



مدل سازی مصرف آب کارخانه سیمان بر اساس پویایی های سیستم: مطالعه موردی شرکت سیمان فارس نو (کارخانه سیمان فیروز آباد)

سجاد قرائت*

نعمت اله نادری زاده

سید مرتضی موسوی

چکیده:

وجود آب برای زندگی حیاتی است و تامین آب کافی یک پیش نیاز بنیادی برای توسعه جوامع انسانی می باشد. کمبود آب شامل تنش آب، کم آبی و بحران آب است. مفهوم تنش آب نسبتاً جدید است. تنش آب مشکل در یافتن منابع آب شیرین برای استفاده است، که علت آن تخلیه منابع است. بحران آب وضعیتی است که در آن آب قابل آشامیدن و غیر آلوده در یک منطقه کمتر از تقاضای آن است. سیمان ماده چسبنده ای با ترکیبی از اکسید کلسیم (آهک) با سایر اکسیدها نظیر اکسید آلومینیوم، اکسید سیلیسیم، اکسید آهن، اکسید منیزیم و اکسیدهای قلیایی می باشد که میل ترکیبی با آب داشته و در مجاورت هوا و در زیر آب به مرور سخت و دارای مقاومت می شود. صنایع سیمان به عنوان یکی از مصرف کنندگان آب به شدت در حال گسترش می باشد. این موضوع در این صنعت کمتر مورد توجه واقع شده است درحالیکه می تواند به عنوان یکی از مشکلات اساسی صنعت سیمان کشور در آینده مطرح باشد.

کلمات کلیدی: سیمان، پویایی های سیستم، آب



مقدمه:

نقشه‌هایی وجود دارند که نشان‌دهنده آب موجود در طبیعت است و کشورهای با حجم پایین‌تر یا بالاتر آب قابل استفاده را مشخص می‌کند. برخی دیگر نسبت آب موجود به جمعیت را در بردارند. رویکرد معمول رتبه‌بندی کشورها بر مبنای میزان منابع آب موجود در سال به ازای هر فرد است. برای مثال، با توجه به شاخص تنش آب فالکنمارک، زمانی گفته می‌شود یک کشور یا منطقه «تنش آبی» دارد که منابع آب سالانه آن کمتر از ۱۷۰۰ متر مکعب به ازای هر فرد در سال است. در سطحی بین ۱۰۰۰ الی ۱۷۰۰ متر مکعب به ازای هر فرد در سال، کمبود آب دوره‌ای یا محدود را می‌توان انتظار داشت. هنگامی که منابع آب کمتر از ۱۰۰۰ متر مکعب به ازای هر فرد در هر سال باشد، کشور با «کمبود آب» مواجه است [۱]. فائو وابسته به سازمان ملل متحد بیان می‌کند که تا سال ۲۰۲۵، ۱/۹ میلیارد نفر در کشورها و یا مناطق با کمبود آب مطلق زندگی می‌کنند و دو سوم از جمعیت جهان تحت شرایط تنش آب خواهند بود. مقدار کل منابع آب شیرین نیز به دلیل تغییرات آب و هوایی که موجب عقب‌نشینی یخچال‌های طبیعی، کاهش جریان رودخانه و کوچک شدن دریاچه‌ها شده، کاهش یافته است. بسیاری از آبخوان‌ها (سفره‌های آب زیرزمینی) که بیش از حد پمپ شده‌اند به سرعت پر نمی‌شوند. اگر چه کل منابع آب شیرین مورد استفاده قرار نگرفته است، بسیاری آلوده، شور، نامناسب و یا غیرقابل دسترس برای مصارف شرب، صنعت و کشاورزی شده‌اند. برای جلوگیری از یک بحران جهانی آب، کشاورزان باید برای افزایش بهره‌وری برای پاسخگویی به تقاضاهای رو به رشد برای مواد غذایی تلاش کنند، در حالیکه صنایع و شهرها به دنبال پیدا کردن راه‌هایی برای استفاده بهتر از آب می‌باشند. طبق پیش بینی‌های جهانی سال ۲۰۲۱ سرانه آب به کمتر از ۱۴۰۰ مترمکعب برای هر فرد در سال خواهد رسید و این به معنی ورود به بحران آبی است. در فرایند تولید سیمان، آب و انرژی در کنار مواد معدنی مورد استفاده نقش کلیدی و بسیار مهمی را ایفا می‌کنند. در این مطالعه ما به بررسی میزان مصرف آب بخش‌های مختلف کارخانه سیمان فیروزآباد و عوامل موثر در کاهش میزان مصرف آب کارخانه خواهیم پرداخت.

پیشینه پژوهش:

پویایی‌های سیستم به‌عنوان علمی چند جنبه‌ای و میان‌رشته‌ای پویایی‌شناسی سیستم، برای تدوین برنامه‌های آینده‌پژوهی، راهبردی، کلان، میان بخشی، بخشی و خرد، ظرفیت و توان بالایی دارد و می‌تواند با تنوع مؤلفه‌ها و متغیرها به تصویرسازی، تبیین، پیش‌بینی، کنترل، سیاست‌گذاری و زیر نظر گرفتن رفتارهایی بپردازد که در نظام برنامه‌ریزی توسعه وجود دارد و مطرح می‌شود.

بعضی از مسائل و موضوعات صنعتی - اجتماعی و مدیریتی پیچیدگی دارند و با فرضیات ساده بینشی و مدیریتی قابل حل نمی‌باشند. نظریه سیستم‌های پویا روشی برای مدل‌سازی و بررسی عوامل یک سیستم و درنهایت پیدا کردن راه‌حل مناسب است. این متدولوژی نخستین بار توسط جی. دابلیو فارستر مطرح شد. اولین کتاب وی در سال ۱۹۶۱ و با نام «پویایی‌های صنعتی» منتشر شد.



قابلیت شبیه‌سازی کمی و پویای SD (System Dynamic) از سیاست‌های مختلف آن را به ابزاری ایده آل برای آزمایش سیاست‌های استراتژیک و انتخاب تبدیل کرده است [۲].

Xiaobin Jin و همکارانش با طراحی مدلی با ۴ زیرسیستم شامل زیرسیستم‌های سرمایه ورودی و خروجی، استفاده از زمین، تولید محصولات کشاورزی، تأثیر اجتماعی، به بررسی اثرات اجتماعی یکپارچه‌سازی اراضی در فولین واقع در شمال شرق چانگشا استان هونان در چین پرداخته‌اند. این مدل در طی یک دوره ۱۷ ساله با ۲ سال دوره اجرا و ۱۵ سال دوره زمانی بازده و با مقایسه دو سناریوی اجرای طرح LC و بدون آن شبیه‌سازی شده است و محاسن اجرای طرح یکپارچه‌سازی اراضی LC به‌خوبی قابل مشاهده است [۳]. متین زاده از متدولوژی سیستم دینامیکی طراحی مطلوب سیستم‌های زهکشی در صنایع بزرگ کشت نیشکر استفاده کرده است [۴]. مدل سیستم دینامیک AISEEM در JINSHAN چین در جهت شبیه‌سازی چشم‌انداز بلندمدت توسعه کشاورزی بوم‌شناختی با ۴ زیرسیستم اجتماعی، اقتصادی، نهادی و بوم‌شناختی طراحی شده و به سیاست‌گذاران در جهت تصمیم‌گیری مبتنی بر اطلاعات در مدیریت کشاورزی در جهت بیشینه کردن خروجی‌ها کمک می‌کند [۵]. همچنین به دلیل اثرگذاری عوامل متعدد بر دستیابی و مصرف بهینه منابع آبی متدولوژی پویایی سیستم جایگاه خاصی در آگاه‌سازی سیاست‌گذاران این حوزه دارد.

در مقاله‌ی دیگر Kotir از متدولوژی سیستم دینامیکی برای بررسی فرآیندهای بازخورد و تعامل بین جمعیت، منابع آبی و تولیدات کشاورزی در حوزه رودخانه ولتا در غرب آفریقا استفاده کرده است و از طریق آزمون‌های الگوی ساختاری و آماری و تحلیل حساسیت عملکرد مدل خود را ارزیابی و تأیید کرده است. وی سه سناریوی مدل پایه، سناریوی توسعه زیرساخت‌های آبی و سناریوی شرایط خشک را تا سال ۲۰۵۰ بررسی می‌کند که سه سناریو به رشد محدود می‌شوند اما در سناریوی اول درآمد خالص کشاورزی به حداکثر رسیده و باعث ایجاد امنیت غذایی، کاهش فقر و توسعه اجتماعی و اقتصادی در VRB غنا می‌گردد [۶].

فعالیت‌های صورت پذیرفته در راستای بهینه سازی مصرف آب

از جمله فعالیت‌های انجام شده در خصوص کاهش مصرف آب بخش‌های مختلف کارخانه سیمان فیروزآباد می‌توان به تبدیل ۱۹ هکتار از فضای سبز به سیستم آبیاری تحت فشار توسط واحد فضای سبز، استفاده از شیرهای پدالی، کاهش فشار آب با نصب فشار شکن در مسیر آب ورودی به ساختمان‌ها، استفاده از پساب شست و شوی فیلترهای تصفیه خانه جهت پاشش آب در جاده معدن و همچنین حذف آب تصفیه و جایگزین کردن آب خام در پروسه مصرف آب کولینگ تاور و گریت کولر توسط واحد تاسیسات که منجر به کاهش ۲۸.۵۷٪ در مصرف نمک و کاهش ۹.۴۸٪ در مصرف آب صنعتی گردید، اشاره نمود.

تعریف مسئله:

بحران آب، صنایع کشور خصوصاً واحدهای تولید سیمان را در بر خواهد گرفت.

مطالعه موردی در این مقاله، کارخانه سیمان فیروزآباد می‌باشد.

- ۱- جهت برآورد تغییر در پارامترهای مختلف مقدار مصرف آب در کارخانه، استفاده از یک مدل با سناریوهای احتمالی توسط واحد طرح و برنامه کارخانه سیمان فیروزآباد انجام شده است.



۲- ارائه یک مدل SD برای درک اثر متقابل عوامل موثر بر میزان مصرف آب در بخش‌های مختلف کارخانه مدنظر قرار گرفته است.

مدل شبیه سازی شده برای یک دوره 120 ماهه (۱۰ ساله)، میزان مصرف آب بخش‌های مختلف کارخانه، میزان برداشت آب از چاه‌های مورد استفاده و کل مصرف آب در دسترس کارخانه را در بر دارد.

منطقه مورد مطالعه:

منطقه مورد مطالعه استان فارس- کیلومتر ۱۲ جاده کوار- فیروزآباد، کارخانه سیمان فیروزآباد می باشد.



شکل شماره ۱- کارخانه سیمان فیروزآباد

در کشور ایران ۹۲ الی ۹۴ درصد مصرف آب در بخش کشاورزی، ۶ درصد در بخش خانگی- شرب و ۲ درصد در بخش صنعت مورد استفاده قرار می گیرد. (۷)

استان فارس در سال ۱۳۹۵ میزان ۲.۴٪ از کل آب مصرف شده در بخش صنعت کشور را به خود اختصاص داده است. (۸)

با توجه به منابع آب موجود در کشور ایران، جمعیت کشور و گسترش روز افزون تعداد کارخانجات سیمان در کشور و بویژه مناطق خشک، مشکل تامین آب مورد نیاز جهت تولید سیمان نمایان می گردد. بطور نمونه مطابق با بررسی‌های به عمل آمده و منتشر شده در سال ۱۳۷۴ در سیمان قائن روزانه حدود ۲۳۰۰ متر مکعب آب مورد نیاز می باشد. این مقدار با توجه به سرانه مصرف روزانه آب برای هر نفر که حدود ۱۰۰ الی ۱۵۰ لیتر می باشد برابر با مصرف روزانه آب ۱۵ الی ۲۰ هزار نفر بیان شده است به این معنی که سیمان قاین به تنهایی از کل شهر قاین بیشتر آب مصرف می کند. می توان از این بررسی دریافت که مصرف آب کارخانجات سیمان به تنهایی برابر با مصرف آب میلیون ها نفر بصورت روزانه می باشد.

تدوین فرضیه دینامیکی:

کارخانه سیمان خاکستری از واحدهای مختلفی تشکیل شده است. بر اساس اطلاعات بدست آمده با توجه به ثبت اعداد و ارقام کنتورهای آب موجود در کارخانه سیمان خاکستری فیروزآباد توسط واحد تاسیسات، دقیق ترین آمار و ارقام ثبت شده مربوط به سال ۱۴۰۱ می باشد که از این اعداد در مدل طراحی شده استفاده گردیده است.

با توجه به آمار و ارقام ثبت شده در سال ۱۴۰۱ میزان مصرف آب بخش‌های مختلف کارخانه به ترتیب زیر می باشد:



میزان آب مصرفی و آشامیدنی ۱۷.۲٪ از کل مصرف آب کارخانه، در بخش فضای سبز برابر با ۲۱.۵٪، آب مصرفی در بک واش برابر ۱.۴٪، آب صنعتی برابر ۳.۷٪، مصرف آب کولینگ تاور برابر ۴۹.۹٪، آب مصرفی گریت کولر برابر ۶.۲٪ از کل مصرف آب کارخانه را به خود اختصاص داده اند. لذا با توجه به آمار و ارقام بدست آمده فوق می توان به این نتیجه رسید که کولینگ تاور، بخش فضای سبز و بخش آشامیدنی به ترتیب پر مصرف ترین نواحی مصرف آب در کل کارخانه می باشند و جهت کاهش مصرف آب کارخانه می بایست این سه بخش به ترتیب مورد واکاوی قرار گیرند.

با توجه به اطلاعات کسب شده فوق مدلی طراحی گردید تا میزان برداشت آب از چاه های کارخانه و همچنین مصرف کل آب کارخانه را در هر بخش بصورت مجزا و همچنین بطور کلی پیش بینی کرده تا بتوان تغییرات آتی در تجهیزات و بخش های مختلف مجموعه را جهت کاهش مصرف آب کارخانه مورد ارزیابی قرار داده و بهترین نتایج را از نظر علمی برای تصمیمات استراتژیک مدیریتی پایه ریزی نمود.

در این مقاله ما درباره پیچیدگی سیستم الگوی مصرف آب کارخانه و اینکه توجه به ساختار دینامیکی، موثرترین راه برای افزایش توان تصمیم گیری جهت کاهش میزان مصرف آب است می پردازیم. با توجه به گسترده بودن مدل از نظر کارایی، میتوان عواملی دیگر از جمله جایگزین کردن فضای چمن کاری شده با ریگ رنگ شده یا محوطه سازی، اضافه نمودن فلش ایر به داکت ورودی برج خنک کن جهت پایین آمدن دمای ورودی برج خنک کن و در نتیجه مصرف کمتر آب، تعمیر و جایگزین کردن تجهیزات آبرسانی فرسوده با تجهیزات جدید و همچنین استفاده از نیروگاه بازیافت حرارتی (WHR) را جهت پیش بینی تغییرات مصرف آب کارخانه به مدل اضافه نمود. همچنین می توان از مدل های پویایی سیستم جهت پیش بینی میزان انرژی مصرفی در پروسه تولید سیمان و موارد دیگر استفاده کرد.

سیستم های پویا در سال ۱۹۶۰ توسط Jay Forrester در ماساچوست به وجود آمد. SD به منظور بالا بردن سازماندهی و پیش بینی موقعیت های آینده مساله مورد بررسی به کار می رود. ایده اصلی روش SD این است که هر موقعیت پیچیده میتواند به عنوان مجموعه ای از اجزاء که به وسیله جریان های مختلف در ارتباط با یکدیگر می باشند توصیف شود. تمرکز روش SD بر روی ساختار پیچیده ارتباط بین اجزا است. SD در شرایط مختلف برای ارزیابی مشکلات در ساختار یک سیستم استفاده می شود. مدلهای آماری پیش بینی کننده به معادلات تعیین شده یعنی مشاهدات بستگی دارند در حالی که مدل پویایی سیستم در ابتدا ساختار سیستمی که شامل ارتباط مثبت و منفی بین متغیرها، حلقه های بازایی، الگوهای سیستمی و تاخیرات می شود را بازایی می کند.

مدل پویایی سیستم در این مطالعه با استفاده از نرم افزار Vensim Ple 6.4 طراحی و اجرا شده است.

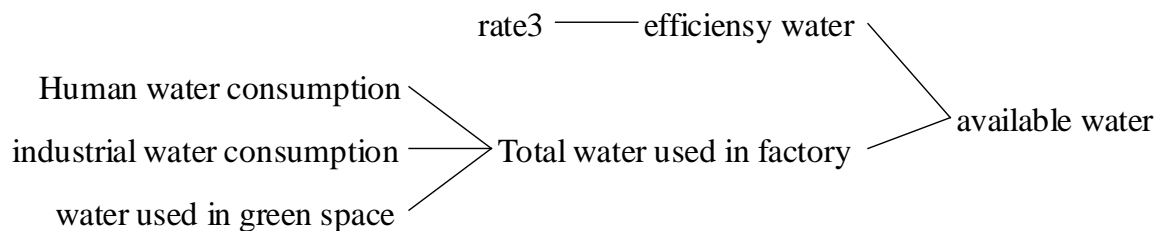
پس از شناسایی عوامل مرتبط با افزایش میزان تقاضای آب کارخانه به رسم نمودارهای زیر سیستم می پردازیم.

مدل از ۲ زیر سیستم تشکیل شده است.

۱- میزان آب مصرفی

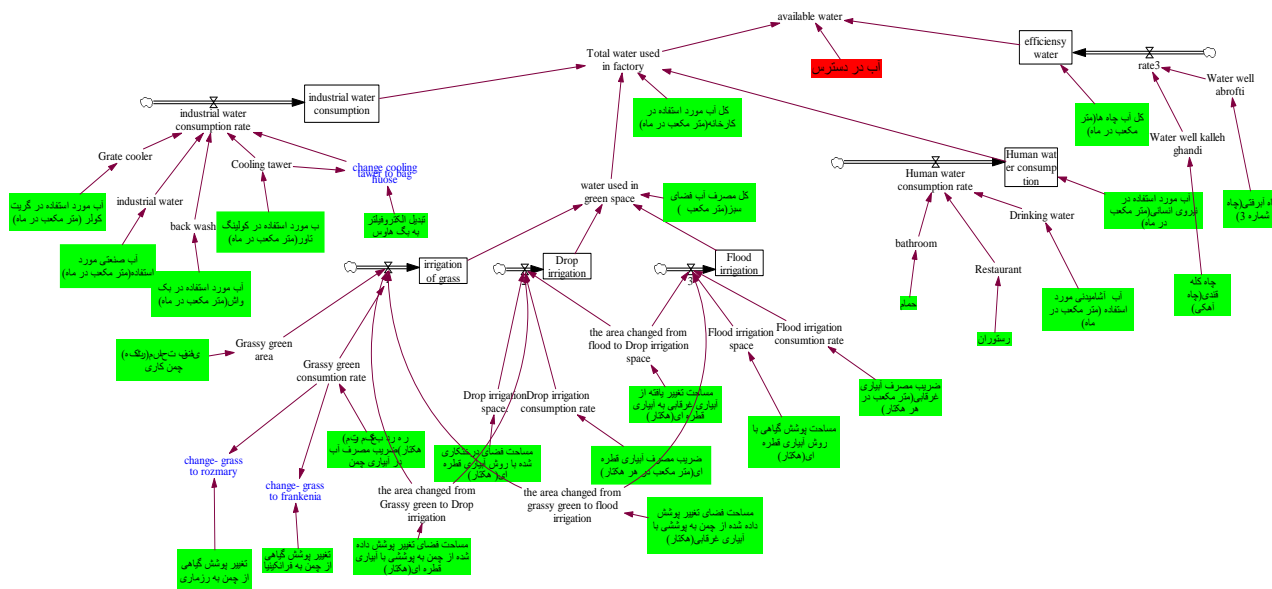
۲- میزان آب برداشت شده از چاه ها

نمودار زیر سیستم های مدل در زیر، رسم شده است:



نمودار شماره ۱

مدل پویایی سیستم مساله مورد مطالعه با استفاده از نرم افزار Vensim در نمودار ۳ نشان داده شده است.



شکل شماره ۲- مدل پویایی سیستم

فرمول نویسی مدل در پیوست شماره ۱ آورده شده است.

مدل شماتیک پویایی سیستم بصورت شکل شماره ۲ طراحی گردیده است.

اجرای مدل:

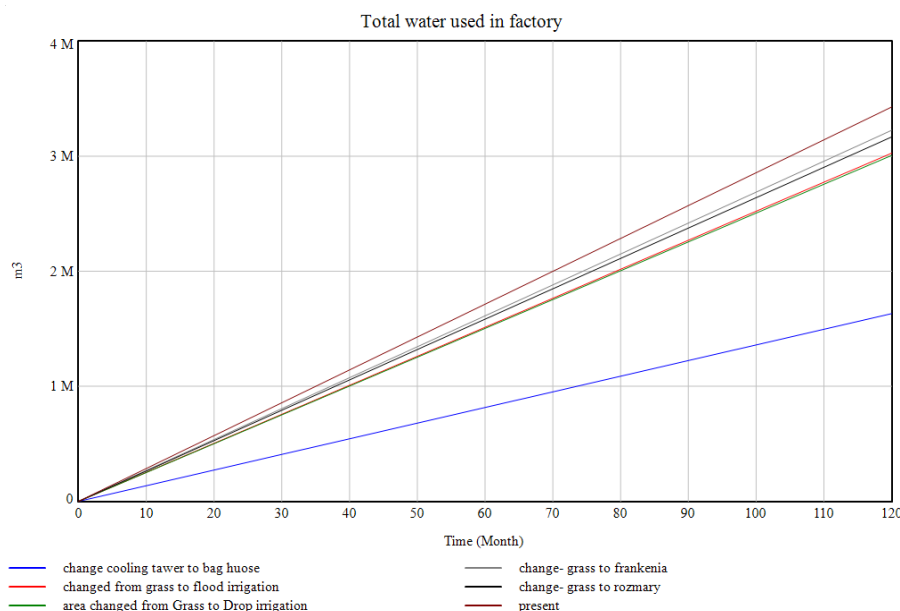
مدل با در نظر گرفتن میانگین مصرف ماهیانه هر یک از بخش‌های کارخانه (آمار ۱۲ ماهه) سال ۱۴۰۱ در ۵ مرحله اجرا گردید:



- ۱- میزان مصرف آب صنعتی در حالت حذف برج خنک کن و الکتروفیلتر و استفاده از بگ هاوس.
 - ۲- تغییر فضای سبز چمن کاری شده از چمن به کاشت درخت با آبیاری قطره ای.
 - ۳- تغییر فضای سبز چمن کاری شده از چمن به کاشت درخت با آبیاری غرقابی.
 - ۴- تغییر فضای سبز چمن کاری شده از چمن به گیاه فرانکینیا.
 - ۵- تغییر فضای سبز چمن کاری شده از چمن به گیاه رزماری.
- تغییرات دیگر نیز قابل اضافه شدن به مدل نوشته شده می باشند.

نتیجه گیری:

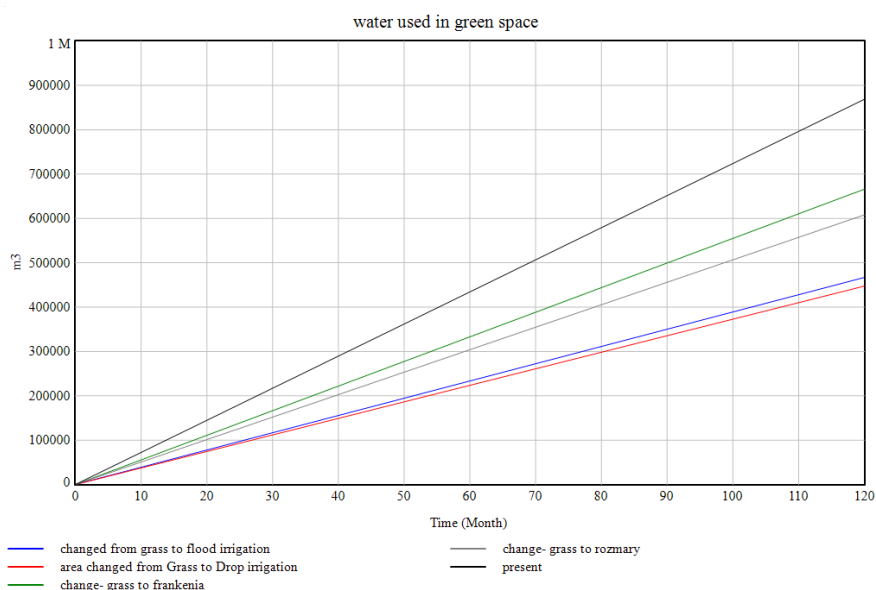
- ۱- نمودار میزان مصرف آب کارخانه در ۱۲۰ ماه آینده در حالت های مختلف به شکل زیر می باشد:



-نمودار شماره ۲

در ارتباط با میزان مصرف آب کارخانه ۵ حالت زیر در نظر گرفته شد:

۱. میزان مصرف آب صنعتی در حالت حذف برج خنک کن و الکتروفیلتر و استفاده از بگ هاوس (نمودار آبی رنگ).
۲. تغییر فضای سبز چمن کاری شده از چمن به کاشت درخت با آبیاری قطره ای (نمودار قرمز رنگ).
۳. تغییر فضای سبز چمن کاری شده از چمن به کاشت درخت با آبیاری غرقابی (نمودار سبز رنگ).
۴. تغییر فضای سبز چمن کاری شده از چمن به گیاه فرانکینیا (نمودار خاکستری رنگ).
۵. تغییر فضای سبز چمن کاری شده از چمن به گیاه رزماری (نمودار سبز تیره رنگ).
۶. میزان مصرف آب در حال حاضر (نمودار قرمز تیره رنگ).
- ۲- نمودار میزان مصرف آب بخش های مختلف کارخانه در ۱۲۰ ماه آینده در حالت های مختلف بصورت زیر می باشد:

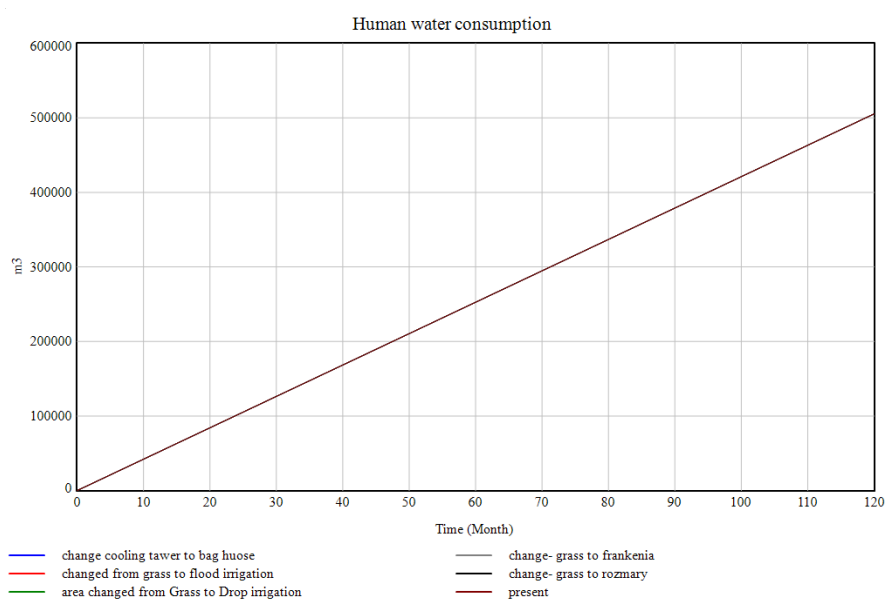


-نمودار شماره ۳- میزان مصرف آب فضای سبز

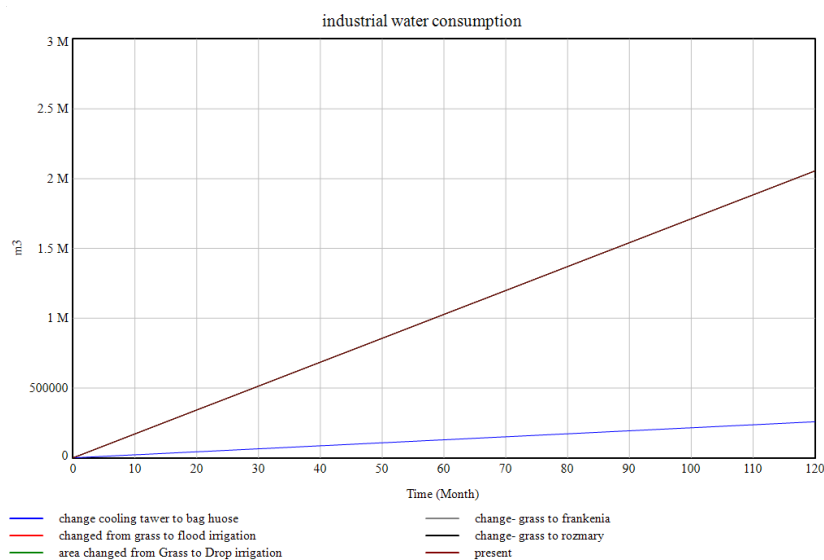
در ارتباط با میزان مصرف آب فضای سبز ۴ حالت زیر در نظر گرفته شد:

- ۱- تغییر فضای سبز چمن کاری شده از چمن به کاشت درخت با آبیاری قطره ای (نمودار قرمز رنگ).
- ۲- تغییر فضای سبز چمن کاری شده از چمن به کاشت درخت با آبیاری غرقابی (نمودار آبی رنگ).
- ۳- تغییر فضای سبز چمن کاری شده از چمن به گیاه فرانکینیا (نمودار سبز رنگ).
- ۴- تغییر فضای سبز چمن کاری شده از چمن به گیاه رزماری (نمودار خاکستری رنگ).
- ۵- میزان مصرف آب در حال حاضر (نمودار مشکی رنگ).

باتوجه به شکل شماره ۳ مشخص می گردد که تغییر فضای سبز چمن کاری شده از چمن به کاشت درخت با آبیاری قطره ای (نمودار قرمز رنگ) کمترین میزان مصرف آب را در بین مابقی گزینه های پیش رو دارد.



-نمودار شماره ۴- میزان مصرف آب نیروی انسانی در حالت های مختلف

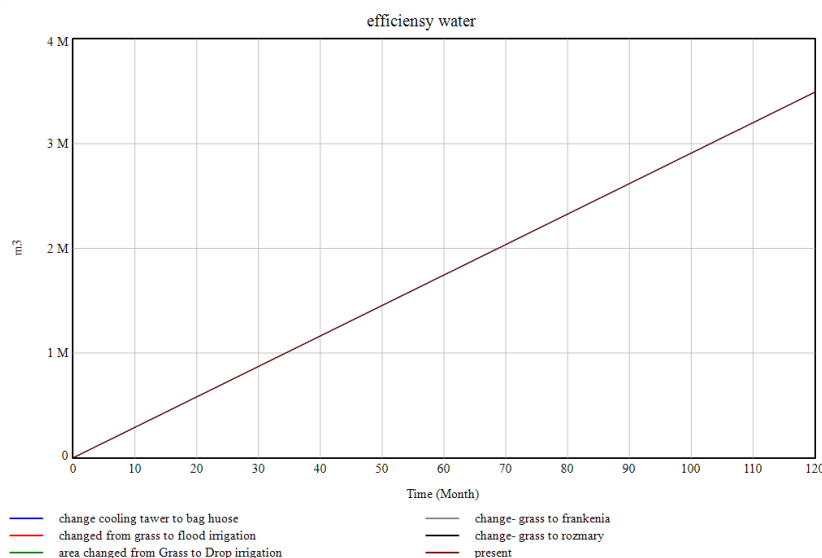


-نمودار شماره ۵- میزان مصرف آب صنعتی در حالت های مختلف

در ارتباط با میزان مصرف آب صنعتی ۲ حالت زیر در نظر گرفته شد:

۱- تبدیل الکتروفیلتر به بگ هاوس (نمودار آبی رنگ).

۲- در حال حاضر (نمودار قرمز تیره رنگ).



-نمودار شماره ۶- میزان پمپ آب از چاه

با توجه به نمودارهای ترسیم شده و جدول شماره ۳ به این نتیجه می‌رسیم که کاهش میزان مصرف آب کولینگ تاور و یا حذف الکتروفیلتر (برج خنک کن) بیشترین تاثیر را در کاهش مصرف کل کارخانه دارد. همچنین با تبدیل فضای چمن کاری شده به درخت با آبیاری قطره ای بیشترین تاثیر را در کاهش میزان مصرف آب فضای سبز دارد که بعد از کاهش یا حذف آب در کولینگ تاور، بیشترین تاثیر را در مصرف کل آب کارخانه خواهد داشت. در مرحله بعد، تبدیل فضای سبز چمن کاری شده به درخت با آبیاری غرقابی میتواند بیشترین تاثیر را در مصرف آب کل کارخانه بعد از دو مورد فوق داشته باشد.



منابع:

- ۱- خالدي، ه. و طباطبائي، ح. (۱۳۸۱). شاخص‌ها و وضعیت بحران آب در جهان و ایران. مجموعه مقالات اولین کنفرانس دانشجویی منابع آب و خاک. صفحه ۲۲۶ تا ۲۳۱.
- 2- Xi, X. and K. L. Poh (2013). "Using system dynamics for sustainable water resources management in Singapore." Procedia Computer Science **16**: 157-166
- 3- Jin, X., et al. (2016). "System-dynamic analysis on socio-economic impacts of land consolidation in China." Habitat International **56**: 166-175.
- 4- Matinzadeh, M., et al. (2017). "System dynamic modeling to assess the effect of subsurface drain spacing and depth on minimizing the environmental impacts." International Journal of Environmental Science and Technology **14**(3): 563-576.
- 5- Shi, T. and R. Gill (2005). "Developing effective policies for the sustainable development of ecological agriculture in China: the case study of Jinshan County with a systems dynamics model." Ecological Economics **53**(2): 223-246.
- 6- Kotir, J. H., et al. (2016). "A system dynamics simulation model for sustainable water resources management and agricultural development in the Volta River Basin, Ghana." Science of The Total Environment **5**: ۴۴۴-۴۵۷-۷۳
- ۷- ماهنانه علمی - تخصصی صنعت سیمان- نکات فنی و علمی کوتاه از صنعت سیمان - شماره ۵۲ - تیرماه ۱۳۹۱.
- ۸- دنیای اقتصاد- شماره روزنامه: ۴۳۱۹، تاریخ چاپ: ۱۳۹۷/۰۲/۱۵، شماره خبر: ۳۳۸۴۲۷۶.