار گرفت. این مدل مدیریتی در قالب سه سناریو و به صورت برنامه‌ریزی خطی در محیط MATLAB کدنویسی و اجرا گردید. نتایج نشان داد که اگرچه اعمال هر کدام از این راهکارهای مدیریتی به تنهایی روند افت تراز آب زیرزمینی در این دشت را متوقف ساخته، با این حال کسری مخزن که در حدود 215 میلیون متر مکعب بوده به طور کامل برطرف نخواهد شد. همچنین نتایج نشان داد که افزایش راندمان و اصلاح الگوی کشت به ترتیب در حدود 200 و 88 میلیون متر مکعب به جبران کسری مخزن دشت کمک خواهند نمود. این در حالی است که اعمال همزمان این راهکارها نه تنها کسری مخزن را به طور کامل و در پایان دوره ده ساله مدیریتی جبران خواهد نمود، بلکه باعث ذخیره آب در حدود 45 میلیون متر مکعب در این دشت نیز خواهد شد. اگرچه این مدل نتایج مناسبی بر روی مدیریت منابع آب به همراه دارد، با این حال لازم است که در تحقیقی جداگانه تأثیرات آن بر روی وضعیت اشتغال و سود کشاورزان نیز مورد بررسی قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: الگوی کشت، راندمان آبیاری، کسری مخزن، مدل مدیریتی

### مقدمه

اکوسیستم ذاتی طبیعت، محدود شدن منابع آب و خاک و شاید از همه مهمتر تصمیمات کلان سیاستمداران کشور در زمینه صنعت آب که جنبه علمی همه جانبه نداشته، وضعیت کنونی منابع آبی کشور را به جایی رسانده که اکثر استان‌ها با وضعیت کم آبی مواجه شده و بسیاری از دشت‌های کشورمان از نقطه نظر افت سطح آب زیرزمینی در وضعیت بحرانی به سر می‌برند. یکی از اساسی‌ترین بحران‌های گریبانگیر آب که نتایج آن به شدت منابع آبی کشور را تهدید می‌کند، هدررفت آب در فرآیند کشاورزی است و از مهمترین نمونه‌های عینی آن می‌توان به عدم انتخاب صحیح الگوی کشت منطبق بر شرایط حاکم بر منطقه و راندمان پایین آبیاری اشاره نمود. نشت آب از کف و دیواره کانال‌های خاکی انتقال آب، تبخیر سطحی و عدم استفاده از روش‌های نوین آبیاری، از مهمترین منابع هدر رفت آب و کاهش راندمان آبیاری در ایران هستند بنحوی که متوسط راندمان آبیاری در بسیاری از مناطق کشور هنوز در محدوده 30الی 50 درصد متغیر است (سازمان آب منطقه‌ای خراسان رضوی، 1390).

الگوی کشت کشاورزان نیز در بسیاری از مناطق کشورمان هنوز بر پایه سنت سالهای دور و بدون لحاظ نمودن شرایط اقلیمی، شرایط

با توجه به شرایط خاص اقلیمی کشور که پراکنش نامناسب مکانی و زمانی بارندگی جزء جدایی‌ناپذیر آن است، هرگونه تولید مواد غذایی و حرکت به سوی کشاورزی پایدار وابسته به استفاده صحیح و منطقی از منابع محدود آب می‌باشد. از آنجا که از حدود 37 میلیون هکتار اراضی دارای توان تولید، به دلیل محدودیت منابع آب، فقط 7/8 میلیون هکتار به صورت آبی کشت می‌شود و از سوی دیگر از 88/5 میلیارد مترمکعب عرضه آب از منابع سطحی و زیرزمینی حدود 93/5 درصد آن به بخش کشاورزی اختصاص دارد، می‌توان آب و منابع آبی را در وضعیت فعلی کشورمان، عامل محدودکننده کشاورزی پایدار تلقی نمود (سازمان آب منطقه‌ای خراسان رضوی، 1390). رشد سریع جمعیت و تأمین غذای آنها، دخالت بشر در نظم، ساختار و

1- استادیار گروه مهندسی آب و خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهروود  
2- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد  
(\* - نویسنده مسئول: Email: romo\_sci@shahroodut.ac.ir)

بوده، در حالیکه آب مصرفی توسط محصولات کشاورزی در میان همان ملت‌ها در حدود 5400 گیگا متر مکعب در سال بوده است. به عبارتی حدود 13 درصد از کل آب مصرفی برای تولید محصولات کشاورزی برای مصارف داخلی نبوده است. همچنین نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که کشورهای آمریکا، کانادا، تایلند، آرژانتین و هند با اتخاذ الگوی کشت گیاهان پرمصرف و صادرات آنها بیشترین خروج آب و کشورهای ژاپن، هلند، کره جنوبی، چین و اندونزی با اتخاذ الگوی کشت گیاهان کم مصرف در داخل و واردات گیاهان پرمصرف، بیشترین واردات آب و کمترین فشار بر منابع آبی کشورهای خود را داشته‌اند. در این تقسیم‌بندی کشور ایران بواسطه وضعیت الگوی کشت موجود جزو کشورهای وارد کننده آب به میزانی در حدود (9-0) گیگا متر مکعب در سال بوده است. نتایج مطالعات نشان می‌دهد که کشور ایران در حد فاصل سال‌های 2001-1997 با واردات انواع محصولات کشاورزی، از مصرف سالانه حدود 37 کیلومتر مکعب آب که برای تولید همان محصولات در داخل نیاز داشته، خودداری کرده است (Hoekstra and Chapagain (2007) و Wheida and Verhoeven (2007) با بررسی وضعیت الگوی کشت گیاهان مختلف در کشور لیبی، ضرایب خودکفایی محصولات گندم، سایر غلات و گیاهان روغنی را بترتیب در حدود 10، 8 و 87 درصد بدست آوردند. Siebert and Doll (2010) در تحقیقی جامع در حد فاصل سال‌های 1998 تا 2002 بر روی الگوی کشت گیاهان در کشورهای مختلف به این نتیجه رسیدند که کل آب مصرفی گیاهان در حدود 1180 کیلومتر مکعب در سال مصرف آب آبی، حدود 919 کیلو متر مکعب در سال مصرف گیاهان تحت آبیاری به وسیله آب سبز و حدود 4586 کیلو متر مکعب در سال مصرف گیاهان دیم از منابع آب سبز بوده است. در این تحقیق بیشترین مصرف آب در الگوی کشت مربوط به برنج (941 کیلو متر مکعب در سال)، گندم (858 کیلو متر مکعب در سال) و ذرت (722 کیلو متر مکعب در سال) بوده است. نتایج این تحقیق در مورد کشور ایران نشان می‌دهد که اگر آبیاری بر روی کل سطوح زیر کشت غلات قطع گردد، با کاهش محصولی در حدود 25 تا 50 درصد مواجه خواهیم شد. نتایج تحقیق Aldaya et al. (2010) نشان دهنده آن است که آب سبز به مراتب سهم بیشتری نسبت به آب آبی در خروج آب و در قالب محصولات ذرت، سویا و گندم در کشورهای آمریکا، کانادا، استرالیا و آرژانتین در حد فاصل سال‌های 2000 تا 2004 داشته است. نتایج این تحقیق هم‌چنان نشان دهنده آن است که کشورهای مصر، برزیل، ژاپن، ایران و مکزیک بیش‌ترین واردات آب را صرفاً به‌واسطه کاهش سطح زیر کشت محصول گندم در الگوی کشت خود در طی سال‌های مذکور داشته‌اند.

تغییر الگوی کشت به منظور کاهش فشار بر منابع آبی، بخش‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی یک کشور را تحت تأثیر

خاک و از همه مهمتر شرایط منابع آبی تعیین می‌گردد. اسدی و سلطانی (1379) با استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی به تحلیل الگوی کشت بهینه از نقطه نظر دستیابی به بیشترین سود اقتصادی در دشت قزوین پرداختند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که کشت محصولات ذرت دانه‌ای و گندم به ترتیب برای کشاورزان دارای سطوح زیر کشت بیشتر و کمتر از ده هکتار با بیشترین سود همراه خواهد بود. آل محمد (1380) در تحقیقی الگوی کشت بهینه اقتصادی بخش زراعت شهرستان سمنان را تعیین نمود. نتایج این تحقیق نشان داد که سطح زیر کشت محصولاتی نظیر گندم و جو می‌بایست تا سطح خودکفایی منطقه‌ای کاهش داده شود. ایشان در مدل بهینه خود عوامل سرمایه، نیروی کار و آب را مهمترین عوامل محدود کننده معرفی نموده‌اند. اسدپور و همکاران (1386) با انتخاب سه ساختار متفاوت هدفی، الگوی بهینه کشت در دشت ناز شهرستان ساری را تعیین نمودند. علیزاده و همکاران (1391) با در نظر گرفتن پارامترهای هزینه، سود، مصرف کود و اشتغال، الگوی بهینه کشت دشت مشهد - چناران را طرح‌ریزی نمودند. بریم‌نژاد (1383) با استفاده از روش برنامه‌ریزی غیر خطی به تحلیل شاخص‌های موثر بر پایداری وضعیت منابع آبی در استان کرمان پرداخت و به این نتیجه رسید که افزایش راندمان آبیاری نقش مهمی در اطمینان بخشی مسئولان به تثبیت پایداری منابع آبی داشته است.

Hoekstra and Hung (2002) در تحقیقی کشور ایران را با وضعیت الگوی کشت گیاهان در بازه زمانی سال‌های 1995 تا 1999 در رتبه 19 از نقطه نظر حفظ منابع آب از طریق واردات محصولات کشاورزی پرمصرف قرار داده و میزان خالص آب وارد شده به کشور را در قالب این الگوی کشت در حدود 29 مگا متر مکعب برآورد نموده‌اند. در سال 1995، کشور مصر اقدام به واردات 7/5 میلیون تن از انواع غلات کرد و برآوردها حکایت از آن دارد که تولید این مقدار غلات در مصر 9/9 کیلومتر مکعب آب نیاز دارد. در همین سال ژاپن با واردات 27 میلیون تن غلات، 37 کیلومتر مکعب از منابع آب داخلی خود را حفظ کرده است (Fraiture et al. (2004). نتایج مطالعات در جنوب کشور چین نشان می‌دهد که این منطقه با واردات محصولات کشاورزی به حفظ حدود 52 میلیون متر مکعب آب در داخل سفره‌های آب زیرزمینی کشور چین کمک نموده است (Jing (2004)). نتایج مطالعه وضعیت الگوی کشت در کشور اندونزی در بازه زمانی سال‌های 1998 تا 2003 نشان دهنده تحمیل فشار بسیار زیاد بر منابع آبی این کشور بواسطه انتخاب الگوی کشت گیاهان پرمصرف می‌باشد (Velazquez (2005)). Hoekstra and Hung (2005) در تحقیقی حجم آب مبادله شده میان ملت‌های مختلف در حد فاصل سال‌های 1995 تا 1999 را مورد بررسی و تحلیل قرار داده و به این نتیجه رسیدند که کل حجم آب مبادله شده میان ملت‌ها از طریق صادرات محصولات مختلف کشاورزی در حدود 695 گیگا متر مکعب در سال

متوسط راندمان آبیاری در مورد کل سطوح زیر کشت تا مقدار 55 درصد افزایش یابد. بدیهی است که شرط مرزی اول با توجه به اولویت‌های ذهنی کشاورزان تعریف شده و دیگر آنکه تغییرات شدید سطوح زیر کشت گیاهان نه تنها ممکن است جنبه‌های دیگری نظیر شرایط اقتصادی و اشتغال را نیز از خود متأثر سازد، بلکه معمولاً با مخالفت شدید کشاورزان نیز روبرو می‌گردد. انتخاب راندمان آبیاری مطلوب نیز بر اساس واقعیت‌ها و شرایط حاکم بر مسیرهای انتقال آب در سطح مزرعه و خارج از آن می‌باشد. مدل مدیریتی پیشنهادی در قالب سه سناریو تعریف گردید. سناریوی اول با فرض ثابت ماندن سطوح زیر کشت محصولات، تنها تأثیر افزایش راندمان آبیاری را لحاظ می‌نماید. سناریوی دوم با ثابت در نظر گرفتن راندمان آبیاری، تأثیر تغییرات تدریجی سطوح زیر کشت گیاهان را در پایان دوره برنامه‌ریزی مدل (دوره ده ساله) لحاظ می‌نماید. بدین منظور و برای تعیین میزان کاهش سطح زیر کشت محصولات پرمصرف و جایگزینی آنها توسط سایر محصولات به نحوی که کل سطح زیر کشت محصولات ثابت بماند، برنامه‌ای در محیط MATLAB نوشته و اجرا شد. سناریوی سوم تأثیر توأم تغییرات الگوی کشت و بهبود راندمان آبیاری را در تثبیت وضعیت منابع آب زیرزمینی دشت فریمان - تربت جام مد نظر قرار می‌دهد. از آنجا که هدف نهایی بهبود متوسط راندمان آبیاری کل تا حدود 55 درصد است، می‌بایستی اختصاص سطوح زیر کشت در هر یک از روش‌های آبیاری (سطحی، بارانی و قطره‌ای) به نحوی صورت پذیرد که نهایتاً راندمان مورد نظر حاصل گردد. بنابراین در تحقیق حاضر متوسط راندمان آبیاری در روش‌های آبیاری بارانی و قطره‌ای به ترتیب در حدود 70 و 85 درصد در نظر گرفته شده و سعی گردید تا با توجه به راندمان 35 درصدی در آبیاری سطحی، راندمان هدف عملی گردد. در این تحقیق از سه نسبت مختلف ( $A_p / A_t = 1$ ،  $A_p / A_t = 2$  و  $A_p / A_t = 3$ ) برای تخصیص سطوح زیر کشت محصولاتی که به روش بارانی و قطره‌ای آبیاری می‌شوند، استفاده شد. روابط استفاده شده در این قسمت به صورت روابط 1 تا 3 قابل ارائه می‌باشند:

$$0.35(A_s) + 0.7(A_p) + 0.85(A_t) = 0.55(A_T) \quad (1)$$

$$A_s + A_p + A_t = A_T \quad (2)$$

$$A_p = A_t \quad (3)$$

در این روابط  $A_s, A_p, A_t, A_T$  به ترتیب سطح زیر کشت آبیاری سطحی، بارانی، قطره‌ای و کل سطح زیر کشت محصولات می‌باشند.

## نتایج و بحث

### تخصیص سطوح زیر کشت به هر یک از انواع روش‌های آبیاری

همانگونه که قبلاً بیان گردید با توجه به مقدار مشخص راندمان

قرار داده و با امنیت غذایی و فرهنگ کشور ارتباط مستقیم دارد که در کشورهای مواجه با بحران آب، این اهمیت بیش از پیش خود را نمایان می‌سازد. با توجه به وضعیت نامطلوب منابع آبی کشور از نقطه نظر عدم هماهنگی میان برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی و نزولات جوی، به‌خصوص در مناطق شرقی کشور، و از آنجا که قسمت عمده آب مصرفی به بخش کشاورزی اختصاص می‌یابد، بدون شک مدیریت صحیح آب و خاک به‌منظور جلوگیری از هدر رفت آب، کمک شایانی به حفظ و احتمالاً بهبود منابع آبی کشور خواهد نمود. لذا در این تحقیق تأثیر تغییر الگوی کشت و افزایش راندمان آبیاری به‌صورت جداگانه و توأم بر روی وضعیت منابع آب زیرزمینی دشت فریمان - تربت جام مورد بررسی قرار گرفت.

## مواد و روش‌ها

حوضه آبریز فریمان - تربت جام با وسعت 6355 کیلومترمربع در 60 کیلومتری شهرستان مشهد قرار دارد. طول بلندترین آبراهه 215/16 کیلومتر و ارتفاع متوسط حوضه از سطح دریا 1789 متر می‌باشد. به لحاظ جغرافیایی نیز در محدوده "33' 59" تا "07' 61" طول شرقی و "58' 34" تا "35" عرض شمالی واقع شده است. خروجی حوضه ایستگاه هیدرومتری دوآب است که در غرب روستای سمیع‌آباد قرار دارد. شهرهای فریمان و تربت جام مهم‌ترین مراکز شهری واقع در حوضه مطالعاتی هستند. بلندترین نقطه ارتفاعی حوضه با رقم 2198 متر از سطح دریا و پست‌ترین نقطه ارتفاعی آن با رقم 660 متر در محل خروجی حوضه می‌باشد. دامنه تغییرات درجه حرارت در ایستگاه باغسنگان (معرف دشت) از حداقل مطلق 22/5- درجه سانتی‌گراد در بهمن ماه تا حداکثر مطلق 50/5 درجه سانتی‌گراد در تیرماه می‌باشد. همچنین دامنه تغییرات درجه حرارت در ایستگاه فرهاد گرد (معرف ارتفاعات) از حداقل مطلق 20/5- درجه سانتی‌گراد در اسفند ماه تا حداکثر 47 درجه سانتی‌گراد در تیر ماه متغیر می‌باشد. به دلیل کمبود بارش در منطقه مورد مطالعه، آب‌های سطحی قابل ذکری وجود نداشته و آب‌های زیرزمینی بخش زیادی از آب مصرفی بخش کشاورزی را تأمین می‌نماید. از کل تخلیه بخش کشاورزی حدود 94/72 درصد سهم بخش زراعی و 5/28 درصد سهم بخش باغی می‌باشد (سازمان آب منطقه‌ای خراسان رضوی، 1390). در این تحقیق تأثیر تغییر الگوی کشت؛ جایگزینی محصولات پرمصرف آب با محصولات کم‌مصرف و افزایش راندمان آبیاری در قالب یک مدل مدیریتی بر روی تثبیت منابع آب زیرزمینی دشت فریمان - تربت جام و در یک دوره برنامه‌ریزی ده ساله مورد بررسی قرار گرفت. شرایط مرزی تعریف شده برای این مدل مدیریتی آن است که اولاً تغییرات سطح زیر کشت هر یک از محصولات منتخب کم‌تر از نیمی از سطح کنونی همان محصول در پایان دوره برنامه‌ریزی مدل باشد، ثانیاً

ملاحظه می‌گردد محصولات چغندر قند، سیب زمینی و یونجه بیش-ترین نیاز آبی را دارا هستند که حفظ سطوح زیر کشت کنونی آن‌ها بیش‌ترین فشار را بر روی منابع آب زیرزمینی این دشت تحمیل خواهند نمود. در این سناریوی مدیریتی تنها با افزایش متوسط راندمان آبیاری تا مرز 55 درصد، سعی در حفظ منابع آب زیرزمینی از طریق کاهش برداشت، شده است. جدول 3 محصولات عمده زراعی و سطح اختصاص یافته به هر محصول در وضعیت کنونی را نشان می‌دهد. همانطور که در این جدول مشخص است بیش‌ترین سطوح زیر کشت به محصولات گندم، خربزه و جو اختصاص یافته است. با توجه به ثابت ماندن سطوح زیر کشت در تمام سال‌های برنامه‌ریزی، نیاز خالص آب آبیاری مورد نیاز در هیچ یک از سال‌های برنامه‌ریزی تغییر نخواهد کرد. در جدول 4 نیز منابع آب مصرفی در وضعیت کنونی از نقطه نظر تعداد و میزان تخلیه سالانه آن‌ها در دشت فریمان - تربت- جام لیست شده‌اند (مهندسین مشاور ساز آب، 1390).

همانگونه که در جدول 4 مشخص است بیش‌ترین سهم برداشتی از منابع آب زیرزمینی در راستای تأمین آب مورد نیاز در بخش کشاورزی دشت فریمان - تربت‌جام از طریق چاه‌ها صورت می‌گردد که خود شامل چاه‌های عمیق و نیمه عمیق می‌باشد.

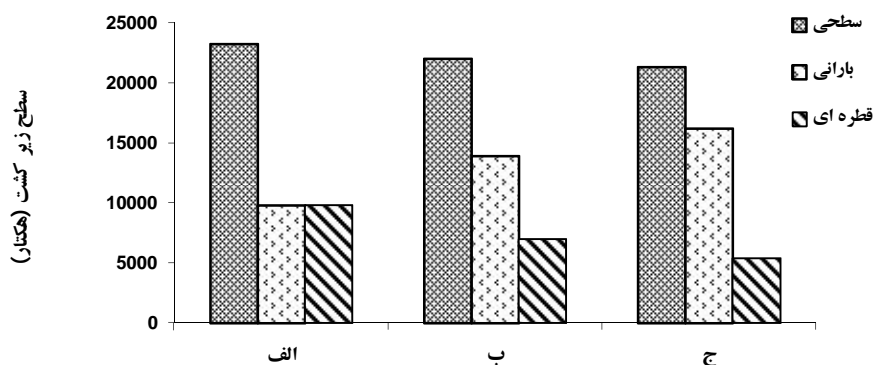
آبیاری سطحی در دشت مورد مطالعه و راندمان‌های تعریف شده در روش‌های آبیاری بارانی و قطره‌ای، بایستی اختصاص سطوح زیر کشت به این روش‌ها بنحوی باشد که نهایتاً راندمان هدف به‌دست آید. نتایج مربوط به تخصیص سطوح زیر کشت هریک از روش‌های مذکور به ازاء نسبت‌های مختلف  $A_p / A_t$  در جدول 1 فهرست و در شکل 1 نشان داده شده است. بدیهی است که با افزایش نسبت مذکور، سطح تحت آبیاری به روش بارانی افزایش یافته و این افزایش از طریق کاهش سطوح آبیاری شونده به روش قطره‌ای و سطحی جبران می‌گردد که در شکل 1 به‌وضوح مشخص شده است. همانگونه که نتایج جدول 1 نشان می‌دهد بیش‌ترین اختلاف سطوح تحت آبیاری سطحی و بارانی برای حالت  $A_p / A_t = 2$  (8084 هکتار) و بیش‌ترین اختلاف سطوح تحت آبیاری سطحی و قطره‌ای برای حالت  $A_p / A_t = 3$  (15939 هکتار) رخ داده است.

### نتایج سناریوی اول

مقادیر نیاز خالص آب آبیاری برای محصولات عمده زراعی که در دشت فریمان - تربت‌جام کاشت می‌شوند از سند ملی آب کشور استخراج و نتایج آن در جدول 2 فهرست شده‌اند. همانطور که

جدول 1- سطوح تخصیصی به هریک از روش‌های آبیاری در دشت فریمان - تربت‌جام (هکتار) به ازاء نسبت‌های مختلف  $A_p / A_t$

نسبت $A_p / A_t$	کل سطح زیر کشت	تحت فشار		سطحی	راندمن هدف (درصد)
		بارانی	قطره ای		
1	42984	9840	9840	23304	55
2	42984	6980	13960	22044	55
3	42984	5409	16227	21348	55



وضعیت تخصیص سطوح زیر کشت به هر یک از روش‌های آبیاری

شکل 1- تخصیص سطوح زیر کشت به هر روش آبیاری، الف) ( $A_p / A_t = 1$ )، ب) ( $A_p / A_t = 2$ ) و ج) ( $A_p / A_t = 3$ )

جدول 2- نیاز خالص آبی محصولات عمده زراعی تحت کشت در دشت فریمان - تربت جام (میلی متر)، سند ملی آب کشور

محصول	ماه												
	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	سالانه
گندم	81	159	119	-	-	-	-	8	8	3	9	25	412
جو	81	154	62	-	-	-	-	8	9	4	10	25	353
چغندر قند	8	51	149	280	282	201	101	25	-	-	-	-	1097
پنبه	-	27	97	264	277	184	60	-	-	-	-	-	909
هندوانه	15	103	202	250	61	-	-	-	-	-	-	-	631
خریزه	15	103	202	244	60	-	-	-	-	-	-	-	624
یونجه	53	110	156	194	185	135	82	41	22	5	10	19	1012
ذرت	-	16	83	273	280	155	18	-	-	-	-	-	825
سیب زمینی	11	57	199	287	273	177	61	-	-	-	-	-	1065
پیاز	31	116	202	261	230	-	-	-	-	-	-	-	840
گوچه فرنگی	14	97	229	300	258	89	-	-	-	-	-	-	987

جدول 3- وضعیت تخصیص سطح زیر کشت کنونی محصولات عمده زراعی (هکتار)، دشت فریمان - تربت جام

محصول	گندم	جو	چغندر قند	پنبه	هندوانه	خریزه	یونجه	ذرت	سیب زمینی	پیاز	گوچه فرنگی	سایر محصولات	مجموع
مساحت (هکتار)	22300	5277	3575	625	86	6052	634	225	748	43	2561	858	42984

جدول 4- آمار تخصیص مصرف آب آبیاری از هر یک از منابع آب زیرزمینی در دشت فریمان - تربت جام (هزار متر مکعب)

منبع آب							
چاه		قنات		چشمه		مجموع	
تعداد	میزان تخلیه	تعداد	میزان تخلیه	تعداد	میزان تخلیه	تعداد	میزان تخلیه
1220	627597	264	27402	325	14047	1809	635003

37/7 درصد به دست خواهد آمد که افزایش این مقدار تا سقف 55 درصد (راندمان هدف)، منجر به کاهش ناخالص برداشت آب زیرزمینی تا حدود 435/5 میلیون مترمکعب در پایان دوره ده ساله برنامه ریزی خواهد گشت. نتایج مربوط به حجم خالص و ناخالص برداشتی و جبران کسری منابع آب زیرزمینی دشت فریمان - تربت جام به واسطه اعمال سناریوی اول از مدل مدیریتی تعریف شده در این تحقیق، در جدول 5 لیست شده اند.

با توجه به سطوح زیر کشت هر یک از محصولات در وضعیت کنونی (جدول 3) و نیاز آبی مربوط به هر یک از محصولات (جدول 2)، نیاز خالص محصولات مذکور در حدود 239/5 میلیون متر مکعب به دست خواهد آمد که با توجه به ماهیت سناریوی اول، این نیاز خالص در پایان مدل مدیریتی ده ساله به همین میزان حفظ خواهد شد. در ضمن با توجه به حجم ناخالص برداشتی از منابع آب زیرزمینی (جدول 4)، میزان راندمان واقعی اعمال شده در این دشت در حدود

جدول 5 - بیلان مخازن آب زیرزمینی (متر مکعب) در وضعیت کنونی و در پایان دوره مدل مدیریتی به ازای اجرای سناریوی اول

پایان دوره مدل مدیریتی (سناریوی اول)				وضعیت کنونی			نام دشت
آب مصرفی	راندمان هدف	تعادل بخشی	کسری مخزن	آب مصرفی	راندمان واقعی	کسری مخزن	
۴۳۵۵۸۹۶۴۵	۵۵	۱۹۹۴۱۳۶۵۵	۱۵۵۸۶۳۴۵	۲۱۵۰۰۰۰۰	۳۷/۷	۶۳۵۰۰۳۳۰۰	فریمان - تربت جام

اشتغال و درآمد خالص کشاورزان نیز داشته باشد. تغییرات الگوی کشت گیاهان زراعی در طول دوره ده ساله مدل مدیریتی که بر اساس برنامه نوشته شده در محیط MATLAB به دست آمده‌اند در جدول 6 نشان داده شده است. هم‌چنین مقادیر آب مصرفی، تعادل بخشی و وضعیت کسری مخزن در صورت اجرای سناریوی دوم در جدول 7 لیست و در شکل 3 نمایش داده شده‌اند. آنچنان که در جدول 6 مشخص است سطوح زیر کشت محصولات چغندرقد، سیب زمینی، یونجه، گوجه فرنگی، پنبه، پیاز، هندوانه و خربزه که به ترتیب بیش‌ترین نیاز آبی و بالتبع بیش‌ترین فشار را بر منابع آب زیرزمینی وارد می‌کرده‌اند، کاهش و مقادیر مذکور بر سطح زیر کشت دیگر محصولات افزوده شده به‌طوری‌که سطح کل زیر کشت دشت مذکور در تمامی سال‌ها ثابت (42984 هکتار) بوده است. مقایسه شکل‌های 2 و 3 نشان دهنده این حقیقت است که اجرای سناریوی اول نقش بیش‌تری در حفظ و تعادل بخشی به منابع آب زیرزمینی در قیاس با سناریوی دوم داشته است. به‌عبارت دیگر افزایش راندمان در قیاس با تغییر الگوی کشت نقش مهم‌تری در کاهش آب مصرفی در پایان دوره ده ساله مدل مدیریتی و بالتبع آن بر روی تعادل بخشی و جبران کسری مخازن آب زیرزمینی داشته است.

### نتایج سناریوی سوم

در سناریوی سوم نقش همزمان راهکارهای مدیریتی اجرا شده در دو سناریوی قبلی مورد بررسی قرار گرفت. به‌عبارتی تأثیر همزمان افزایش راندمان آبیاری و تغییر الگوی کشت گیاهان پرمصرف به سمت گیاهان کم مصرف بر روی تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی مورد تحلیل قرار گرفته است.

همانگونه که نتایج جدول 5 نشان می‌دهد تنها افزایش راندمان آبیاری تا سقف 55 درصد که خارج از توان مدیران اجرایی هم نمی‌باشد، می‌تواند منجر به حفظ حدود 200 میلیون مترمکعب در منابع آب زیرزمینی از طریق کاهش برداشت گردد. بدیهی است که با توجه به کسری اولیه مخزن آب زیرزمینی، در صورت اجرای این سناریو هیچ‌گونه بیلان مثبتی (افزایش تراز آب زیرزمینی نسبت به وضعیت کنونی) در آبخوان دشت رخ نخواهد داد (حفظ کسری مخزن در حدود 16 میلیون مترمکعب)، اگرچه در پایان دوره ده ساله مدل مدیریتی منتخب، از افت تراز آب زیرزمینی که در صورت عدم اجرای سناریوی فوق اتفاق می‌افتاد، جلوگیری خواهد نمود. به منظور مقایسه بهتر نتایج بیلان آب زیرزمینی حاصل از سناریوی اول، مقادیر تفکیک شده آب مصرفی، میزان تعادل بخشی آبخوان که صرف جبران کسری مخزن خواهد شد و کسری مخزن در وضعیت کنونی و در پایان دوره ده ساله مدل مدیریتی تعریف شده، در شکل 2 نمایش داده شده‌اند. بدیهی است که میزان تعادل بخشی در وضعیت کنونی صفر خواهد بود.

### نتایج سناریوی دوم

سناریوی دوم مدل مدیریتی مطرح شده در این تحقیق بر اساس تغییرات تدریجی سطوح زیر کشت محصولات پرمصرف آب و حفظ راندمان آبیاری دشت در مقدار فعلی آن استوار است. شرط مرزی تعریف شده برای این سناریو آن است که تغییرات سطوح زیر کشت هر یک از محصولات از نیمی از سطح کنونی همان محصول تجاوز نماید. این شرط بدان سبب اعمال می‌گردد که تغییر الگوی کشت وسیع و آبی از یک طرف با مخالفت کشاورزان محلی مواجه می‌گردد و از طرف دیگر می‌تواند تأثیرات منفی متقابلی بر روی وضعیت



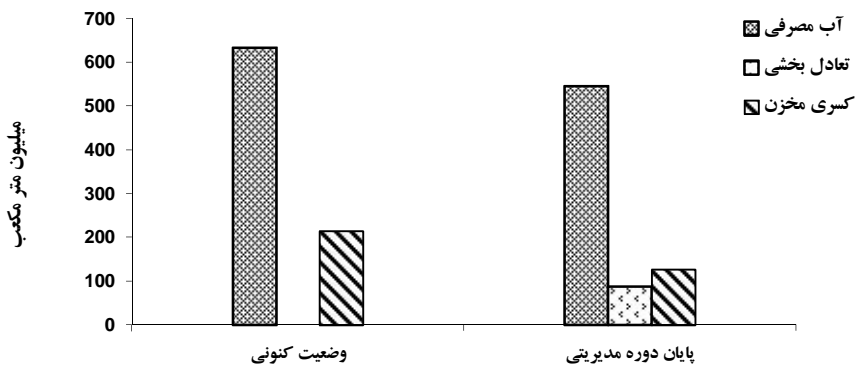
شکل 2- مقایسه مقادیر آب مصرفی، تعادل بخشی و کسری مخزن در وضعیت کنونی و پایان سناریوی اول از مدل مدیریتی

جدول 6- تغییرات پیشنهادی الگوی کشت گیاهان زراعی در قالب سناریوی دوم از مدل مدیریتی در دشت فریمان - تربت جام

سطح اختصاص یافته به هر محصول (هکتار)											
محصول	وضعیت فعلی	سال اول	سال دوم	سال سوم	سال چهارم	سال پنجم	سال ششم	سال هفتم	سال هشتم	سال نهم	سال دهم
گندم	22300	22857/5	23415	23972/5	24530	25087/5	25645	26202/5	26760	27317/5	27875
جو	5277	5435/3	5593/6	5751/9	5910/2	6068/5	6226/8	6385/1	6543/4	6701/7	6860
چغندر قند	3575	3396/25	3217/5	3038/75	2860	2681/25	2502/5	2323/75	2145	1966/25	1788
پنبه	625	593/75	562/5	531/25	500	468/75	437/5	406/25	375	343/75	312/5
هندوانه	86	64/5	64/5	64/5	64/5	64/5	43	43	43	43	43
خریزه	6052	5749/4	5446/8	5144/2	4841/6	4539	4236/4	3933/8	3631/2	3328/6	3026
یونجه	634	602/3	570/6	538/9	507/2	475/5	443/8	412/1	380/4	348/7	317
ذرت دانه ای	225	213/75	202/5	191/25	180	168/75	157/5	146/25	135	123/75	112/5
سیب زمینی	748	710/6	673/2	635/8	598/4	561	523/6	486/2	448/8	411/4	374
پیاز	43	32/25	32/25	32/25	32/25	32/25	21/5	21/5	21/5	21/5	21/5
گوجه فرنگی	2561	2433	2305	2177	2049	1921	1793	1665	1537	1409	1281
سایر محصولات	858	895/4	900/55	905/7	910/85	916	953/4	958/55	963/7	968/85	973/5
مجموع	42984	42984	42984	42984	42984	42984	42984	42984	42984	42984	42984

جدول 7 - بیان مخازن آب زیرزمینی (متر مکعب) در وضعیت کنونی و در پایان دوره مدل مدیریتی به ازای اجرای سناریوی دوم

نام دشت	وضعیت کنونی			پایان دوره مدل مدیریتی (سناریوی دوم)		
	آب مصرفی	راندمان واقعی	کسری مخزن	آب مصرفی	راندمان	تعداد بخشی کسری مخزن
فریمان - تربت جام	۶۳۵۰۰۳۳۰۰	۳۷/۷	۲۱۵۰۰۰۰۰	۵۴۶۷۸۲۵۷۷	۳۷/۷	۸۸۲۲۰۷۲۳



تخصیص مولفه های اصلی بیان آب زیرزمینی در ابتدا و انتهای سناریوی دوم

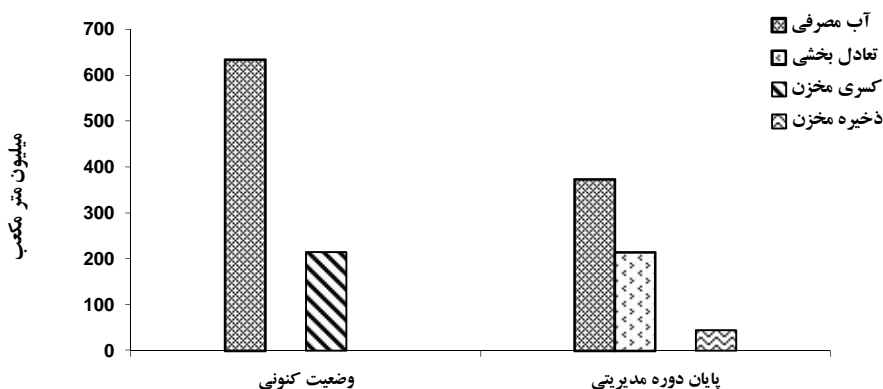
شکل 3- مقایسه مقادیر آب مصرفی، تعادل بخشی و کسری مخزن در وضعیت کنونی و پایان سناریوی دوم از مدل مدیریتی.

و کسری مخازن آب زیرزمینی در وضعیت کنونی و در پایان دوره مدل مدیریتی به ازای اجرای سناریوی سوم در جدول 8 و مقایسه همین مقادیر در شکل 4 نمایش داده شده است.

شرط مرزی مربوط به تغییرات سطوح زیر کشت گیاهان زراعی که در سناریوی دوم برقرار گردید در اینجا نیز صادق است که این تغییرات از جدول 6 تبعیت می‌نماید. مقادیر آب مصرفی، تعادل بخشی

جدول 8 - بیان مخازن آب زیرزمینی (متر مکعب) در وضعیت کنونی و در پایان دوره مدل مدیریتی به ازای اجرای سناریوی سوم

نام دشت	وضعیت کنونی				پایان دوره مدل مدیریتی (سناریوی سوم)		
	آب مصرفی	راندمان واقعی	کسری مخزن	آب مصرفی	راندمان هدف	تعادل بخشی	کسری مخزن
فریمان - تربت جام	۶۳۵۰۰۳۳۰۰	۳۷/۷	۲۱۵۰۰۰۰۰	۳۷۴۷۹۴۶۰۲	۵۵	۲۱۵۰۰۰۰۰	۰



تخصیص مولفه های اصلی بیان آب زیرزمینی در ابتدا و انتهای سناریوی سوم از مدل مدیریتی

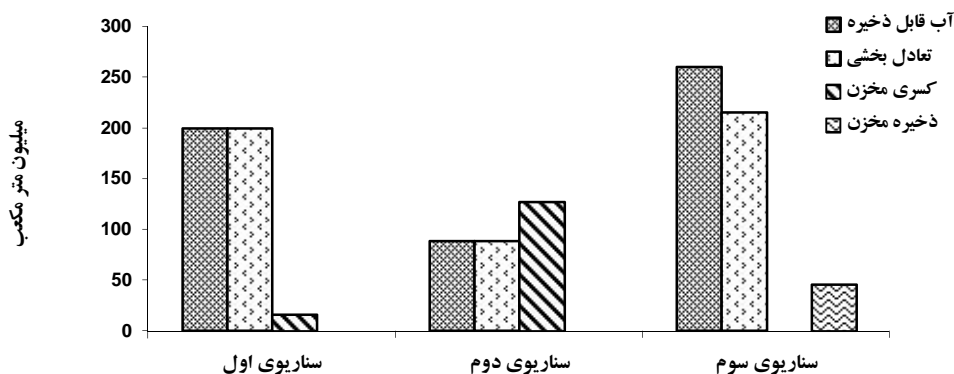
شکل 4- مقایسه مقادیر آب مصرفی، تعادل بخشی و کسری مخزن در وضعیت کنونی و پایان سناریوی سوم از مدل مدیریتی.

### نتیجه گیری

تأثیر راهکارهای مدیریتی در سطح مزرعه، به منظور پایش صحیح تر منابع آب زیرزمینی دشت فریمان - تربت جام در قالب یک مدل مدیریتی و شامل سه سناریو متفاوت مورد ارزیابی قرار گرفت. این سناریوها شامل تبدیل سطوح زیر کشت گیاهان پرمصرف به گیاهان کم مصرف، افزایش راندمان آبیاری تا سقف 55 درصد و اعمال همزمان آنها بودند. شرط مرزی راهکار مدیریتی اول به نحوی بود که کاهش سطوح زیر کشت گیاهان عمده زراعی پرمصرف دشت مذکور از نیمی از سطح اولیه آن محصول خاص تجاوز ننماید. نتایج نشان داد که کسری مخزن این دشت که در حدود 215 میلیون مترمکعب است در اثر اجرای سناریوهای اول و دوم به ترتیب در حدود 199/4 و 88/2 میلیون مترمکعب کاهش یافته و به ارقامی در حدود 15/6 و 126/7 میلیون متر مکعب خواهد رسید. آنگونه که انتظار می‌رفت سناریوی سوم از نقطه نظر مدیریت منابع آب زیرزمینی نتایج بهتری داشت.

آنچنان که نتایج شکل 4 نشان می‌دهد و انتظار نیز می‌رفت، سناریوی سوم از نقطه نظر مدیریت منابع آب زیرزمینی بسیار کارآمد تر عمل کرده است. اجرای این سناریو نه تنها کسری مخزن آب زیرزمینی را در پایان دوره مدل مدیریتی به صفر خواهد رساند، بلکه باعث ذخیره در مخزن (افزایش تراز آب زیرزمینی در پایان دوره ده ساله در قیاس با وضعیت فعلی) نیز خواهد گشت که بسیار حائز اهمیت است. اجرای همزمان دو راهکار مدیریتی به کار رفته در سناریوی سوم مدل مدیریتی تعریف شده در این تحقیق، کسری مخزن این دشت که در حدود 215 میلیون متر مکعب است و رقم قابل تأملی نیز می‌باشد را در پایان دوره ده ساله به صفر رسانده و حتی در حدود 45 میلیون متر مکعب به احیای آب در آبخوان این دشت نیز کمک خواهد کرد که خود باعث خیز سطح ایستابی متناظر با آبدهی ویژه در این دشت خواهد گردید. به منظور مقایسه سه سناریوی به کار رفته در ساختار مدل مدیریتی اعمال شده در این تحقیق، نتایج مربوط به آب مصرفی، کسری مخزن، تعادل بخشی و ذخیره مخزن در ازا اجرای هر کدام از این سناریوها در شکل 5 نمایش داده شده است.





تخصیص مولفه های اصلی بیلان آب زیرزمینی در هر یک از سناریوهای مدل مدیریتی

شکل 5- مقایسه مقادیر آب مصرفی، تعادل بخشی و کسری مخزن در پایان دوره مدل مدیریتی در هر یک از سناریوها.

استان کرمان. مجله پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی، 16: 63-2.

مطالعات آب های زیرزمینی در مناطق ممنوعه بحرانی: دشت فریمان - تربت جام، 1390. شرکت مهندسی مشاور ساز آب شرق، آرشبو بخش مطالعات پایه منابع آب، سازمان آب منطقه ای خراسان رضوی.

علیزاده، ا.، مجیدی، ن.، قربانی، م.، محمدیان، ف. 1391. بهینه سازی الگوی کشت با هدف تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی دشت مشهد - چناران). نشریه آبیاری و زهکشی ایران، 1: 65-68.

Aldaya, M.M., Allan, J.A and Hoekstra, A.Y. 2010. Strategic importance of green water in international crop trade. Ecological Economics. 69: 887-894.

Fraiture, C., Cai, X., Amarasinghe, U., Rosegrant, M and Molden, D. 2004. Does International Cereal Trade Save Water? The Impact of Virtual Water Trade on Global Water Use. Comprehensive Assessment Research Report 4, Colombo, Sri Lanka, Comprehensive Assessment Secretariat.

Jing, M. 2004. Assessment of virtual water trade as a tool in achieving food security in China, M.Sc. thesis, WERM 0.14 UNESCO- IHE, DELFT, The Netherland.

Hoekstra, A.Y. and Hung, P.Q. 2002. A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade, value of water research report series, No. 11, The Netherlands.

Hoekstra, A.Y and Hung, P.Q. 2005. Globalization of water resources: international virtual water flows in relation to crop trade. Global Environmental Change, 15: 45-56.

Hoekstra, A.Y and Chapagain, A.K. 2007. Water footprints of nations: Water use by people as a

اجرای این سناریو در پایان دوره مدل مدیریتی به طور کامل کسری مخزن را جبران و حتی در حدود 45/2 میلیون متر مکعب باعث ذخیره در آبخوان گردید. نکته ای که قابل تأمل به نظر می رسد آن است که اگرچه نتایج مدل مدیریتی تعریف شده در این تحقیق در یک بازه ده ساله از فشار بیش از حد بر منابع آب زیرزمینی خواهد کاست و حالت پایداری به آن خواهد بخشید، با این حال از یک سو تأثیرات متقابلی بر روی وضعیت اشتغال در منطقه خواهد گذاشت و از دیگر سوی افزایش راندمان آبیاری مستلزم تخصیص هزینه بیشتری در این تکنیک می باشد که لازم است تصمیم گیران سیاست های کلان مدیریت منابع آب به آن توجه لازم را مبذول فرمایند. بنابراین ضروری به نظر می رسد که در تحقیق جداگانه ای این تأثیرات مورد بررسی قرار گیرند.

## منابع

اسدپور، ح.، خلیلیان، ص و پیکانی، غ. ر. 1386. نظریه و کاربرد مدل برنامه ریزی خطی آرمانی فازی در بهینه سازی الگوی کشت. اقتصاد کشاورزی و توسعه. ویژه نامه بهره وری و کارایی. 307-338.

اسدی، ه و سلطانی، غ. 1379. بررسی حاشیه ایمنی و تعیین الگوی کشت بهینه فعالیت های زراعی با بهره گیری از روش برنامه ریزی خطی. اقتصاد کشاورزی و توسعه، 31: 71-86.

آل محمد، ع. 1380. تعیین الگوی بهینه کشت اقتصادی شهرستان سمنان. پایان نامه کارشناسی ارشد اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

بریم نژاد، و. 1383. تحلیل پایداری در مدیریت منابع آب در بخش کشاورزی با استفاده از برنامه ریزی کسری: مطالعه موردی

- applications laboratory, Paper of Pablo de Olavide University.
- Wheida,E and Verhoeven,R. 2007. The role of “virtual water” in the water resources management of the Libyan Jamahiriya. *Desalination*, 205: 312-316.
- function of their consumption pattern. *Water Resource Management*,21:35-48.
- Siebert,S and Doll,P. 2010. Quantifying blue and green virtual water contents in global crop production as well as potential production losses without irrigation. *Journal of Hydrology*, 384: 198-217.
- Velazquez,E. 2005. Water trade in Andalusia, virtual water: An alternative way to manage water demand. *European union-regional economics*

## Balancing of Fariman-TorbatJam Groundwater Resources in Attention to Management Approaches in the Field Scale

R.Moazenzadeh<sup>1\*</sup> and A. Alizadeh<sup>2</sup>

Received: Feb.17, 2015

Accepted: Aug.19, 2015

### Abstract

Agriculture as one of the main topics of development has an important role in economic development. To achieve agricultural development, its transformation and modernization is inevitable. In terms of groundwater level, the most plains of our country are in the critical and dangerous conditions because of unsuitable spatial and temporal distribution of rainfall, incorrect management policies regarding the use of surface runoff and groundwater over exploitation. In this study, the effect of management approaches including modification of crop pattern and upgrading of irrigation efficiency from 37 to 55 percentage in the form of a management model was discussed on the Fariman-Torbat Jam balancing groundwater resources (6355 km<sup>2</sup>), in the field scale. This management model based on three scenarios in the form of linear programming was coded and implemented in MATLAB software. The results showed that although the actions of each of these management approaches has stopped the declination of groundwater level, however, the lack of the aquifer which is about 215 million cubic meters will not compensate completely. Also the results showed that upgrading of irrigation efficiency and modification of crop pattern will compensate the lack of the aquifer about 200 and 88 million cubic meters, respectively. Simultaneous application of these approaches not only completely will compensate the lack of the aquifer at the end of ten years management period, but also it saves about 45 million cubic meters of water in this plain. Although this model has good result on water resources management, however, it is necessary to study of its effect on employment and income of farmers, separately.

**Keywords:** Crop pattern, Irrigation efficiency, Lack of aquifer, Management model

---

1-Assistant Professor, Department of Soil and Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrood University

2- Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad  
(\*-Corresponding Author Email: romo\_sci@shahroodut.ac.ir)